

1949

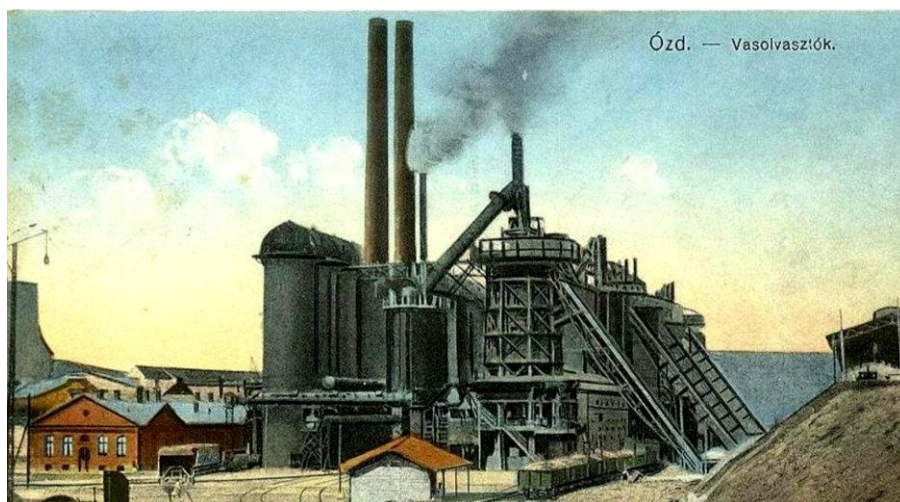
# AZ ÓZDI KOHÁSZAT ANYAGFORGALMÁNAK KÖRNYEZETFÖLDTANI ÉS GEOKÉMIAI VETÜLETEI

Egyetemi doktori (PhD) értekezés

Koleszár Péter

témavezető: Dr. Kozák Miklós

külső konzulens: Dr. Grega Oszkár  
Póczos József



DEBRECENI EGYETEM  
Természettudományi Doktori Tanács  
Földtudományok Doktori Iskola  
Debrecen, 2015

**AZ ÓZDI KOHÁSZAT ANYAGFORGALMÁNAK  
KÖRNYEZETFÖLDTANI ÉS GEOKÉMIAI VETÜLETEI**

Értekezés a doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése érdekében  
a **Földtudományok** tudományágban

Írta: **Koleszár Péter** okleveles környezetkutató és anyagmérnök

Készült a Debreceni Egyetem **Földtudományok** doktori iskolája  
(„*A lito-és hidroszféra természetes és antropogén folyamatai*” programja) keretében

Témavezető:	Dr. Kozák Miklós
külső konzulensek	Dr. Grega Oszkár
	Póczos József

A doktori szigorlati bizottság:

elnök:	Dr. Lóki József .....	.....
tagok:	Dr. Rózsa Péter .....	.....
	Dr. Püspöki Zoltán.....	.....

A doktori szigorlat időpontja: 2014. július 25.

Az értekezés bírálói:

Dr. ....	.....
Dr. ....	.....

A bírálóbizottság:

elnök:	Dr. ....	.....
tagok:	Dr. ....	.....
	Dr. ....	.....
	Dr. ....	.....
	Dr. ....	.....

Az értekezés védésének időpontja: 200.....

*Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Természettudományi Doktori Tanács Földtudományok Doktori Iskola „A lito- és hidroszféra természetes és antropogén folyamatai” programja keretében készítettem a Debreceni Egyetem természettudományi doktori (PhD) fokozatának elnyerése céljából*

*Debrecen, 2015. április 30.*

*a jelölt aláírása*

*Tanúsítom, hogy Koleszár Péter doktorjelölt 2006-2009. között a fent megnevezett Doktori Iskola „A lito- és hidroszféra természetes és antropogén folyamatai” programjának keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult. Az értekezés elfogadását javaslom.*

*Debrecen, 2015. április 30.*

*a témavezető aláírása*

## TARTALOM

<b>1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK</b>	<b>1</b>
<b>2. ANYAG ÉS MÓDSZER</b>	<b>2</b>
2.1. Adattári és múzeumi hely- és ipartörténeti adatgyűjtés, terepbejárások	3
2.2. Talajmintavételek, szemcse- és konzisztencia vizsgálatok	4
2.3. Cönológiai vizsgálatok	5
2.4. Kőzetmikroszkópi preparátumok készítése és vizsgálata	5
2.5. Az acélok metallográfiai vizsgálata	6
2.6. Termikus Analízis (MOM derivatográfia és Winder szoftverrel)	6
2.7. Röntgendiffrakció (XRD) vizsgálatok	6
2.8. Pásztázó elektronmikroszkópi és mikroszonda (SEM) vizsgálatok	7
2.9. Az acélhulladékok, a nyersacél és az üstös acélok mintavételezése	7
2.10. A fémfázisok elemösszetételének meghatározása	8
2.11. Az acélhulladék bevonatok mélységprofil vizsgálata	9
2.12. Korróziós termékek, salakhabosító kokszipor és salakképzők elemzése	9
2.13. A salakok fő- és nyomelem tartalma	10
2.14. A talaj- és növényminták elemtartalmának vizsgálata	11
2.15. Vízvizsgálatok	11
2.16. Salakpreparátumok fizikai anyagvizsgálatai	11
2.17. Radiológiai elemzések	11
2.18. Az Acélműi szállóporok anyagvizsgálati módszerei	11
2.18.1. Az acélműi szállóporok minta-előkészítése	11
2.18.2. A szállópor minták fizikai anyagvizsgáló módszerei	12
2.19. A tanulmány elkészítésénél alkalmazott szoftverek	12
<b>3. TERMÉSZETI ADOTTSÁGOK</b>	<b>12</b>
3.1. Földrajzi helyzet	12
3.2. Ózd térségének földtana	14
3.2.1. Szerkezeti helyzet, általános jellemzők	14
3.2.2. Paleomezozóos medencealjzat összetétele és lefutása	15
3.2.3. A paleogén üledékek	16
3.2.4. A neogén széntelepes és vulkanitos miocén képződményei	16
3.2.5. Negyedidőszaki események és képződmények	20
3.2.6. Az OAM Kft telephelyének és környékének sekélyföldtani jellemzői	21
3.2.7. Aktuogeológiai és egyéb recens környezeti folyamatok.	23
3.3. Éghajlat, vízrajz	25
3.4. Az élővilág jellemzése	27
3.4.1. Általános jellemzés	27
3.4.2. A növényvilág	28
3.4.3. A gombák megjelenése	30
3.4.4. Az állatvilág	31
3.5. Az OAM Kft üzemi vízhasználata	35
<b>4. KOHÁSZATI ELJÁRÁSOK ALAPJAI</b>	<b>36</b>
4.1. Az ózdi gyártáskorszerűsödés fejlődéstörténeti vázlat	36
4.2. A 170 éves kohászat eljárásai és anyagforgalmuk környezeti hatásai	39
4.2.1. Kavarácélgyártás	39

4.2.2. Széntüzelés és salakképző hatása	39
4.2.3. Nyersvasgyártás	43
4.2.4. Martinacél gyártás	44
4.2.5. Az acélöntés és a tűzálló anyagok környezeti jelentősége	48
4.2.6. Képlékenyalakítási eljárások	49
4.2.7. A vizsgált területünkön egykor kiüledett kohászati szállóporok képződése.	50
<b>5. AZ ACÉLGYÁRTÁS TECHNOLÓGIÁI NAPJAINKBAN</b>	<b>54</b>
5.1. Az egyetemes acélgyártás, primer acélgyártási technológiák és környezeti vonzataik	54
5.2. Szekunder metallurgiai technológiák és anyagforgalmuk	55
5.3. Az acélöntés	57
5.4. Az ÓAM Kft működésének gyártástechnológiai vázlata	58
5.4.1. Az ivkemencés acélgyártás	58
5.4.2. A szekunder acélmetallurgia jellemzése	61
5.4.3. Folyamatos acélöntés	61
5.4.4. Rúd Drót Hengermű (RDH) technológiája	63
<b>6. AZ ELEMEEK VISELKEDÉSE AZ ACÉLGYÁRTÁS FOLYAMATÁBAN</b>	<b>65</b>
6.1. Acélfázisban dúsuló, ún. maradó elemek	65
6.1.1. Az acélhulladék alapú acélgyártás problémája	66
6.2. A salakfázisban dúsuló elemek	68
6.2.1. Az acélgyártási salakkal távozó ötvöző elemek környezeti problémája	72
6.3. A füstgázzal eltávozó elemek	73
<b>7. AZ ACÉLGYÁRTÁS BEMENŐ ANYAGAINAK JELLEMZŐI ÉS VIZSGÁLATAIK</b>	<b>75</b>
7.1. Acélgyártási hulladékbetét jellemzői és a hulladékok előkészítése	75
7.2. Az OAM-nál felhasznált acélhulladékok kémiai minőségvizsgálata	77
7.3. A felhasznált acélhulladékok bevonatának vizsgálata	78
7.4. A korróziós termékek kéntartalma	79
7.5. Az acélgyártásnál adagolásra kerülő hozaganyagok	80
7.5.1. A salakképző anyagok jellemzése az OAM üzemtől kapott adatok alapján	80
7.5.2. A kokszipor és az antracit vizsgálata	80
7.5.3. Az acélgyártás során felhasznált dezoxidáló-, ötvöző- és karbonizáló anyagok	81
7.5.4. A salakok folyósítására alkalmazott adalékanyagok	82
7.5.5. Az acélműben használt ipari gázok	83
7.5.6. Az acélműben alkalmazott jelentősebb tűzállóanyagok	83
7.6. A nyersacél vegyvizsgálatának mineralógiai vetülete	85
7.7. Az üstmetallurgia és a folyamatos acélöntés hatása a gyártott acél minőségére	86
7.8. A nyersacél metallográfiai vizsgálata	89

7.9. Üstmetallurgiai és folyamatos öntésű acélok metallográfiája	90
<b>8. A KOHÁSZATI FÁZISÁTALAKULÁSOK ÁSVÁNYTANI VETÜLETEI</b>	<b>90</b>
8.1. A főkomponensek fázisátalakulásai	91
8.2. Egyéb ötvözők és szennyezők reakciói a technológia során	98
<b>9. AZ ACÉLGYÁRTÁSI SALAKOK VIZSGÁLATA ÉS KÖRNYEZETI JELLEMZŐI</b>	<b>99</b>
9.1. Az ipari salakok általános csoportosítása és jellemzése	99
9.2. Az acélsalakok kén- és foszfor felvétele	103
9.3. Kohászati salakok, technológiai hulladékok és az üzemi szennyvíz kezelése	105
9.3.1. Az Európában alkalmazott salakkezelési módszerek áttekintése	105
9.3.2. A jelenleg Ózdon alkalmazott salakkezelési technológia	106
9.3.3. A szekunder salakok kezelése	108
9.3.4. A hengerre ve és kezelése	110
9.3.5. Technológiai hulladékok és hasznosításuk	111
9.3.6. Az ipari szennyvizek kezelése	112
<b>10. OAM SALAKOK MINT MESTERSÉGES KÖZETEK ÁSVÁNYTANA- GEOKÉMIAJA</b>	<b>112</b>
10.1. A primer (ívkemence) salakok anyagvizsgálata	112
10.1.1. A primer salakok makro- és mikroszkópi jellemző	112
10.1.2. Az ózdi primer salakok vegyi jellege, elem- és ásványos összetétele	113
10.1.3. A primer salakok környezeti hatásai oldási vizsgálat alapján	120
10.2. Szekunder salakok anyagvizsgálata	121
10.2.1. Az ózdi szekunder salakok fizikai-és közetmikroszkópi jellemzői	121
10.2.2. Az ózdi szekunder salakok elem- és ásványos összetétele	121
10.3. FAM salakok anyagvizsgálata	124
10.3.1. Az ózdi FAM salakok fizikai adottságai	124
10.3.2. A FAM salakok kémiai- és ásványos összetétele	124
10.4. A primer- és szekunder salakok radiológiai elemzése	125
<b>11. A LEVÁLASZTÁSRA KERÜLŐ ACÉLMŰI SZÁLLÓPOROK</b>	<b>125</b>
11.1. Az OAM Kft üzemének füstgáz rendszere, mint szállópor forrás	125
11.2. A leválasztott acélműi szállóporok analízise	126
11.2.1. A leválasztott acélműi szállóporok fizikai- és ércmikroszkópi jellemzői.	126
11.2.2. A szállóporok kémiai jellemzői és ásványfázisai	127
11.2.3. A leválasztott acélműi szállóporok hasznosításának lehetőségei	130
<b>12. ÖSSZEFOGLALÁS</b>	<b>131</b>
<b>FELHASZNÁLT IRODALOM</b>	

## 1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

Az észak-magyarországi, borsodi ipari- és bányászati körzet északi központi települése a napjainkban ~35000 lakosú Ózd. Az ózdi kohászat közel 170 éves múltja sok lehetőséget nyújt ipartörténeti, technológiai változások és anyagforgalmuk nyomonkövetésére, s a melléktermékként kikerülő hulladékok, meddők mennyiségének, minőségének, környezeti hatásainak vizsgálatára. Mivel működés közbeni közvetlen megfigyelésre a ma működő ózdi „mini mill” jellegű acélgyártás nyújtott lehetőséget, ezért e tanulmányban ennek bizonyos értelemben központi szerep jutott. Szükségszerűen foglalkoznunk kell azonban a több mint 150 éven át aktív hagyományos kohászat működésével és az általa létrehozott tekintélyes salakmennyiséget felhalmozó eljárásokkal, illetve e melléktermékek környezeti hatásaival. Mivel itt már nem lehetséges a közvetlen megfigyelés és mérés, ezért itt számos vonatkozásban csak személyes visszaemlékezésekre, feltevésekre és következtetésekre tudunk támaszkodni.

Aktualitásai miatt a 16. éve működő Ózdi Acélművek Kft nagyteljesítményű (UHP) ívkemencés acélgyártását, anyagforgalmát és környezeti hatásait közvetlenül tudtuk elemezni. Ezért a bekerülő alapanyag (vas- és acél hulladék) és a belőle képződő acél, illetve a melléktermékként képződő salakok és szállóporok mennyiségének, minőségének, technológiai-környezeti hatásainak vizsgálata nyújtott legtöbb lehetőséget egy új típusú, átfogó környezeti kép kialakítására.

A Kft Közép-Európában az egyik legnagyobb betonacél és hengerhuzal gyártó vállalkozás, de másodtermékként húzott drótot és hegesztett síkhálót is készít többféle méretben. Termékei alapvetően ötvöztelen, illetve gyengén ötvözött karbon–mangán acélok. Ritkán, évente 2-3 alkalommal Nb-mal vagy V-mal mikroötvözött<sup>1□</sup>, speciális minőségű acélt (pl. un. GEWI<sup>2□</sup> minőség) is előállít. A gyártási folyamatok hatékonyságát meghatározza a bemenő adalékok (hozaganyagok) minősége és az acélgyártás technológiája, amely esetünkben az egyik, ma használt legkorszerűbb módszer.

Az üzembe alapanyagként amortizálódott vas- és acél- hulladék, valamint saját selejt anyagok kerülnek be. Ezek előállításához eredetileg természetes ásványi nyersanyagokat és adalékokat használtak fel. A mai technológiához szükséges építőanyagok (tűzállók) is természetes ásványi anyagok (dunit, magnezit stb.) és ásványi műtermékek (mükorund, cirkóniumoxid, szilíciumkarbid, samott stb.).

A vas- és acélgyártás, ill. az elektroacélgyártás kimeneti végtermékei között szereplő salakok olyan mesterségesen létrehozott ásványok és kőzetek, amelyek a természetben leginkább a szilikát szkarnokhoz hasonlíthatók.

Látható tehát, hogy a kohászati folyamat a földtani környezetből és annak nyersanyagaiból indul ki, és salakjai révén ide ér vissza. Utóbbiak olyan mesterséges kőzetek, amelyeknek befogadója szintén a földtani környezet, vagy annak valamilyen épített része (pl. építmények).

Vizsgálataink tárgya ennek a nagyívű és sokfázisú anyagátalakulási folyamatnak az anyagi minőségváltozásaira koncentrálni, de kitüntetetten elemzi az eljárások, illetve a természetbe visszajutó mellék- és végtermékek tulajdonságait, hogy megítélhető legyen ezek környezeti hatása. E téma fontosságát az indokolja, hogy a nagyipari vas- és acélgyártás Ózd környezetében 1847 óta zajlik, egy részben természeti, részben lakóhelyi környezetbe ágyazva.

A kezdeti évtizedekben a kikerülő késztermék és salak aránya 1:1 körül ingadozott és e mellett nagy tömegű fosszilis tüzelőanyagra volt szükség, mivel 1t acél előállításához kb. 6-7t-nyi környékbeli, alsó-miocén (ottnangi-kárpáti) korú barnaköszentet használtak fel.

Mivel a borsodi barnaköszentet kéntartalma általában meghaladja a 2-3 %-ot, ezért a hosszú, több mint másfél évszázadnyi idő alatt igen tekintélyes mennyiség szabadult fel ezek gyári és lakossági felhasználása, égetése során és került az ózdi légtérbe, főként kén-gázok formájában.

Az idők folyamán fokozatosan javult a tüzelőanyag hasznosítási módja, módosultak, javultak a gyártási technológiák, csökkent a képződő salak fajlagos mennyisége és ezekkel arányosan mérséklődtek a káros emissziós hatások is. Javult a haszonanyag/salakanyag arány, ami előbb 1:0,5 körüli értékű volt, s ez mára az elektroacélgyártásnál már 1:0,15-re javult. Korábban nem csak a kohósításhoz használtak fel köszentet, hanem ennek elgázosításával generátorgáz előállításához is, így többirányú terhelés érte környezetet. A mai állapot ezekhez képest nagyságrenddel kedvezőbb. A jövőben olyan új alternatív utakat kell keresnünk, amely a minimális környezeti hatás és a fenntarthatóság mellett kellően költséghatékony, és jobban támaszkodik a hazai nyersanyag és adalékanyag bázisra, valamint ésszerűen növeli a helyi humán erőforrások felhasználását. Ilyenek tűnik többek között az ún. tisztaszén technológia, valamint egyes alternatív energiahordozók rendszerbe állítása. E mellett a fő tevékenység folyamataihoz több ponton kapcsolhatóak lennének járulékos beruházások és gazdaságosan működtethető melléküzemági tevékenységek (pl. hulladék-hő gazdálkodás, ipari falepárlás, intenzívebb salakhasznosítás).

A tanulmányban szereplő illusztrációk közül az ábrák a szövegben lettek elhelyezve, többnyire azok első szövegbeli hivatkozásai után. Az anyagvizsgálatok eredményeit tartalmazó táblázatokat technikai okok miatt a disszertáció végén, mellékletként csatoltuk a hivatkozások sorrendjében. Az ábrák és táblázatok sorszámában az első szám a fejezet száma, a második szám a fejezeten belüli sorrend sorszáma fejezetenként újraindítva a számozást.

## **2.ANYAG ÉS MÓDSZER**

Választott kutatási témánk Ózd esetében előzmények nélküli, ezért számos olyan témarészre is kiterjed, amelyhez nem voltak korábbi tapasztalatok, forrásmunkák. Bár alapvetően a vas- és acélgyártás területére, telephelyeire, salakhányóira vonatkoznak a megfigyeléseink, de a környezeti hatások összefonódásai miatt a vizsgálati terület határait bizonyos értelemben ki kellett terjesztenünk a gyárterületen kívüli lakott és nem lakott területek egy részére is. Mivel az ózdi kohászati tevékenység hosszú időtartama alatt változtak a technológiák, a felhasznált ásványi anyagok és a kikerülő salakok, hulladékok és környezeti hatások, ezért sokféle anyagvizsgálatra volt szükség, hogy legalább a tájékozódás szintjén meg lehessen ítélni egyes tényezők jelentőségét. A mintaszámokat és a vizsgálatok mennyiségét részben a folyamatok és az anyagforgalom megfigyelhetősége, modellezhetősége határozta meg, másrészt viszont a rendelkezésre álló technikai és anyagi lehetőségeink. A feladat – rendkívül összetett volta miatt –határterületen mozog a geológia–mineralógia, a kohászat és anyagtudomány, valamint az ökológia és a környezetvédelem között. Ez jellegénél fogva kissé eklektikussá, másrészt aránytalanná

tette a feldolgozást, de jó kiindulási alap a különböző irányokban tovább fejlesztendő hatás- és hatékonysági vizsgálatok szempontjából.

A lenti felsorolás (2/1. táblázat) képet nyújt arról, hogy hányféle vizsgálati típus volt szükséges, a téma feldolgozásához, ami így is csak részlegesen tekinthető megoldottnak. Az alkalmazott 18féle módszer 640 körüli minta és számos adattári anyag feldolgozását igényelte. A műszeres elemzések két egyetem több tanszékén és egy kutató intézet laboratóriumában és két gyári laboratóriumban készültek, a feltüntetett minta- és elemzésszámnál nagyobb mennyiségben, de a feldolgozhatóságuk, kiértékelhetőségük és a felmerülő objektív hibák miatt néhányat nem használhattunk fel. Hasonló helyzet a fotódokumentációknál is, ahol a felvételeknek csak egy töredéke kerülhetett be a tanulmányba.

Ahol nem nyílt megfelelő mód egy kérdés megnyugtató vizsgálatára, ott is igyekeztünk megfogalmazni annak valószínű jelentőségét és felhívni a figyelmet, ha jelen kereteinken kívül indokoltak tartottuk azok jövőbeli, önálló programként történő részletesebb kutatását.

A következőkben az egyes műszeres anyagvizsgálatok technikai paramétereit mutatjuk be a módszerek megbízhatóságának megítélése és a reprodukálhatóság érdekében.

VIZSGÁLAT TÍPUSA ÉS A VIZSGÁLATI LABORATÓRIUM	száma
Adattári és múzeumi hely- és ipartörténeti adatgyűjtés, terepbejárások	30
Mintavétel, előkészítés (talaj, víz, növény, acél, salakok, szállópor)	200
Szemeloszlás, talajmechanikai (DE Ásvány- és Földtani Tsz.)	9
Cönológiai és ökológiai terepi megfigyelések	20
Mikroszkópi vékonycs. (DE Ásv.- és Földtani Tsz., ME Ásv.- és Kőzettan)	15
Metallográfiai vizsgálatok. (ÓFE KHT, ME- MAK Any. Tud. Int.)	10
Termikus analízis (DE Ásvány- és Földtani Tsz.)	15
XRD (MÁFI RTG Lab., ME – MAK, ME-MFK)	31
SEM/EDS vizsgálatok (DE-TTK. Szilárdt. Fiz. ME - MAK Any. Tud. Int.)	10
Vízvizsgálatok (titrim. ,spektrofotometria, ICP-OES (Furol Kft.)	2
Salak, víz, főelem, nyomelem (ICP-OES. Furol Kft, DE Ásv.- és Földt.)	73
Növény, talaj nyomelem vizsg.(ICP-OES DE-ATC Kém Lab.).	5
Salak, hozag C, S tart. (Marsh kem., ÓFE KHT, LECO CS-125 OAM Kft.).	77
Fémek színképelemzése (Spark-OES OAM Kft. Ózd)	123
Fémbevonatok mélységprofil elemzése GD-OES (ME-MAK Any. Tud. Int.)	2
Dózisteljesítmény (Radet készülék ÓFE KHT Ózd)	9
Szoftverek és térinformatika	5
Saját fotódokumentáció	
	Σ645

2/1. táblázat A tanulmányban alkalmazott vizsgálati módszerek típusa és mennyisége

## 2.1. Adattári és múzeumi hely- és ipartörténeti adatgyűjtés, terepbejárások

Munkánkhoz a Debreceni –és Miskolci Egyetem tanszéki könyvtárain kívül felhasználtuk a Magyar Földtani- és Geofizikai Intézet (MFGI) adattárát, továbbá az Ózd Városi Múzeum adat- és fotótárát (2/1 ábra). A fő adatforrások az irodalomjegyzékben

feltüntetett hazai és külföldi geológiai, kohászati szakfolyóiratok és monográfiák, valamint e szakterületek tan- és kézikönyvei. A hely és ipartörténetre vonatkozóan szükségyszerű volt idősebb helybeli szakemberekkel történő konzultáció, amit jól kiegészítettek az említett tanszékek és az OAM Kft szakértőivel történt szakmai megbeszélések.



2/1 .ábra Az ózdi Városi Múzeum az ipartörténet, bányászat és kohászat számos emlékét őrzi képek, makettek, iratok formájában. A/. kép: lóvasút a bánya és a gyár között. B/. kép: a régi Martin-kemence makettjének részlete. C/. kép: ásványgyűjtemény a kohászati nyersanyagokkal. D/. kép: múzeumi részlet makettekkel.

## 2.2. Talaj- és salak mintavételek, szemcse- és konzisztencia vizsgálatok

Szedimentológiai (szemeloszlás, talajmechanika) mintavételek különböző területtípusokon felszínalkotó kőzet felső 20cm-éből történt, az aknás feltárások esetében pedig rétegenként átlagmintát gyűjtöttünk mintánként 0,5-1,0kg mennyiségben.

A homokos agyagos minták szemeloszásához az átlagolt anyagból 100g-ot mértünk be, majd ezt 0,1mm lyukátmérőjű szitán desztillált vízzel átmostuk, a két részt beszárítottuk. A fennmaradt hányadot a szabványos szitasorral szeparáltuk szemnagysági frakciókra. Az  $\varnothing < 0,1\text{mm}$ -es részből 10mg-nyit desztillált vízzel 1000 ml-es szabványos mérőhengerbe bemosztuk, s a szemeloszlást peptizáló szer (vízüveg) hozzáadása után Papfalvy-féle areométeres sűrűségmérővel határoztuk meg (GÁL 2007). A két rész eloszlási adatait összegeztük szemilogaritmikus kijelölő lapokon differenciál szemeloszlási és az ún. integrál szemcseösszetételi grafikonként ábrázoltuk. Ennek, illetve esetenként nevezéktani segédábrák alapján történt a megnevezés és a szedimentológiai paraméterek számítása.

Az agyagos minták esetében a talajmechanikai értékeléshez megállapítottuk a minták természetes víztartalmát, majd sodrással és Casagrande-féle készülékkel, valamint kétszeri tömegméréssel határoztuk meg a sodrási és folyási határ víztartalmát, majd ezekből számítható volt a plasztikus index (Ip), valamint a konzisztencia index (Ic). Az alkalmazott eljárások a következő Magyar Szabványok (MSZ) alapján készültek: 4488-76, 14045/8-69, 14043/7-81, 15001-87, 15004-87, 15002/1-87, 15008-1989. Terjedelmi korlátok és a lazább tematikus kapcsolódás miatt e tanulmányban ezeknek az eredmények csak kis részét mutatjuk be.

A primer és szekunder salaktípusokból átlagmintákat gyűjtöttünk az AICHER BETON Kft ózd-centeri salakárkából, ahová azokat vasúton juttatják el. A salakpróbák begyűjtése random mintavételezési eljárással, egyenként kb. 50kg-os tömegben történt. A minták

laboratóriumi vizsgálatokra történő előkészítését az előírások szerint a Debreceni Egyetem Ásvány- és Földtani Tanszékének Közöttani - Geokémiai Laboratóriumában végeztük. A többnyire 30-40 mm-es darabokat tartalmazó salakmintákat Fritsch típusú pofástörőn aprítottuk (TAMÁS 1970). Az őrlési fokozatok között a mintát homogenizáltuk, majd negyedeltük. Az így kapott 2mm alatti őrleményből mágnessel távolítottuk el az apró fémcseppeket, majd acélhengerben („gyémántmozsárban”), ill. Fritsch típusú gépi achátmozsárban púderfinomságúra őröltük. Végül az őrlemény méretét kontrol céljából 0,063mm-es szitán átszítálva homogenizáltuk, végül szárítószekrényben 105 °C-on kiszárítottuk (TAMÁS 1970).

Az 132668-as számú adag követésekor üzemi próba vételére is sor került, itt a kemence személyzete nyújtott segítséget. A kemencéből történő salakpróba vétele során a kiömlő salaksugárba toltak be egy 6 m hosszú, 5/4"-os acélcsövet (fogyólandzsa cső), hogy ennek végére tapadjon a salak, ami kb.30 cm hosszú, 5-8 mm vastag kérget alkotva adja a próbatestet. Ennek a próbának az előkészítése megegyezett a többi salakminta előkészítésével. Az üzemi salakelemzésekhez szükséges salakpróbákat is így veszik.

Ennek a mintavételnek a reprezentativitása nem tökéletes, mert gyakran a salakon úszó savanyúbb kokszsalakos olvadék kissé meghamisíthatja az eredményeket, de így is reprezentatívabb, mint a salakfazékban lévő salakból történő próbavétel (lásd később). Napjainkban már léteznek bemártó salakmintavevő szondák is, melyekkel mélység szerint is vehetők salakminták.

### **2.3. Cönológiai vizsgálatok**

A terület növény és állatvilágának megfigyeléséhez az elmúlt hat év során évszakonként többször is felkerestük a területet, hogy az adott évszakban megjelenő vegetációról adatokat gyűjtsünk, észleljük az estleges rendellenességeket. A területről egy átfogó képet sikerült kialakítani, de a rendszeres megfigyelések főleg az e célra kiválasztott kisebb kiterjedésű típusterületeken történtek. Ezek egy része a kohászat létesítményei közelében volt, hogy annak esetleges hatásai érzékelhetőek legyenek. Speciális bejárást és megfigyelést igényeltek a különböző korokból származó salakhányók, ahol megfigyelhető volt az idő függvényében bekövetkező salakcementáció, kiporzás, vegyületképződés, foltokban talajosodás, és a vegetáció fokozatos megtelepedése.

### **2.4 Kőzetmikroszkópi preparátumok készítése és vizsgálata**

A vizsgálat célja a Pétervásárai Homokkő Fm. cipójának és a különböző salaktípusok ásványos összetételének és szövetének megismerése volt. A minta-előkészítést és a vizsgálatokat a DE Ásvány- és Földtani Tanszék közöttani laboratóriumában végeztük el. A mintákból előbb 0,2-0,5cm vastag szeleteket vágunk ki gyémántperemű vágókoronggal, majd a megfelelő példányokat ARALDIT műgyantával impregnáltuk illetve ragasztottuk fel az előcsiszolt tárgylemezre. A mintát szárítószekrényben 105°C-on 4-5 napig szárítottuk, majd egyre finomabb SiC porral, előbb csiszolókorongon, majd üveglapon 30 µm vastagságig csiszoltuk.

A mikroszkópi vizsgálat Nikon Microphot-SA kutatómikroszkópon készült, a fotódokumentáció Nikon HFX-DX feltét segítségével, Nikon FX 35DX típusú kamerával készült, majd az utolsó felvételek már számítógéppel vezérelt digitális fotó feltéttel lettek rögzítve. különböző nagyításnál, párhuzamos fénynél, párhuzamos és keresztezett nikolprizma állásnál (KUBOVICS 1992).

A vékonycsiszolaton kívül számos polírozott felületi csiszolatot készítettünk makroszkópi szövetvizsgálat és fotódokumentáció céljára, hogy a salakfajták típusait elemezhesük.

## **2.5. Acélok metallográfiai vizsgálata**

A nyersacélmintákból felületi csiszolatokat készítettünk érc- ill. fémmikroszkópi vizsgálatokhoz (OFE KHT, ME MAK Anyagtud. Int.). A csiszolás ATA-Saphir 330 típusú metallográfiai csiszológépen 280-, 320-, 400-, 600-as finomságú csiszolóvászonnal történt folyamatos vizes hűtés mellett. A minták csiszolt felületét 30 és 1 mikronos gyémánt pasztákkal bekent polírozó posztón, polírozó folyadékkal finomítottuk STRUER S-DPU típusú gépen. Az acél próbákat 6%-os nitállal (salétromsav-alkohol keverék) marattuk. Mikroszkópi felvételeket a tanszéki laboratóriumban ZEISS axiovert 410TM típusú inverz fémmikroszkóppal készítettük, és a készülékbe épített ZEISS AXIOCAM 1CeI típusú digitális kamerával lettek rögzítve.

A polírozott próbákkal Baumann féle kénlenyomatot is készítettünk (VERŐ – KÁLDOR 1996). Ez a technika alkalmas a vas és acél felületeken lévő kéneloszlások grafikus kimutatására. Ennek a technikának a lényege, hogy híg kénsavval átitatott fotópapírra rányomjuk a polírozott felületet, majd néhány másodperc múlva a próba eltávolítása és a papír kivétele után fixír sóoldatba mártjuk, majd előhívjuk. A felvételen a szulfididúsulások sötét foltokként jelennek meg, aminek az a magyarázata, hogy a fémfelületen a kénsav a szulfidokkal lép reakcióba. A képződő kénhidrogén, a fotópapír AgBr szemcséivel Ag<sub>2</sub>S csapadékot képez, ami helyi barnulást okoz. Színárnyalata arányos a mintafelület kén tartalmával.

Megvizsgáltuk egy csiszolt acélbuga felületét Ózdon az Anyagvizsgálati Osztály laboratóriumban, amelynek során un. mélymaratást végeztünk. Ennek során a mintadarabot tömény HCl és desztillált víz 1:1 arányú elegyében főztük folyamatos megfigyelés mellett a kívánt maratottság eléréséig.

## **2.6. Termikus Analízis (MOM derivatográfjal és Winder szoftverrel)**

Kiegészítő vizsgálatként sor került termikus ásványfázis elemzésre is amelyet a Debreceni Egyetem Ásvány –és Földtani Tanszékén végeztünk MOM Derivatograph-C típusú készülékkel. (Itt lehetőség van derivatographoz csatolt kvadrupole tömegspektrométeres TG/DTA-QMS gázelemzésre is.) A mérési paraméterek: bemért minta tömege 100-400mg a várható tömegcsökkenéstől függően; lineáris felfűtési sebesség 10 °C/sec; hevítési tartomány 25-1000°C; a mérésnél használt inert anyag Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

## **2.7. Röntgendiffrakciós (XRD) vizsgálatok**

A salakok röntgendiffrakciós vizsgálata részben a ME Anyagtudományi Intézet XRD laboratóriumban, illetve az ME Műszaki Földtudományi Kar Ásvány- és Kőzettani Tanszékének XRD laboratóriumban történt. Mind a két laboratóriumban BRUKER Advanced 8D típusú röntgendiffrakciós készülék üzemel (TAMÁS 1970), s mind a kettő EVA kiértékelő szoftverrel van installálva. Különbség a készülékek felépítményében van. Az Anyagtudományi Intézet műszerébe Auler bölcső mintatartót szereltek. A röntgen cső itt Co antikatód-os, mivel ez a műszer vasalapú fémötvözetek vizsgálatára lett rendszeresítve. A szokásos Cu röntgenső a vasalapú fázisokat gerjeszti, aminek

következtében megnő a háttérzaj és értékes információk veszhetnek el. Az ásványtani műszer egy klasszikus pordiffraktométer, ahol egyszerre 5-6 mintát lehet bekészíteni. A minták a fix helyzetű röntgenső és a detektor között mozgathatók. A sugárforrás itt Cu – antikatódos XRD cső. Ez az installáció kifejezetten alkalmas fáziselemzésre, kivéve a vasalapú fázisokat. Ezért volt szükség az egymást kiegészítő kétféle XRD készülék és módszer együttes alkalmazására.

A salakok egy részének és néhány talajmintának az XRD elemzése a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet (korábban MÁFI) Geokémiai Laboratóriumában pormintából készült Philips PV 1710 diffraktométeren, Cu antikatód alkalmazásával, grafit monokromátorral, 2 $\theta$ fok/perc papírsebesség mellett. A csőáram paraméterei 30mA, 40kV. A kiértékelés többirányú lekérdezéses szoftver segítségével, számítógépen történt.

## **2.8. Pásztázó elektronmikroszkópi és mikroszonda (SEM/EDS) vizsgálatok**

A vékonycsiszolaton kívül számos 30x30mm méretű felületi csiszolatot állítottunk elő beágyazott zárványok ill. fémrészecskék sztereo- és fémmikroszkópi vizsgálatához. A minták előkészítésekor illetve a felvételek készítésénél a beállítások megegyeztek az acél előkészítésével és a foto beállításokkal. A különbség, hogy a salakpróbákön semmilyen maratást nem alkalmaztunk.

A salakokról pásztázó elektronmikroszkópos (SEM/EDS) vizsgálatokat készítettünk a Miskolci Egyetem Anyagtudományi Intézetének Elektronmikroszkópos Laboratóriumában. A minták 80%-át a régebbi AMRAY 1843 I típusú pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáltuk. A mikroszkóphoz csatlakoztatott EDAX gyártmányú energiafelbontású spektrométerrel (EDS) a fázisok elemi összetételét is meghatároztuk. A mintákat vákuumban arany réteggel vontuk be. A szállóporokat és a primer acélmintákat már az új ZEISS EVO MA10 típusú pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáltuk. Az összetételt a műszerhez csatlakoztatott AMETEK típusú energiadiszipatív spektrométerrel határoztuk meg (POZSGAI 1994). A továbbiakban az ilyen típusú vizsgálatokat röviden, a nemzetközi szakirodalomban elfogadott rövidítéssel SEM/EDS vizsgálatoknak nevezzük.

## **2.9. Az acélhulladékok, a nyersacél és az üstös acélok mintavételezése**

Az acélgyártási folyamat különböző szakaszainak anyagmérlegét célszerű minél pontosabban ismernünk, mivel ennek birtokában tudjuk befolyásolni a folyamatokat és nyomon követni azt, hogy mely részfolyamatok befolyásolják jobban a termék és a salak mennyiségét, minőségét, összetételét. Ezeknek az ismerete kulcsfontosságú a költséghatékonyság és a környezeti relációk szempontjából.

Külön vizsgálatokat és mintázást igényelt a fémhulladékok begyűjtése, amely random mintavételezéssel történt. A belőlük kapott eredmények elsősorban tájékoztató jellegűek, mivel a pontos összetétel szállítmányról szállítmányra változik. A hulladékok minősége olykor még darabonként is erősen ingadozhat. A hulladékok pontos és reprezentatív összetételének direkt meghatározására még nincs kialakult gyakorlat az acéliparban. A hulladék átvételénél történő szigorúbb hulladékosztályozással, valamint a gépipari üzemekben a gyártási hulladékok szelektív tárolásával lenne javítható az acélhulladék minősége. Napjainkban tehát a világ acéliparában mindenütt akut probléma a romló minőség, különösen a minőségi és nemes acélok körében. Az általunk gyűjtött és elemzett minták inkább felvilágosítást nyújtanak a jellemző ötvözők mennyiségéről, így meghatározhatók, vagy becsülhetők a kb-i tól-ig tartományok.

A vizsgált üzemi acélminták gyártásközi próbák (mintavételek), melyeket az ívkemencéből csillapítatlan acélokhoz alkalmazható 900mm hosszúságú, SONDEX SX-1-01/Al típusú, ún. bemártó szondával vettek a műszakban lévő olvasztárok. A próba vétele a csapolás előtt 5-15 perccel történt a salak nagy részének leeresztése után, a salakoló ajtón keresztül. Az elemzésekben megjelenő kiugró alumínium tartalom a szonda alumíniumszalagjából származik. Ezzel a módszerrel optimális esetben sima felületű, megnyugtató mintát kapnak, így lehet színképelemzésre alkalmas próbákat venni az ívkemencéből, az oxidációs periódus végén. Az üstkemencénél és a FAM-nál vett próbák 1200mm-es, SONDEX SX-2-02 típusú bemártószondával lettek kivéve. Ez a szondatípus annyiban különbözik, hogy nincs benne Al-csillapítás.

A szondával vett acélpróbák reprezentativitása, megismételhetősége és reprodukálhatósága analitikailag erősen megkérdőjelezhető, mivel csak az üzemi pontosságnak felel meg. A hibák különösen alacsonyabb fürdőhőmérsékletnél jellemzőek. A házi előírás szerint 1560°C alatt nem szabad, illetve nem érdemes próbát venni. A kivett próba súlya a hólyagosságtól (lunkerességtől) függően 77-87g. Ennek kellene reprezentálnia a kemencében lévő 60-65t acélt. Ez amiatt van, mert amikor próbát vesznek, akkor egy folyamatban lévő reakció adott pillanatának összetételét „örökítik” meg, tehát ezek a kémiai reakciók – az üzemi körülmények között – nem egyensúlyi folyamatok. Megfigyelésünk szerint a próbavételt alapvetően két dolog befolyásolja, az időpont és a mintavevő személye. A szondát átlag 50-70cm mélységig mártják bele a fürdőbe a salak alá hatolva. Az üstből és a közbelső üstből vett minták reprezentativitása már jóval nagyobb, mert ezekben a berendezésekben nagyobb az acél mozgása, keveredése. Ezért az üstös és a FAM-os próbák jóval homogénebbek a kemencés próbáknál. Az üstnél az időnek is nagy szerepe van a homogenitás szempontjából, mert az ötvöző, vagy mész / karbid adagolás után bizonyos időnek el kell telnie a teljes feloldódásig (minimum 10-20perc). Ez nagyban függ az acélfürdő hőmérsékletétől, az argon öblítés mértékétől, az adalékanyagok, (pl. mész) darabnagyságától. Ritkán előfordulhat az is, hogy az üstkemence álláson nincs idő az ötvöző tökéletes oldódására és elkeveredésére, mert már öntésre kell feladni az üstöt. Ilyenkor az üsttoronyban még 5-10 perc van a nyitásig, ami alatt tovább homogenizálódik az adag összetétele, s ez egy kevés argon adagolásával még fokozható is.

A kivett izzó próbát a védőhüvely eltávolítása után tűzifogóval egy vödör hideg vízbe merítik, vagy csap alatt folyóvízzel hűtik. A kihűlt próba gyorsan a laboratóriumba kerül. A behozott próbát franciakulesből készített befogóba szorítjuk és HERZOG MT-350 típusú száraz csiszoló korongon 35cm átmérőjű P60-as Klingspor csiszoló vászon feltétellel megcsiszoljuk 0,5-1,0mm vastag réteget távolítva el róla. Ezek után történik a mérés. Az általunk gyűjtött acélhulladékok és a primer salakból kivett acélzárvány összetételét vágás és /vagy csiszolás után szintén az OAM Kft. acélműi laboratóriumában határoztuk meg.

## **2.10. A fémfázisok elemösszetételének meghatározása**

Az acélpróbák összetételét egy Rowland rendszerű polikromátoros ARL3460 IRON+STEEL METAL ANALYSER-típusú optikai emissziós spektrométerrel (Spark-OES technika, röviden S-OES) (MIKA – TÖRÖK 1974) mértük. Ennél a mérés és kiértékelés automatizált, szimultán történik ARL WinOE 2.1-3.0 elemző szoftver csomaggal, Acél 1. programmal, ahol ebben az üzemmódban csak a gyártásban legfontosabb elemek szerepelnek maximum 3-4 tizedes értékig. A program karbon egyenértéket is számol. Az így nyert adatokat tudja az acélmű belső informatikai rendszere

fogadni. A teljes elemzést a FELAST programmal végeztük, ami gyengén ötvözött acélok mérését teszi lehetővé. Ezzel a módszerrel ebben az üzemben nem mért, de egyébként elterjedt egyéb ötvöző elemek is mérhetők (pl. Mo, W, As, Ca).

A nyersvasak és szürke öntvények, rugó acélok, transzformátor lemezek mérésére a FECAIR programot használtuk, amelynél erősebb a gerjesztés, hosszabb az előgerjesztés és a leszikráztatási idő a jelentős grafit és/vagy Si tartalom miatt. Az automata acélokat a hosszabb gerjesztési idejű FEFREC programmal mértük. Valószínű, hogy az adott program az elemeket nagyobb koncentráció tartományban, más hullámhosszon méri.

Az acél minták teljes O- és N tartalmának meghatározása szintén az acélmű laboratóriumában történt. A mérés során a mintából 0,5-1,0g közötti mennyiséget mértünk be a LECO TC/EF 300 típusú O, N analizátor kemencéjének zsiliprendszerébe. Ezután a kemence mintatartóját leengedve grafittegelyt helyeztünk be, majd ezt visszazárva automatikusan elindul az 50mp-ig tartó mérés, amelynek során a grafittegelyt 2500°C-ra hevíti a készülék a mérési program szerint. A mérés elején a tégelybe bejuttatott próbadarab pár másodperc alatt megolvad és kigázosodik, a fejlődő gázokat He vivőgáz viszi el a gázelemző detektorokhoz, ahol komponensenként más módon történik a mérés. A készülék a bemért tömeg és a mérés során fejlődött gázokból kiszámítja a minta O- és N tartalmát. Ezután az eredmények megjelennek a determinátor digitális kijelzőjén. A mérést a készülékbe beépített számítógép végzi DOS alapú mérő szoftverrel (LECO CORPORATION 2007a.) Speciális ón kapszulával salakok O, N tartalmát is lehet mérni, de jelenleg az üzemben csak a fém minták mérhetők.

## **2.11. Az acélhulladék bevonatok mélységprofil vizsgálata**

A mérés a Miskolci Egyetem Metallurgiai- és Öntészeti Intézet, Kémai Metallurgiai- és Felületkémi Intézet Tanszék GD-OES laboratóriumában készült. A méréseket Dr. Márkus Róbert egyetemi tanársegéd végezte a HORIBA 2D Profiler típusú GD/RF-OES spektrométerrel (HORIBA JOBIN Yvon 2011). Ez a berendezés különféle felületi bevonatok összetételének meghatározására szolgál, illetve ezek vertikális összetételét (mélységprofil) is képes kielemezni. A készülék rádiófrekvenciás gerjesztéssel is el van látva, ezáltal alkalmas nemfémes bevonatok (pl. zománczott felületek) mérésére is. A technika lényege, hogy ködfény kisülést vagy más néven Glimm kisülést hozunk létre vákuumban. Ennek során argon ionok segítségével a próba felületét gerjesztjük, s ezáltal alacsony hőmérsékletű plazma alakul ki. A folyamat során a minta felületéről az atomok rétegenként szakadnak ki és gerjesztődnek a plazmában. A készülék a plazma optikai emissziós spektrumából határozza meg a kívánt elemeket. A gerjesztéskor képződő plazma fényének optikai emissziós mérése lényegében megegyezik az előbb tárgyalt S-OES technika optikai rendszerével. A GD-OES technika napjainkra kezd kiforrott analitikai mérőmódszerré válni és terjedni világszerte. Szempontunkból e módszer azért is perspektivikus, mert az ásványi anyagok, kőzetek, salakok, bomló vagy reakcióra képes külső rétegének mélységprofilját megismerhetjük általa.

## **2.12. Korróziós termékek, salakhabosító kokszpor és salakképzők elemzése**

Mivel a minták kén és karbon tartalmának jelentős része a hagyományos fluorsavas perklorátos feltárással kárba vesztet, e két elemet más módszerrel határoztuk meg az acélmű laboratóriumában Ózdon. Az utóbbi elemek analízise un. LECO CS-125 típusú karbon-kén elemző berendezéssel történt (LECO CORPORATION 2007b). E mérés során a

kerámia tégelybe előzőleg bemért 1g mintához átlag 2-3g LECO akcelerátort (égésgyorsítót) kevertünk, majd a tégelyt a készülék kemencéjébe helyezük, ahol az a mintát indukciósan felizzítja, megömleszt, majd oxigén áramban elégeti és a füstgázokat elvezetve a készülékbe épített infravörös gázelemző a fejlődött gáz CO<sub>2</sub> és SO<sub>2</sub> tartalmából számítja a minta teljes S és C tartalmát. Az eredményt digitálisan kijelzi. A kokszipor hamu tartalmát laboratóriumi izzító kemencében 875 °C-on történő hamvasztással a FUROL laboratóriumban Tóthné Hangonyi Gréta laboratóriumvezető végezte. A salakképző égetett mészmintát és a mészkő-elemzést, az acélmű bocsájtotta rendelkezésünkre.

### 2.13. A salakok fő- és nyomelem tartalma

A régi ózdi ÓKÜ-s salakok (kohó-, martin és szénsalakok) fő- és nyomelem vizsgálatai Ózdon az egykori Ózdi Foglalkoztatást Elősegítő Kht. kémiai laboratóriumában (ma Furol Analitika Kft.) készültek. A porított minták feltárása királyvízzel, az SiO<sub>2</sub> tartalom meghatározás az oldási maradék platina tégelyben történt fluorsavas elfüstölésével készült. A többi elem meghatározása akkori Jobin-Yvon 24 típusú ICP-OES készülékkel zajlott. A S és C tartalom vizsgálatára a porcelán csónakba helyezett porított minták klasszikus Marsh-kemencés égetésével került sor. E módszernél a kén meghatározás az égetés füstgázainak jodometriás titrálásával-, a karbon tartalom e gázokból gázvolumetriásan, ún. Ströchlein-készülékkel lettek meghatározva.

Az ózdi, jelenleg is képződő primer és szekunder salakok kémiai összetételének meghatározása részben a Debreceni Egyetem Ásvány és Földtani Tanszékének Geokémiai Laboratóriumában történt. A főelem tartalom meghatározása RIGAKU GEIGERFLEX SYSTEM 3063P típusú röntgenfluoreszcens spektrométerrel történt. Előzőleg a 60µm alá porított mintából 1-10g-ot bemértünk és analitikai tisztaságú parafinnal keverve homogenizáltuk, majd nagy nyomás alatt alumínium mintatartóba préseltük, s az így nyert pasztillát a készülékkel mértük, analóg regisztrátumból számítva ki az eredményt. A Na és a K meghatározása ugyanitt lángfotometriával történt, ZEISS AAS1 típusú lángatomabszorpciós spektrofotométerrel, FES üzemmódban, a Mg pedig FAAS üzemmódban. A salakminták izzítási veszteségét (LOI) 1000°C fokon végeztük porcelán tégelyben, laboratóriumi izzítókemencében.

A nyomelem vizsgálatához első lépésként platina tégelyben történő fluorsavas feltárással oldatba vittünk 1g mintát, majd a DE TTK Szervetlen- és Analitikai Tanszékén, Spectro Flame típusú ICP-OES készülékkel meghatároztuk a nyomelem tartalom érdemi részét. A kohászati salakok és szállóporok esetében a fő- és nyomelem fogalma némileg átértékelődik, mivel az elemek koncentrációja jelentősen eltérhet a természetes kőzetektől (PAPP 2002).

Az acélműi szállóporok főelem tartalmának elemzése nagyrészt szintén a Debreceni Egyetem Ásvány és Földtani Tanszékének Geokémiai Laboratóriumában készült a salakokéval megegyező módon. Kisebb részben pedig Ózdon, a Furol Analitika Kft laboratóriumában, Varian 701-ES típusú ICP-OES készülékkel. A minták oldatba viteléhez itt is királyvizes eljárást alkalmaztak. A szállópor minták vízoldható kloridion tartalmának megállapítása argentometriás titrálással történt.

## **2.14. A talaj- és növényminták elemtartalmának vizsgálata**

A vizsgálatra kerülő talaj- és növény mintát 108°C-on tömegállandóságig szárítottuk. A légszáraz mintákat a Debreceni Egyetem Ásvány és Földtani Tanszékének Geokémiai Laboratóriumában salétromsavas roncsolással (salétromsav+hidrogénperoxid) oldatba vittük, majd az oldatot mérőlombikba töltöttük. Az így előkészített oldatot a DE-ATC Regionális Műszerközpontjában Perkin Elmer Optima 3300 típusú ICP-OES módszerrel vizsgáltuk meg.

## **2.15. Vízvizsgálatok**

Az egykori hétesi (tekerős-völgyi) salakhányó csurgalékvizeinek elemzése Ózdon, a már említett, egykori Ózdi Foglalkoztatást Elősegítő Kht. Kémiai Laboratóriumában történt. A vízminták pH-jának meghatározása Consort típusú pH mérő készülékkel valósult meg. A víz keménységét szabványos komplexometriás titrálással állapították meg. A p- és m-lúgosságot szabványos sósavas titrálással végezték. Az ammónia, nitrát, nitrit és szulfát tartalmat Spectromom típusú spektrofotométerrel mérték, UV-VIS tartományban. A vízben oldott fémtartalmat az előbb már említett ICP-OES 24 típusú készülékkel mutatták ki.

## **2.16. Salakpreparátumok fizikai anyagvizsgálatai**

A salakok mikroszkópi vékonycsiszolatai a 2.4. fejezetben leírt módon készültek. Ezek a preparátumok alkalmasak a kőzetmikroszkópi optikai vizsgálatokra, sőt elektronmikroszkópi elemzésre is, ha nincsenek lefedve fedőlemezzel. Az Araldit elemszegény, így az elektron mikroszkóp vákuum terét nem szennyezi a grafitral történő bevonáskor.

## **2.17. Radiológiai elemzések**

Radiológiai szempontú vizsgálataink során tájékoztató jellegű dózisteljesítmény mérést végeztünk az acélmű primer és szekunder salakján és a környezetben található legfontosabb földtani képződményeken. A mérés Ózdon az egykori Ózdi Közfoglalkoztatást Elősegítő KHT kémiai laboratóriumában (ma Furol Analitika Kft) készült 2004-ben. A mérés Radet típusú hordozható digitális kijelzővel rendelkező dózisteljesítmény mérővel történt (BUDÓ Á. 1978). A készülékben kisméretű GM cső van beépítve, melyre kisülés közeli feszültség van kapcsolva. Az ionizáló sugárzás hatására a csövön áram halad át, ebből adható meg a dózisteljesítmény. A készülék nem tud részecske specifikusan mérni, az összes ionizáló sugárzást (alfa, béta, gamma, röntgen) együtt méri, ezért a mérések inkább tájékoztató jellegűek. Pontosabban értékelhető méréseket gamma spektrométerrel lehet végezni (NAGY & NAGYNÉ 1997), de erre nem nyílt lehetőségünk.

## **2.18. Az Acélműi szállóporok anyagvizsgálati módszerei**

### *2.18.1. Az acélműi szállóporok mintaelőkészítése*

A szállóporok mintavétele a porgyűjtő big-bag zsákokból, illetve a Flack típusú zsákos porleválasztó berendezésből műanyag lapáttal történt. A szürke szállópor az acélmű csarnokából a darupálya sínje mellől lett véve. A porokat vizsgálat előtt 63µm lyukátmérőjű szitán leszitáltuk, a fennmaradó részt (4%) acélhengerben (gyémántmozsár)

porítottuk 63 $\mu$ m átmérő alá, hozzá töltöttük a szitált anyaghoz, végül keveréssel homogenizáltuk a mintát.

A vízdíszítő fázisok vizsgálatához 24 órás desztillált vizes kioldással eluátumot készítettünk. Ennek során 50g-nyi pormintát dupla szűrőpapírral kibélelt üvegtölcsérbe töltve, kis részletekben adagolva 0,5l desztillált vízzel átmostuk.

Az eluátumot laboratóriumi porcelánedényben bepároltuk, a kivált sókérget üvegbottal lekaparva porcelán mozsárban 63 $\mu$ m alá porítottuk. A minták előkészítése 1 hétig tartott.

Az öröletlen szállópor mintákból a ME Anyagtudományi Intézet Metallográfiai Laboratóriumában fémmikroszkópi csiszolatokat állítottunk elő, melynek első lépése a porminták gyantába öntése volt.

#### *2.18.2. A szállópor minták fizikai anyagvizsgáló módszerei*

A fémmikroszkópos vizsgálat és a mikrofotó dokumentáció készítése megegyezik az acél és a salak csiszolatokéval. A SEM/EDS vizsgálat helye azonos a salakokéval, de már az intézet új ZEISS EVOMA 10 típusú SEM/EDS műszerével történt az elemzés.

Az XRD felvételek a szállópor só fázisainak vizsgálatát kivéve megegyeznek a salakéval. A bepárolt sóról a felvétel Budapesten, a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet (korábban MÁFI) Röntgen Laboratóriumában készült.

### **2.19. A tanulmány elkészítésénél alkalmazott szoftverek**

A tanulmány készítéséhez a Microsoft Office program csomagot használtunk (Excell, Word, Powerpoint). A folyamatábrák jellegrajzok készítésénél az Intergraph SmartSketch tervező programot alkalmaztuk. A térképek és térinformatikai feldolgozásai pedig az Intergraph Geomedia Professional 5.2 térinformatikai szoftverrel készültek.

## **3. TERMÉSZETI ADOTTSÁGOK**

Ózdot az itt 1847 óta működő kohászat és a pár évtizeddel később induló szénbányászat a trianoni Magyarország egyik legfontosabb iparvárosává tette, ahol a lakossági és az ipari tevékenység egyaránt hatott a befogadó környezetre. Ennek a hatásnak a mértéke, mélysége és iránya nem csak az emberi tevékenység jellegétől függött, hanem meghatározta azt a természeti környezet számos adottsága, sérülékenysége, szennyezésérzékenysége is. Ezért vázlatosan célszerű áttekintenünk a természeti környezetet és annak legjellemzőbb elemeit.

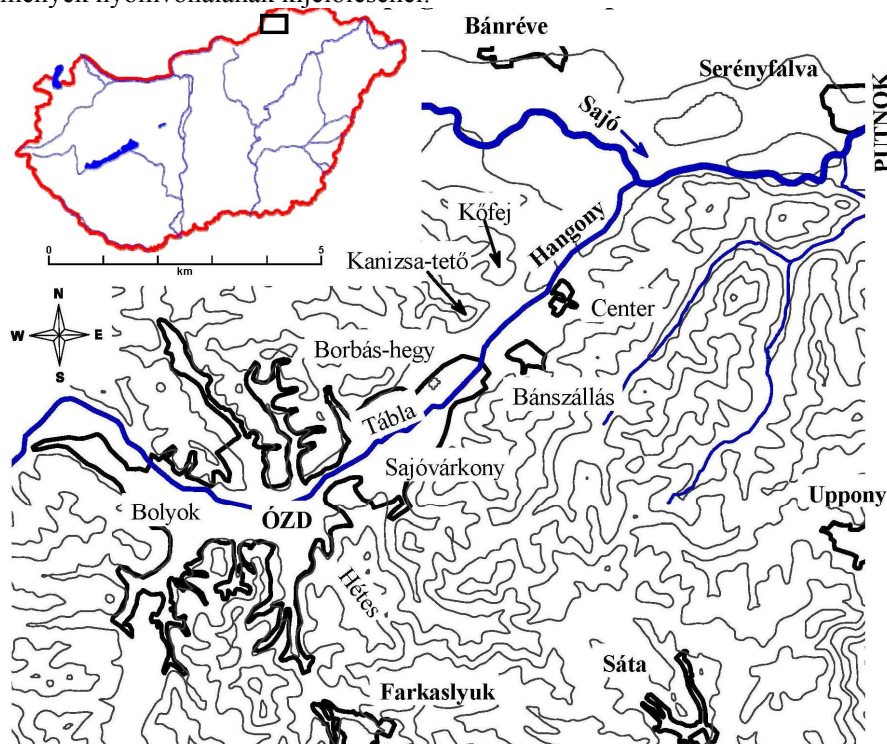
### **3.1. Földrajzi helyzet**

Vizsgálati területünk Ózd város belterülete, valamint külterületi részei két középtáj határán, a Pétervásárai-dombság és az Upponyi-hg. kistájak (DÖVÉNYI 2010) területén található *(3/1. ábra)*. É-on és ÉK-en az országhatárig, illetve a Sajóig nyúlik Ózd hatókörzete. Környezetvédelmi szempontból megemlítendő, hogy a Hangony-patak vízgyűjtője Ny-felé messze túlnyúlik a vizsgálati határainkon, ahonnan potenciálisan szennyezést szállító közegeként viszonylag nagy mennyiségű víz jut el Ózdhoz. Ez korábban a Hangonyba ömlő, Borsodnádason átfolyó Hódos-patakon jutott el területünkre, amíg a Borsodnádasi Lemezhengermű működött. Ma már ez a tevékenység teljesen megszűnt, így számottevő szennyezés Ny-i irányból nem jut el hozzánk a felszíni

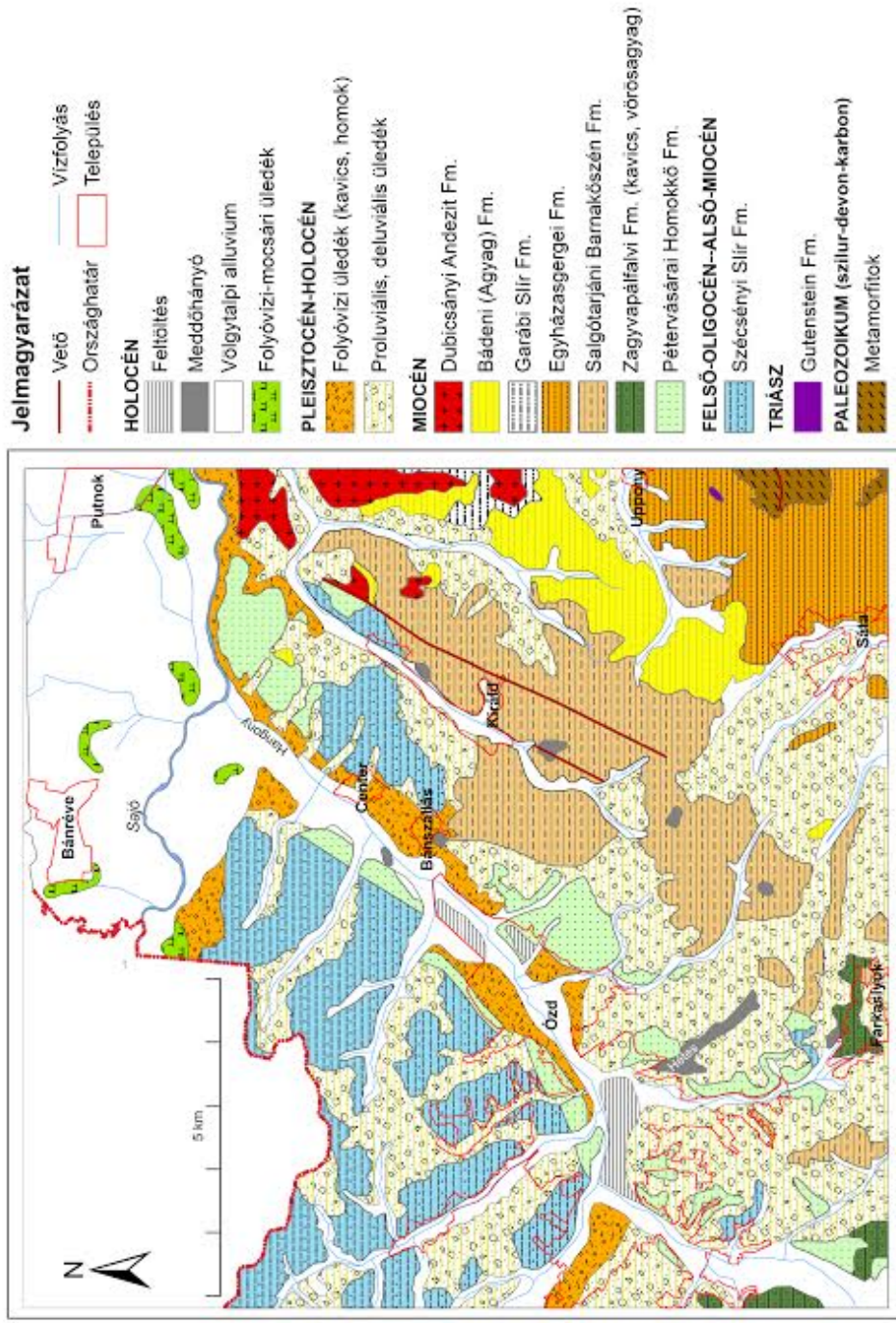
vizekkel. Az allúviumban kirakódott lemezgyári szennyeződések és az egyéb emberi beavatkozások, például a salakkal történő ártéri feltöltések időszaki kimosódásai hozhatnak még területünkre ipari eredetű szennyeződések régebbi kiülepedésekből. Bizonyos, hogy ezek kezdetben valós problémát jelentettek, bár róluk megbízható mérés, felmérés nem készült. Hatásuk időben fokozatosan csökkenő lehet, s kérdés, hogy napjainkban kimutathatók-e még ilyen kedvezőtlen minőségváltozások, például árvizek idején.

Területünk térszínileg legmélyebb része a Hangony patak Sajóba ömlő torkolatának környéke (tszf.:~ 142m). A legnagyobb topográfiai kiemelkedések az Ózdtól É-ra eső dombok, a Borbás-hegy (tszf.:~ 297m), valamint a Kakas-hegy (tszf.:~ 245m). Ezek alapján a maximális térszíni különbség kb. 130m, ami szintén jelzi, hogy egy tipikus dombsági területről van szó. A terület természetes anyag- és szennyezéslehordási csatornája a KÉK-felé folyó Hangony patak völgytalpi allúviumában vándorló patakmeder.

Relatív kis tagoltsága ellenére a terület legalább 1/3-a meredek lejtésű, ami felületi lemosódás szempontjából fontos. Az ilyen felszínen gyors a csapadékvíz lefolyása, fokozottabb az areális és lineáris erózió és gyors lehet egy adott szennyeződésnek a vízzel történő felszíni tovább terjedése (műtrágyák, állati mérgek), emberi mulasztásból, vagy balesetből származó szennyezése. A felsoroltakon kívül számos hazai tanulmány (pl. FODORNÉ – KLEB 1986) alapján a legtöbb lejtős tömegmozgás, talajkúszás stb. az ilyen kevésbé konszolidált üledékes formációkból felépülő, fiatal dombsági területen történik. Ezért erre a körülményre figyelemmel kell lenni a közlekedési utak és más vonalas létesítmények nyomvonalának kijelölésénél.



3/1. ábra Ózd környékének terepszintvonalas topográfiai térképe egyszerűsített, 50m-enkénti szintvonalakkal, a települések, vízfolyások és néhány magaspon teltüntetésével.



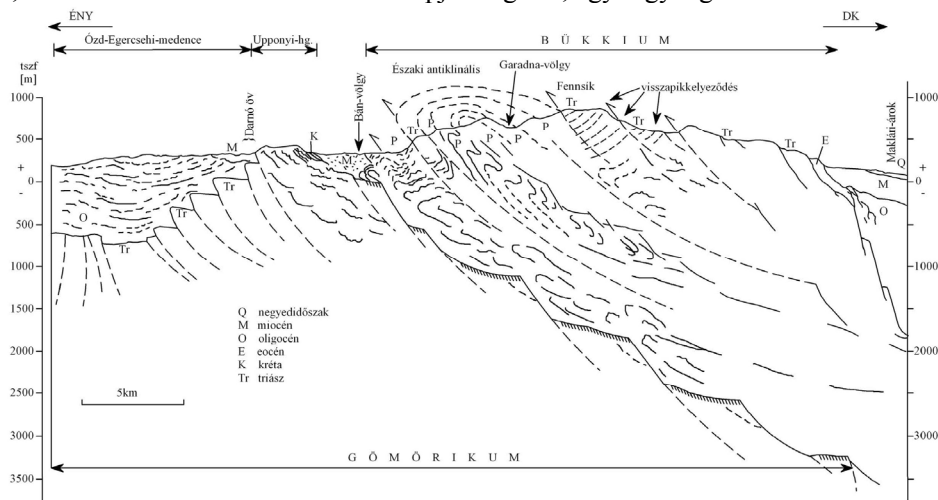
3/2. ábra Ózd környékének földtani térképe a meddőhányók és feltöltött területek feltüntetésével, a MAFI 1:100000-es, érvényes litosztrattigráfiai térképe (Gyalog 2005) alapján összevonásokkal.

### 3.2 Ózd térségének földtana

Ózd közvetlen környezetére és a Hangony-völgy alsó szakaszára vonatkozóan ilyen egységes szemléletű földtani összefoglaló nem készült, e fejezet összeállításánál részben a térségre vonatkozó szakirodalmi források egyes részleteit és a tanszéki Tardona kutatócsoportunk csak részben publikált, új kutatási eredményeit használtuk fel. Ennek itt – terjedelmi okok miatt – egy rövid vázlata kerül csupán bemutatásra, saját újabb elemzésekkel kiegészítve. A terület földtani térképét a legújabb, 1:100000-es méretarányú, litosztratigráfiai alapú újraértelmezést tartalmazó országos térképsorozat vonatkozó lapjának felhasználásával szerkesztettük, célszerű összevonásokkal (3/2. ábra).

#### 3.2.1. Szerkezeti helyzet, általános jellemzők

Területünk az ún. Pelsői mikrolemezen, mint szerkezeti egységen belül, a Darnó öv mentén található, a Gömörikum és Bükkium határán (KOZÁK et al. 2001), de aljzata alapján az előbbihez soroljuk (3/3. ábra). E dombsági táj az ún. Nyugat-borsodi szénmedence része, amely Bátortól Putnokig húzódik. Ennek köszönhetően szerkezetének fő eleme egy haránttöréssel szabdaltnak, ÉK-DNy-i csapású tektonikus árok, sabsércekkel kísérvé. Geofizikai és tektonikai vizsgálatok alapján területünkön a kéreg vastagsága ~27-28 km (SZABÓ & PÁNCICS 1999a, b). A harmad- és negyedidőszak kéregszerkezeti mozgásai az É-ias, ÉNy-ias irányú fel- és rátolódások körzetünkben erőteljesek voltak (POSGAY et al. 1996, KOZÁK et al. 2001, 2011). A Bükkium és a Dél-Gömörikum területén a legújabb regionális mikrotektonikai vizsgálatok (MCINTOSH 2014) tisztázták, hogy a térség fejlődésében az Alp-kárpáti hegységrendszer kialakulása során itt 3 fő kompressziós erőhatás ( $P_I$ ,  $P_{II}$ ,  $P_{III}$ ) volt meghatározó. A késő jurától bezáródó Tethys geoszinklinális peremi területein – így például a Bükk térségében – egy erőteljes térrövidítő hatás lépett fel, melynek vergencia iránya K-i, illetve KÉK-i, majd fokozatos szögelfordulással ÉK-i volt, és működése sokszor ismétlődve napjainkig tart, egyre gyengülő módon.



3/3. ábra Szerkezetföldtani metszet a Bükkium és Gömörikum átlapolódási zónájában, mélyfúrások és geofizikai szelvények felhasználásával (KOZÁK et al. 2001 nyomán módosítva).

Némi időbeli eltolódással követte ezt a bezáródást kísérő másik fő kompressziós erő a  $P_{II}$ , amely a Déli-Kárpátok és a Moesia tábla irányából, DK- felől hatott. E két erőhatás

több alkalommal váltakozva kísérte egymást, átvéve, más funkcióval megújítva és helyenként felülbélelve egymás elemeit. A kainozoikum során – főként a neogénben – a két erő együttesen működött több ízben, és eredőjük a P<sub>III</sub> ÉÉK-i, majd északias vektorirányban működve fejtette ki hatását. A miocén kezdetétől ezek az erők segítették elő a Bükknek az ÉÉNy-i irányú mozgását, takaróvá alakulását, a Gömörikum déli szegélyére való rátolódás közben. Ezek során a P<sub>II</sub> erő növekedése és dominanciája miatt a feltolódó bükki köztömeg ÉNy-ias rotációval mozgott előre, miközben a Nyugat-borsodi medencénél kéregtagolódást okozva, annak kitéréselt pereménél megrekedt, annak kitöltését részben maga alá kényszerítve megtorlódott és visszapikkelyeződött. Az így rotálva fejlődő, ívelt bükki tömeget radiálisan kifutó töréses völgyek tagolják (KOZÁK et al. 2002b, KOZÁK – PÜSPÖKI 2002).

Az elmúlt évszázadban végzett 3 szabatos szintezés arra utal, hogy a Pannon medence ma egyik legintenzívebben emelkedő és deformálódó része a Cserehát környezete (MISKOLCZI 1972). Nehézipari körzetben ezek fontos ismeretek, hiszen rengésbiztonságilag veszélyt, a földhő kiaknázás szempontjából viszont előnyt jelentenek, segíthetik a veszélymegelőzést, növelhetik az energiahatékonyt, csökkentve a lehetséges környezeti ártalmakat.

### 3.2.2. Paleomezozóos medencealjzat összetétele és lefutása

A kristályos alaphegység anyaga az alsó-triász Bódvaszilasi Homokkő Fm. homokkőve, amit Serényfalvánál az SV-2 sz. fúrás 762m tengerszint alatti mélységben tárt fel. Erre települ a területünket meghatározó harmadidőszaki agyagos –homokos üledéksor, ami a felszínen is megjelenik. A homokkő aljzat felszíne DNY felé mélyülő tektonikus árkot képez és a Hangony völgyben, vizsgálati mintaterületünk alatt már 1500m mélységben található. Center – Sajóvárkony térségétől Borsodnádásd felé haladva, ~20km-nyire ez az alaphegység 500m-rel tovább mélyül. Az aljzatfelszín lefutását kiserkesztve az OAM Kft vizsgált telephelye a 160m-es tszf-i magasságával 1660m-re van a medence aljzat alaphegységi felszíne fölött. Ennek ismerete hasznos a vízkutató fúrások létesítésénél és az aljzatba hatoló földhőkivételnél (pl. GEOHILL technológia, lásd KOZÁK et al. 2011).

A susai fúrásból megismert aljzat képződményei paleozóos kováshomokkő és kovásodott agyagpala, metabazalt kíséretében (FÜLÖP 1994), amit a Rimaszombat környéki fúrásokból jól ismert agyagpala-homokkőves összetételű Betléri Agyagpala Fm-hoz soroltak. Hasonló fáciesű képződmények (Rágyincsvölgyi Fm, Tapolcsányi Fm) a szerkezeti árok DK-i pereménél közvetlenül is megfigyelhetők a Darnó vonal mentén feltolódott Upponyi-szigethegység ordoviciumi és szilúr-devonbeli, nagyrészt karbonátmentes képződményei formájában (BALOGH 1964, PELIKÁN 2005).

Míg az upponyi területen az alaphegység a tengerszinthez képest mintegy 300 m-nyire magasodik ki, addig a Hangony völgyi szerkezeti ároknál 1660m-ig süllyed a felszín alá, azaz 10km-en belül igen számottevő, közel 2000m a felsőkéreg szerkezeti tagolódásának mértéke.

A gömöri típusú mezozóos rétegsor nagy részének lepusztulása a Gömörikum déli részén főként a kréta szerkezeti kompresszió okozta kiemelkedések következményei. Maradványai a Nekézsenyi Kongolmerátum Fm. anyagába áthalmazva részben még visszanyomozhatók (PÜSPÖKI et al. 1995, KOZÁK et al. 2002b, 2014). Kisebb triász rögök az Upponyi-hg. Ny-i szegélye mentén még felszínre is bukkannak (3/2. *ábra*), jura képződmények maradványait (pl. radiolarit, tűzkő, tűzköves mészkő) pedig a Nekézsenyi Konglomerátum Fm. anyagában találtuk meg.

### 3.2.3. A paleogén üledékek

Területünk a paleogén közepéig erózióknak kitett, kiemelkedett térszín lehetett. Az oligocén során az alpi hegységképző mozgások hatására fokozatosan megsüllyedt, a Paratethys egyik ágaként víz alá került. Felszínére kezdetben litoriprofundális jellegű, finom pélyites üledékek rakódtak ki. Ennek első képviselője – területünkön kívül – a Kiscelli Agyag Fm. (CSÁSZÁR 1997), ami átlagosan 20-50 m vastagságban közvetlenül települ a paleo-mezozóos aljzatra.

Az oligocén végén, miocén elején, a folytatódó medencesüllyedésnek köszönhetően, folytatódik az üledékek akkumulációja, melynek eredménye területünk egyik legmeghatározóbb képződménye a Szécsényi Slír Fm. agyagmárgája (BÁLDI – SZTANÓ 2000), amely 400-600m vastagságban tölti ki a térszint, de területünkön szerkezeti deformációk miatt ennél nagyobb vastagságban található. A Szécsényi Slír helyenként felszínalkotó agyagos rétegeit a serényfalvi téglagyár agyaggödrében mintáztuk meg (3/4., 3/5., 3/6. **ábrák**) és vizsgáltuk be (SÁRI et al. 2014., KOLESZAR et al. 2015b).

A Szécsényi Slír Fm-ra részben rátelepül, részben vele összefogazódik a nála kissé durvább szemcseméretű Pétervásárai Homokkő Fm. (3/7. **ábra**). Utóbbit inkább az alsó-miocén eggenburgi emeletbe sorolják, bár képződése már a felső-oligocén egri emeletben megkezdődött (BÁLDI 1983, CSÁSZÁR 1997). Ez képezi a borsodi barnaköszén telepes összlet fekjét. A vizsgálati területünk túlnyomó részének ez a fő felszínalkotó képződménye (3/2. **ábra**).

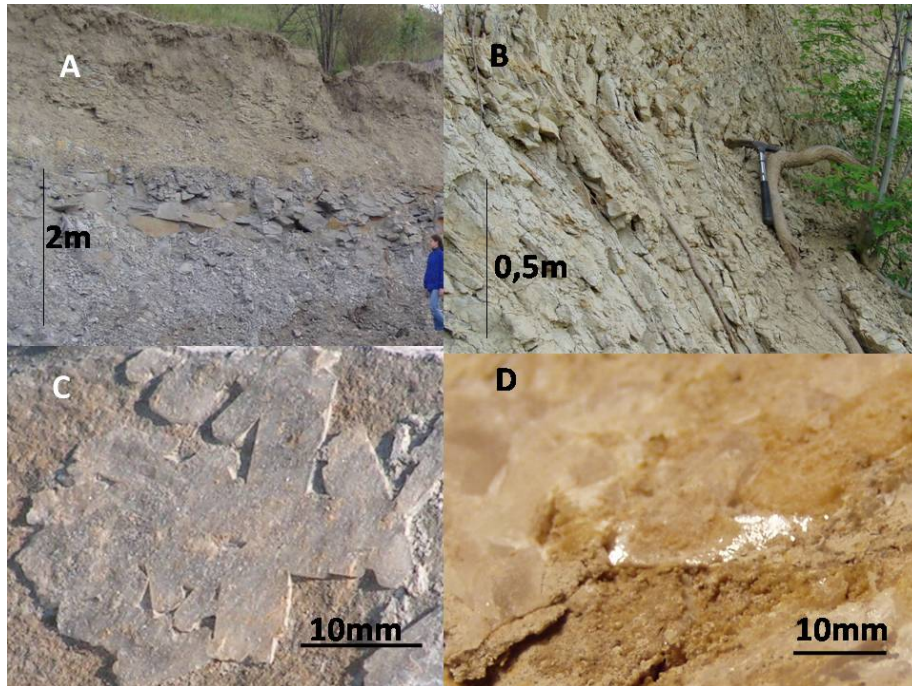
### 3.2.4. A neogén széntelepes és vulkanitos miocén képződményei

A Szécsényi Slír Fm. és a Pétervásárai Homokkő Fm. pontos rétegtani elkülönítése részben még megoldatlan. Valószínű, hogy anyaguk nagyrészt a mai Szlovák-Érchegység és Vepor hegység denudációjának kihordódott üledékeiből származik.

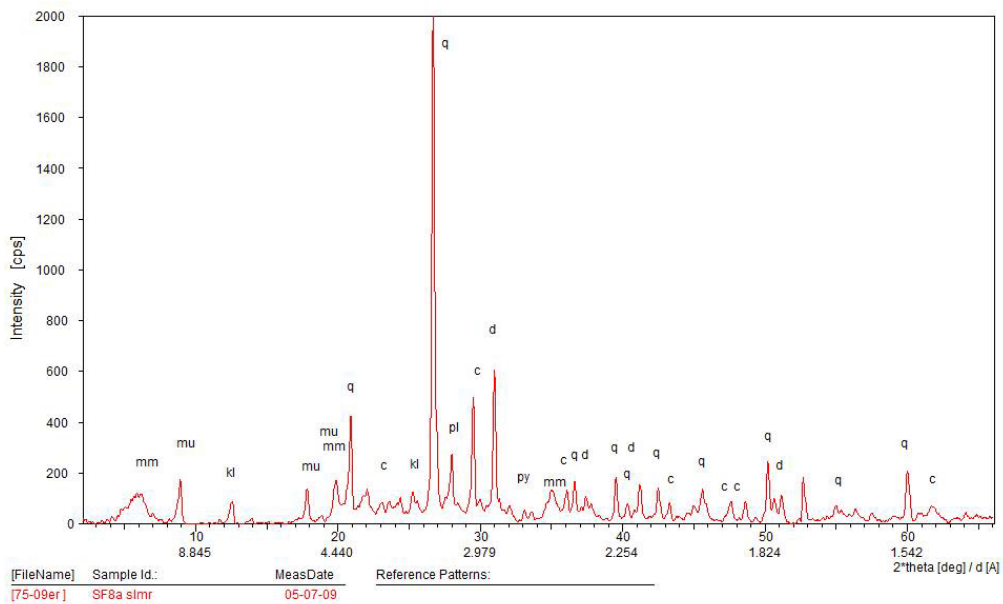
A Pétervásárai Fm. sekélytengeri litorális, szublitorális fáciesű, anyaga finom- és középszemű litifikálódott homokkő, meszes homokkő lencsékkel, amelyek magja már homokos mészkőnek minősül. Ezek a lencsék („cipók”) az erózióknak ellenállnak, ezért kipreparálódnak a homokkő feltárások falsíkjából (3/7. **ábra**). Ennek köszönhetően ezek a kőzetek és a meszes padok kiugró rétegefejei az ózd környéki táj jellegzetes elemei és tájképi értékei. A rétegek anyaga gyakran kereszttrétegzett, ami a sekélytengereknél az árapály öv üledékeire jellemző alakzat. Vizsgálatunk szerint szemcséit jelentős részben kvarc, muszkovit, kevés piroxén és földpát, valamint alárendelten magnetit alkotja. A finom agyagfrakcióban jelentősek a vulkanitok mállása és bemosódása által képződött, a szmektitek közé sorolható montmorillonit, valamint elég gyakori a klorit és a kőzettel szindiagenetikusán képződött glaukonit. Ez utóbbiról kapta a kőzet a „glaukonitos homokkő” elnevezést (SCHRÉTER 1945).

A vizsgált területünkön található feltárás a bánzállási homokbánya, melynek néhány karbonáttal cementált homokkő cipójában 4-5cm átmérőjű, nontronitra emlékeztető, zöld agyag gumó is előfordul. A másodlagos ásványok közül legjelentősebb a limonit, ami a kőzet jellegzetes sárga színét adja. Gyakran néhány cm-es összeálló, bizonyosan pirit és markazit mállásából képződött limonitos konkréciók is előfordulnak, ezek gyakran kipreparálódnak a homokkőből (3/7. **ábra**).

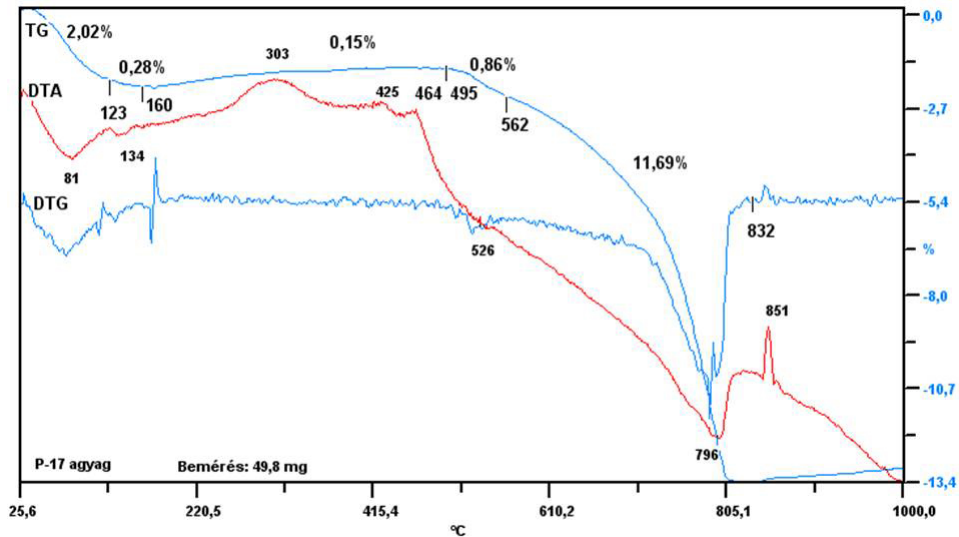
A formáció rétegei között gyakoriak a különböző vastagságú agyagbetelepülések, amelyek az agyagfilmtől akár dm-es vastagságú padig terjedhetnek. Származásuk olyan kőzetüveg törmelékben gazdag, könnyen agyagosodó piroklasztikumokhoz köthető, amelyek egykori kitörési központjai nem azonosíthatók. A vastagabb agyagrétegek a vulkanit eredetű málladékok összemosódása és kiülepedése révén keletkeztek olyan



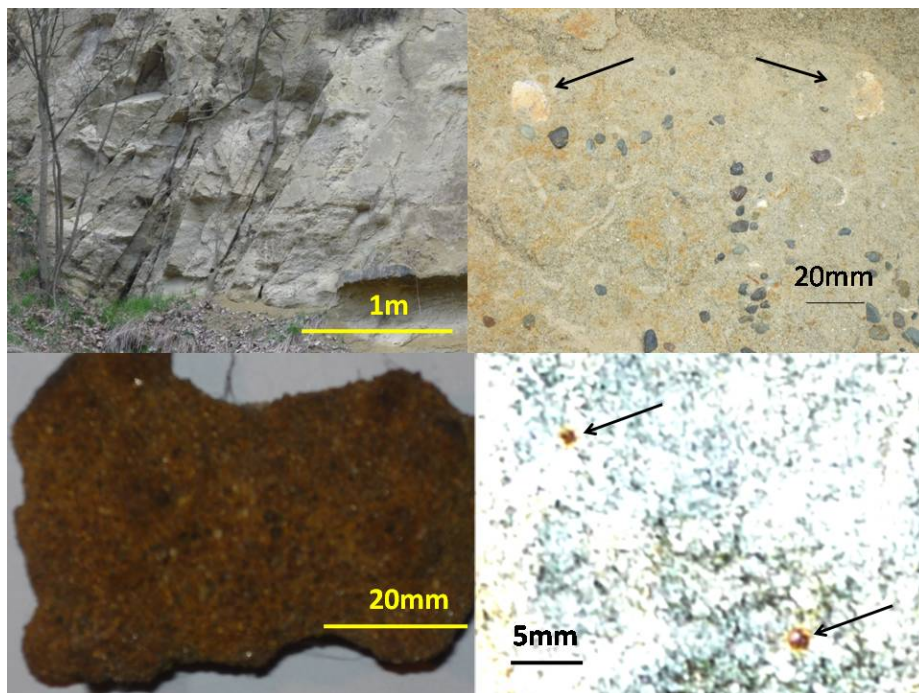
3/4. ábra Szécsényi Slír Fm. feltárásai. A/. kép: Serényfalva, téglagyár. B/. kép: gyúrt szerkezetű slír Ózd, Borbás-hegy, autóbusz forduló (A slírben található márgalencsék repedéseiben barit bevonatok található). C/. kép: Barit, Serényfalva, téglagyár. D/. kép: Barit, Ózd-Bolyok, lőtér melletti régi fejtő.



3/5. ábra XRD felvétel a Szécsényi Slír anyagából (Serényfalva, téglagyár). A felvételen szereplő betűjelek az ásványok neveinek rövidítései (mm: montmorillonit; pl: plagioklász; mu: muszkovit; c: kalcit; d: dolomit; kl: klorit; py: pirit; q: kvarc).



3/6. ábra Termikus felvétel a Szécsényi Slír anyagából (Serényfalva, téglagyár).



3/7. ábra Pétervásárai Homokkő Fm. homokkő mintái Ózd DK-i és K-i határából. A/. kép: a Farkaslyukra vivő úton, az Ózd táblánál lévő feltárás. A benne látható gyűrődések és törések a 3.2.1 fejezetben leírt kompressziós tektonika bizonyítékai ( $P_{II}$  erő dominanciájával). B/. kép: bányászati homokbánya kőzete, vegyes szemcsézetű durvahomokkő, szilárd karbonátos cementációval (a nyilakkal jelzett kagylóhéjak mutatják a mészvázias fossziliákban való gazdagságot). C/. kép: durvaszemű homokkő erős limonitos átítatással, amelynek anyaga a pirit és markazit tartalom bomlásából származik. D/. kép: középszemű, karbonáttal cementált homokkő. Benne klorit, valamint limonittá alakult mm-es pirit utáni pseudomorfózák (nyilakkal jelezve) találhatóak.

szárazabb periódusokban, amikor a szárazföldi üledékszállítás mértéke lecsökkent, s a szállított hordalék nagyrészt kőzetliszt vagy annál finomabb, főként kolloid méretű volt. Termikus elemzésünk alapján a tufogén agyagtartalom túlnyomórészt montmorillonit, amelynek jobban és rosszabbul kristályosodott képviselői egyaránt jelen vannak **(3/8. ábra)**.

A Szécsényi és a Pétervásárai Formációk képződésére egyaránt jellemző az előrehaladott diagenizálódás. A tömörségüknek és cementáltságuknak, valamint a jelentős karbonát-és agyagtartalmuknak köszönhetően egyes rétegeik rossz vízvezetők, néhol teljesen vízzárók. Építésföldtani szempontból sík terepen alapozásra alkalmas, teherviselő képződmények, de lejtős térszínen tömegmozgás veszélyesek lehetnek. A későbbiekben tárgyalásra kerülő, tőlük fiatalabb fedőüledékek ettől eltérő adottságúak.

Az ismertett kora-miocén képződményekre települt az ún. „alsó riolittufa” (Gyulakeszi Riolittufa Fm.) a vizsgált területen nem bukkan felszínre, de a putnoki-királdi-centeri szénmezőknek ez képi a fekéjét (VITALIS 1934), valamint a Zagyvapálfalvai Fm. tarka- és vörösayagja, kavicsa, melynek apró, erodált roncsai térképünk DNY-i szegélyén mutathatók ki felszínen. Erre települ az ózd vidéki ipar létalapját képező, ma már itt nagyobb részben leművelt ottngi-kárpáti korú Salgótarjáni Barnaköszén Fm. három telepből álló köszén vagyona, ami Center-Bánszállás térségében átnyúlik a Hangony-patak völgyébe is **(3/9. ábra)**. Csaknem mindegyikre jellemző, hogy a feké kőzetük agyag, vagy agyagosodott tufa, amely erősen duzzadékonny, nagy a montmorillonit tartalma. A fedő kőzetük homok-tufit-riolittufa összetételű. A telepközi homokrétegek nagyon jó vízvezetők és víztározók, így potenciálisan szennyezésérzékenyek, egyes részeken vízbeszerzésre alkalmasak, másutt mollusca eredetű karbonát-, valamint gipsz tartalmúak, helyenként változóan agyagosak (VICZIÁN et al. 1997).

Az ipari szintű széntermelés térségünkben mintegy 100 éven át tartott (CSIFFÁRY 1987, BENKE – REMÉNYI 1996, HÁMOR 1997) mélyműveléssel és intenzív víztelenítéssel. Minden bizonnyal ez a hosszú időn át zajló szivattyúzás és a visszahagyott fejtések beomlása, majd bányavízzel való feltöltődése némileg módosította a képződmények hidrogeológiai viszonyait. Arról nincs adatunk, hogy a bánya működése és rekultivációja során milyen szennyezés maradt vissza a bányában (pl. olaj). A felszínen két meddőhányó került kialakításra, amelyek mára maguktól visszatájosodtak, beerdősültek. Gyakorlatilag ma már csak a gyakorlott szem fedezheti fel, hogy meddőhányót lát és nem eredeti, erdő borította hegyet. Erre az iparilag érintett környezetre bizonyos, hogy a visszarendezés ellenére a bányászat sokkal erőteljesebb befolyásoló hatással volt, mint a kohászatból származó, légi úton idekerült, csekély nehézfém-tartalmú hullópor. Bár a Borsodi-medencében a szénbányászat számos horpát és építménykárosodást idézett elő (lásd pl. SÜTŐ 2013), Ózd belterületét ilyen jelenség nem érintette.

A Borsodi medencék területén visszamaradt, természetes módon kiégett szénmeddők hányóinak anyagában megjelenő ásványokat több feltárásban is megvizsgáltuk makroszkópi, mikroszkópi és elektronmikroszkópi módszerekkel (pl. SÜTŐ et al. 2007). Egyes ózdi mintáink vizsgálata még folyamatban van **(3/10. ábra)**. Eddig a szénsalakok preparátumain 15-nél több másodlagos ásványt sikerült meghatároznunk. Ezek nagy része karbonát és szulfát, amelyek a kiégéskor egyes göcökben kialakult hidrotermás mikrokörnyezeti körülmények közepette jöttek létre. Néhány ponton azonban a kiégési hőmérséklet egyes szilikátok olvadáspontját is elérhette. A meddőre kerülő kovásodott széndarabok és szenes agyagok bakteriopirit is markazit kiválásai, illetve a meddő gipsz zsinórjai bőségesen szolgáltattak kiindulási anyagot a kiégéskor felszabaduló kéntartalmú

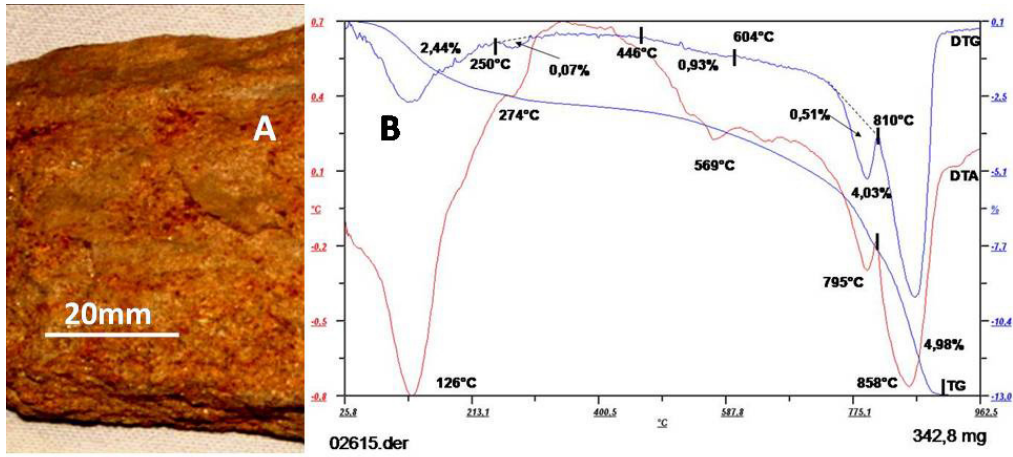
gőzökhöz, gázokhoz. Ilyen természetes vízhatására beinduló bomlási folyamatok – szaghatás alapján- még az egykori gyári széndepóniák anyagánál is érzékelhetők voltak. Öngyulladt meddőhányókon ez az ásványeggyüttes felbomlott és nagyrészt újrakristályosodott, többnyire, mint hidrotermalit.

A szenes összletet a felszínen közvetlenül a kárpáti emeletbe sorolható Egyházasgergei Formáció (kárpáti homokkő) vagy régebbi nevén „Clamysos homokkő”-nek nevezett képződmény fedi (3/11. ábra). Ennek anyaga karbonátos kötésű, finomszemű homokkő, homok és agyag betelepülésekkel. A képződmény jellemző fossziliái a chlamicidaeae családba sorolható kagylók, valamint szkafofodák. Ez az összlet helyenként jó vízvezető és víztározó képességű, szennyezésre érzékeny. Mivel felszíni kibukkanásait területünkön általában pleisztocén vörösagyag fedi, ezért nem kell számolnunk nagyobb szennyezés veszéllyel.

A középső miocén bádai emeletében tovább tartott a tengerelöntés, de a vulkanizmus ismét aktivizálódott, melynek során nagy mennyiségű tufa, tufit rakódott le és ezek gyakran a halmiolízisnek köszönhetően agyagosodtak. Ez különösen igaz a tengeri üledékgyűjtőkbe bemosott tufagyagok esetében. Ennek az időszaknak jellemző képződménye az agyag és agyagmárga (Bádai Agyag Fm.), valamint sekélyvízi környezetben a Lajta mészkő, melyek a területünkről már lepusztultak, de a Bükkháton erodáltan még kiterjedt foltokban jelen vannak. Az ózdi területen mindezek a képződmények, a teljes miocén rétegsor jelen volt és közeli feltárásaik jól vizsgálhatók ma is (KOZÁK et al. 1998, PÜSPÖKI 1998, 2002, CSATÓ et al. 1998). Jelenleg a földtani térképlapunk K-i szegélyén ismert a Bádai Agyag Fm.-nak nagyobb, összefüggő foltja. Legszebb feltárásai Borsodbóta és Uppony határában találhatóak. Anyaguk tufogén agyag, agyagmárga és márga, kevés mészszip, többnyire változó kőzetliszt és finomhomok tartalommal, gazdag foraminifera és egyéb mészvázás faunaelemmel. Szemcseösszetétel alapján a bótai útbevágásban tájékozódás céljából gyűjtött, vizsgált mintánk mésztartalmú homokos-agyagos aleurit, egykori nyíltabbvízi, sekélytengeri fácieskörnyezetből. Termikus felvétele ~30%-nyi montmorillonit, illit-montmorillonit és illit tartalmat mutat, karbonátja közelíti a ~25%-ot, iszapolással és bromoformmal leválasztott 0,1-0,2mm-es frakciójának jellemző ásványai a gránát, a karbonát és a klorit, de kimutathatóan jelen van kevés magnetit, disztén, epidot, zoizit, turmalin és nyomokban bontott biotit is. Biogén alkotói között legjellemzőbbek a mészvázás plankton foraminiferák. Ezek az eredmények jó egyezést mutatnak más, korábbi tanszéki vizsgálatokkal (PÜSPÖKI 1998, 2002)

A szarmata idején folyamatos volt az üledékek felhalmozódása, amelynek során különféle sekélytengeri és folyóvízi homokok, homokkövek rakódnak le, tufa, tufit és főként tufogén agyag közbetelepülésekkel.

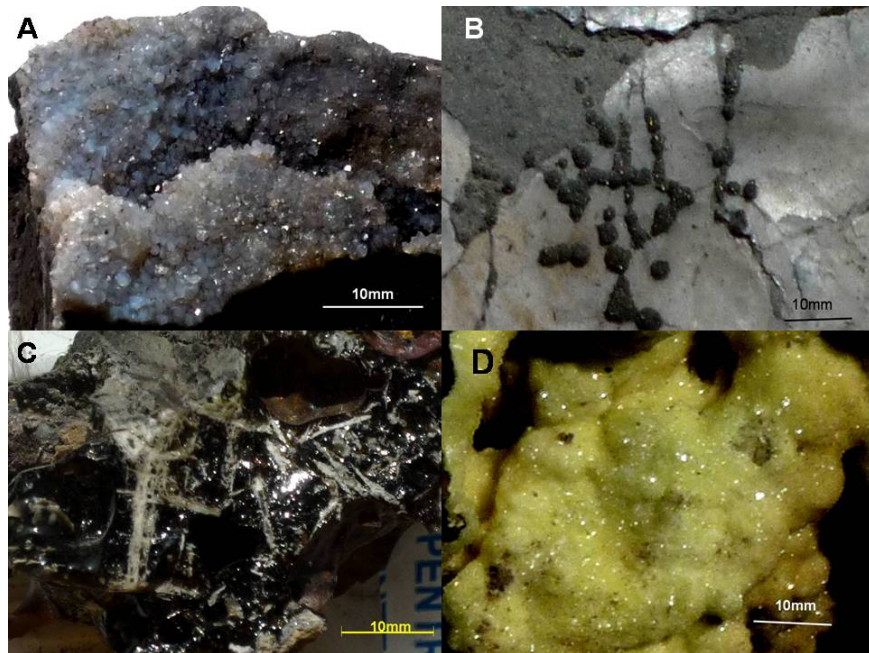
A vulkáni tevékenység a belső kárpáti területen a szarmata idején érte el tetőpontját (paroxizmusát), melynek legnagyobb intenzitása és anyagszolgáltatása a Mátra, Tokaji-hegység Szinyák, Gutin által közrezárt területen volt, nyírségi centrummal (SZÉKYNÉ & KOZÁK 1984, SZÉKY-FUX et al. 2007). Az ekkor létrejött, 50-80%-ban vulkáni termékekből álló összlet a fedett medenceterületeken elérte 2500-3000m-es vastagságot, vulkáni hegységeinkben az 1500-2500m-t, míg a köztes dombsági területeken, így a Tardonai-és Borsodi- dombságban is feltehetően a 300-1000m-t. Jelentős részük azonban erodálódott, így roncsaiból rekonstruálható az egykori elterjedés, felépítés és karakter, amely Miskolc, Putnok és Ózd közötti térségben nagyon hasonló kifejlődésű volt (PÜSPÖKI 2002, CSÁMER 2007). A Sajó mentén a szarmata összlet túlnyomó részét a Sajóvölgyi Fm.-ba sorolták, míg az andezites vulkánosság termékeit a Dubicsányi Andezit Fm. foglalja magába. Területünkön bizonyos, hogy nagy tömegben jelen voltak, de



3/8. ábra Pétervásárai Homokkő Fm farkaslyuki feltárás. A/. kép: homok és agyag vékony rétegek váltakozása. B/. kép: az agyagrétegből vett minta összetétele a termikus felvétel alapján: 16% montmorillonit, 2% dolomit, 6% kalcit, 0,5% limonit. (Az agyagos réteg összetétele hasonló a Széchenyi Slír anyagához.)



3/9. ábra Salgótarjáni Barnakőszén Fm. I. telepének kibukkanása Farkaslyuknál. Kovásodott szénréteg agyag és homokkő határán. A fehér bevonat a meszes homokkőből kioldott mészsanyag kicsapódása a litoklázisok mentén.



3/10. ábra Ózdi szenes környezetek ásványkiválásai. A/. kép: telep aljából származó barnakőszéneen kalcedon kéreg és rajta trigonális trapezoédes kvarckristályok. B/. kép: szénmeddő ostrea héján bakterio- markazit- és pirit kiválások. C/. kép: meddőhányón ~1100°C-on kiégett kovás szén kovával átítatott vázmaradványa. D/. kép: kiégett szenes meddőhányó anyagán megjelenő fenn-nőtt exhalatív termékén.



3/11. ábra Puhatestűekben gazdag laza homokkő feltárása Csernelynél (Egyházasgergei Fm.).

túlnyomórészt lepusztultak és csupán a K-i szegélyen maradtak meg erodált roncsaik (3/2. *ábra*). A helyi andezites működéssel egyidejűleg körzetünktől 10-70km-es távolságban, elsősorban a Bükk D-i, DNy-i előterében, valamint a Szerencsi-dombságban és a Tokaji-hegység Ny-i, DNy-i részén működő centrumokból heves riolittufa szórások érték el területünket számos hullámban.

Ózd tágabb környezetében, főként tőle ÉK-felé andezites centrumok működtek, melyeknek kisebb megszakításokkal a késő-bádenitől a szarmatán át a kora pannóniaiába nyúlóan tartott az aktivitása. Jellemzője, hogy igen sok kis helyi csatornából táplálkozott és helyileg rendszerint csekély anyagszolgáltatást nyújtott, azonban gyakran heves robbanások formájában, freatomagmatikus kitörésekben nyilvánult meg. Ennek oka a bádeni és szarmata tufogén agyagok lefojtó szerepe lehetett. Ehhez járult az agyagok között települő homokok bő porusvíztartalmának gőznyomást fokozó hatása.

A legtöbb felnyomulás andezites magma anyaga a hűtő hatások miatt „befagyott” a vékony andezites kürtőkbe, illetve kis tömegű, felfelé szélesedő kürtőbreccsa, blokkláva és lávabreccsa testeket hozott létre a felszínen, vagy ennek közvetlen közelében, amelyeket a szarmata közepén létrejött andezittufa takaróval együtt a Dubicsányi Andezit Formációba sorolunk. E testek kiterjedése ritkán haladja meg az 5-15m-t, de egyes környezetekben (pl. Özvény-völgy) 2 hektárnyi területen 30-nál több felnyomulást azonosítottunk (CSÁMER & KOZÁK 2009). E mellett a gyors hűlésre kényszerülő nedves magmák gyakran peperitesedtek és hialoklasztizálódtak a víz-magma kölcsönhatások, illetve a negatív termosok miatt.

A hullott és áthalmozódó savanyú tufák 0,1-2,0m vastag elagyagosodott betelepüléseket képeztek, amelyek montmorillonit tartalma vizsgálataink szerint 10-20%-tól 70-80%-ig terjedhet, a képződés és felhalmozódás körülményeitől függően. A különböző területrészekben a bentonitosodás olyan mértékű volt, hogy ipari jelentőségű telepeket hozott létre (KOZÁK & PÜSPÖKI 2003, KOZÁK et al. 2013, PÜSPÖKI 1998, PÜSPÖKI et al. 2005, 2008).

Az elagyagosodott bádeni, szarmata és alsó-pannóniai vulkáni tufák és hialoklasztok környezetföldtani jelentősége kettős. Egyrészt vízzáróvá tették az őket beágyazó rétegsorokat, izolálva egymástól a mélyebb szinti és a felszínközeli rétegek víztartalmát, meggátolva ezzel a szennyeződések mélybe jutásának lehetőségét. Másrészt mivel ezek a tagolt domborzat felszínalkotó képződményei, így eróziójuk során anyaguk a fiatal fedő üledékekbe is áthalmozódott és azokat teljesen, vagy részlegesen vízzáróvá tette. Belőlük képződtek a térség pleisztocén vörösagyagjai, köztük azok is, amelyek Ózd körül foltokban találhatóak (KOZÁK et al. 2002a, VINCZE et al. 2005).

A szarmata során az andezites működés termékei abrúziósan szétmosódva és üledékekkel keveredve sekélytengeri tufitok, agyagos tufitos homokok, szürke, piroxénben gazdag andezithomokok formájában részeivé váltak a rétegsoroknak Miskolctól Putnokig. Közéjük idősebb üledékekből áthalmozott, érettebb, koptatott szemcsékben, például gránátokban gazdagabb, piroxénben szegény sárga homokrétegek települnek, míg vizsgálataink szerint a szürke andezithomokok 20%-körüli nehézasvány tartalmának közel 90%-a hipersztén. Egyveretőségüket számos vizsgálat igazolta (CSATHÓ et al. 1998, KOZÁK et al. 1998, 2014). Az üledékképződés hasonló módon folytatódott az alsó pannóniai időszak elején, majd a jelen időkig rányomta bélyegét a Sajó vízgyűjtőjének lejtőüledékeire, folyóvízi hordalékaira, belső és hegységelőtéri hordalékkúpjainak összetételére. Mivel ez a szarmata rétegsor kisebb eróziós roncsokként a Bükk északi előterében többfelé megtalálható, köztes helyzete alapján bizonyosra vehető, hogy a Hangony-völgyben és környezetében is jelen volt, s talán a legnagyobb mértékű

lepusztulást éppen itt szenvedte el. Itt tehát valószínűleg egy tektonikai/geomorfológiai inverzióról van szó, amely a völgy területét korábban kiemelte, majd szerkezeti és morfológiai árokká formálta.

E tufa egzotikus zárványai olyan paleo-mezozóos aljzatról származnak, amely bizonyíthatóan gömöri jellegű (MIRICZ 2013). Ez is bizonyítja, hogy a Gömörikum területünk felszíne alatt áthúzódva a Bükk és Bükkhát mélyebb aljzatát képezve feltehetően egészen Miskolc és a Maklári árok környezetéig tart (KOZÁK et al. 2001, 2013, MCINTOSH 2014).

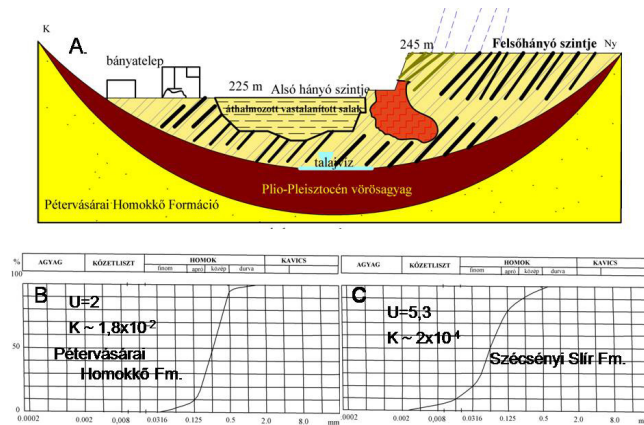
### 3.2.5. Negyedidőszaki események és képződmények

A szarmata végén, a pannon elejétől kezd kiemelkedni a terület és már jellemzően folyóvízi homokos, kavicsos üledék borítja a térszint, amit Sajó-völgyi Kavics Fm-nak nevezünk (PELIKÁN 2005). A Hangony völgyében ez a képződmény is hiányzik, jelezve, hogy a Bükk É-i frontjának előrenyomulása és a paleozóos küszöb ismétlődő kiemelkedése és északi lábazatára való, mélyfúrásokkal igazolt rátolódása (3/3. *ábra*) igen erőteljes térszínmozgásokat, tagolódást és felszíni eróziót indított el.

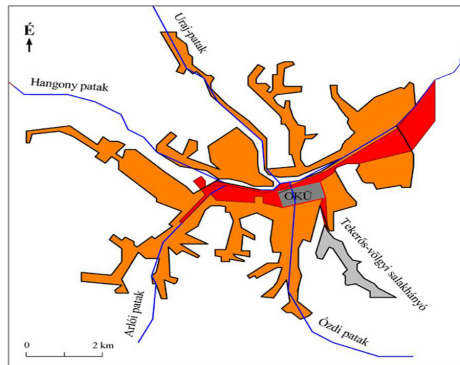
A fiatal szerkezeti mozgásokat a Bükk helyfoglalása és ezt követően még sokáig aktív feszültség feloldódások és az izosztikus egyensúly átmeneti hiányai okozták. A dombosági 200-400m-es térszínemelkedések magyarázatul szolgálnak arra, hogy Ózd környékén miért olyan erőteljes a miocén lepusztulása és sajátos a völgyfejlődés, miközben a térség széntelepeiben helyenként csaknem a művelhetetlenségig hatott a vetődéses tektonika (lásd pl. Királd).

A mai felszínformák kialakulására a pleisztocén eseményei lehettek a legnagyobb hatással. Feltehetőleg ennek kezdetén a terület még enyhébben tagolt térszín volt, s a legdrasztikusabb üledékáthalmazások és eróziós bevágódások a jégkorszak során következtek be. A hatalmas tömegben összegyűlt, fellazult közettörmeléket az intenzifikálódó erózió és a folyóvíz hatalmas mennyiségben szállította el, s használta a hegységperemi hordalékkúpok kialakítására, az alföldi depressziók feltöltésére. Nagy tömegben képződtek proluviális és deluviális üledékek, amelyek viszonylag nagy kiterjedésben találhatók (3/2. *ábra*), de viszonylag nagytömegű a völgyperemeken visszamaradt, nagyrészt pleisztocén kavicsos homokos folyóvízi üledék, melytől nehezen különíthető el a völgytalpakot kitöltő alluviális lerakódás. A levágott mederkanyarulatok helyén állandó és időszakos vízborítású helyek maradtak vissza, ami kedvezett mocsári üledékek lerakódásának.

A hazai pleisztocén két legjellemzőbb, általánosan elterjedt képződménye hegy- és dombvidéki területeinken a vörösagyag és a lösz (3/12. *ábra*). Ezek a fiatal fedőüledékek főleg a település körüli dombháton, völgyperemeken és helyenként a völgytalpakon található meg legépebben. Előbbi az interglaciális nedves és meleg klíma körülményei között kialakult mállástermék, amely rendszerint korábbi agyagtartalmú üledékek, főleg tufogén agyagok áthalmazódásából és helyi talajosodásából származik, amelyben illit és kevés kaolinit mellett főként a montmorillonit uralkodó volta a jellemző, jellegzetes színét pedig oxihidratált vasvegyületek okozzák. Származásukat tanszéki vizsgálataink regionálisan vizsgálták és igazolták (VINCZE et al. 2005). A lösz a száraz, hűvös, szeles időszakok eolikusan szállított üledéke. Ezek mindegyikét megtaláljuk az ózdi és Ózd környéki felszíneken. A kohászati létesítmények környezetében (3/13. *ábra*) ezeket az üledékeket a Hangony mentén lefedték az allúvium hordalékai, az ártéri üledékek, valamint az ugyanitt nagy felületeken szétterített feltöltések (3/14. *ábra*). A lösz általában igen jó termőképessége miatt, a vörösagyag pedig sajátos színezéke, fokozott plaszticitása



3/12. ábra Egyszerűsített elvi szelvény a Tekerős-völgyön (Hétes) keresztül, a terület jellemző képződményeivel és a felszint helyenként borító pleisztocén vörösgyaggal, illetve a völgyet kitöltő többszintes kohászati salakdepóniákkal. Az uralkodó képződmények szemeloszlását integráló szemcse összetételi görbéken mutatjuk be. Egyenlőtlenségi mutatójuk (U) viszonylag kis értékű. Szivárgási tényezőjük (k) in situ állapotban lényegesen kisebb – a tömörödöttség miatt – mint a szemcsevizsgálathoz dezaggregált üledéké.



3/13. ábra Ózd település vázlatos helyszínrajza a régi vasgyár és az új Mini Acélmű területének, valamint a közeli salakhányókak és a völgytalpi feltöltéseknek a feltüntetésével.



3/14. ábra A TESCO áruház helyén végzett előfeltárások kimutatták, hogy az allúvium felszínét vastag kohászati hulladék (samott) és szénalag réteggel töltötték fel, melyre 20-30cm-es talajborítás került. A belterületen a Hangony egyenetlen mocsaras ártere ezáltal eltűnt, a vízfolyás medrét szabályozták és burkolták.

és vízrekesztő volta miatt jellegzetes és fontos. Vizsgálataink szerint a vörösgyag goethitet tartalmaz, ami az általa alkotott talajok nehézfém-, illetve kifejezetten arzénmegkötő képességét növeli (HARTLEY & LEPP 2008). Az itteni löszök anyaga főleg az Északkeleti Kárpátok belső előtéri hordalékkúpjaiból szállítottott a Tokaj és Szerencs környéki és még nyugatabbi dombsági hátakra, lejtőkre. Esetünkben lehetséges, hogy a Pétervásári Fm-ből is halmozódtak át eolikusán a felszínen kiporló, aprószemű kőzettörmelékek.

### 3.2.6. Az OAM Kft telephelyének és környékének sekélyföldtani jellemzői

Az OAM Kft. telephelyét (3/15a. ábra) saját sekélyföldtani vizsgálatunk 5m mélységig tárta fel (3/15b. ábra), ahol 4 fő üledékréteget tudunk elkülöníteni a viszonylag nagy kiterjedésű, antropogén érintettségű területrészen. Legfelül megfigyelhető egy átlag 1m vastag, bolygatott, kohósalakkal feltöltött felszíni antropogén réteg, amely a vállalat csaknem egész területén jól azonosítható, de vastagsága kissé változhat, néhol 1.5-2.0m is lehet. Ez a réteg kiterjed Center városrész más területeire is, így a szomszédos Aicher Beton Kft telephelye is ilyen összefüggő kohósalak feltöltésű térszínre települt. E réteg felszínén 3 salakhegy magasodik lényegében ugyan ebből a vastalanított salakból, amelyek a salakfeldolgozó mű felől haladva 50, 30, majd 20m magasak. A salakkal feltöltött és elegyentett alluviális térszín feltöltésének pontos határaitól nem készítették térképet, nekünk is csak néhány helyen volt módunk sekély feltárássra. A település érdekében érdemes lenne utólag egy önálló pályázati munka keretében, térképszerűen behatárolni a feltöltés pontos kiterjedését és helyenkénti vastagságát. Ezt az is indokolná, hogy a gyárak telepítéskor mederszabályozásokra, sőt nyomvonal áthelyezésre került sor az eredendően egyenetlen alluviális térszínen, és e beavatkozások érintik az építmények alapozási mélységzónáját.

Az OAM telephely közepén az acélmű létesítményeitől 15-20m távolságra, K-re, völgy csapásával párhuzamosan, mintegy 500m hosszban a felszín vörösgyag borítja 30-50cm vastagságban. Alatta a Pétervásárai homokkő Fm. homokja található, részben áthalmazott, alluviális réteggént.

Az előző feltárástól Ny-felé, kb. 15 m-re az ún. hulladéktér É-i végénél, egy 5m-es akna nyújtott lehetőséget a felszínközeli rétegek megfigyelésére. Az előző munkagödörben leírt természetes településű vörösgyag és homokos feküréteg itt a felszín alatt ~2m mélyen kezdődik. A terep elegyentése során itt egy kb.2m vastag feltöltést hoztak létre, amin a mai üzem épületei létesültek. Az itteni feltöltés vegyes salakanyagának elemzési eredményeit a későbbiekben mutatjuk be.

A helyszínrajzon bejelöltük a helyét annak a 15m hosszú, 5m mély sekélyföldtani szelvénynek, amelynek rétegsorából a salakfeltöltés alatti természetes településű 4 réteg anyagából vizsgálati mintát gyűjtöttünk, melyekből szemcseösszetéti és termikus elemzéseket készítettünk. A szelvényt és a vizsgálati eredmények egy részét a 3/15b. ábra mutatja be.

A salak alatt húzódó vörösgyag a felszíni vizek által áthalmazott, változékony vastagságú lerakódás, amely különböző arányban keveredett a Hangony kavicsos, homokos hordalékával. A belőle származó minta egy kevésbé kevert jellegű, jellegzetesen vörösgyagos részből származik.

Az aknás feltárást alsó három rétege ártéri üledék, amelyben időszakosan mocsári környezetek alakultak ki. Ennek köszönhető viszonylag nagy szmektit tartalmuk, a hozzájuk keveredő, részben szénült növényi törmelék és a változó karbonát tartalom

jelenléte. Utóbbi anyaga gyengén kristályosodott kalcitos mészsizap, kevés protodolomittal, ami időszakos bepárlódásokra utal.

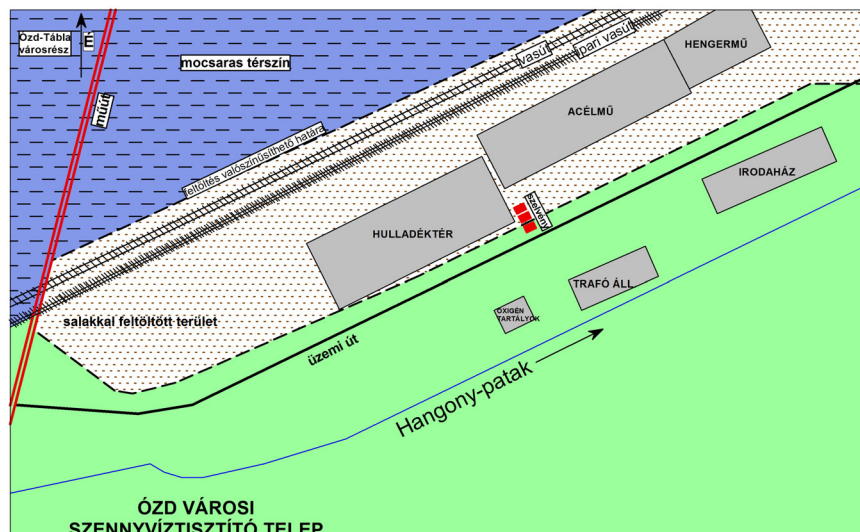
Az egyes rétegek anyagának szemeloszlás alapján történő pontos megnevezését a **3/15b. ábrán** bemutatott termikus felvételek melletti magyarázó szöveg elején tüntettük fel. A szemeloszlási görbék bemutatásától azért tekintettünk el, mivel nagyon hasonlóak és az agyagásványok összetapadása, valamint a jelenlévő, csak savazással kioldható karbonát jelenléte miatt a valóságosnál durvább szemcseösszetételt mutatnak a felvételek. Így ezek korrekcióját részben savazással, részben pedig a termikus felvételekből számítható agyagásvány tartalom segítségével tudtuk megoldani.

A minták a szabványos talajmechanikai vizsgálatok (MSZ4488-76, MSZ14045/8-69, MSZ14043/7-81, MSZ15004-87, MSZ15002/1-87, MSZ15002/1-87, MSZ15008-1989) alapján *gyengén és közepesen kötött, sovány agyagnak* minősülnek. Telítettségi víztartalmuk 52–54%, belső súrlódási szögük 22-23°, kohéziójuk 210-215KN/m<sup>2</sup>. Alapozási szempontból, analógiák alapján (pl. SZŐÖR 1978) és a területen megfigyelt kisebb épületkárok figyelembevételével nem kedvező adottságúak, bár sík területen kevésbé jelentenek veszélyt az építményekre. Ugyanilyen üledékes kőzetek a meredek lejtőoldalakon átázásra érzékenyek és csuszamlásveszélyesek. Legfontosabb tulajdonságuk, hogy szivárgási tényezőjük  $k=5 \times 10^{-7} - 5 \times 10^{-8}$  m/s, azaz eléri a szigetelő képességnek azt a határát, amelynél már meggátolják, hogy toxikus, vagy nehézfém elemekkel szennyezett vizek átszivároghassanak rajtuk, beszennyezve a rétegvizes összetartó képződményeit.

A vizsgálataink szempontjából ennek a néhány méter vastag, 4 rétegű felszíni összetletnek az ismerete hasznos információ, mivel ennek tulajdonságai határozzák meg az OAM Kft telephelyének felszíni szennyezésérzékenységet. Mint látható, a rétegsor viszonylag jó teherbíró és a két benne települő, duzzadóképes agyagásványokat tartalmazó agyagos réteg kellően jó vízzárósággal rendelkezik, tehát egy potenciális szennyezés esetén lefelé nem engedik át a vízzel, vagy más fluidummal terjedő szennyezéseket. Fontos lenne a Hangony allúviumának részletesebb sekélyföldtani feltárása, ami már meghaladja lehetőségeinket. Egy ilyen vizsgálat a térség negyedidőszaki felszínfejlődése szempontjából szolgáltana újabb eredményeket.

Ezeknek az agyagos rétegeknek köszönhető, hogy a Hangony-völgyben kisebb lápok mocsarak alakulhattak ki, melyek egykor meghatározó elemei voltak a tájnak a maguk gazdag vízi élővilágával. Sajnos az ipar terjeszkedni kényszerült, s a helyhiány miatt egy részüket feltöltötte, hogy salaklerakót és nyersanyagtárolót létesíthessen, s ezzel a vizes élőhelyek nagy részét megsemmisítette.

A meredekebb domboldalak lábainál felhalmozódott löszös lejtőtörmelék viszonylag jó vízvezető és víztároló képességű üledék, ezért szennyezésérzékeny, mivel gyakran finom homokkal kevert. Ezen a vidéken, ebben az áthalmazott löszös-homokos hegylábi összetletben található talajvíz a legjelentősebb felszínalatti vízkészlet. Ennek minősége leginkább ott veszélyeztetett, ahol rajta a völgyeket csaknem teljes keresztmetszetében kitöltötték kohászati salakkal, amely így közvetlenül érintkezik ezzel az üledékkel. Szerencsére ez kevés helyen fordul elő, csekély területi kiterjedésben. A kőzetlisztes homoklisztes szemcseméretű anyagokban azonban nagy a kapilláris szívó magasság, ami így a felszínközeli kapilláris tartomány felszíni beszennyeződését okozhatja, ha a területhasználat nem kellően környezettudatos (pl. műtrágyák, olajszenyezések, vízdélkony toxikus anyagok). Az így érintett területrészeknek is fel kellene térképezni a kiterjedését és kategorizálni a veszélyeztetettségét.



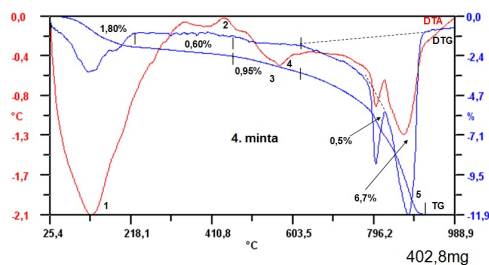
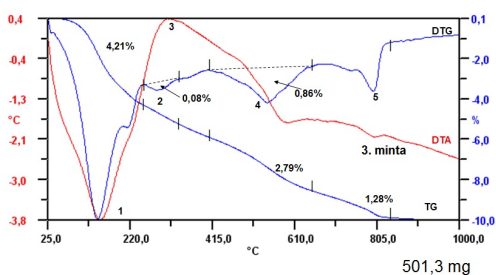
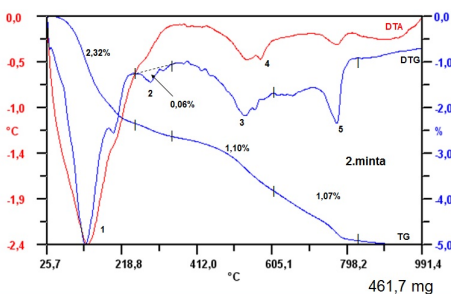
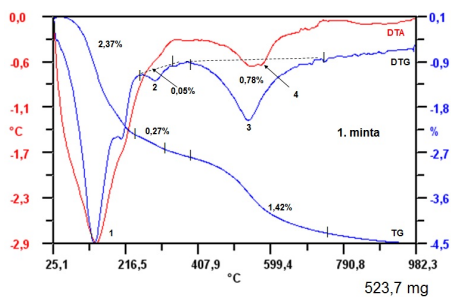
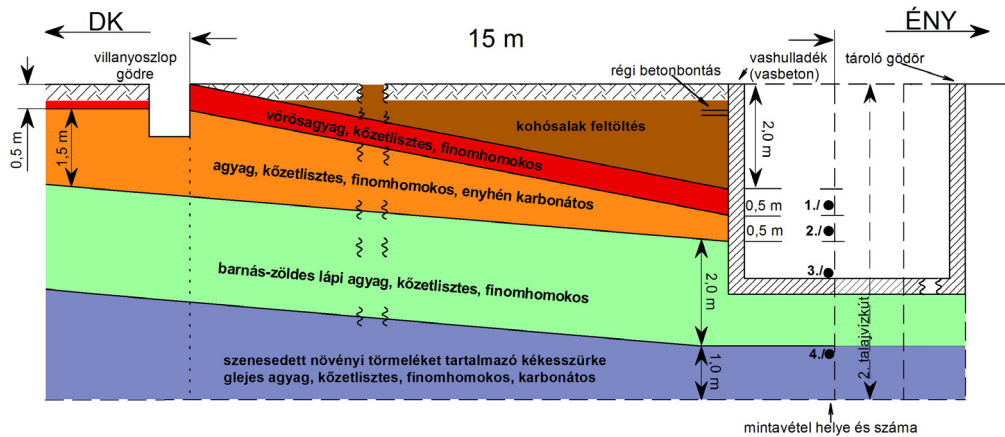
3/15a. ábra Az OAM Kft. telephelye a salakkal feltöltés körülbelüli határaival és a sekélyföldtani szelvény nyomvonalának feltüntetésével.

Mivel az acélmű létesítményeinek kiterjedt alagsori infrastruktúrája van (pl. kábel- és csőalagutak), ezért a telephely több pontján talajvíz kutak üzemelnek vízmentesítő depressziós teret képezve a védendő létesítmények környezetében. A figyelő kutakban mérhető víznívó tehát nem a valódi nyugalmi vízszint, hanem a szivattyúzással fenntartott mesterséges vízfelület helyi értéke. Ahol nincs víznívó süllyesztés, ott a vízszint annyira megközelíti a felszínt, hogy a sekély (<2 m) talajvízállású területen megjelennek a vízkedvelő vegetáció elemei, ami rendszerint 0,5-1,0m-nél kisebb mélységű vízszintet jelent, ahol a kapilláris zóna a felszínig nyúlhat (JUHÁSZ 2002).

Az üzemnek a laza allúvium miatt és a technológiai folyamatok biztonsága érdekében ciklikusan ismétlődő, gyenge–közepes szeizmikus hatással is számolni kell. Ezt az üzem csaknem teljes területén üzemelő hídarak működése váltja ki, mivel ezek több tíz tonnás (pl. hulladékfoszár, kötegelt hengerelt áru, buga,) vagy akár 100t tömegű berendezéseket (pl. acéllal teli üstök, kemencetest stb.) emelnek és mozgatnak. Ezek a hatások néhány másodperctől max. 1 percig tartanak. Ilyenkor jól érzékelhető, hogy közelükben bemozdul a monitor, hullámzik az asztali pohárban a víz, összecserrennek a tárgyak. Ezek a hatások gyengék ugyan, de a termelés ideje alatt naponta több tucatszor ismétlődhetnek. Ez a hatás hosszabb távon folyamatos ellenőrzés nélkül az üzemi létesítmények infrastruktúrájában okozhat kárt csőtörés, csatlakozások kilazulása formájában, esetleg egyéb módon (pl. falak repedezése). E problémák figyeléséről és megelőzéséről a karbantartó személyzet gondoskodik. Az ilyen daru keltette szeizmikus jellegű hatások bármely más, nagy tömegeket megmozgató folyamat esetében felléphetnek (pl. gépgyártás). Az említett rezgések, az érintett létesítményen kívül nem, vagy alig érzékelhetők, tehát hatósugaruk rendkívül kicsi, hatásuk egészségre ártalmatlan.

### 3.2.7. Aktuogeológiai és egyéb recens környezeti folyamatok.

A Hangony –völgy esetében építésföldtani, aktuogeológiai, szennyezés érzékenységi, illetve környezeti veszélytérképezés még nem történt. E feladat megoldása messze meghaladná- e tanulmány kereteit, de a vizsgálati helyeinken tett észleléseink, jó alapot



### 1./ Vörös agyag, kőzetlisztes-finomhomokos

- 25-248°C: adszorptíve kötött víz és az agyagásványok rétegekzi vize távozik. A tömegcsökkenés **16 (m/m)% Ca-montmorillonit**nak felel meg. DTG-csúcs hőmérsékletek: 131°C és 204°C.
- 248-334°C: ferrihidrit dehidroxilációja, mely a DTG-csúcs terület alapján 0,05% tömegcsökkenéssel jár. A csúcs hőmérséklet 291°C. A ferrihidrit mennyisége ~0,5%.
- 410-715°C: montmorillonit, illit és amorf anyag dehidroxilációja. DTA-csúcs hőmérséklet: 540°C. A DTG-csúcs terület alapján **a minta 15 (m/m)% montmorillonitot és 3(m/m)% illitet tartalmaz.**
- 570°C: kvarc átkristályosodása

### 2./ Agyag, kőzetlisztes-finomhomokos, enyhén karbonátos

- 25-242°C: adszorptíve kötött víz és az agyagásványok rétegekzi vize távozik. A tömegcsökkenés **15 (m/m)% Ca-montmorillonit**nak felel meg. DTG-csúcs hőmérsékletek: 125°C és 195°C.
- 242-347°C: ferrihidrit dehidroxilációja, mely a DTG-csúcs terület alapján 0,06% tömegcsökkenéssel jár. A csúcs hőmérséklet 289°C. A ferrihidrit mennyisége ~0,5%.
- 386-606°C: montmorillonit, illit és amorf anyag dehidroxilációja. DTA-csúcs hőmérséklet: 533°C. A DTG-csúcs terület alapján **a minta 12 (m/m)% montmorillonitot és 14 (m/m)% illitet tartalmaz.**
- 570°C: kvarc átkristályosodása
- 606-814°C: kalcit bomlása. Csúcs hőmérséklet: 770°C. A kalcit mennyisége 2,5 (m/m)%.

### 3./ Lápi agyag, kőzetlisztes-finomhomokos, enyhén karbonátos

- 25-250°C: nedvesség és az agyagásványok rétegekzi vize távozik. Tömegcsökkenés 4,21 (m/m)%, ami **28 (m/m)% montmorillonit**nak felel meg. Csúcs hőmérsékletek: 141°C és 213°C.
- 250-328°C: ferrihidrit bomlása. A tömegcsökkenés a DTG-csúcs alapján 0,06%, ami 0,5 (m/m)% ferrihidritnek felel meg.
- 250- ~550°C: szerves anyag égése (exoterm DTA-csúcsok 316 és 478°C-nál) és amorf anyag vízvesztése, mely átfedésben van a montmorillonit dehidroxilációjával. A szerves anyag mennyisége 3-4 (m/m)%.
- 403-667°C: montmorillonit dehidroxilációja. A TG-görbén 2,79 (m/m)% tömegcsökkenést észleltem, a DTG-csúcs terület 0,86 (m/m)%. A DTG-csúcs és az **1. reakció alapján a minta 20-28 (m/m)% montmorillonitot tartalmaz.**
- 667-830°C: kalcit bomlása. Tömegcsökkenés 1,07%, ami 2,5% kalcitnak felel meg.

### 4./ Glejes agyag, kőzetlisztes-finomhomokos, karbonátos

- 25-227°C: nedvesség rétegekzi víz távozik. Tömegcsökkenés 1,8 (m/m)%, ami **12 (m/m)% montmorillonit**nak felel meg.
- 227-471°C: szerves anyag oxidációja (exoterm DTA-csúcsok 346 és 437°C-nál). Tömegcsökkenés: 0,60 (m/m)%
- 471-620°C: montmorillonit és illit dehidroxilációja, amit víz távozása kísér. A TG-görbén 0,95 (m/m)% tömegcsökkenés észlelhető. A karbonát-bomlással való átfedés miatt az illit-montmorillonit OH-bomlási csúcsa nem észlelhető.
- 570°C: endoterm DTA-csúcs, mely nagy mennyiségű kvarc jelenlétére utal.
- 620-930°C: kalcit és dolomit bomlása. A 800°C-nál jelentkező dolomit DTA-csúcs területe 0,5%, ami 2% dolomitnak felel meg. A 877°C-nál észlelt csúcs a CaCO<sub>3</sub> bomlását jelzi, területe 6,7%, ami 13% kalcitnak felel meg. A magas DTA-csúcs hőmérsékletek jól kristályosodott (valószínűleg metamorf eredetű) dolomit jelenlétére engednek következtetni.

3/15b. ábra Sekélyföldtani szelvény az OAM a hulladéktároló gödre melletti salakfeltöltés területén. A rétegek megnevezése szemcseösszetételi vizsgálat alapján történt, a termikus jellemzők kiértékelése az agyagásvány tartalmat mutatja be a szigetelőhatás illusztrálására.

nyújthatnak egy ilyen program kidolgozásához és későbbi pályáztatásához. A földtani jellemzés más részeiben eddig tett megállapításaink ide is érvényesek (alternatív energetika, kéregmozgás aktivitás érzékelése, az antropogén felszínnek érintettségének térképezése, vízbeszerzés)

A talajok a késő glaciális időszak köztes felmelegedési periódusában elindult allitos mállás továbbfejlődött termékei (FEKETE 2010). Ezeket a holocén során a megnövekedett csapadék és a mérsékelt égövi sziallitos mállás érlelte tovább. Így alakultak ki a helyenként vörös és vöröses agyag maradványokat is tartalmazó, a vidékre jellemző enyhén savanyú ún. agyagbemosódásos barna erdőtalajok (STEFANOVITS et al. 1999)

Területünk völgyei általában az aljzat szerkezeti főirányait követik, amelyeket, mint láttuk a Darnó öv és a Bükkium-Gömörikum átlapolódási zónájának mezotektonikai eseményei határoztak meg. Morfogenetikai szempontból a Hangony mellékvölgyei gyakran deráziós völgyek, melyek a pleisztocén idején az itt uralkodó tajga, valamint tundra jellegű éghajlaton fagy- és vízhatásra kialakult tömegmozgások eredményeként születtek. A lepusztult törmelékeket a melegebb időszakok bő csapadécai szállították el. Kialakulásuk során rengeteg hordalékanyag került a fővölgyekbe, így a Hangony-patak völgyébe is. A negyedidőszak során a Hangony e hordalékok nagy részét a Sajóba juttatta el, kisebb hányadát pedig szétterítette a kiszélesedett völgytalpon, kiterjedt, viszonylag vastag, nagy tömegű allúviumot képezve. Ebbe bevágódva a holocén során többször változtatta meanderezve vándorló medrét, az 1970-es években történt szabályozásig.

A lejtős térszíneken történt feltöltéseknél a nem kellően tömörített állagú aprószemeses salak és a pernye, könnyen áldozatul esik a szél-, de különösen a vízi erózióknak, ahogy ez a Sárli-telepen történt feltöltésnél megfigyelhető egy év alatt már megjelentek a néhányfokos lejtő felszínén a csapadékvíz okozta időszakos mederbevágódási kezdemények **(3/16. ábra)**.

A Hangony-völgy mocsárlápjainak kialakulásában a kis mederesés és az agyagos völgykitöltés volt a döntő tényező. A völgytalpakon, a vízjárta térségekben öntéstalajok alakultak ki. Gyakorlatilag a XIII. századtól a XX. század első negyedéig ezek a kötött, agyagos, mérsékelt termékeny öntéstalajok adták a Hangony-völgy népességének a fő megélhetését, a földművelés és állattenyésztés alapját. Ez adott a térség tájhasználatának mezőgazdasági jelleget, ami a középkori alapokon álló kisüzemi és magángazdaságok szintjén egy viszonylag mérsékelt, hosszútávon fenntartható antropogén környezeti viszonyulást jelentett.

A bemutatott agrár jellegű tájhasználat az ózdi vasgyár megalakulása után, 1847-től napjainkig radikálisan megváltozott, de még mindig jelen van **(3/16. ábra)**, és valószínű, hogy a helyi adottságokat figyelembe vevő mezőgazdaságnak jelentős szerepe lesz a foglalkoztatásban (pl. energia ültetvények, gyógynövény termesztés, önkormányzati kertgazdaságok stb.). Ennek az elmúlt csaknem 170 évnek az ipari maradványai a különféle kohászati salakok, amelyek feltöltésként az allúviumra rárétegezve gyökeresen megváltoztatták és jellegében meghatározták a Hangony-völgy középső szakaszának recens „antropo”-földtani karakterét. Ez azt jelenti, hogy az eredeti allúvium térszínére több km hosszan (Ózd-Centertől az ózdi városi stadionig), mintegy 1-4m vastagságú mesterséges feltöltés került **(3/14. ábra)**, melynek anyagai különféle salakok, főként széntüzelési és kazánsalak, kohósalak, martinsalak stb. E mesterséges térszínnek anyaga – a szálaban álló környező kőzetekhez képest – laza szerkezetű, jó vízvezető, gyenge teherbíró képességű.

Az idők során a város terjeszkedett, a feltöltött területek beépültek, köztük a mai OAM Kft telephelye is. Az ilyen instabil térszínen e létesítményeket cölöpalapozással



3/16. ábra A salakfeltöltésű térszínek esővíz okozta gyors eróziója Sárli telepen (A kép). A völgytalpi allúviumon egymás mellett működött a kohászat és a mezőgazdaság (B kép). A mai acélgártás kiküszöbölte a telephelyen kívültre ható környezeti szennyezéseket.



3/17. ábra Ózdon a városközpont és a gyár felett létrejött szmog kialakulásban korábban a gyári kibocsájtás volt a fő ok (A kép), napjainkban pedig (téli az acélmű szünetideje alatt) láthatóan a lakossági szilárdanyag tüzelés játszik fő szerepet (B kép). Ezek az ún. inverziós légállapotok.

építették. Hibás kivitelezés esetén az ilyen épület könnyen károsodik, s ez olyan súlyos lehet, mint például Ózdon az egykori Általános Művelődési Központ (ÁMK) épületénél, amit ilyen okok miatt 2012-ben le kellett bontani. Még megfelelő alapozásnál is kialakulhatnak repedések az épület alatti feltöltés inhomogenitásai miatt (lásd pl. az ózdi TESCO és INTERSPAR áruházaknál).

A Hangony-völgynek az emberi beavatkozások miatt kialakult egy hidrológiailag és környezetföldtanilag hátrányos állapota. A völgytalp oligo-miocén térszínének jó vízzáró agyagos kőzetei csaknem teljes lefolyást tesznek lehetővé, mivel gátolják a felszíni vizek helyi beszivárgását. A környék felszínein egykor leirtott erdők hiánya növeli a lefolyási hányadot. Ugyanakkor a salakos feltöltés és a nagyfokú beépítések miatt, valamint a mederszabályozások következményeként minimálisra csökkent az árterek kiterjedése. Mindez hóolvadások, vagy záporok csúszhozamai esetén katasztrofális vízszintemelkedést jelent a város területén, aminek megakadályozására különféle műtárgyakat építettek. A mellékvölgyekben például gátakkal, záportározókkal késleltetik a csúszhozamok lefolyását.

Mindezek a máig felhalmozódott környezeti problémák – köztük a hidrológiaiak is – a régi ipartelepítés és területnyerés számlájára írhatók. Ehhez járult hozzá az évszázadok alatt kiirtott erdőségek említett hiánya, ami gyakorlatilag a középkorig nyúlik vissza. Egykor a szántóföldek és legelők létrehozása, építkezés és energianyerés céljából irtották az erdőket. Ezért már az elmúlt évszázadokban is többször előfordultak pusztító árvizek, amelyek károkat okoztak, és volt, hogy elmosták a termést. Ez a jelenség nem új, mégsem okultak belőle az illetékes döntéshozók. A Hangony árterének ilyen léptékű összeszűkülése várhatóan még tovább fogja fokozni a problémát a jövőben várható klímaváltozások (BARTOLY 2004, HEGEDŰS 2008) során.

### 3.3. Éghajlat, vízrajz

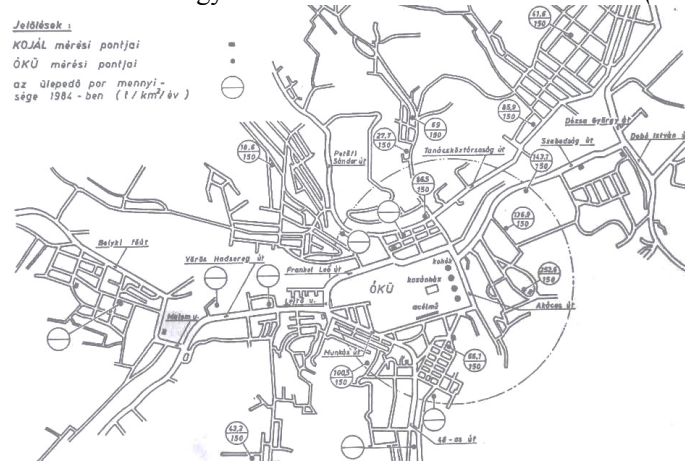
Vidékünk éghajlata mérsékelten nedves, kontinentális jellegű. A napsütéses órák száma ~1850 óra, az éves átlagos csapadékmennyiség ~750mm. A nyári időszakban igen gyakoriak a heves esők, zivatarok, felhőszakadások, amelyek a terület nagy lefolyási hányada miatt rövid idő alatt jelentős árhullámokat képesek gerjeszteni a Hangonyon.

Az éves középhőmérséklet 8,5°C, jóval az országos átlag alatti érték (PÉCZELY GY. 1997). Az ún. városklíma hatás Ózd belterületén jól érzékelhető. Ennek köszönhetően az OAM Kft telephelyén általában hűvösebb van, mint a városban. Az uralkodó szélirány Ny-i, de időnként a DNy-i is lehet. Saját megfigyeléseink szerint télen időszakosan É-ÉK irányból is gyakran fúj a szél, ami főleg a környező kopár dombok tetején érzékelhető. Megfigyelhető a domborzat által kialakuló hegy-völgyi szelek jelenléte, melyek a nyári időszakban a legintenzívebbek.

A Hangony-völgyben főként télen gyakori az ún. inverziós légállapot kialakulása (ZÖLDÖVEZET 2013). Ilyenkor köd üli meg a völgyeket. Ehhez adódik fűtési idényben a lakossági szilárd anyag tüzeléséből eredő füst és szállópor. Ennek során jelentős mennyiségben távozik NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, **(3/17. ábra)** melyek a levegőbe került korommal Londoni típusú szmogot képezhetnek (MOSER & PÁLMAI 1999). A Sajó völgyben ez a jelenség másutt is közismert. Korábban a szmog terhelő hatását súlyosbította a kohászati kibocsájtás, amely ma már nem jellemző. A Tiszaújvárostól Miskolcon, Diósgyőrön, Kazincbarcikán át Ózdig terjedő nehézipari tengely menti települések és környezetük a 1950-1980-as időszakban igen súlyos és többirányú nehézipari és bányászati környezeti terhelésnek voltak kitéve, s a Sajó Európa legszennyezettebb folyóvízei közé tartozott

(LITTERÁTHY 1982). Az elmúlt két évtizedben a helyzet gyökeresen javult, aminek oka részben a bányászat és nehézipar egy részének sajnálatos megszűnése volt, de a tudatos és intézményes környezetvédelem is sokat tett a helyzet javítása érdekében.

Bár a szocialista nehézipar gyors felfejlesztése idején az ózdi kohászati üzemek környezetében egyre fokozódó lehetett a füst- és porszennyezés, de ezt kezdetben nem vizsgálták. Később egészségvédelmi okokból a köjál időnként ellenőrző méréseket végzett, de ennek konkrét és részletes adatbázisa már nem volt számunkra beszerezhető, így csupán átfogó rövid tájékoztató formájában ismerhettünk meg kevés, jellemzőnek tartott adatot. Sikertelenül azonban megszerezni az ÓKÜ által 1984-ben végzett porszennyezési adatokat, amely Ózd belterületi térképén a mérőpontokhoz kötve mutatja be az ottani mérési értékekből egy évre és 1km<sup>2</sup>-re számítható adatokat (3/18. ábra).



3/18. ábra Ózd területén 1984-ben mért ülepedő por értékek az ÓKÜ mérései alapján. (Ezek nem térnek el jelentősen a KÖJÁL által mért hasonló kontroll adatoktól.) A körökben feltüntetett felső szám adja az adott helyen egy év alatt kiülepedő, 1km<sup>2</sup>-re számított pormennyiséget t-ban.

A helyi kohászat 1990 utáni széthullása miatt felerősödött a munkanélküliség és a szegénység. A környezettudatos felvilágosítás és a megfelelő szabályozás hiánya oda vezetett, hogy az üzemet körülvevő peremi lakóréseken sokan fűtenek még ma is kommunális hulladékkal, műanyaggal, textillel, gumival stb. Ez a helyzet jellemző Tábla, Sajóvárkony, Bánszállás és Center területén is. E diffúz forrásokkal gyakorlatilag szeptembertől májusig lehet számolni, s ezek fokozzák az inverziós légállapotot. Kérdés, hogy a napjainkban már zajló klímaváltozás milyen mértékben fog hatni a lokális adottságokra. A klíma szempontjából a káros anyag, különösen az üvegház hatású gázok kibocsájtásának döntő szerepe van (MUNKÁCSY 2011), s e téren még igen sok az ózdi tennivaló, főként lakossági vonatkozásban.

Az OAM Kft üzemében a téli időszakban történik a szükséges kötelező karbantartás, az évi nagyjavítás, így ilyenkor itt nem képződik számottevő légszennyezés. Így ma már a lakossági használatú kazánok, kályhák légszennyező hatása a legjelentősebb szennyező forrás (3/17. ábra). Ilyen típusú terhelést a környezetvédelemben élenjáró, műemlékekben, köztéri szobrokban gazdag európai településeken szigorúan tiltják, illetve korlátozzák, viszont többféle módon ösztönzik a fűtésrendszerek lecserélését és a környezetbarát alternatív energiahordozók igénybe vételét (MUNKÁCSY 2011). Ózdra ez még sajnos ma

sem jellemző, pedig az egykori munkás lakótelepek műemlék jellegűek, műemléki védeltséget élveznek.

Időszakosan nyáron a reggeli órákban is előfordulhat inverziós légállapot, amikor a füst megül a gyár felett. Ilyenkor a harmatpontot elérve, a kicsapódó párával a kikerülő kis mennyiségű gyári por is kiülekszik, de még az üzem területére hull. A felszínközeli légrétegek melegedésével beindul a feláramlás, ami több száz méterig feljuttathatja a füstöt, ami a légáramlatok által felhígul, így e miatt nem idéz elő számottevő, illetve koncentrált szennyeződést. A déli órákban megfigyelhető egy nyugatias légáramlat, amely a kevés füstöt egy felszín menti keskeny sávban szétteríti az acélmű É-i oldalán. Ez a légáramlás a telephely fákkal sűrűn beültetett parkos részén áthaladva megszűrődik a lombok által. Késő délután kezdődik a feláramlás, reggel az inverzió.

E felsorolt légmozgások főként a környezeti szennyezés szempontjából fontosak, bár helyi jelentőségűek. Súlyuk azonban jelenleg csekély, mivel napjainkban már nagyon kevés füst kerül ki a gyárból. A szigorodó környezetvédelmi előírások miatt korszerűsítették a füstgázrendszert, ami által drasztikusan lecsökkent a kibocsátás mértéke.

Az elmondottnál pontosabb, mennyiségileg is megbízható adatokat szolgáltató modell kialakításához sok ponton elhelyezett műszeres észlelő hálózat több éves működtetésére lenne szükség, de erre jelenleg nincs beruházó és a feladat e tanulmány keretein messze túlmutat.

### **3.4 Az élővilág jellemzése**

Ózd és közvetlen környezetének élővilágáról kevés adat áll rendelkezésre, olyan, amely felmérte volna teljes vegetációt, kitüntetett figyelemmel azokra az indikátorfajokra, amelyeknek a változásain legjobban lemérhetők a környezeti ártalmak hatásai nincsen (DÖVÉNYI 2010). A vizsgálatom során florisztikai és zoológia adatok gyűjtésére nyílt lehetőség, hosszabb időtartamra nem, így a változások megfelelő érzékelésére nem volt lehetőség. Adataim így szórványosak, teljes képet nem tesznek lehetővé, viszont kiindulási alapot nyújtanak egy későbbi részletesebb, monitoring jellegű vizsgálatra. Az alábbiakban bemutatott eredményekben ki vannak emelve azok a fajok, amelyek alkalmasak lehet az indikátor szerepre.

#### *3.4.1 Általános jellemzés*

E tanulmány elsődlegesen a jelenlegi acélgyártás melléktermékeinek környezetmineralógiai és geokémiai hatásainak vizsgálatával foglalkozik. Ezért érdemes áttekintenünk a terület élővilágát, mivel ezek a melléktermékek, különösen a szállóporok és ipari szennyvizek éppen ezek körében okozhatnak érzékelhető károkat (KOVÁCS et al. 1992, 1993a, 1993b). Közismert, hogy egyes fajok kitűnő indikátorai bizonyos típusú szennyeződéseknek, illetve elemkoncentrációknak, mások pedig különösen fogékonyak toxikus hatású szennyezésekre, s így kipusztulásukkal hiánytünetek keletkeznek a társulásokban és a táplálékláncban (KOVÁCS et al. 1994). Az is információ értékű, ha nincs érdemi változás az élővilágban.

Bár napjainkban már jelentősen lecsökkent az acélmű károsanyag kibocsátása, de a csekély hatás sem érzékelhető, mivel elnyomja azt az elmúlt 160 év kohóipari működése során korábban keletkezett, nagy tömegű és kiterjedésű salaktömeg és környezeti kibocsátás hatása. Kérdés, hogy ezek együttes eredője milyen körben, távolságban és környezeti relációkban jelenik meg, ill. okoz esetleges problémákat. A jelenlegi üzem

területe a régi gyár egykori immissziós zónájában fekszik. A továbbiakban látni fogjuk, hogy az igazán látványos környezeti károkat ma már nem a korszerű kohászat jelenti, hanem a nem megfelelő tájhasználat, az előregedett városi szennyvíztisztító telep csekély kapacitása, a csatornahálózat fejletlensége, a kártékony lakossági tüzeléstechnika és a járműforgalom kibocsájtásai. Ezek következménye a különféle adventív fajok megjelenése és gyors elterjedése, a természetes éghajlatváltozás felgyorsított üteme, illetve a környezettudatosság hiánya, valamint igen gyakran az emberi gondatlanság (pl. égetés, ld. később) (BOTTA-DUKÁT & MIHÁLY 2006, CSISZÁR 2012).

A szennyezésből fakadó növényélettani változásokat molekuláris szinten lehetne leginkább kimutatni, például klorofill-fluoreszcencia indukciós vizsgálatokkal, vagy egyéb specifikus mikrobiológiai elemzésekkel a szerint, hogy a károsodott növényfajnál milyen típusú elváltozások figyelhetők meg. Egyes elváltozásokat nem mindig lehet pontosan visszavezetni egyetlen konkrét okra, mivel az különböző kedvezőtlen körülmények és hatások együttállásának következménye. Például egyes növények környezeti hatás okozta legyengülését jelzi a szürkeuzmó megjelenése, amely területünk árnyékos részein, a kökényen élőszkodik. Ez a rendellenesség azonban nem ózdi sajátosság és nincs köze a kohászathoz, hiszen ez a uzumó az Északi-Középhegység egész területén jelen van, sőt a Kárpátokban is megfigyelhető.

Megfigyeléseink szerint, az ózdi területen egyre több az ilyen összetett jelenségcsoport, amiben nagyon nehéz és körülményes szétválasztani a tényezők szerepét, káros hatását vagy egymást befolyásoló funkcióit. Az ehhez szükséges, igen elmélyült vizsgálatokra esetünkben is szükség lenne, de ehhez hiányzik a megfelelő szakmai apparátus és a pénzügyi háttér.

#### 3.4.2. A növényvilág

A területen előforduló fajokról csak kevés szórvány adat található a szakirodalomban (pl. BERÁNEK 2007, 2008). Az itt vázolt kép elsősorban saját terepbejárások és megfigyelések alapján alakult ki

A *növényvilág* fajai közül a vizsgált területen 300 m tszf-i magasság alatt a cserestölgyes (*Quercus cerris*) elterjedési zónája található. Az északias kitettségű hegyoldalokban megjelenik a gyertyán (*Carpinus betulus*) is, valamint az árnyékos mellékvölgyekben a bükk (*Fagus sylvatica*). A völgytalpakon jellemző és tájkép alkotó fafajta a fűz, de előfordul a rezgőnyár (*Populus tremula*), feketenyár (*Populus nigra*), fehérnyár (*Populus alba*) is. Járulékosan számos más fafaj is kapcsolódhat a felsoroltakhoz, köztük a vadvadkörte (*Pyrrus piraster*), vadalma (*Malus sylvestris*), vadcsereesznye (*Prunus alveus*). Hűvösebb részeken a nyír (*Betula pendula*) is megjelenik (DÖVÉNYI 2010).

A behurcolt fajok közül legjelentősebb az akác (*Robinia pseudoacacia*) és a zöldjuhar (*Acer negundo*), de terjed a bálványfa (*Ailanthus altissima*) is, amelyek inváziós fajok, özön növények (CSISZÁR 2012). A túlevelűek közül ültetett faként jelenik meg a lucfenyő (*Picea abies*), erdei fenyő (*Pinus sylvestris*) és a feketefenyő (*Pinus rigra*). A cserjék közül legjellemzőbbek a boróka, kökény (*Prunus spinosa*), gyepürózsa (*Rosa canina*), szarvaskerep (*Lotus corniculatus*), tövises igrice (*Ononis spinosa*), de erdőszélen, erdőirtásokon gyakoriak a vadszeder fajok (*Rubus* ssp.).

Az elhagyott, gondozatlan ligetek, erdők környékén jellemző az erdei iszalag (*Clematis vitalba*) és a komló (*Humulus lupulus*), amelyek benövik a fákat és idővel el is sorvasztják a gazdanövényt. A törpecserjék közül legjelentősebb a közönséges kakukkfű (*Thymus blabrescens*, molyhos napvirág), a lágy szárúak között pedig igen jellegzetesek a

különféle pillangósok, a kaszanyüg bükköny (*Vicia cracca*), a tarka koronafürt (*Coronilla varia*), a komlós lucerna (*Medicago lupulina*), a takarmány baltachim (*Onobrychis viciaefolia*) és a gumós lednek (*Lathyrus tuberosus*). Ezekon kívül más lágyszárúak is megjelennek, amilyen a gyermekláncfű (*Taraxacum officinale*), az ezüstös hölgyalm (*Hieracium pilosella*), az aprólevelű bojtortján (*Acrtium minor*), pásztortáska (*Capsella bursa-pastoris*), a vadrepce (*Sinapis arvensis*), útszéli zsázsa (*Lepidium draba*), héjakútmácsonya (*Dipsacus laciniatus*), terjőke kígyószisz (*Echium vulgare*), mezei árvácska., lándzsás útifű (*Plantago lanceolata*), tejoltó galaj (*Galium verum*), szöszös ökörfarkkóró (*Verbascum phlomoides*), fekete ökörfarkkóró (*Vesbascum nigrum*).

Védett fajok: kosborok (védett), tavaszi hérics (*Adonis vernalis*), leánykököröcsin (*Pulsatilla grandis*), piros kígyószisz (*Echium maculatum*). A lilium félék közül gyakori az üstökös gyöngyike (*Muscari comosum*), az ernyősök közül a mezei iringó (*Eryngium campestre*). Nyirkosabb és tápanyagban gazdag, főleg N-nel jól ellátott hegylábi réteken a ragadós galaj (*Galium aparine*), nagy csalán (*Urtica dioica*), fehér libatop (*Chenopodium album*), feketeüröm (*Artemisia vulgaris*), közönséges torma stb. (BORHIDI 1995, SIMON 1992)

A terület növényfajairól különböző időszakokban készített nagyszámú fotófelvételeink közül csupán néhány jellemzőt mutatunk be a terjedelmi korlátok miatt **(3/19. és 3/20. ábrák)**.

A keresztesvirágúak (*Brassicaceae* félék) családjába tartozó fajok, mint pl.a vadrepce (*Sinapis arvensis*), a közönséges torma (*Armoratia rusticana*) és a pásztortáska (*Capsella bursa-pastoris*). A talajok nehézfémtartalmának gyakran jelentős részét akumulálják, ezért e növények gyöktörzseinek nehézfém tartalma jól informál egy terület szennyezettségéről. E növények jól használhatóak környezetvédelmi monitorozó vizsgálatok keretében, e mellett szennyezett területek biológiai kármentesítésénél (bioremediáció) is számításba jöhetnek (ZULFIQAR et al., 2012, MOOGUEI et al. 2011). Érdekességként érdemes megemlíteni, hogy a területünkön parazita növények is élnek, mint például a szórványosan előforduló herefojtó aranka (*Cuscuta ssp.*) és a különféle vajvirág fajok például a galajfojtó vajvirág (*Orobancha vulgaris*).

Behurcolt gyomként útszéleken gyakori az ürömlevelű parlagfű (*Ambrosia artemisiifolia*) és a selyemkóró (*Asclepias syriaca*), a kaszálatlan réteket augusztus közepén csaknem teljesen benövi a kanadai aranyvessző (*Solidago canadensis*), de az ártéri japán keserűfű (*Faloppia ssp.*) hibridek terjedése is szembeötlő. A fűfélék között néhol jelentős állományt alkot az árvalányhaj (*Stipa ssp.*) (védett), csenkesz fajok (*Festuca ssp.*). Többféle a száraz salakos-köves térszíneken megjelennek elvadulva a különféle varjúháj fajok is, amilyen például a kövi varjúháj (*Sedum rupestre*) és a kaukázusi varjúháj (*Sedum spurium*). A Pétervásárai homokkő Fm. anyagából álló, sziklaszerű falak peremén nem ritka a hatsoros- és a borsos varjúháj (*Sedum sexangulare* és a *S. acre*).

A vizenyős zombékos réteken – melyek ma már főként csak a szomszédos mellékvölgyekben lelhetők fel – jellemző a gilisztaűző varádics (*Tanacetum vulgare*), martilapu (*Tussilago farfara*). A marti lapu és a siska nádtippán (*Calamagrostis epigeios*), a mezei zsurló (*Equisetum arvensis*), mocsári nőszirm (*Iris psedacorus*) és a nád (*Phragmites australis*), míg az állandóan vízzel borított területeken a széleslevelű gyékény (*Typha latifolia*) a fő állományalkotó. Utóbbihoz számos egyéb vízinnövény csatlakozik, amilyen például a hídör (*Alisma plantago-aquatica*), a békabuzogány, a víziment (*Mentha aquatica* és hibridjei), virágkaka (*Butomus umbellatus*), vidrakeserűfű (*Polygonum amphibium*) és a békalencse fajok (*Lemna ssp.*). Ezek a vízinnövények nagyrészt megtalálhatók a Hangony-patak lassúfolyású alsó szakaszán is. A Hangony

patak vízínövényeihez tartozik továbbá a csillárka (*Chara* ssp.) moszat, valamint a mederben biotektont alkotó fonalas zöldmoszatok és számos más alga faj is. Ezek nagy felületet képeznek a víztestben, így a Hangony és mellékvizeinek öntisztulásában kitüntetett szerepet kellene betölteniük, de ez sajnos az ismételve kotort és az épített, főként belterületi mederszakaszokon nem teljesülhet. Ez egy hibás vízügyi gyakorlat, ami nem veszi figyelembe a Hangony alsószakasz jellegét, ami egy természetes adottság.

Néhol elhagyott, elvadult szőlő ültetvények találhatók, például a Borbás-hegyen és a Kajla völgy elején. Ezek szőlőfajtái főleg 1875-től 15-20 év alatt, a hazai szőlőállomány 2/3-át kipusztító filoxéra vész idején importált, direkt termő amerikai fajták, a noah (nova, noha), a delaware (delevéra, delavári), a concord (konkordi) és mások. Házi kertekben ma is megfigyelhetők.

A Hangony völgy hegylábi zónájában, közvetlenül a patak mentén, az ártéri vizenyős rétek feletti dombháton, a vízfolyás mindkét oldalán jelentős kiterjedésű szántógazdálkodás történik korszerű, gépesített, nagy táblás, intenzív műveléssel. A szántóföldeken főként repcét, napraforgót, búzát, árpát, cirkot termelnek, de néhol megjelenik a burgonya és a kukorica is. Az intenzív gazdálkodásból következik, hogy műtrágyát és különféle peszticideket (LOCH & NOSTICZIUS 1992) is alkalmaznak a jobb és nagyobb terméshozamok elérése érdekében. Ezek az agrokémiai termékek károsak is lehetnek, mert rossz időpontban, túlzott mennyiségben kijuttatva bemosódhatnak a Hangony patakba. A műtrágyák azon kívül, hogy tovább savanyíthatják, az amúgy is savanyú ABET, tartalmazhatnak nehézfémeket is (pl. kadmium) amik ezáltal szintén bekerülhetnek a talajba.

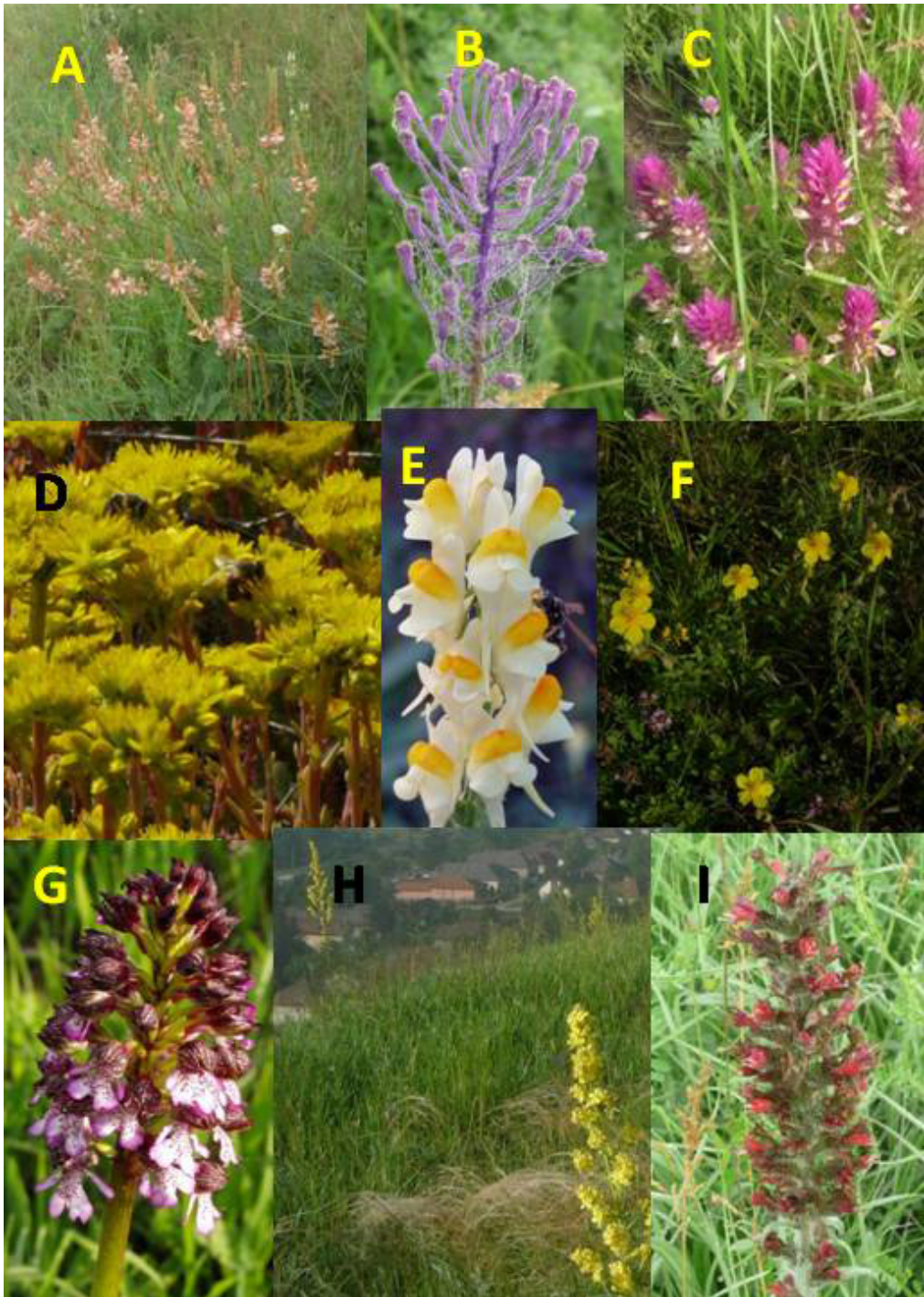
A terméshozamot csökkentő savanyodás feloldásában helyben kínálkozik egy agrogeológiai megoldás. A későbbiekben bemutatásra kerülő, nagy mésztartalmú bázikus salakok örleményeinek adagolásával ez a káros jelenség megszüntethető lenne. A könnyen mobilizálódó mésztartalom mellett e salakok a haszonnövények számára esszenciális mikroelemeket is tartalmaznak (pl. Cu, Zn, B, V, Co stb.). Az intenzív művelés során kikerülő tápelemek ilyen módon is pótolhatók helyi anyagokkal.

A bejárások és megfigyelések által összeállított fajlista és a szórvány irodalmi adatok már lehetővé tennék egy növényökológiai értékelés elkészítését. Hazai területeken számos ilyen tanulmány született, s ezekben kialakultak a vizsgálati szempontok és a rendszerezési skála törvényszerűségei. Közülük az egyik legteljesebb skálát Simon munkájában találjuk meg (SIMON 1988, 1992). A magyar flóra fajaira Borhidi Attila Ellenberg munkáit, ill. Grime-nek a növények stratégiájáról felállított modelljét is figyelembe véve adott meg értékeket (BORHIDI 1993, 1995, GRIME 1979). Soó Rezső valamennyi hazai őshonos száras növényfajra közölt mutatószámokat, melyeket ötfokozatú skálán tüntetett fel (SOÓ 1980). Az ökológiai mutatók különböző skáláiról Bartha nyújtott jó áttekintést (BARTHA 1995).

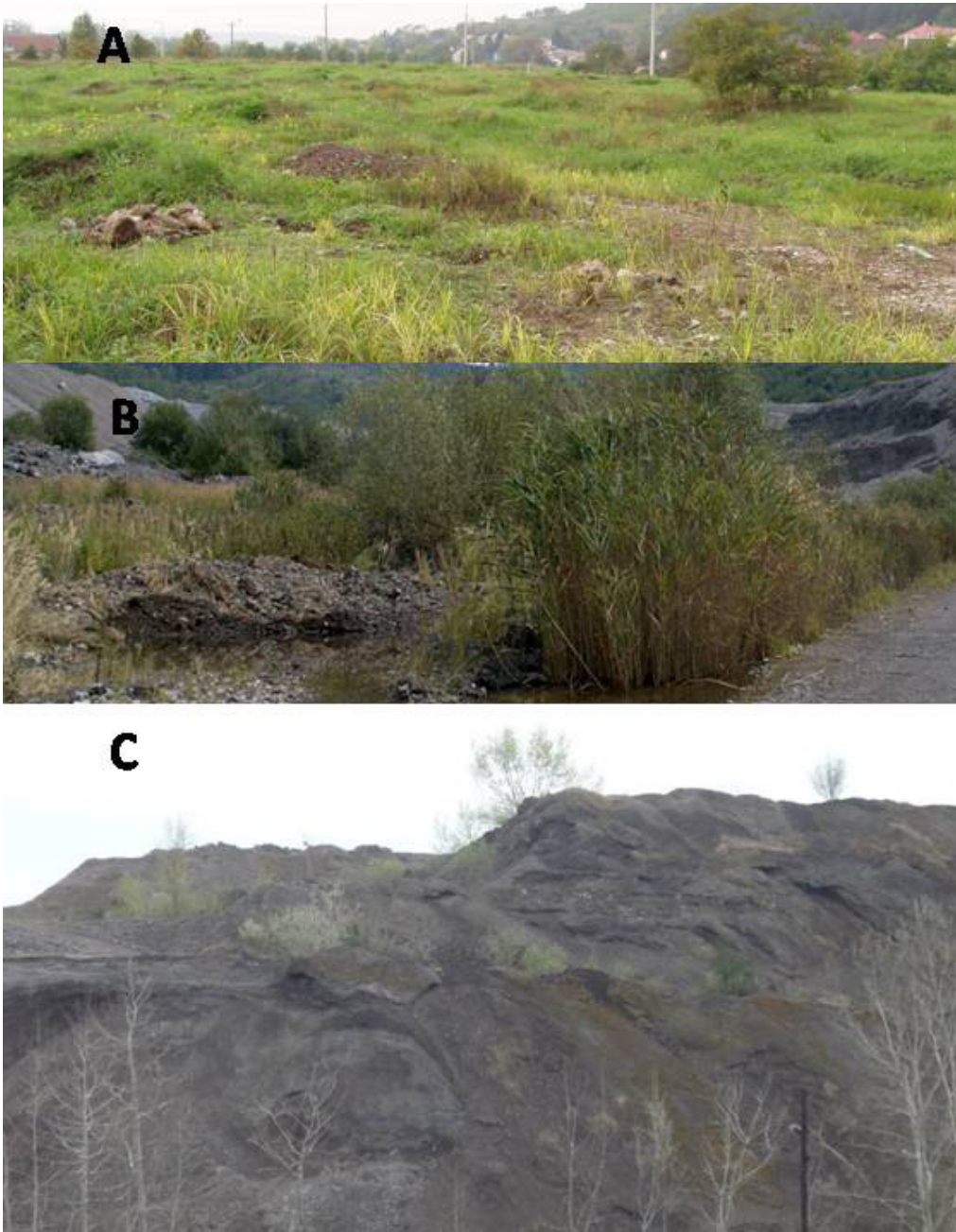
A fajok természetvédelmi érték kategóriái (TVK) a társulások, élőhelyek természetességére, illetve degradáltsági fokára utalnak. A későbbiekben a területünkön önálló kutatómunka keretében ezt az ökológiai feldolgozást lehetne elvégezni. Ez külön kitérne a veszélyeztetett fajokra és figyelemmel kísérné ezek megmaradását, vagy eltűnését, s ahol az indikátorok negatív környezeti hatást jeleznek, ott lenne célszerű elindítani az okozati összefüggések vizsgálatát

### 3.4.3. A gombák megjelenése

A területünk gombafajai közül jelen esetben csak a kalapos (bazydiomicota) gombákkal foglalkozunk, mert ennek a gomba családnak az ökológiai jelentőségén túl (GRAMS 1982) helyi szinten gasztronómiai értéke is van. Ezek esetenként azért jelentenek



3/19. ábra Jellemző virágos növények Ózd külterületén: szárazágtűrők (A takarmány baltchim; B –üstökös gyöngyike; C mezei csormolya; D kövi varjúháj; E közönséges gyújtoványfű; F molyhoslevelű napvirág) és védett fajok (G agárkosbor; H árvalányhaj; I vörös kígyószisz).



3/20. ábra Ózdi salakhányók növénytársulásai. A/. kép: Sárli-telepi kohóiszap szikkasztón nőtt gyomtársulás (etiolált levelű siska-nádtippán); B/. kép: Tekerős-völgy mocsári társulás (Siska-nádtippán, nád, fűz). C/. kép: centeri vastalanított salakhegy, 30 éves rezgőnyár fákkal, nyírral, feketenyárral.

az emberre, sőt az állatokra nézve is veszélyt, mert felvehetik és koncentrálnak magukban a talaj toxikus hatású nehézfém tartalmát.

A térség gombafajtaira jellemző, hogy a fajok elsősorban a tölgyerdőkhöz (*Boletus nemzetség*, vargánya-félék), gyertyánosokhoz (galambgomba fajok), illetve a mezőkhöz kapcsolódnak (pl. csiperke és pöfetegek félék). A fenyvesekhez és más társulásokhoz köthető gombák alárendelt jelentőségűek, amilyen például a légyölő galóca (*Amanita muscaria*).

Az erdőkhöz kötött gombafajok gyakran az adott erdők fáival mikorrhiza kapcsolatban állnak, vagyis szimbiózisban élnek velük. Ennek során nélkülözhetetlen szerepet játszanak a fák víz- és egyéb ásványi tápanyagainak felvételében, amiért cserébe a gombák kész táplálékhoz (szervesanyaghoz) jutnak a fától. Ez a mikorrhiza kapcsolat a fák gyökerének gombafonalakkal történő kvázi „megfertőződésével” alakul ki. Az erdei gombák egy része, valamint a mezőkön élő gombák többsége korhadéklakó (szaprotróf). Az ehhez tartozó gombák közül ilyenek például a csiperke félék és a pöfetegek.

Környezetvédelmi szempontból megjegyzendő, hogy a talajban futó vékony gombafonal szövetek fonalai a hifák teljesen behálózják az erdők talaját, ezért fontos szerepük van abban, hogy nagy fajlagos felületükkel és az általuk termelt savakkal feltárják és hozzáférhetővé teszik az ásványi anyagokat. Ezáltal elősegítik a nehézfémek és radioaktív izotópok koncentrációját (FRANKOWSKA et al. 2010). Ezek a káros anyagok a tapasztalatok szerint sokszor a termőtestben (gomba felszíni kalapos része) dúsulhatnak fel, így a gombát fogyasztó ember és állat veszélyeztetve van általuk. Ilyen kérdéseket csak speciális anyagvizsgálatokkal lehet tisztázni, így itt csupán jelezzük, mint olyan lehetőséget, ami a környezeti monitorozást sokoldalúbbá teheti.

Ózdon és a hasonló iparvidékeken az egykori üzemek imisszós zónájában található gomba lelőhelyeken meggondolandó az étkezési célra történő gombagyűjtés. Nehézfém dúsító hatásuk régóta ismert jelenség. Egyes gomba fajok higanyt, kadmiumot stb. is akkumulálhatnak. Az sem kizárt, hogy szerves mikroszennyezők, például dioxinok, PCB-k és egyéb származékok is dúsulhatnak bennük. E kérdéskör pontos és alapos vizsgálata környezetegészségügyi szempontból nagyon fontos lenne, mert Ózdon sokan gyűjtenek gombát kedvtelésből, saját fogyasztásra, vagy jövedelem kiegészítés céljából. E kérdéskör tisztázása egy önálló kutatási program indítását igényelné, de addig is fontos a lakosság ilyen irányú felvilágosítása. Az ilyen egyedi utas mérésekre itt csupán felhívhatjuk a figyelmet, mert ezek önálló programokat igényelnének, de ezeket még így nem foglalták meg Ózdon.

#### 3.4.4. Az állatvilág

Az állatvilágra jellemző, hogy az erdőkben, illetve a tarra vágott helyeken megjelent sűrű újulatnak nagy a vadeltartó képessége. Ezért itt számos nagy- és apróvad, rágcsáló és egyéb kismamla él, köztük a gímszarvas, őz, vaddisznó, róka, vadnyúl, nyest, nyuszt, borz, sün, mezei egér, cickány, denevér stb. Az acélműbe szállított vashulladékkal gyakran patkányok is érkeznek. A nagy létszámú vadállomány a mező- és erdőgazdaságra és a közlekedésre (vadbalesetek) veszélyt jelent, viszont igen kedvező a vadász turizmus számára. Többféle élőhelyen igen nagy számú faj figyelhető meg Ózd körzetében, köztük jó néhány védett (3/21. ábra).

Az erdőkben, réteken sokféle madár él: harkály, kakukk, varjú, sárgarigó, tengelic, rozsdafarkú, fácán, ölyvek stb. (DURELL 1989). a Hangonyon pedig tőkés récéket figyeltünk meg. Az üzem területén, több helyen fészkel fecske és balkáni gerle. A hullók közül a régi salakhalom környékén igen elterjedt a faligyík és a zöldgyík, valamint olykor felbukkan egy-egy vízisikló is. A kételtűek közül gyakori a barna varangy, az erdei béka,

valamint a lápok környékén a kecskebéka, levelibéka, valamennyiük védett. Egyes hüllőknek a salakhányók igen jó élőhelyi környezetet jelentenek a laza törmelékes felszín miatt.



3/21. ábra Az ózdi körzet gazdag állatvilágának számos használlata és indikátor faja jelzi, hogy nincs számottevő környezetszennyezés. Néhány jellemző és gyakori faj fotója: A/. kép: vízisikló; B/. kép: fehér gólya; C/. kép: közönséges boglárka és zöld lombzöcske; D/. kép: háziméh.

Az ízeltlábú fauna igen fajgazdag. A szennyvíztelep közelsége miatt a rovarok közül gyakori a házilégy, a húslégy és a gyümöcslégy. A vizenyős területeknek köszönhetően sok a csípőszúnyog. Erdőn, mezőn gyakori a bögöly, kecskedarázs, lódarázs, poszméh, házi méh, bábrabló, pincebogár, a hőscincér, a galcsinhajtó bogár, a szarvasbogár, különféle poloska fajok, verőköltő bodobács, rózsabogár, vöröshangya stb.. Az erdők környékén gyakoriak a különféle kullancs fajok, melyek súlyos betegségeket

terjeszthetnek (lyme kór, kullancs encefalitisz stb.). Számos pókfaj megjelenik a vegetációs időszakban (keresztes pók, kaszás pók stb.)

A mezőkön a fűben nem ritka az imádkozó sáska, a zöld lombzsöcske és a nyári esték hangulatát meghatározó közönséges tücsök (GRAMS 1982). A hétpettyes katicabogarat újabban itt is kezdi kiszorítani a távol keletről behurcolt harlequin katica. A fentiekén kívül számos nappali és éjjeli lepkefaj is ismert. Nagyon gyakori a közönséges boglárka. Végezetül érdemes megemlíteni a levéltetű fajokat, melyek szerepet játszanak a vírusos növénybetegség terjesztésében.

Ökológiai szempontból a gerinctelen fauna fajai közül a földigilisztának és más talajlakó féregfajnak nagy szerepe van a talajképzésben, s ezen keresztül a talajszerkezet és vízháztartás szabályozásában. A puhatestűek között igen gyakoriak az éti csigák és a különféle meztelen csigák. Ezek közül a nyirkos mezőkön jellemző a spanyolcsiga, ami egy invazív faj

A Hangonynak a Hódos torkolata feletti részén az élővilág 20-30 évvel korábban még igen gazdag volt, rengeteg vízi rovar: szitakötő, tegzes légy, molnár poloska, hanyattúszó poloska, vízibolha, bolharák, csikbogár, álskorpió, folyami rák stb. élt itt (DURELL 1989). A mederszabályozások miatt ezek mennyisége érzékelhetően csökkent, de pontos mérések e területeken sem történtek.

A férgek közül területünk vizeiben jellemző az orvosi pióca, a tubifex stb. A vízi puhatestűek közül gyakoriak voltak a különféle vízcisgák, a nagy tányércsiga, a nagy mocsári csiga, a hólyagcsiga és a tavi kagyló stb.

A vízi gerinces faunát számos, főként ma már részben védett halfaj alkotta: kövicsík (védett), fenékjáró küllő (védett), szivárványos ökle (védett), gyakori a veresszárnyú keszeg, a kárász, valamint ritkább a ponty, a sügér és a csuka (GRAMS 1982). Az emlősök közül régen gyakori volt az amerikából származó pézsmapatkány, ami szerencsére eltűnt.

A Hangony patak egykor az ózdi iparvidék szennyvízcsatornájának funkcióját töltötte be. A Hódos patak torkolatától lefelé – ahol az OAM telephelye is fekszik – az élővilág igen szegényes volt, köszönhetően a borsodnádasdi lemezgyár olajos pácleveinek, amelyekben jelen voltak különféle mérgező hatású kloridok (pl.  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{ZnCl}_2$ ). A meder üledékét a kicsapódó vasoxid színezte vörösré. Ezekhez adódott még hozzá az Ózdi Kohászati Üzemek ipari és kommunális szennyvize, amely szintén olajos-kátrányos szennyezésű volt, jócskán terhelve nehézfémekkel, ólommal, cinkkel és kadmiummal. Lejjebb, a mai OAM telephelye mellett található a ma is üzemelő ózdi városi szennyvíztisztító telep, amely még 1968-ban épült. A hozzá vezető városi csatornahálózat egyesített rendszerű. E miatt bő csapadék esetén az ez által felhíguló szennyvíz egy részét tisztítatlanul, vagy igen rossz hatásfokkal tisztítva kellett a befogadóba, azaz a Hangony-patakba engedniük a megfelelő tisztító kapacitás hiányában.

A szennyvíztelep még napjainkban sem képes kellő hatékonysággal megtisztítani minden szennyvizet. Részben mert elavult, másrészt mert a csúcs hozamokhoz képest még ma is kicsi a befogadó képessége. Az OAM telephelyén az üzem által helyben tisztított ipari szennyvizek közvetlen befogadója a Kajla-patak, ami kb. 50 m-rel lejjebb ömlik a Hangonyba. Ez a vízfolyás vezette le évtizedeken át a ma már rekultivált városi kommunális hulladéklerakó csurgalékvizet is. Ez a többszörösen terhelt mellékvíz jelenleg a Hangony vízminőségének egyik legerőteljesebb befolyásolója, de ebben az OAM jelenlegi hatása az üzem vizsgálatai szerint elhanyagolható. A fenti hiányosságok miatt 2014 nyara óta folyamatban van az új szennyvíztelep beruházása, amelyhez a város a svájci alaptól pályázati támogatást nyert.

Sajnos az elmúlt időszak megcsappant fajösszetételéről nincsenek megbízható információink. Valószínű, hogy az előbb említett problémás üzemvitel miatt a szennyvíztelepről származó vizek detergens és gyógyszer maradványokat tartalmazhatnak, valamint patogén kórokozók, orsóféreg-, galandféreg-, bélgiliszta-petékek szennyezettek lehetnek. Ezért a vízfolyás alsó szakaszán szigorúan tilos a fürdőzés. E téren is tapasztalható, hogy jelenleg az OAM vízszennyező hatása elhanyagolható a szennyvíztelep és a lakosság káros kibocsátásaihoz viszonyítva.

Az említetteken kívül még egy olyan számottevő antropogén környezeti hatás létezik, ami befolyással van a helyi élővilágra és a környezet tisztaságára, ez a mező- és erdőégetés sajnálatos gyakorlata. Ennek oka részben a gondatlanság, a tiltott helyeken és időben történő tüzrakás, valamint az avar, a kerti hulladékok és nyesedékek égetése. Az alkalmatlan időben gyújtott tüzek könnyen átterjedhetnek a kiszáradt fűvű rétre, a száraz avarra, vagy akár a kerti, illetve erdei növényzetre is. Sajnos ilyenekkel évente kell számolnunk, néha több ízben is. Nagyságától függően az ilyen tüzek füstgázai, pernyéje, korom szennyezése a légmozgással lakott területekre is eljuthat, a tűz pedig az érintett területen igen súlyos, közvetlen veszélyt jelent a növény és állatvilág számára (ZÖLDÖVEZET 2013). Az anyagi kár gyakran igen tetemes.

Az élővilág bemutatására azért volt szükség, hogy felhívjuk a figyelmet részben a területünkön található védendő növény- és állatfajokra, másrészt, a környezeti káros jelenségekre és anyagokra (nehézfémek, szerves szennyezők). Az élővilágra gyakorolt hatások pontos mértékét e célból indított önálló programokkal kellene kimutatni. E szennyező anyagok a környezetbe kikerülve bejuthatnak a táplálékláncba is, ahol feldúsulhatnak (magnifikálódhatnak). Ez a hatás a csúcsragadozók – az embert is ide értve – esetében jelenhet meg leginkább (pl. asztma, rák, szív- és érrendszer, allergia). E hatások gyaníthatóan közre játszanak az orvosi statisztikák romlásában, de szükség lenne hosszabbtávú adatsorok feldolgozására.

Megfigyeléseink és vizsgálataink alapján kijelenthető, hogy a mai modern acélkohászat környezetre gyakorolt hatása elhanyagolható az egykori, mintegy 170 éven keresztül működő hagyományos kohászat hatásaihoz képest. A növény- és gomba minták elemvizsgálásával kapott adatokkal valószínűleg nem lehet egyértelműen jellemezni a mai kibocsátások káros hatásait, mivel a korábbi, hosszútávú szennyezések maradványai átfedésben nyilvánulnak meg. Egy ilyen vizsgálat a nagy mintaszám és a sok mérési miatt nagy költségigényű, amit e kutatás során nem állt módunkban megvalósítani. Ismerve azonban a mai előírások szigorúságát és a jelenlegi üzemmenet igen mérsékelt környezeti hatását, a tágabb térben kimutatható esetleges károsodások csaknem bizonyosan a korábbi kohóipar következményei lehetnek, bár konkrét mérgezési esetekről, a gyári szennyezésre visszavezethető megbetegedésekről, vagy a környező élővilágot érintő jelentősebb károsodásról nincsenek feljegyzések, visszaemlékezések. A korábbi kohászatban hosszabb ideig dolgozó munkásgenerációk életmód és életkor elemzéseivel mutathatnak ki esetleg direkt összefüggéseket.

Észleléseink szerint jelenleg a növény- és állatvilágra gyakorolt legkártékonyabb hatása az említett égetésnek és a behurcolt özönnövényeknek (pl. kanadai aranyvessző, parlagfű, akác, fallopia) és állatoknak (pl. harlequin katica, spanyol csiga) van, s esetleg az acélhulladékkal érkező csótányok és rágcsálók jelenthetnek problémát. A mai globális áruforgalom miatt tehát a közúti és vasúti szállítással potenciálisan újabb növény- és állatfajok, mikroorganizmusok (akár kórokozók is) jelenhetnek meg a térségben. Ezek a kohászattól- ipartól független hatások ország- és Európa szerte, vagyis mai világunkban

általános problémák. Bár korábban is kimutathatók voltak, felerősödésük a második világháború után kezdődött (pl. kolorádó bogár), a globalizáció pedig jelentősen felgyorsította őket. Végeredményben tehát a helyi hatások között a legfőbb gondot a környezettudatosság és a szakszerű tájhasználat hiánya jelenti, amelyet mint ok a szegénység és a gondatlanság követ.

### 3.5. Az OAM Kft üzemi vízhasználata

Mivel legfontosabb és legtömegesebb táplálékunk és oldószerünk a víz, ennek helyi antropogén forgalma nagyon sok kórokozót, mechanikai-, oldott- és bakteriális szennyeződést képes közvetíteni, ezért egy település, vagy egy gyár életében központi szerepet játszik a vízforgalom. Korszerű rendszerben azonos hosszúságú a víz- és a szennyvízelvezető hálózat. Alapvető követelmény a biztonságos és folyamatosan ellenőrzött vízbázis, a megfelelő nyomás, a körhálózatszerű működés, hogy pangó részek, ún. „zsákutcák” ne alakuljanak ki, valamint jó minőségű csőhálózat, elosztó- és szakaszoló szerelvények legyenek beépítve, a fagymentesség biztosítása pedig alapvető előírás. Abban a szerencsés helyzetben vagyunk, hogy a hazai gyakorlatnak megfelelően a lakóterület esetében ezek a feltételek teljesülnek. Mivel biztosítható a szükséges vízmennyiség, ezért nem épült ki kettős lakossági hálózat (ivó- és használati víz) és a szennyvíz elvezetés is egyesített rendszerű. Ózdon a város legnagyobb közületi vízfelhasználója és szennyvíz termelője létrehozása óta a kohászat. Mivel az ipari vízigény speciális minőséget követel, ezért külön forrás biztosítja a lakossági és külön a kohászati vízszükségletet. A települést az Észak Magyarországi Regionális Vízmű (ÉRV Zrt.) látja el ivóvízzel a Lázberci Víztorozó víztisztító művéből egy regionális gerincvezetéken keresztül.

A vaskohászat nagy vízigényű iparág. Jellemző ez az OAM-ra is, mert évente 159,05 millió m<sup>3</sup> ipari vizet használnak fel (2004-es adat). Ezt a víztömeget a Sajó biztosítja (**3/I. táblázat**). A vízkivétel és az előzetes szűrés az OERG Kft. Sajónémeti mellett található felszíni vízkiemelő művében történik, ahol két homokfogón átszűrve, két derítő medencén keresztül, majd csővezetéken át jut el az így alapfokon tisztított víz az OAM vízműibe. Itt felhasználás előtt homokszűrőkön engedik át és ioncserélő gyanta tölteten lágyítják, hogy a technológiai folyamatok számára megfelelő lágyágú legyen a víz.

A vállalatnak két fő vízrendszere van, ezek egymástól elszigeteltek. Az egyik az acélműi vízrendszer. Ez áll egy nyílt vízkörből (FAM-szekunder hűtés) és egy zárt lágyvízkörből, ahová az előtisztított sajóvíz lágyítás és vegyszeres kezelés után kerül. Ez a zártrendszerű kör az ívkemence és az üstkemence hűtő szerelvényeinek, valamint a FAM-kristályosítóknak a hűtővízellátását szolgálja. A másik vízrendszer az RDH-vízrendszer, ami három vízkörre bontható, részben kaszkád rendszerben kapcsolódnak össze: 25°C-os vízkör, 29°C-os vízkör és revés vízkör. A két előbbivel történik a tolókemence hűtőelemeinek, áramátalakítóknak és a gépeknek a hűtése zárt vízkörben. Ezzel szemben a revés vízkör nyílt, amelyben nem lágyított víz kering. Költséghatékonyság szempontjából – kellő tisztítottság esetén – a városi szennyvíztelepen tisztított szennyvíz is újrahásznosítható lehetne a gyár nyílt vízkörében.

A két vízrendszer együtt jelenik meg a FAM-on, mert a kristályosító hűtése, azaz a primer hűtési zóna zárt, lágyvízes. A szekunder hűtőzóna, ami a kristályosítóból kijövő izzó szál locsolásos hűtését végzi, az acélmű nyílt vízkörébe tartozik, de az RDH vízkörébe folyik ki. Az RDH-vízrendszer vizének térfogatárama a három vízkörre nézve 2100m<sup>3</sup>/h. A FAM szekunder nyílt vízkörében bizonyos helyeken gyakori a vízkő kiválás,

amely képezhet felületi mikrolaminált ásványbevonatot és/vagy borsókő szerű kicsapódásokat, melyek anyaga nagyrészt kalcit. A víz forráspontja fölötti hőmérsékleten történő hidrotermális jellegű kiválások egyenetlen eloszlásúak, közöttük és alattuk felerősödik a fémrészek korróziója.

Az üzemnek 3db 2 modulós axiál ventilátoros hűtőtornya van. Az RDH-vízrendszerhez 2, az acélműi vízrendszerhez 1db 2 modulós hűtőtorony tartozik 2500 m<sup>3</sup>/h kapacitással. Csúcsidőben -főleg a nyári kánikulák idején- a víz maximális térfogatárama az üzemben 4600 m<sup>3</sup>/h is lehet. Az OAM frissvíz kihasználási tényezője (teljes vízhasználat/saját célra használt frissvíz) 18,8, ami igen jó eredmény az úniós irányelvek (Best Available Technology) szerint (KOVÁCS B. szóbeli közlése 2003). A vállalat e mellett ivóvíz minőségű vizet is vásárol szociális célokra az ÉRV Zrt-től, évi 58 858m<sup>3</sup> mennyiségben.

A szennyvíz képződése az OAM-nál kétféle, ipari és kommunális. A kommunális szennyvíz az üzem közvetlen szomszédságában lévő városi szennyvíztisztító műbe (**3/15a ábra**) kerül, ennek éves mennyisége 76 500m<sup>3</sup>. Az ipari szennyvíztisztításnál az üzemekből kijövő revés vizek leválasztása történik, itt működik egy 168m<sup>3</sup>-es durva ülepitő medence és két 1000m<sup>3</sup>-es finom ülepitő medence. A reve leválasztás után a víz hűtőtoronyba, majd megint az üzembe kerül. Az ipari szennyvízkibocsátás mértéke 409 900m<sup>3</sup>/év (2004-ben), befogadója a Kajla-patak. A kifolyó vizek tisztítottak, teljesen veszélytelenek, egyedül vas és mangán jelenik meg bennük átlag feletti mennyiségben, az olajtartalom pedig mindössze 1ppm körüli (**3/1. táblázat**). Ennek adataiból látható, hogy a használt, de tisztított ipari víz megfelel azoknak a minőségi követelményeknek, amelyek alapján visszavezethető a helyi élővízfolyásba. Bár a lúgosság viszonylag magas értékű, de ezt az oldott karbonáttartalom idézi elő, így még emberi fogyasztás esetén sem okozna problémát. A nagy lebegőanyag tartalom a szekunder hűtés közben leváló finomszemű reve aprózódási termékével magyarázható, ami egészségre ártalmatlan és szállítás közben kiülepszik.

A vízellátó és szennyvíztisztító rendszerek működését és elemeit részleteiben megismerve megállapíthatjuk, hogy működése zavartalan, biztonságos, és a legszigorúbb környezetvédelmi elvárásoknak is megfelel. Így sem ebbe a rendszerbe nem kerülhet be jelentősebb szennyezés, onnan ki sem juthat ilyen emisszió.

## 4. KOHÁSZATI ELJÁRÁSOK ALAPJAI

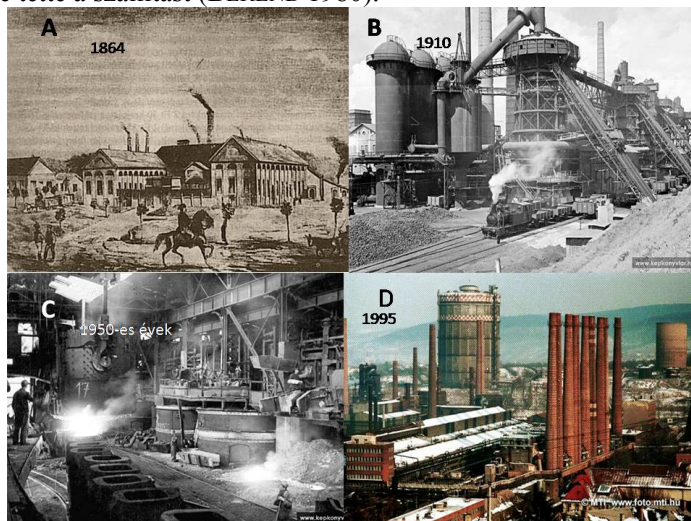
### 4.1. Az ózdi gyártáskorszerűsödés fejlődéstörténeti vázlata

Ezt az összefoglalást az indokolta, hogy általa válik leginkább érzékelhetővé, hogy az Ózdon 170 év alatt alkalmazott kohászati eljárások fejlődése mit jelentett a termékminőség, mennyiség és költséghatékonyság javulása szempontjából, miközben e fejlődést egyre kevesebb salak, káros kibocsátás, tehát környezeti szempontból nem kívánatos hatás kísérte. Eközben igen nagy tömegű bányászati nyersanyagot és adalékanyagot használtak fel, s ennek megfelelően hatalmas mennyiségű salak és meddő halmozódott fel, melynek utógondozása és hasznosítása részben a mai utódokra hárul.

A gömöri vasiparban egykor érdekelt földbirtokosok Krasznahorka Hosszúréten (ma Dlhá Lúka, Szlovákia) 1843-ban megállapodtak arról, hogy közösen építenek egy vasgyárat, valahol a Mátra vidékén, az ott található barnaköszénre alapozva. Az ott élő birtokosok tiltakozása miatt a tervet támogató, s a vasiparban már eddig is érdekelt

Sturmann Márton volt az egyedüli, aki saját ózdi birtokán hozzájárult a gyártelepítéshez. Ez a telephely logisztikai szempontból praktikus döntés volt, mert jók voltak a közlekedési viszonyok, helyben voltak jó minőségű barnaköszéntelegek és a vízellátást a Hangony, majd később rásegítésként a bánszállási és járdánházai szénbányák bányavizei, végül a Sajó biztosította.

A gyár 1847-re készült el, s első igazgatója Rombauer Tivadar vezetésével már ekkor kavarási eljárással dolgozott és korszerű meleghengerű is működött mellette (4/1. ábra). Kezdetben a szükséges nyersvasat lovasszekéren szállították a Rima-, a Murány- és a Sajó-völgy nagyolvasztóiból Ózdra. A gyár 1848-ban puskacsövek gyártásával segítette a szabadságharcot. A vasút, a kiegyezés évében, 1867-ben ért el Ózdra, ami megkönnyítette és növelhetővé tette a szállítást (BEREND 1980).



4/1. ábra Képek az ózdi kohászat történetéből. A/ kép: az első gyár kavarási acélműve (rézkarc). B/ kép: az első nagyolvasztók Langen-rendszerű adagolóival. C/ kép: Martin acélmű öntőcsarnoka. D/ kép: az ÓKÜ (Ózdi Kohászati Üzemek) lát képe a teljes felszámolás előtt.

A gyár az ezt követő évtizedek során egyenletesen fejlődött a mindenkor műszaki színvonalnak megfelelően. Fontos dátum 1878, amikor az Ózdon is igazgatói tiszteletet betöltő Borbély Lajos szabadalmaztatta új gázkavarási kemencéjét, ami akkor világhírű konstrukciónak számított. Regeneratív rendszerű tüzelése (levegő előmelegítés) jóvoltából kb. 25%-kal csökkent a kőszénfelhasználás, miközben nőtt a termelékenység.

A Martin Acélmű 1895-ben indult be, lehetővé téve a folytacélgyártást. A bemutatott korszerűsítések ellenére a kohóiparnak így is relatíve igen nagy volt a kőszénigénye. Így acélkohászati salakok mellett igen nagymennyiségű szénsalak is képződött, s ezekkel kezdték el feltölteni a Hangony árterét, ahová a szilárd és a még folyékony martinsalakat is deponálták.

Ózdon 1906-tól indult meg az első két nagyolvasztó működése, s általuk egy harmadik salakféleség jelent meg, a kohósalak. Az így megnövekedett salakmennyiséget kezdtől a szomszédos Tekerős-völgyben (Hétes körzet) kezdték el deponálni, s ez 1984-ig így történt. A szállításhoz fogaskerekű vasutat építettek, s ez a martinsalakat is ide szállította.

Az 1950-es évektől indult be a mai Sajóvárkony-Tábla ózdi városrészek körüli mocsaras völgytalpi térségek salakkal történő feltöltése. Politikai-ideológiai okok miatt

ebben az időszakban nyert hazánkban prioritást a nehézipar, benne a bányászat és a kohászat aránytalanul túlméretezett voluntarista fejlesztése. A termelés növelése egyre több nyersanyagot, ércet, szenet és kokszt igényelt, amit Ózdon az eddig megszokott területeken már nem tudtak tárolni, ezért újabb térségeket kellett bekapcsolni a nyersanyagkészletek elhelyezésébe. Ez a terjeszkedés 1984-ig tartott és egészen Center térségéig terjedt ki. Az alsó-hányón egy salakfogadó állomást hoztak létre, ahol az építőanyag minőségű kohósalakot külön kezelték, sőt egy ideig építési célra értékesítették. Ózd és a környékbeli települések lakói számos máig jól funkcionáló magánházat építettek ebből a jól hasznosítható anyagból. Sokan tájékozatlanságból tévesen úgy tudták, hogy a salakból történő építéskor cementet lehet megspórolni, amely később a más minőségű martinsalak hasonló hasznosításánál már komoly térfogatállósági gondokat okozott (lásd később).

1985-től a salakot és a meredvényeket az ekkor létrehozott és jelenleg is üzemelő centeri salakfeldolgozó műbe szállították. Ehhez kapcsolódóan a salakhányón új telephely létesítésével egy salakbányászati üzemet is létrehozottak a salakba ágyazódó fémes vas- és acélzárványok, az ún. szeparátorvas kinyerése céljából. A 300mm-nél nagyobb darabokat helyben leválasztották, míg az ettől kisebbeket drótkötélpályán továbbították Centerbe, ahol többszörös törés, osztályzás és mágneses szeparáció által osztályozott salakzúzalékot és ferrum tartalmú szeparátorvasat nyertek (VASS 2003).

Az 1989-es rendszerváltozás időszakában a hazai nehézipar súlyos válságba került. Ennek következményeként 1991-ben megállt a nagyolvasztómű, 1992-ben a Martin Acélmű, 1995-ben pedig az Ózdi Kohászati Üzemeket teljes egészében, jogerősen felszámolták, építményeit – néhány kivétellel – napjainkig elbontották. Az egykori gyárterület ma ipari parkként funkcionál. A változások az ózdi lakosságot tragikusan érintették, a családi bevételek elmaradtak, a szociális juttatások nem tudták pótolni a jövedelem kiesést és a környezeti károk sem lettek teljesen felszámolva. A határok légiesedésével, az EU csatlakozással és a ma ismét központi szerepet játszó korszerű újraiparosítási politikával fokozatosan javulni kezdett a hazai és az ózdi helyzet. A környezetvédelem az EU-s harmonizáció jóvoltából új, szigorúbb, szervezettebb alapokra helyeződött. Remélhető, hogy ezáltal a környezettudatosság és a kármentesítésre, valamint megelőzésre fordítható anyagi keretek, a megelőzési és infrastrukturális körülmények jelentősen javulni fognak, aminek részeként megjelenhet végre egy fejlett környezetvizsgáló monitoring rendszer is.

A régi gyárból tartósan egyedül a Sajóvárkony nevű városrészen 1976-ban betüzemelt, még ma is korszerű RDH (Rúd-Drót-Hengermű) üzem maradt működésben Ózdi Acélművek Kft néven. Ezt 1995-ban eladták a jelenlegi tulajdonosnak, a Max Aicher Unternehemens Gruppe GmbH-nak (VASS 2001). E cégcsoport birtokában van a centeri salakfeldolgozó mű is, amely jelenleg Aicher Beton Kft néven üzemel. A hengerműhöz kapcsolva 2000-re felépítették a ma működő, modern mini acélművet.

A bemutatott átalakulási folyamat eredményeként a régi gyár 13000 főnyi dolgozójával szemben ma kb. 420 személy dolgozik az ózdi kohászatban. E korábbi, irreálisan nagy dolgozói létszám a kötelező munkavállalási törvény szociális következménye volt. A mai szemlélettel ugyanazon régi teljesítményhez – egyes vélemények szerint – 5000 fő is elégséges lett volna. Ez a termelés ma kb. évi 1 millió tonna acélterméket jelentene. A mini acélmű mostani 420 fős stábjá 340 000t hengerelt árut, sőt igény esetén 0,5 millió t-t is képes termelni a jelenlegi felszereltséggel.

A térség szociális problémái főleg abból erednek, hogy hirtelen ezrek maradtak munka nélkül, ami mellett számos szellemi-lelki-társadalmi környezetszennyező jelenség

(alkoholizmus, drog, depresszió, bűnözés, vandalizmus stb.) jelent meg. Sajnos az elszegényedett, részben deviánssá vált réteg érzékelhető jelenléte elriasztja a térségbe jönni szándékozó befektetőket, s a helyzetet súlyosbítja a perifériális földrajzi helyzet és a viszonylagos infrastrukturális elmaradottság (pl. útviszonyok), amit nehezít a dombsági terület felszínének tömegmozgási instabilitása, mivel korlátozza a közúti megközelíthetőséget, az utak terhelhetőségét és új nyomvonalak kijelölését, ill. régiek bővítését.

#### **4.2. A 170 éves kohászat eljárásai és anyagforgalmuk környezeti hatásai**

A régi vas- és acélkohászati melléktermékek, salakok sok évtizedes, „összeérett”, nagy kiterjedésű depóniái ma már többnyire olyan több szempontból stabilizálódott anyagtömeget jelentenek, aminek a szerepe, helyzete sok tekintetben a természetes földtani háttér képződményeihez hasonló. Ez indokolja itteni vázlatos bemutatásukat a földtani környezet bemutatása után. A régi szénsalakok ismertetését is ez indokolja, bár ezek máig húzóerő környezeti hatása esetenként nem tekinthető teljesen inertnek. Az Ózdi Kohászati Üzemek (ÓKÜ) hagyományos működésének rendszerét a *4/2. ábra* foglalja össze.

##### *4.2.1. Kavarási acélgyártás*

Ózdon az acélgyártás 1847-ben a kavarási eljárással kezdődött, ahol a tört nyersvasat egy széntüzelésű lángkemencében olvasztották meg és a kemence oxidatív atmoszférája által a betét C, Mn és Si tartalma a szükséges mértékig lecsökkent, majd a kapott „bucavas” tömb – amit itt luppának neveztek – további feldolgozásra került. A gyártás során képződött kavarási salakok kezeléséről, tulajdonságairól nincsen konkrét információnk, azon kívül, hogy ~80% volt a FeO tartalmuk (CSABALIK – SZARKA 1987a). A mai lángvágási salakokhoz hasonló anyagok lehetnek, jelentős magnetit, wüstit és hematit tartalommal, kevés szilikát fázissal, ami az összetételből eredően feltehetően fayalitos - knébelites lehetett. A mállás során limonitos kéreg alakulhat ki rajtuk. Idővel a salakok szilikát tartalma -a kőzetekhez hasonlóan- lassan elagyagosodik. Ezek a folyamatok évszázadokon át tartanak, és esetükben ez nem jár káros környezeti hatással. Az ilyen mállás egyik legjelentősebb kísérő jelensége a vasoxidok lassú oldódása és részleges kimosódása.

A kavarási salakokat gyakran a kavarási kemence medencéjének döngölésekor hasznosították. Ilyen salakbélésű kemencében olvasztották meg a nyersvasat és dolgozták fel acéllá. Ezt a salakfajtát potenciálisan a régi vasgyár (mai néven Törzsgyár) terepi feltöltéseiben lehet megtalálni. Ezekre a régi terítésekre rátöltötték a fiatalabb, szénsalakkal és tűzálló hulladékkal kevert törmelékeket. Az is valószínű, hogy egy részüket időszakosan visszaszállították a gömöri kohóművekbe kohósításra. Tény, hogy 1906-ban az ózdi nagyolvasztóknál az ércelegyhez ~1%-ban keverve adagolták (VASS 2003).

##### *4.2.2. Széntüzelés és salakképző hatása*

Borsodban a szénsalakok környezeti hatásait máig nem vizsgálták, noha például Ózdon a kavarási kemencék legnagyobb tömegű mellékterméke a fűtésre használt szén salakja volt. A szénbányászat folyamatos gépesítésének köszönhetően a termelvény egyre nagyobb hányada lett apródrabos. Az így termelt dióméretű borsodi barnaköszének elégetéséhez használt korszerű berendezés az ún. vándorrostélyos, keresztdobos BW-kazán

volt (4/3. ábra). A kavaró eljárásnál 1t acél előállításához 6-7t Ózd vidéki barnaköszénre volt szükség (BEREND 1980). Ezzel számolva 15% -os hamutartalom mellett ~1,0-1,1t szénsalak jutott 1t acélra. Így érthető, hogy a közel 150 év alatt termelődött szénsalak hatalmas mennyiséget jelentett Ózdon és felszíni hányóit lefedés nélkül erősen veszélyeztette a szélerózió. Részben ez magyarázza, hogy miért használták fel tömegesen az azóta beépített völgytalp egykori egyenetlenségeinek kiegyenlítésére.

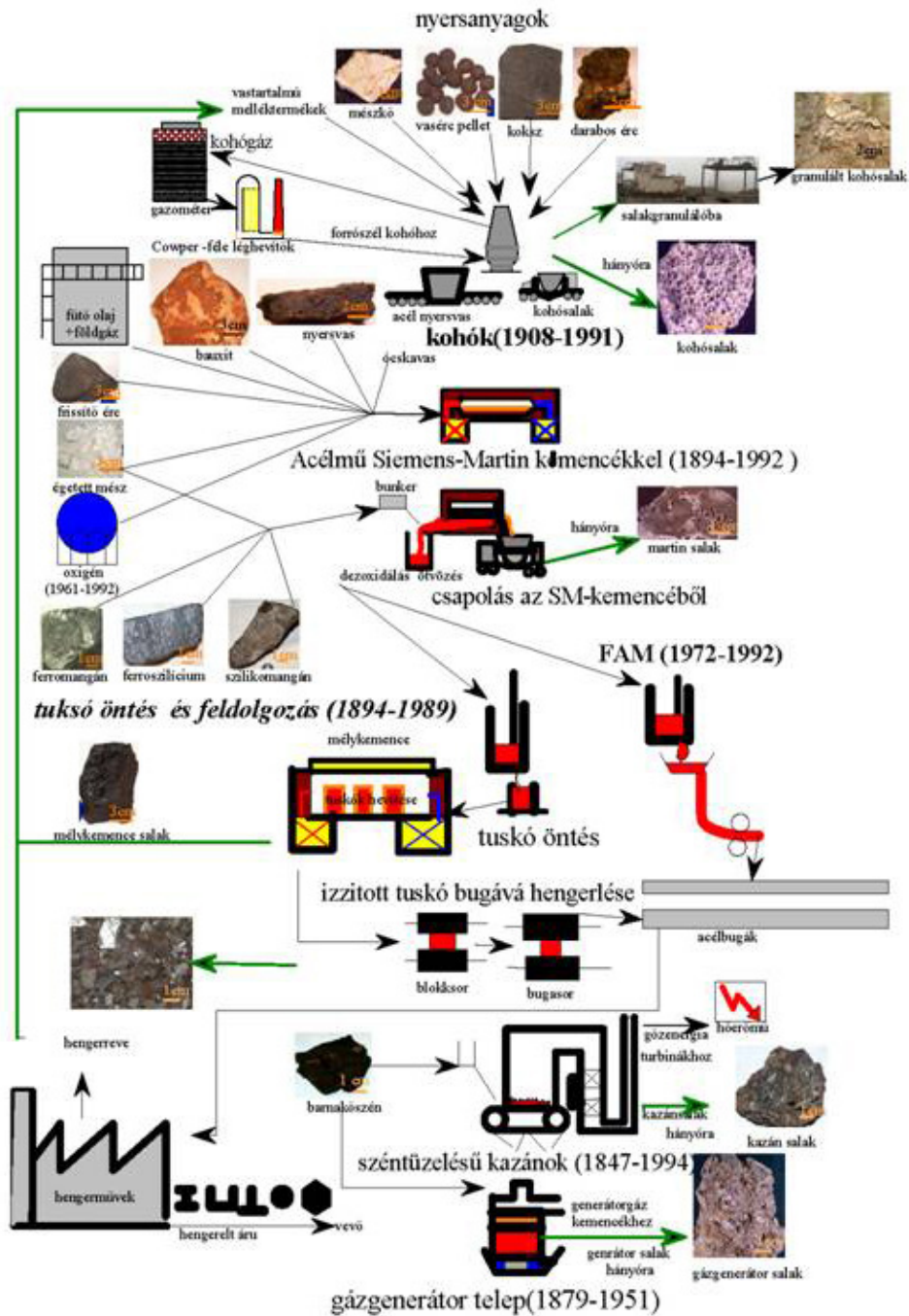
Ezen kívül a gyártó berendezéseket működtető gőzgépek, valamint később a szállítást végző gőzmozdonyok tetemes mennyiségű szenet igényeltek. Legnagyobb szénigényű létesítmény előbb a központi gázgenerátor telep, majd a későbbiekben létesített széntüzelésű hőerőmű volt. E felhasználási területek miatt folyamatosan rengeteg szénsalak képződött. Az ártéri térszínnek feltöltésének anyagában a legjelentősebbek a széntüzelési salakok, amelyek a feltöltések anyagának minimum 50 %-át alkotják. Megjelenésükre jellemző, hogy sötétszürkék, néhol vörösek, erősen porózusak, hólyagosak. Szemcseméretük 0-100 mm között ingadozó. Ezek a szénsalakok szilikátos jellegűek, mivel az Ózd vidéki barnaköszének átlagosan 15 % körüli hamutartalmúak, ami a hozzá keveredett agyagos meddő tartalomból és az átkovárodott szénzövet maradványokból származott. E szeneknél – amilyen például a bemutatásra kerülő farkaslyuki szén – jellemző tulajdonság (4/1., 4/2. táblázatok), hogy minél kisebb a szén szemcsemérete, annál több a hamutartalma (BERÉNYI & GÁL 1956).

Azért választottuk bemutatásra a farkaslyuki szén 1952-53 évi átlagösszetételét, mert ennél a bányánál ebben az időszakban volt csúcsra járva a termelés, és az ÓKÜ-nél felhasznált szén jelentős része innen, valamint a hasonló minőséget termelő szomszédos Somsály bányájából került ki.

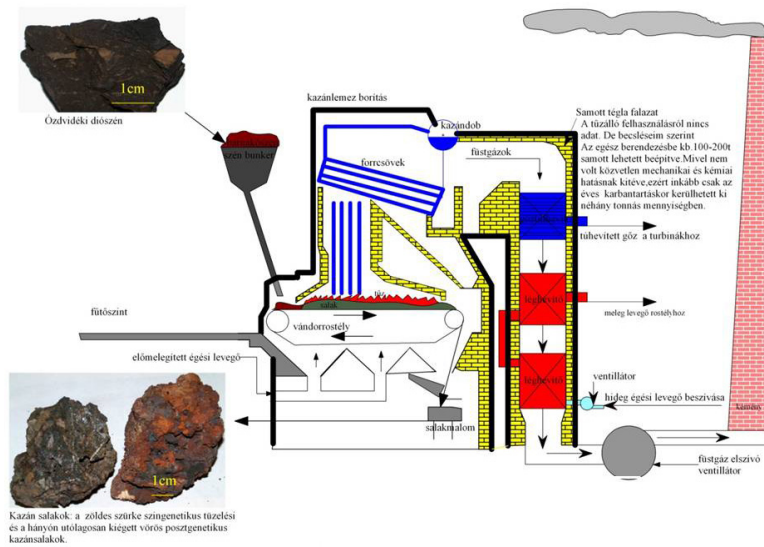
A szenek elégetésekor visszamaradó hamutartalom a tüzelés hőmérsékletén általában szinterelődik és nagyobb tömbökké sül, illetve olvad össze (VUTHALURUA & FRENCH 2008a, b), amit a deponálás előtt kb. 0-100mm-es darabokra aprítottak. Az Ózd vidéki szenek hamujának ragadóssági (lágylási) pontja 1090°C, olvadáspontjuk 1200°C körül mozog (GYULAI 1966). Az általunk bemutatásra kerülő farkaslyuki szenek hamui is hasonlóan viselkednek. A tüzelés hőmérséklete a kazán rostélyán égő szénrétegben optimális esetben nem lehetett több 1100°C-nál, mert az összeolvadó salakjelentős mennyiségű éghető széndarabkákat zárhat magába. A gyakorlatban ezek elégetését általában nem tudták biztosítani, így a kazánsalakok ingadozó mennyiségű éghető zárványt, ún. „salakéghetőt” tartalmaztak.

A 20. sz. elején a hagyományos állorostélyos gázgenerátorokat felváltották az ún. Kerpely-féle forgó rostélyos gázgenerátorok (4/4. ábra), ezeknél vízgőz befűvást is alkalmaztak a nagyobb fűtőértékű generátorgáz fejlesztése céljából. A vízgőz miatt a szénsalak üzemi hőmérséklete jelentős részben a szénhamu ragadóssági pontja alatt maradt. A generátor salakok ezért jelentős részben nagy porozitásúak, csupán kisebb hányaduk olvadt meg a helyi túlhevülések miatt. Ezt a gyengén összeállt salakot a forgórostély lazította és morzsolta szét, ami aztán a berendezés alján található vízzárba hullott bele. A vízzár alatt kiüledő salakot egy kaparó szerkezet juttatta rá egy szállítószalagra, amin végül egy vasúti vagonba került.

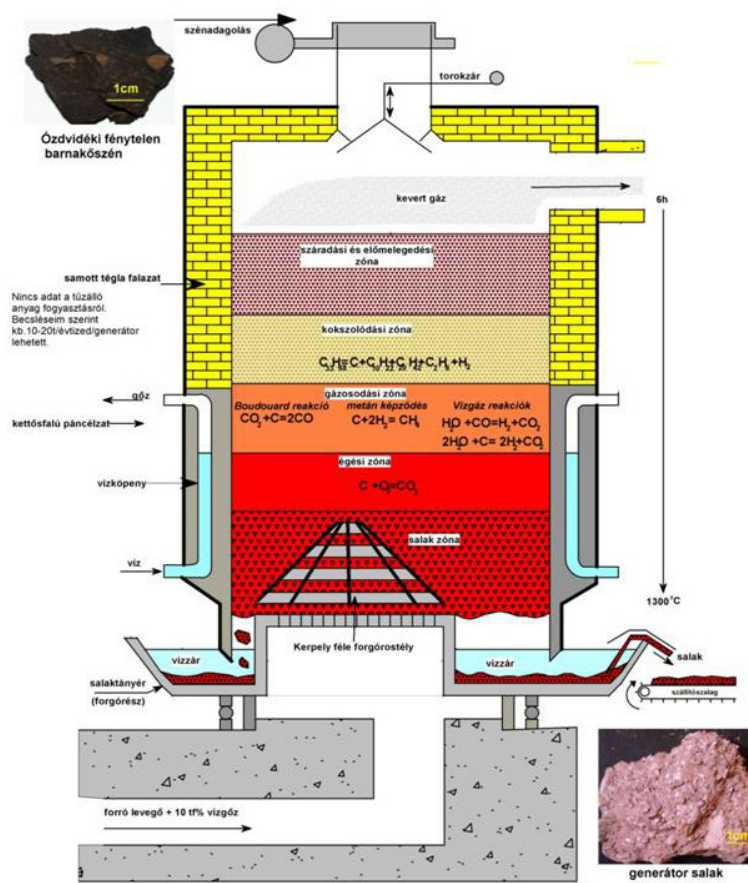
A szén kigázosodása során annak illékony nehézfém tartalma (Pb, Zn, As, Se, Hg) is eltávozik a generátorgázzal (BUNT & WAANDERS 2008; WAGNER et al.2008; STERGAŠEK et al. 2008). E nehézfémek valószínűleg az ún. bomlásvízben (lásd később), illetve a gáz porfrakciójában dúsulnak. Ezt a kérdést a technológia 40 évvel ezelőtti megszüntetése miatt ma már nem lehet megvizsgálni, azonban ezzel a szennyezőforrással is érdemes számolnunk.



4/2. ábra Az Ózdi Kohászati Üzemek működésének folyamatábrája és anyagforgalma.



4/3. ábra Vándorrostélyos BW-kazán a barnaköszén tüzeléséhez.



4/4. ábra Kerpely-féle gázgenerátor jellegrajza és a gázosítás folyamata.

Ennél a szénelgázosítási technológiánál érdemes megemlíteni, hogy a barnaköszémből fejlesztett generátorgáz kátránygőzben és szénporban gazdag, amelyeket tüzelés előtt általában leválasztottak. Elvértve még ma is lehet találni egykori karbantartás során a meddőre kikerült kátrány darabokat, amit a helyszínen és laboratóriumban is ki tudunk mutatni. Ez az ún. fenolteszt, amikor a fenol származékok (kinonok) hatására az általunk alkalmazott nátriumhidroxid oldat sötétvörösre színeződött. A köszén kokszolódása, azaz pirolitikus disszociációja során képződik még egy másik melléktermék is, a szerves anyagokkal szennyezett ún. „bomlásvíz” (VARGA & POLINSZKY 1961;), amely élővízbe módosítva toxikus hatású, mivel fenolszármazékokat tartalmaz. Ezen kívül cianidokat (CN) és rodanidokat (SCN<sup>-</sup>) valamint ammónium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) vegyületeket is tartalmaz melyek közül az első kettő erős mérgező (WANG et al. 2013). A pirolízis során termelődő fenolokkal szennyezett vizet a gázgenerátor vízzárába vezették, ahol a folyamatosan bele hulló izzó salakszemcsék hője lassan elpárologtatta a gázosító térbe. A technológia hiányosságai miatt a generátorsalakokkal együtt fenolszármazékok is kikerülhettek a meddőre, tehát szingenetikusak a salakképzéssel. Az így feltöltésekbe kerülő szénsalakokból, pernyékből a csapadék és a talajviz kimoshatott ilyen káros anyagokat. Az e téren végzett fenol teszt vizsgálatainkkal Hétes és Sárli-telep környékén a szénsalakkal feltöltött völgytalp kb. 1km<sup>2</sup> területén 10 véletlenszerűen előbukkanó szilárd kátrány darabokon kimutattuk a fenolszármazékok jelenlétét

Egy külön gázkromatográfiás vizsgálatot igényelne annak eldöntése, hogy a régi depóniákban és feltöltésekben lévő szénsalakokból ma is mosódik-e még ki ilyen veszélyes szennyező anyag és milyen mennyiségben, illetve milyen ezeknek a szétmosódási körzete, távolsága. Sajnos a régen deponált anyagok korára, a feltöltések sorrendjére nincsen pontos információ (pl.tervrajz). A bomlásvíz ártalmatlanítása ma is egy kritikus pontja a világ különböző részein üzemelő mai, korszerű, nagynyomású gázgenerátortelegeknek, bár ma már külön gyűjtik és tisztítják ezt a speciális szennyvizet. Hatástalanítására több biotechnológiai lehetőség is rendelkezésre áll (WANG et al. 2013). A szénelgázosítást azért is meg kell említeni, mert várhatóan a közeljövőben ismét jelentős ipari technológia lesz az ún. „tisztaszén technológia” program szellemében.

A kiégett szénsalakok kémiai és ásványos összetétele a természetben található bazaltokhoz és andezitekhez áll legközelebb. Megjelenésükben az andezit vulkánok fröccskúpjainak salakos anyagához hasonlítanak. Főelem tartalmukra jellemző, hogy 50%-körüli SiO<sub>2</sub> és 10-20% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tartalom mellett ~10% vasoxid- és hasonló arányú mésztartalmuk van. Amint az a hamu elemösszetételéből kiderül, a komponensek lehetnek anomálisak (pl. Járdánháza, Vajács-telepi szén), mivel ott például az Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> megközelítheti a 40%-ot is (BERÉNYI & GÁL 1956) **(4/3. táblázat)**.

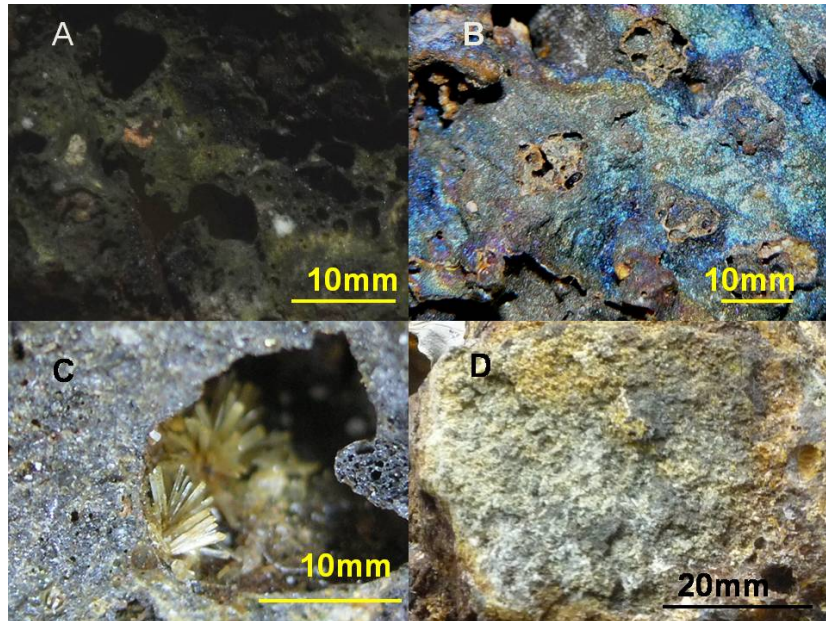
A mikroszkópi és XRD vizsgálataink szerint a szénsalakok fő ásványai a különféle piroxének, plagioklászok, kvarc, kevés magnetit és hematit **(4/5 - 4/6 ábrák)** A szénsalakok a mesterséges kőzetek közül mineralógiai szempontból a durvakerámiaiipari termékekhez, elsősorban a téglákhoz állnak közel azok piroxén, kvarc és plagioklász ásványtartalmuk alapján (KOLESZÁR et al 2015; CULTERONE et al. 2004). E hasonlóság oka, hogy a hamutartalom az esetek nagy részében nem más, mint a szénüléskor a növényi törmelék közé keveredett és később bezáródott agyag. A hamutartalom másik része a szén kiindulási anyagát képző szubtrópusi növényzet vázanyagát képző nagymennyiségű SiO<sub>2</sub> ból. Az mind a Borsodi- mind az Ózdi-Egereshei Szénmedencében jelentős a szenek dia- és posztgenetikus átkovárosodása kvarc és kalcedon megjelenése mellett, (BALOGH 1992) Ez tovább növeli a köszén hamutartalmát **(4/1. táblázat)**.

Ezek mellett jelentős mennyiségű kén is megjelenhet, ami szélső esetben a 7-8%-ot is elérhette. Az összes kéntartalomnak mintegy 70-75%-a salakkén formájában benne maradt a salakban és deponálásra került vele. A maradék 20-25% pedig elégye a füstgázokkal kijutott a környezetbe, potenciálisan ezek okozzák a savas esőt. A szilárd tüzelőanyagok esetében – amilyen a barnakőszén – az eltávozó éghető ként a kalorimetralásból kapott kondenzátum titralásával mért ún. bombakénként definiálja a szakirodalom (BERÉNYI & GÁL 1956). Az illó kén tartalom mellett a szenek halogén tartalma (Cl, F) is eltávozik a füstgázokkal, tovább fokozva e gázok agresszivitását. Ez a folyamat hasonló a tégláégetéskor bekövetkező elemvándorláshoz (GONZÁLEZ et al. 2006).

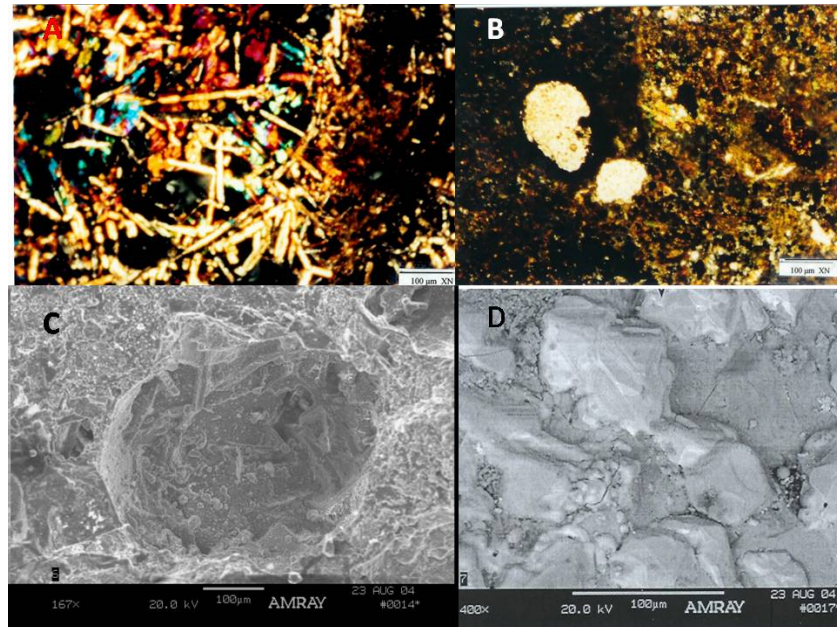
A kéntartalom a szénben pirit, markazit formájában jelenik meg, tehát többnyire valamilyen szulfidként, de nem ritkán valamilyen szulfát, főként gipsz vagy anhidrit is lehet a hordozója. Utóbbiak azonban a szénhez tapadt meddőanyagok alkotói lehetnek. A külföldi kutatásokból kitűnik, hogy számos nehézfém a szénben lévő piritből és szfaleritből származik (SEKINE et al. 2008; GOODARZI et al. 2008; Sivek et al.). Az egykor lerakott szénsalakok talajvíz víz feletti depóniáiban (pl. Tekerős-völgy) másodlagos kiégés is történt, mivel e salakok gyakran 10 %-nál több „salakéghető” kARBONT is tartalmaztak, ami nagy fajlagos felületű félkoksznak tekinthető. Ez a reakcióképes felület elősegítette a hőtermelő szulfid oxihidratáció okozta öngyulladást. A salakkén tartalom kezdeti bomlása és tökéletlen égése miatt a terméskén is megjelenhet, főleg exhalatív kigőzölések által létrehozott bevonatok és idiomorf 0,1-4,0mm-es rombos kén kristályok formájában (KOLESZÁR 2005, SÜTŐ et al. 2007).

A kéntartalom a levegővel és a nedvességgel reakcióba lépve kénsavvá oxidálódva megtámadhatja a salakot és annak környezetét. Mivel e folyamat nagyrészt az égés közben történik, ilyenkor a legintenzívebb égési góccok mikrokörnyezete hasonló a vulkáni működés pneumatolitos-hidrotermás zónáihoz, ahol a nagy hőmérsékletű és fugacitású fluidumok vegyileg megtámadják az izzó kőzetet, s annak elemtartalmát – beleértve a jelenlévő nehézfémeket is – részben remobilizálják (ZHAO et al. 2008; JEGEDEESAN et al. 2008). Így néhány szkarn jellegű lokális kiválás mellett különféle vízdoldható szulfát vegyületek, karbonátok és ritkábban egyéb ásványok képződhetnek, amelyek e „salakkőzet” másodlagos ásványainak tekinthetők (4/4. táblázat). Ilyenek például az általunk is meghatározott, többféle alkatú gipsz, jarozit, melanterit, rozenit, thaumasit, aragonit, barit, malachit, goethit, hematit stb. Megfigyeléseink szerint az ilyen közeg fémesei közül legkönnyebben a vas mobilizálódik. Ez a szulfátos savasodás nem jelent környezeti kockázatot, mivel a már említett agyagos feké kőzet karbonát tartalma, valamint a továbbiakban említésre kerülő bázikus, nagy mésztartalmú martin- és kohósalakok csurgalékvizei jelentős mértékben pufferolják az esetlegesen megjelenő savasodást. Nem ritkán a kazánsalakok finomfrakciója is rendelkezik karbonát tartalommal. E másodlagos ásványok kioldódása miatt a talajvízben feldúsulhat a vas és a szulfát tartalom. Elemzéseink szerint az ilyen másodlagos ásványokban gazdag salakdepóniák csurgalékvizei többnyire nem tartalmaznak környezetre veszélyes nehézfémeket illetve toxikus elemeket. A helyenként kisebb mennyiségben kioldódó Ba és Sr a vízfolyások fenékküledékeiben néhány száz méteren belül kicsapódik (SÜTŐ et al. 2007).

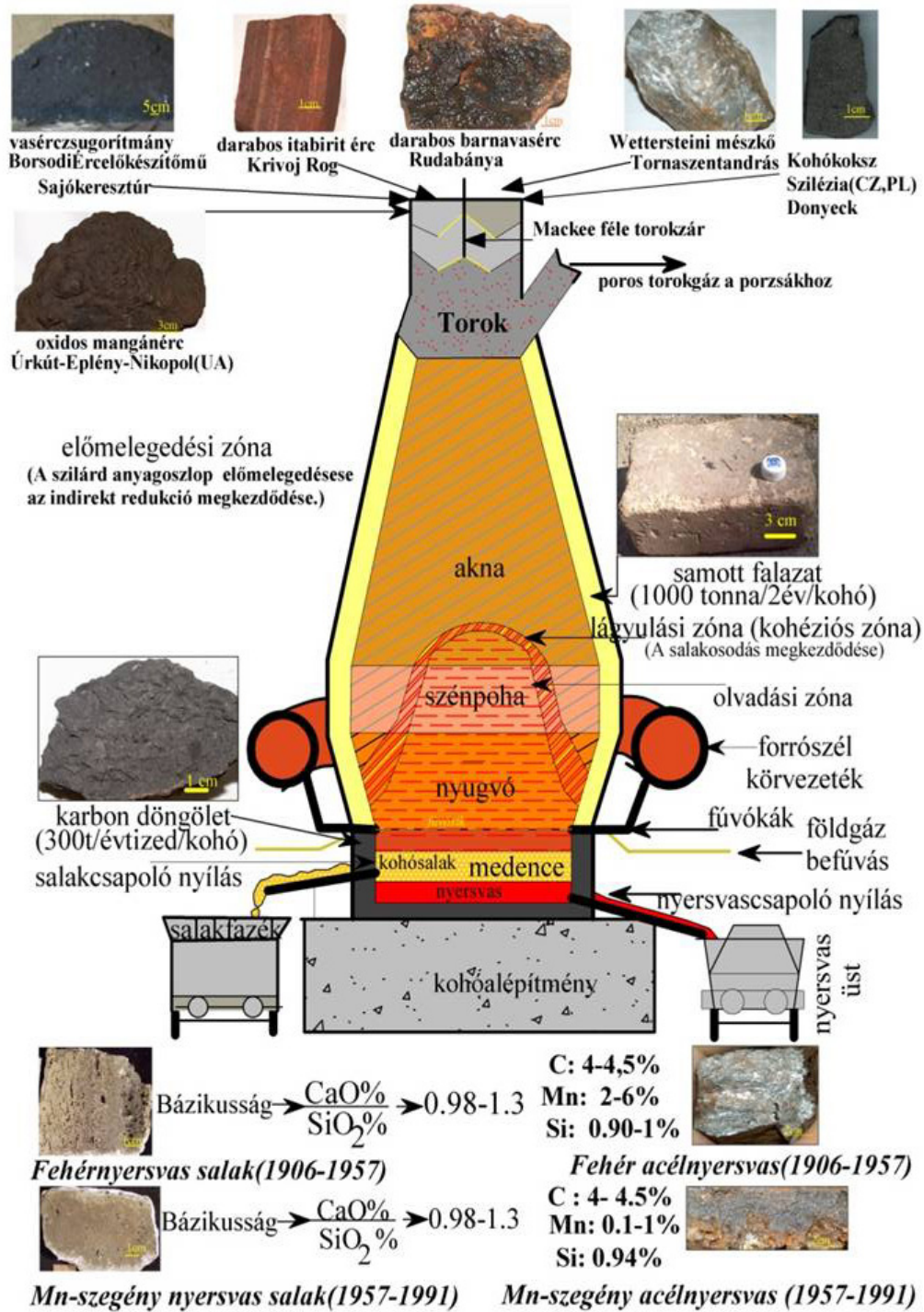
A szénsalakok építőpari hasznosítása már régre nyúlik vissza (ELINSON 1962). Ózdon is hasznosították ezt a környéken népies néven „troszká” -nak nevezett meddőt. Ennek az anyagnak a térfeltöltésen túl magán építkezések építőanyagaként is jelentős szerepe volt a 20. sz. közepén, mivel olcsón árusították. A laza kiégett salak törmelékekből többfelé házilag falazóblokkot készítettek. Másutt szénsalakból zsaluzással monolit betonfalakat



4/5. ábra Szénsalakok megjelenése és ásványai. A/. kép: kazánsalak diopszid foltokkal. B/. kép: másodlagosan kiégett szénsalak hematit bevonattal. C/. kép: gipszkiválás szénsalak üregében. D/. kép: kazánsalak felszínén kivált szulfátok (gipsz, jarosit) és goethit.



4/6. ábra A szénsalakok mikroszkópi felvételei. A/. kép: vékonycsiszolatban megjelenő piroxén (tűs), szemcsés magnetit kevés üveges mátrixban. B/. kép: utóégett kazánsalak vékonycsiszolatában megjelenő hematit, magnetit és piroxén apró szemcséi, üledékes kvarcok maradványaival. C/. kép: elektronmikroszkópi felvételen szénsalak üregében fenn-  
nőtt goethit. D/. kép: elektronmikroszkópi felvétel másodlagosan kiégett szénsalak  
pórusában megjelenő exhalatív hematit kristályokról.



4/7. ábra A nagyolvasztó működésének folyamatábrája.

emeltek. Ezek mellett számottevő volt az utóégés során erősebben összesült szénsalak falak anyagából szögletes tömbökben kifejtett falazóblokkok hasznosítása is. A szénsalak betonból épült lakásoknál kockázatot jelenthet a hamuban visszamaradt radionuklidok bomlásának egyik mellékterméke a radongáz, ami radioaktív (KOVLER 2009; MAHURA et al. 2008; Somlai et al. 2008 ;BUDÓ 1978). Ez a gáz közismerten rákkeltő, de rendszeres légcserével (szellőzés) jelentősen csökkenthető a kockázata. Az MTA Debreceni Atommagkutató Intézete (ATOMKI) által végzett radon emanáció mérések sehol nem mutattak ki egészségre veszélyes koncentrációt az ilyen építményekben (szóbeli közlés 2009). A szénpernyék és kazánsalakok építőipari hasznosításának mértéke napjainkban egyre jelentősebb (BERG & FEURBORN 2000).

Sajóvárkony-Center térségében a salakkal feltöltött térszínek anyagát és a benne áramló talajvizet a szűkös anyagi lehetőségeink miatt sajnos nem állt módunkban megfelelően feltárni, megmintázni és bevizsgálni. Az itteni feltöltésekhez használt kohászati salakok (kazánsalakok, martinsalak, kohósalak) jelentős része a régi Tekerős völgyi salakhányó áthalmozásából származik. Szerencsére egy régebbi kutatásunk (KOLESZÁR 2005) során a lehetőségeinkhez mérten ezt az eredeti forrást átfogóan megvizsgáltuk *(4/5. táblázat)*. Ennél a kutatásnál volt lehetőségünk a salakhányóból fakadó forrás vizének vizsgálatára is *(4/6. táblázat)*. Bizonyos, hogy az ott tapasztalt jelenségek itt is helytállóak, hiszen egyazon anyagról van szó. Az ide vonatkozó vizsgálati eredményeinket később mutatjuk be

#### 4.2.3. Nyersvasgyártás

Az ózdi kohászat máig legjelentősebb mellékterméke a kohósalak volt. Ennek rövidei bemutatása nem hagyható el a technológiai ismertetőből, de részletesebb jellemzésére a salakfajták bemutatásakor kerül sor. A kohósalak a nagyolvasztóban *(4/7. ábra)* felhasznált vasérc kohósításának mellékterméke, fajlagos mennyisége átlagosan 900-1000kg/t nyersvas volt. A nyersvas, mint 1,7-4,2% kARBONT tartalmazó féltermék, főként az acélgyártás nyersanyaga, de Ózdon kisebb mennyiségben öntészeti nyersvasakat is előállítottak, amelyben az acélnyersvas *(4/8 ábra)* 0,9%-os szilícium tartalmával szemben itt ennek értéke 1,5 % körüli *(4/7. táblázat)*. A kohósalak feladata elsősorban az érc és kocsz meddőtartalmának megkötése, de fontos szerepe volt a kocszból származó kén kivonása is (FARKAS 1989). Ez utóbbi érdekében mészkő hozzáadásával bázikus salakot képeztek, 1,2-es bázikussági mutatóra (lásd később) törekedve, mivel ebben az összetételi tartományban optimális a redukálóra váló salak kéntelenítő képessége. Irodalmi források alapján a kocszhamu ásványos összetételére jellemző, hogy nagyjából röntgenamorf fázisok alkotják, két fő kristályos alkotója a kvarc és a mullit, kéntartalmú komponens a pirrotin, a foszfortartalmú pedig fluorapatit (SAKUROV et al. 2007).

E salakok megjelenésére jellemző, hogy színük fehér, világosszürke *(4/9 ábra)*, de nagyobb mangántartalom esetében lehet zöld és zöldesbarna, nagyobb magnézium tartalomnál pedig színük kékeszürkére vált. Azonosító bélyegük, hogy bennük gyakran nyersvas cseppek, lepények is előfordulnak zárványként. E lepények a csapoló csatornában visszamaradt olvadék meredvények, melyeket „rókavasnak” neveznek. Tapasztalataink alapján összetétele eltérhet a valódi nyersvasétól, amelyhez az őt beágyazó salak tartozik. Iparrégészeti /archeometriai kutatásoknál (KOLESZÁR 2007) ez félrevezető lehet az egykori nyersvas gyártás technológiai körülményeire történő következtetéseknél. E hibalehetőség elsősorban a nyersvas Si-tartalmára vonatkozik, mivel a rókavasak szilícium tartalma csak töredéke az eredetileg gyártott nyersvas átlagos összetételéhez képest. A salak ásványfázisai a mészszilikát szkarnokéhoz hasonlítanak.

Az ózdi kohósalakok vizsgálata során a következő ásványokat **(4.10-4.11 ábra)** sikerült azonosítanunk: akermannit, larnit, gehlenit, rankinit, grafit, tehát a grafit és a rankinit kivételével a későbbiekben tárgyalásra kerülő üstkemence salakokhoz hasonló anyagról van szó. Újabb kutatások szerint a kohókoks szénttartalmának is egy jelentékeny része mikrokristályos grafitból áll (GORNOSTAYEV & HÄRKKI 2007). A nagyolvasztó medencéjében uralkodó hőmérsékleti és redox viszonyok nagyon hasonlóak az üstkemence salakzónájának jellemzőihez, leszámítva ez utóbbi berendezésben képzett salak jóval nagyobb mésztartalmát, tehát bázikusságát. A kohósalak mérsékelt bázikusságát mutatja a mayenit és más aluminátok hiánya. Nehézfém tartalmuk nem jelentős, kivéve a báriumot. E salakok mállásuk során lúgosan hidrolizálnak, így a kis mennyiségű nehézfémet azok esetleges felszabadulásánál kicsapják, ezáltal kivonják a folyamatból. A bárium tartalom a mállás során oldhatatlan baritként csapódik ki **(4.10 ábra)**. Ilyen eredetű barit kiválásokkal a hétesi völgyben régebben deponált kohósalakok anyagában számos helyen találtunk, főként a mikroásvány mérettartományban. Ezek környezeti veszélyforrást nem jelentenek.

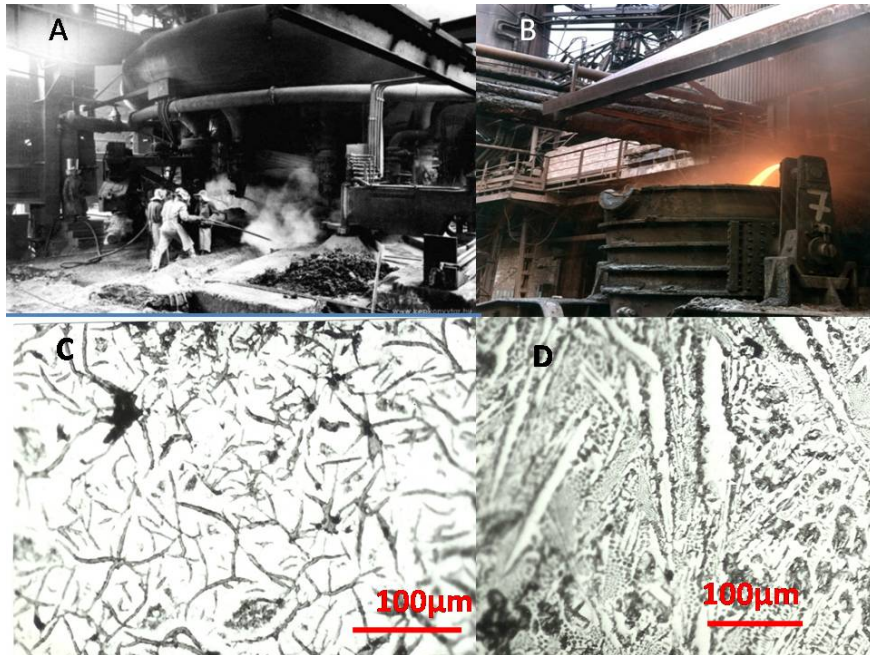
A kohósalakok másodlagos ásványai a **(4.12 - 4.13 ábra)** terméskén, gipsz, barit, Mn-oxidok, kalcit, aragonit. Ez az anyag környezetvédelmi szempontból szintén teljesen ártalmatlan. Tájékozódó vizsgálatunk szerint az innen származó csurgalékvizekben nem okoztak elemdúsulást, az ásványkiválások között pedig toxikus hatású nem fordult elő.

A kohósalakot már a kezdetektől hasznosították, mint építőanyagot, mivel megfelelő volt a térfogatállósága. A másodlagos hasznosításnak széles köre alakult ki az egyszerű salakkő előállításától a granuláláson át (EHRENBERG 2001) a salaktégláig és a különféle kohósalak betonokig. Puccolános aktivitása miatt, elsősorban a granulált változata a cementiparban napjainkban is keresett adalékanyag (BALÁZS 1994). A granulálást legolcsóbban a salakolvadék gyors vizes hűtésével érik el, amelynek során az anyag túlhűl, felhabosodik, üvegesedik és klasztizálódik. Eközben a kalciumsulfidból a víz hatására számottevő mennyiségű kénhidrogén szabadul fel. Ma már léteznek zártrendszerű és száraz granulációs eljárások is (pl. Wurth-féle módszer). A kohósalak hasznosítás napjainkra kiforrott területté vált **(4.14 ábra)**, amit részben a nyersanyag szükségletek, másrészt a környezetvédelmi szempontok indokolnak. A kohósalakok kedvező tulajdonságait sokoldalúan lehet hasznosítani. Külföldi közlések szerint újabban foszfortartalmú szennyvizek tisztításánál is szerepet kaphat a kohósalak (KORKUSUSZ et al 2007)

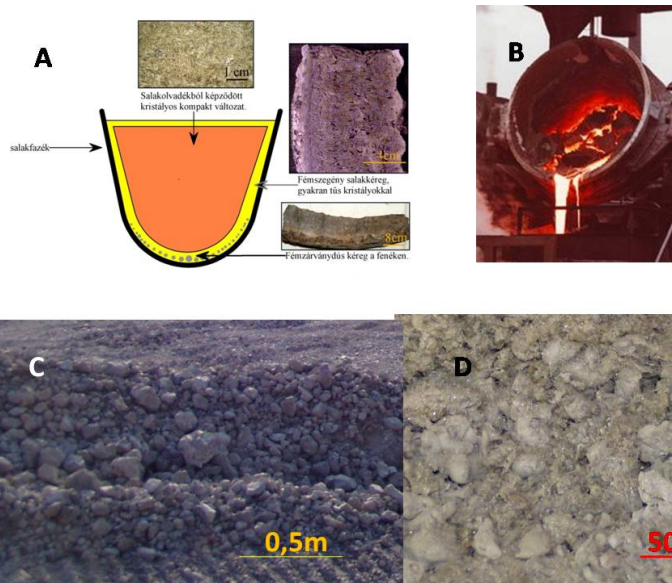
#### 4.2.4. Martinacél gyártás

A nyersvas oxidálását egykor az acélmű Siemens-Martin (SM)-kemencéinél végezték, amelyhez többféle technológia állt rendelkezésre **(4.15 - 4.16 ábrák)**. A Martinkemence egy regeneratív tüzelésű lángkemence, ami Ózdon bázikus béléssel volt (FARKASNÉ 1985). Az olvasztandó fémesbetét általában 50% nyersvas / 50% acélhulladék arányú volt. Igényes minőségeknél hulladék helyett ércet használtak, amit „érces fővetés”-nek hívtak. A gyártás során az ismert összetételű nyersvas és hulladék beolvasztása és frissítése (oxidálása) által beállították a kívánt szénttartalmat, majd csapolás előtt ferromangánnal elődeoxidáltak, ezt követően csapoltak és e közben az olvadékot ötvözték FeSi-mal, dezoxidáltak Al-mal és egyéb ötvözőkkel (FeV, FeCr, FeTi, CaSi stb.) a kívánt mértékig. Az acéltermékek általában szennyezőkben szegények **(4/8. táblázat)**.

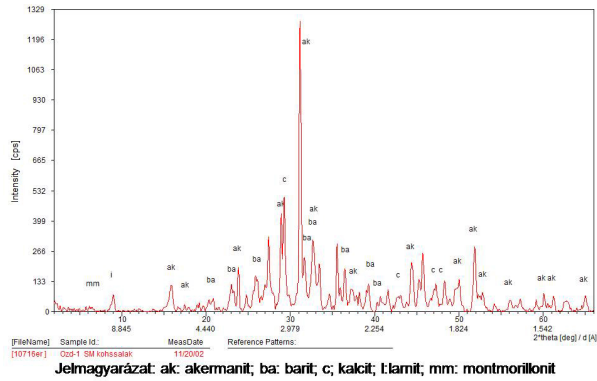
Ennél a technológiánál a salakvisszatartás nem volt biztosítható, így igényes terméket csak nagy nehézségek árán voltak gyárthatók kétes minőségben. A termékek javítása érdekében a minőségi előírások fokozatosan szigorodtak. Ennek hatásaként – főként



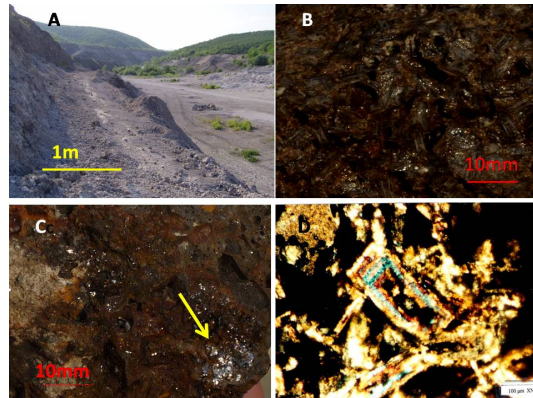
4/8. ábra Nyersvas csapolása és termékének metallográfiája. A/. kép: csapolólyuk nyitása a nagyolvasztónál. B/. kép: nyersvas olvadék csapolása szállítóüstbe. C/. kép: mangánszegény szürke nyersvas (1957-1990-ig) fémmikroszkópi felvételén elemi vas (ferrit) mátrixban lemezes grafitpikkelyek és elszórt perlit szemcsék. D/. kép: fehér nyersvas vaskarbid (cohenit) tűkkel ledeburitos mátrixban, fémmikroszkópi felvételen.



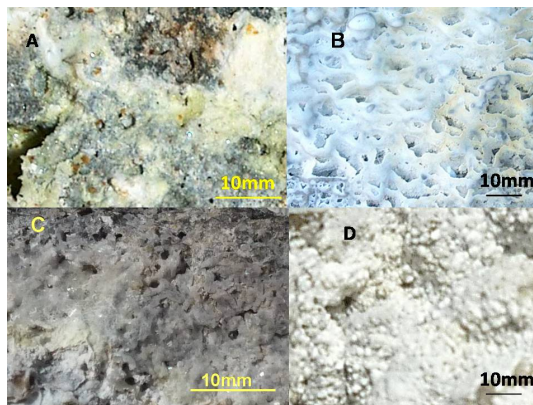
4/9. ábra Kohósalakok szállítása, öntése, megjelenése. A/. kép: kohósalak olvadék differenciálódásaállítás közben. B/. kép: kohósalak olvadék granulálása. C/. kép.: hányóra deponált kohósalak. D/. kép. osztályozatlan granulált kohósalak.



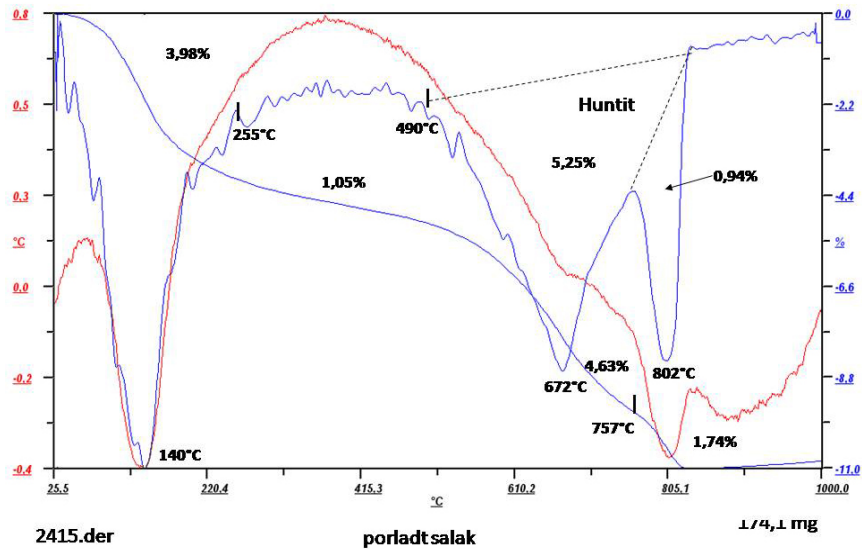
4/10. ábra Porladt, majd megszilárdult kohósalak XRD felvétele (MFGI labor).



4/11. ábra Kohósalak makro- és mikroszkópi megjelenése. A/. kép : a hétesi salakhányó anyagának szemcsemérete változatos, a porfrakció szélerózióra érzékeny. B/. kép: durvakristályos, darabos kohósalak akermanit kristályokkal. C/. kép: a beadagolt kokszból képződött grafit a salakban. D/. kép: nyúlt alkatú, zónás szerkezetű akermanit kristályok kohósalak mikroszkópi vékonyecsiszolatában.



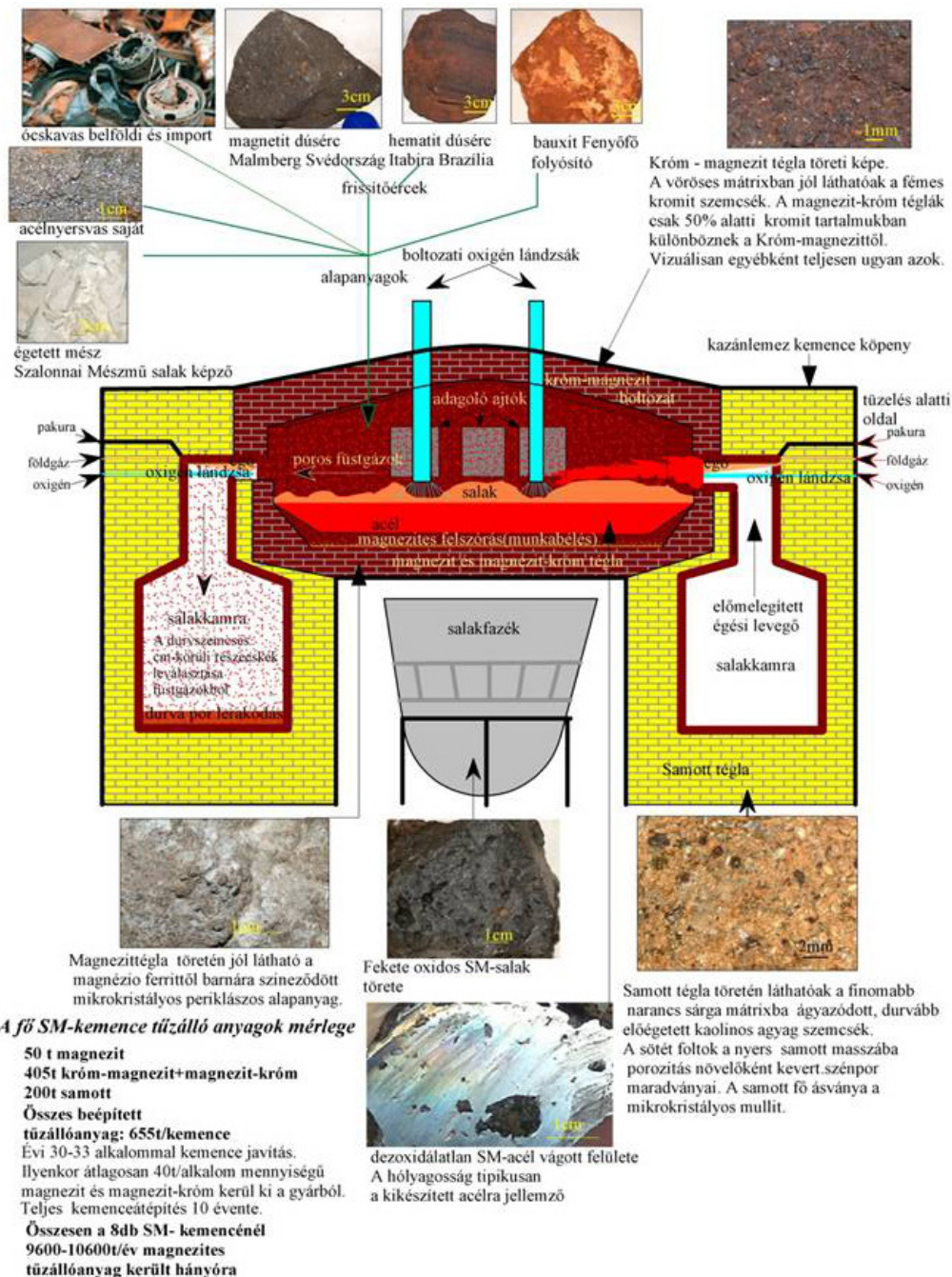
4/12. ábra Kohósalakok másodlagos ásványai. A/. kép: természetén kiválások. B/.kép: karbonát bevonat salak felszínén. C/. kép: gipszkiválás kohósalakon. D/. kép: kalciumszilikát-hidrát (CSH).



4/13. ábra Porladt, majd megszilárdult kohósalak termikus felvétele (a minta 4/10 mintával azonos).



4/14. ábra Ózdi kohászati salakok hasznosítása. A/.kép: kohósalakból készült beton falazóblokkok ([www.aicherbeton.hu](http://www.aicherbeton.hu)). B/. kép: duzzadó Martin-salakból épített járdaszegély károsodása. C/. kép: a kazánsalak-betonból épített ház megfelelő stabilitású. D/.kép: vastalanított Martin-salak depóniája a centeri salakfeldolgozó területén (Borbás-hegy felől).



4/15. ábra Az ózdi Martin kemence hosszmetzetének jellegrajza a bemenő anyagokkal.

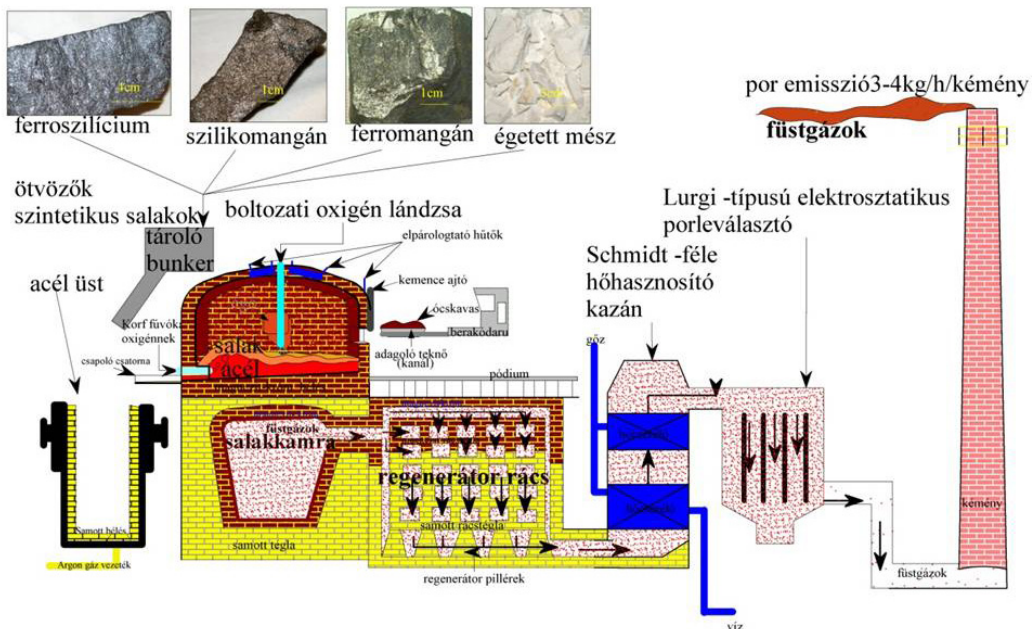
Európában – ma már gyakorlatilag nincs olyan acélminőség, amit Martin-kemencével lehetne gyártani. A kis termelékenység, a nagy energia-, anyag- és munkaerő igény mellett az előállított gyengébb minőség is szerepet játszott a martinacél gyártás csaknem teljes kiszorulásában, amely világszerte tapasztalható. Napjainkra már csak Ukrajnában és Oroszországban még üzemel ilyen technológia. De helyettük a továbbiakban bemutatásra kerülő miniacélműveket állítanak üzembe, illetve LD-konverteres acélművek létesülnek.

Technikatörténeti érdekesség, hogy a hazai acélgyártásban a technológia gyorsítása érdekében 1961-től Ózdon alkalmaztak először üzemszerűen oxigénfúvatást (VASS 2001).

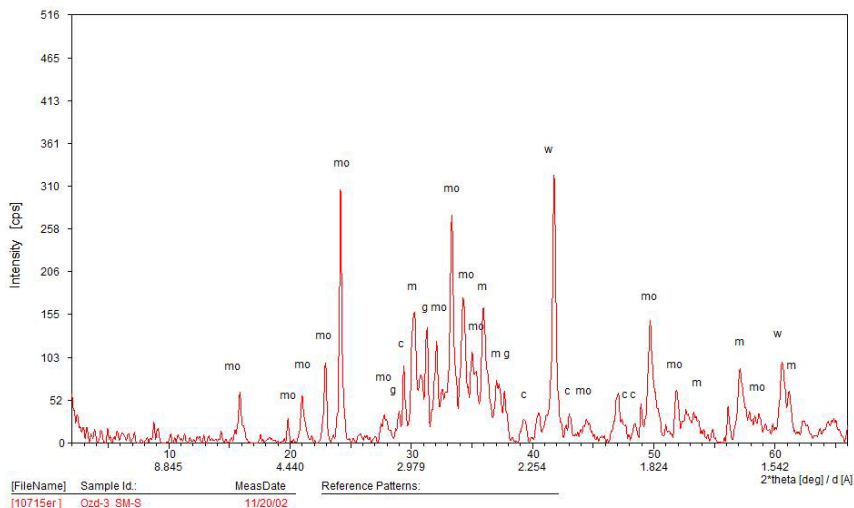
A Martin eljárásnál bázikus salakot képeztek a mai ívkemence salakokhoz képest jóval nagyobb volt a salak fajlagos mennyisége ( $250-300\text{kg}/t_{\text{acél}}$ ), mert a nyersvas nagy szilícium tartalma több volt (0,9-1% Si), mint a jelenleg 100%-ban acélhulladék betéttel üzemelő ívkemencék salakjaié, ahol a szilícium tartalom általában  $\sim 0,25\%$ . Az e miatt ridegebb nyersvasban tehát kb. háromszor annyi szilícium van, mint az acélban, ezért ennek megkötéséhez több mészt kellett, így fajlagosan több salak képződött belőle. Az akkori anyagköltségek mellett nagyobb mennyiségű égetett mészt adagolása nem jelentett korlátot. Ezért a régi martinsalakok jóval bázikusabbak voltak, mint a mai ívkemence salakok (**4/3., 4/5. táblázatok**).

Elemzéseink szerint a martinsalak ásványai XRD alapján (**4.17 ábra**) nagyon hasonlóak az ívkemence salak ásványaihoz. Elsődleges alkotói a wüstit, akermannit, brownmillerit, merwinit, de a larnit nem jelenik meg. A merwinit jól érzékelteti a salak nagyobb magnézium telítettségét, amit a két csapolás közti hosszabb (6h) adagidő okoz. Ilyen hosszú adagidő mellett a folyamatok jobban megközelítik az egyensúlyi állapotot, mint egy mai, konverteres (30-45min), vagy ívkemencés adag (45-60min) esetében. A Martin-salakot olvadt állapotban salaküstben fogták fel, amit fogaskerekű vasúton szállítottak fel a hétesi salakhányóra, miközben az anyaga differenciálódott (**4.18 ábra**) és a szállítás végére gyakran teljes anyagában monolit meredvénnyé vált. A másodlagos ásványok is hasonlóak. A röntgenfelvételen az MgO nem jelenik meg önálló fázisként, valószínű, hogy a Mg a wüstit szerkezetébe épül be (magneziowüstit). A salakoknak ez a magnézium tartalma a kemence béléseiből és a fenékjavításra szolgáló kiegészített és a salakba adagolt nyers dolomitból származik. A környezetbe kikerülve ezek a különféle kalcium ferritek a hosszú évtizedek során elbomlanak (**4.19-4.20 ábrák**) különféle karbonátokká (pl. kalcit, aragonit, huntit) és vashidroxiddá.

A martinsalakok nagy magnézium tartalma miatt az 1980-as évek közepén, a hasznosítás során történtek bonyodalmak, amikor a környező települések lakosságának jelentékeny része téves információk és a nagyon kedvező ár miatt ebből kezdett építkezni. Az emberek azt hitték, hogy ezzel az olcsó anyaggal rengeteg cementet tudnak megtakarítani. Ami igaz volt a kohósalakoknál, az a MgO-ban dús, erősen bázikus martin salaknál nem teljesült, mert reakcióképes állapotú periklász volt jelen, ami a nedvességgel érintkezve brucitot képzett. A brucit nagyobb térfogatú, mint a periklász, így a hidratáció az anyag repedezéséhez, széthullásához vezetett, ami miatt a martinsalakból készült beton viszonylag gyorsan szétmállott. E mállás nedvesség hatására indult be, kezdetben viszonylag lassú volt, átlagosan 7-8 év elteltével jelentek meg az első repedések (**4. 14 ábra**). Ezt a duzzadást az ismétlődő nedvesedés és magasabb hőmérséklet felgyorsította. A teljesen martinsalak-betonból készült építmények a tapasztalatok szerint menthetetlenek. Ha egy válaszfal, vagy vakolat ilyen anyagból készült, akkor csak a kérdéses elem cseréjével orvosolható a probléma. Ózd környéki településeken több tucat ilyen építmény található (TÖRÖKNÉ et al. 2009).



4/16. ábra Az ózdi Martin kemence keresztmetszetének jellegrajza az ötvözőkkel, az 1980-as évekből.



4/17. ábra Martin-salak XRD felvétele. Jelmagyarázat: g: gehlenit; c: kalcit; m: merwinit; mo: monticellit; w: wüstit. (elemző Kónya Péter MFGI).

A tulajdonosok kártalanítása az államnak több milliárd forintjába került, de az ügy még napjainkban sincs lezárva. Több esetben visszaélés történt, ami miatt szünetel a kártalanítás, mivel nem lehet pontosan eldönteni, hogy jelenleg ténylegesen mennyi az érintett ingatlanok száma, ahol valóban a martinsalak okozta a károsodást és nem egyéb okok (pl.süllyedés, csuszamlás).

Az un. ózdi salakos házak esetétől függetlenül, a primer acélgyártásból kikerülő salakok – amilyen a martinsalak és az ívkemence salak – betonadalékként nem

hasznosíthatók. E salakok savanyításával (DRISSEN & SCHREY 2004), pihentetésével (öregítés), granulálásával, elméletileg megszűnik ez a probléma, de még így is nagyon kockázatos betonba keverni ezeket az anyagokat. A jelenlegi gyakorlat szerint ezeket a salakközeteket aprítva, adalékként, igen korlátozott %-ban útalapokba építhetik be, ahol a szemcsék csekély duzzadása, repedezése nem jelent problémát. Burkolati kopórétegbe is ajánlják, mert a kopásállóságuk jobb, mint a természetes zúzott köveké, de szerintünk ez utóbbi hasznosítás még pontosító vizsgálatot igényel. Az acélgyártási salakok ígéretesnek tűnnek a szennyvíztisztításban, mivel a salakzúzalék ágyon átfiltrálódó szennyvízből az oldott foszfát tartalom a szemcsék felületén kicsapódik. Az itt tárgyalt hasznosítási lehetőségek és az esetleges problémáik a mai ívkemence salakokra is érvényesek, amelyekről a továbbiakban lesz szó.

A régi kohászati salakok az összetételi hasonlóságok miatt láthatóvá és vizsgálhatóvá teszik, hogy hogyan fognak kinézni és viselkedni egykor, évtizedek múlva a mai recens OAM-os salakok. Ezeknél általában már kifejlődött a másodlagos ásványok paragenézise (**4/12-4/19. ábrák**). Szemléletes példa erre a terméskén, amely a mai szekunder salakoknál még alig észrevehető halványsárga film csupán, de a régi, 60-70 éves kohósalakoknál gyakran több cm-es kiterjedésű, akár 1cm vastagságot is elérő hólyagos képletek. A Ca-szilikátok mállása során már megjelent a kalcit és az aragonit (**4/4. táblázat**), melyek néhol jól fejlett, akár dm-es hosszúságú cseppköveket is képezhetnek. E szilikátok másik mállási termékeként megjelenik az illit is. Látható tehát, hogy a régi kohászati salakoknál a mállási folyamatok már előrehaladtak, ezért véleményünk szerint ezek az egykor feltöltésekbe került és a depóniákban hagyott régi salakok kitűnő alanyai a mállási folyamatok tanulmányozási lehetőségének. Ha tudjuk, hogy melyik depónia milyen technológiából, mikor került ki, akkor az időtényező hatását is követni tudjuk a mállás előrehaladása során.

Amint látható, a kalcium szilikátok legjellemzőbb mállásterméke a  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , valamint Ca-szilikát hidrátok (pl. tobermorit, xonotlit, plumbiérít). Ezek a hidrátok víztelenedéssel szilárd karbonáttá kristályosodnak felületi bevonatok és cseppkövek formájában, melyek fékezik a salak további mállását. Járulékosan agyagásványok is képződnek, mint az említett illit. A kicsapódott karbonátok geokémiai csapdaként funkcionálnak, s ezt az elembefogást az agyagásványok is segítik. A csapdázó ásványok ioncsere kapacitásuktól függően jelentékeny mennyiségű nehézfémeket tudnak megkötni és kivonni a transzportfolyamatokból.

A szulfidok bomlásakor felszabaduló kénhidrogén, valamint az oxidációs folyamatok során képződő szulfátok az ólmot, báriumot csapdazzák. Mállott kohósalak darabokon előfordulnak barit bevonatok is, bizonyítva a csapdázódás mechanizmusát. A szulfidok bomlásának köztes termékeként megjelenik a terméskén is. Az esetlegesen felszabaduló Zn-et, Cd-ot a kicsapódó karbonátok kötik meg, így a továbbiakban ezek sem jelentenek környezeti veszélyt. A salakok, főként a kohósalak jelentős mértékű porozitása miatt, a csapdázódás nagy fajlagos felületen hatékony, mert ez segíti a felületi ionmegkötődést. A szulfátok közül igen gyakori a gipsz, amit vizuálisan és műszeresen is azonosítottunk. A szulfát tartalmú ásványok a vízdoldhatóságuktól függően lassan kimosódnak a hányó anyagából (IFFLAND & MOTZ 2001), de ez sem jelent kockázatot.

A tekerős-völgyi nagy tömegű, idős kohósalak depóniák csurgalékvizeinek hidrogeokémiai vizsgálatok az tapasztaltuk, hogy bennük nehézfémek nem jelennek meg, vagy a kimutatási határ alatti koncentrációban lehetnek jelen (KOLESZÁR 2005). Ezzel szemben – mint várható volt – elsősorban oldott Ca, Mg, Fe tartalom volt nagyobb mennyiségben kimutatható, viszont ezeknek semmilyen káros környezeti hatása nincs. Az

oldott mésztartalom a csurgalékvizek pH-ját 8-9 közötti enyhén lúgos tartományban tartja, ami biztosítja a geokémiai csapdázódást **(4/6. táblázat)**.

A Center térségében deponált mintegy 1-1,5millió tonna vastalanított salakból képzett 3 salakhegy egyes vélemények szerint tájképrontó hatású. Ez a jellege azonban fokozatosan eltűnőben van a rajta mind jobban megtelepülő fák, cserjék és lágyszárúak miatt, tehát előre haladott a természetes visszatájosodás. E mellett a salakot ma is bányásszák útépítéshez történő felhasználás céljából, így idővel teljesen eltűnhetnek a depóniák.

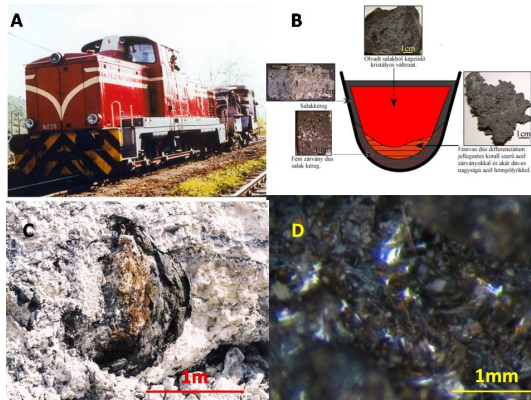
#### *4.2.5. Az acélöntés és a tűzálló anyagok környezeti jelentősége*

Az acélok öntése 1895-től 1973-ig kizárólag a hagyományos, ún. tuskóöntéses technológiával történt. Ennek lényege, hogy a kész, lecsapolt adagot az acélmű öntőcsarnokába vitték át, ahol speciális öntöttvas formákba, ún. kokillákba öntötték **(4/21. ábra)**. Ennek két fő eljárása az ún. felső és alsó öntés. A különbség a kettő között az, hogy az előbbi eljárásnál az üst csapolónyílásán keresztül közvetlenül a kokillába engedték bele az acélt, míg az alsó öntésnél egy központi samott bélésű beöntő csövön keresztül egyszerre öntöttek 4-kokillát, alulról töltve ki azokat (CSABALIK-SZARKA 1987b). Egyes acélminőségeknél a kokilla felső részét az ún. tápfej sapkát samott bélessel látták el, hogy az acél tovább őrizze folyékonyságát, s ebben a nemfémcszárványoknak legyen idejük felúszni az acél felszíne felé, a tuskó felső, ún. fej részébe. A kihűlt tuskókról egy berendezéssel, az ún. stripperrel húzták le a kokillát. Ezután a tuskó fej részét termikus lándzsával levágták. Az oxigénes vágás során nagy mennyiségű, 80-85%-os vastartalmú salak képződött a tuskó ~1%-ából. Ez 100000t acélnál 1000t fémvesztést jelentett, amely oxidálódva 1500t salakot eredményezett, ami tehát 700000 t évi acéltermelésnél kb 11000t-nyi salakot jelentett. A másik nagy mennyiségben termelődő hulladék a már említett samott törmelék. Alsó öntésnél külön kell említenünk még a samott csatornába fagyott acélt, amit hengeres megjelenése miatt „csontnak” hívtak. Ezeket a tuskó darabolásánál kapott fejrészrel együtt házon belül újra olvasztották az SM- kemencékben.

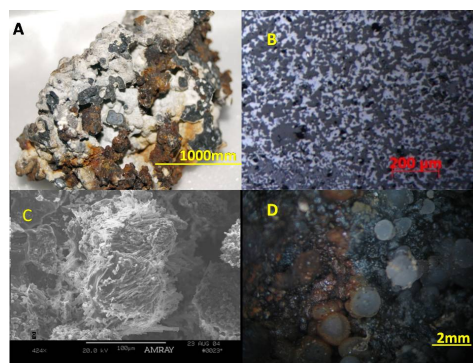
Az üstbélések anyaga a kezdetektől az 1980-as évek közepéig a hagyományos félsavas öntési samott falazat volt (kb.10t üstönként), amelynek tartóssága átlagosan 13 adagig tartott (IVÓCS & FILEP 1974), majd növelte a depóniára kerülő tűzálló technológiai hulladék mennyiségét.

Ezeket samott és félsavas samott termékeket nagyrészt helyben gyártották. Ózdon import samott örlemény Kalinovo (SK), Czeszostowa (PI), Csehország stb. területéről jött. Hazai kvarchomok, és kezdetben bélépátfalvi majd bánki, cserszegi, Nemti-i illetve Poltári (Poltovo, SK) tűzálló agyag felhasználásával. A nyersárukat a ma műemlékvédelem alatt álló egykori tűzállóanyaggyár Hoffman-féle körkemencéjében, illetve kisebb tételű árukat az ún. boglyakemencében égették ki. A kiégetett samott és félsavas téglák két ásványa a kvarc és a mullit. Ezek a termékek mesterséges termokontakt közeteknek is felfoghatók.

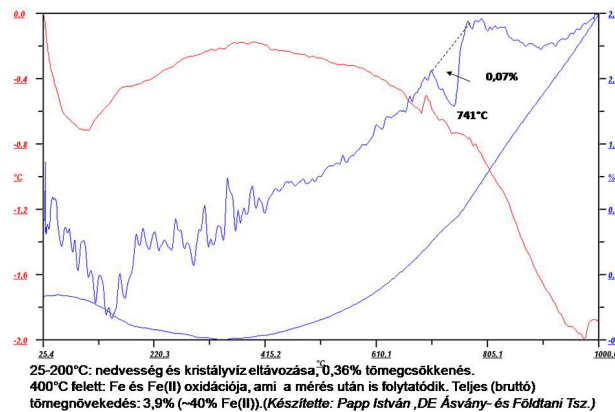
A 80-as évek végén az üstfalazatok anyaga megváltozott, mert a samott bélest felváltották a bázikus és redukív, karbon kötésű ún. karbon magnezit téglák, melynek élettartama már 15-20 adag volt. Ezzel csökkent az üzemen tartott üstök száma és a nagyobb élettartam miatt csökkent a tűzálló hulladék tömege és az üstök fűtésére illetve hőtartásához szükséges földgáz mennyisége is. Az elhasznált samottot és a magnezitet a Martin kemencéből kibontott hagyományos magnezit és magnezit-króm téglákkal együtt hányóra vitték. A magnezitek kimosódva növelhetik a talajvíz magnézium tartalmát, a kohósalakhoz keveredve pedig alkalmatlanná teszik azt a hasznosításra. A hányóról begyűjtött magnezit téglát **(4/22. ábra)** megvizsgáltuk. Látható volt rajta a hidratáció



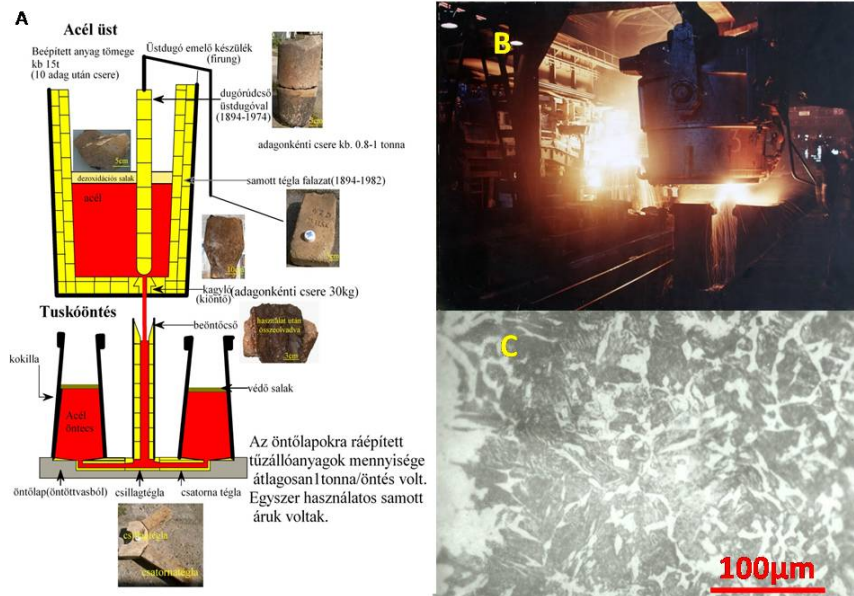
4/18. ábra A Martin-salak kezelése. A/. kép: salaküist szállítása a tekerős-völgyi hányóra fogaskerekű vasúton. B/.kép: a salakolvadék differenciációja szállítás közben és a képződő termékek. C/.kép: a szállítás során képződött salakmeredvény, amit később szeparátorvas kinyerése céljából bányásztak. D/. kép: üde kalcium ferritben dús salak törete dikalcium ferrit, srebrodolskit, brownmillerit tartalommal.



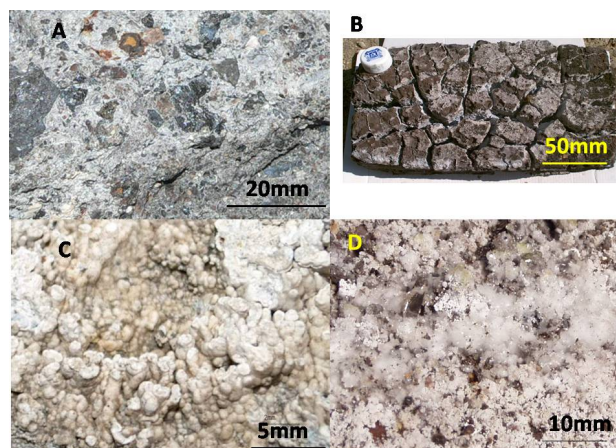
4/19. ábra A martinsalakok mállási folyamatai. A/.kép: mállott salak törete. B/.kép: mállott salak ércmikroszkópi felvétele a kalcium ferrites fázisok kilúgása során képződött mikropórusokkal. C/.kép: aragonitos kiválás mállott Martin-salak SEM felvételén. D/. kép: karbonátos borsókő kiválás 100 éves martin salak felületén.



4/20. ábra Martin-salak termikus felvétele.



4/21. ábra A hagyományos tuskóöntés, ill. képződő terméke és hulladéka. A/. kép: A hagyományos alsóöntés jellegrajza a hulladékként visszamaradó samott szerelvényekkel. A samott elhasználódva a salakhányóra kerül, anyaga porózus, de környezetgeokémiai szempontból inert, mert ásványos alkotói kvarc és mullit. B/. kép: Acélmű öntőcsarnoka csapolás és öntés közben az 1970-es évek elején (Mizerák István felvétele). C/. kép: ötvözetlen Martin-acél 6%-os nitallal maratott felületének fémmikroszkópi felvétele. Az acél szövete ferrites-perlites összetételű, ahol a világos rész a ferrit a sötét részek pedig a perlit helyét jelölik.



4/22. ábra Magnéziumoxid tartalmú kohászati tűzálló anyagok mállása salakdepónián. A/. kép: Martin-kemence kibontott dolomitos fenékdöngölete. (Készítésekor égetett dolomitot, hengerrevét és salakot rétegenként beégetve alakítják ki a kemence fenékbélését.). B/. kép: víz okozta duzzadástól megrepesztett magnezit téglá mozaikos felszíne. C/. kép: a magnezit téglá hidratációja során képződő hidromagnezit borsókó a téglá repedéseiben, kevés gipsz kíséretében. D/. kép: szénsalak közlé keveredett magnezit téglá felülete vízdoldható magnézium-szulfát kicsapódásokkal (pl. epszomit, hexahidrit).

okozta duzzadás és szétesés. Az XRD felvétel igazolta, hogy az anyag csaknem teljesen borsókő megjelenésű hidromagnezitté alakult át, kevés gipsz kíséretében. Néhol magnéziumsulfát (epsomit-hexahidrit) kiválások láthatók a mállott magnezit téglán.

A samott hulladékról azért kell szót ejteni, mert a salakfeltöltések anyagában átlagosan 10%-os részarányt tesznek ki, néhol 20-30%-os mennyiségben is jelentkezhetnek. Ez a tűzálló anyag környezetileg inert, nagy porozitása miatt jó vízvezető képességű, így az ilyen feltöltések szennyezésérzékenysége jelentős lehet a beszivárgási adottsága miatt.

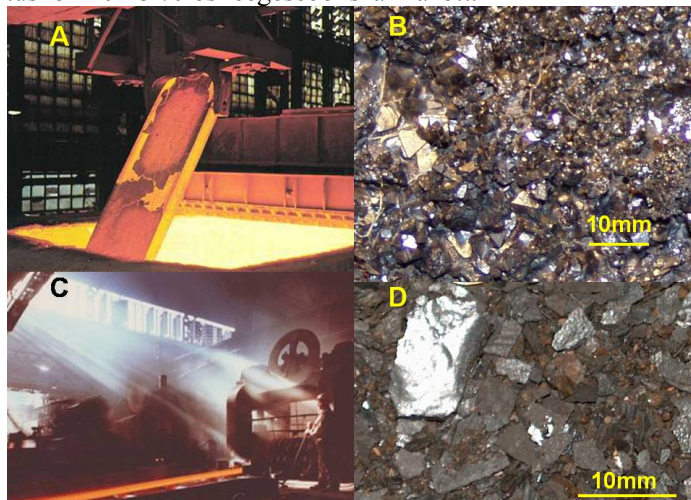
Helyi szinten a kibontott samott-tégla hulladék erre alkalmas épebb részéből magánházakat építettek. A megömlött, üveges felületű téglák többnyire vakolhatatlannak bizonyultak, ezért egyes városrészekben az épületek rendhagyó megjelenésűek.

A vágási salakokat gyakran a tűzálló hulladékokhoz hasonlóan deponálták a salakhányókra, esetleg egy részüket részlegesen visszajárathatták a nagyolvasztóknál a később tárgyalandó mélykemence salakokhoz hasonlóan, de elszórta megjelennek a salakos feltöltések anyagához keverve is. Lassú oldódásuk során vas kerülhet a talajvízbe.

Az országban 1973-ban Ózdon jelent meg elsőként egy új öntési technológia az ún. folyamatos acélöntés (FAM). Ezzel az új eljárással lecsökkent az öntési hulladék mennyisége, nőtt a kihozatal (lásd később). E mellett szükségtelenné vált a következőkben bemutatásra kerülő ún. blokk- és a belőle történő acélbuga hengerlése, mert itt közvetlenül az olvadt acélból öntenek hengerlésre alkalmas bugát. Ezáltal a gyártási láncból kiesik egy anyag- és energiaigényes technológiai láncszem.

#### 4.2.6. Képlékenyalakítási eljárások

Az előbb említett acél tuskót, vagy más néven öntecset (**4/23. ábra**), a klasszikus eljárásnál az ún. mélykemencében izzították (VASS 2001). E közben a nagy felfűtési sebesség miatt az öntecsek oxidálódott kérge megolvadt, olvadáka a kemence fenekén gyűlt össze, amit időnként egy lapos salaktechnőbe eresztettek le. Ezt a salakot mélykemence salaknak hívták. Ennek anyaga az előbb említett lángvágási salakhoz hasonló vasoxid olvadék, amit kihűlés után törtek, és a kohónál vasércként visszajártatták. Ez az anyag a tuskók 10-15 %-os leégéséből származott.



4/23. ábra Acéltuskó feldolgozása. A/. kép: mélykemence az acéltuskók hevítésére (internetes forrás). B/. kép: mélykemence-salak ürege, felületén magnetit oktaéderekkel. C/. kép: ózdi durvahengermű működés közben (Mizerák István felvétele). D/. kép: hengerreve pikkelyes alkatú törmeléke.

A mélykemencében megfelelő hőfokra izzított tuskót a blokkhengersorra küldték rá, ahol az a hengerlés során egy téglatest formát kapott. Az így gyártott, még izzó blokkot a durvahengerműben a gyártandó terméknek megfelelő hengersorra adták át. Ez alapján lehettek lemezsori-, tartósori (I-, H-, L, U profilok), triósori (buga), geosori (sín) stb. termékek. A durvahengermű termékei tehát a nagyátmérőjű hengerelt áruk voltak, a különféle sínek, tartógerendák stb., valamint a finomhengermű alapanyagát képező 60x60mm-től 80X80mm-es átmérőig terjedő acélbugák, amiket itt dolgoztak tovább kisebb szelvény- átmérőjű termékké (betonacélok, hengerhuzal, szögvas, sarokvas, abroncsvas, U-, L-, I- profiok stb.).

A hengerlési technológiák legnagyobb mennyiségű mellékterméke az ún. hengerreve volt, ami az izzó acél felületén képződő vasoxid (wüstit, magnetit, hematit, maghemit) anyagú pikkely vagy tábla (lásd később). Minél többször és minél tovább érintkezik az izzó acél a levegővel, annál nagyobb ez a revevesztés, ami általában 1-2% szokott lenni izzításonként. 1000 000t hengerelt áru esetében ez 15 000-30000t. Ezt a revésedből származó anyagvesztéséget a rövidebb, gyorsabb hengerlési műveletből (un. szúrástervből) álló alakítási művelettel lehet csökkenteni. A már említett FAM technológia egy hatékony eszköz ehhez. A reve 100%-ban újrahasznosítható (ld. később).

Arról nincsenek adataink, hogy a korábbi évtizedekben egyáltalán tisztították-e a hengerművekből kikerülő, többnyire olajjal szennyezett ipari szennyvizet. Ipartörténeti kutatásokból tudjuk, hogy a hengerművek technológiái az 1950-es, 1960-as évekre elavultak, ezért a későbbiekben korszerűsítették őket. Valószínű, hogy az egykori ipari vízrendszereket is ekkor fejleszthették, de addigra az eltelt ~100 év alatt nagy mennyiségű olajos szennyeződés kerülhetett ki a Hangonyba és annak árterére is, amelyhez a mi mintaterületünk is tartozik.

#### *4.2.7. A vizsgált területünkön egykor kiüledett kohászati szállóporok képződése.*

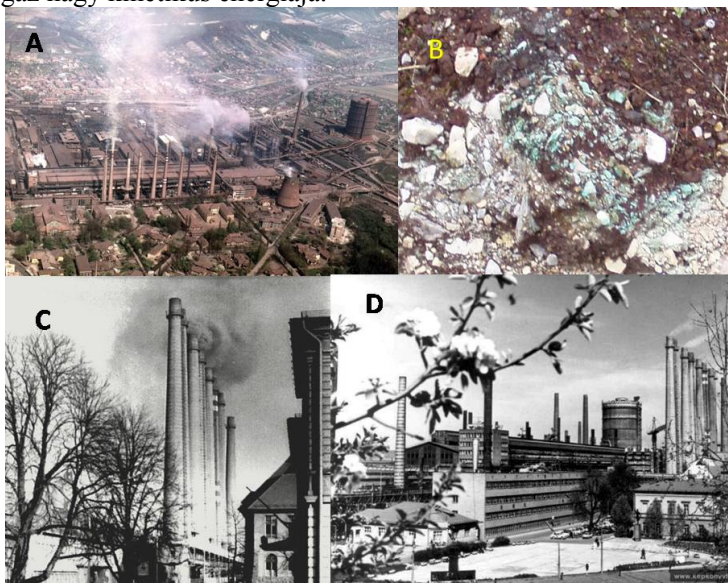
Az OAM Kft telephelye és annak környezete az egykori Ózdi Kohászati Üzemek imissziós zónájában fekszik, tehát már eredetileg is számolni kell egy kiinduló háttérszennyezettséggel, amit még nem a jelenlegi acélmű bocsájtott ki, hanem a már megszűnt régi vasmű. Ez a néhai üzem, mintegy 170-éven át különböző mértékben szennyezte az általunk vizsgált térséget. Ez a légszennyezés az ipari léptékű széntüzelés térhódításával indult, majd folytatódott a martinacél gyártással, a nyersvasgyártással és az érczsugorítással.

A nagyolvasztó és a SM- acélmű szállóporát az 50-es évektől kezdve több-kevesebb sikerrel próbálták leválasztani és darabosítva visszajáratni a nagyolvasztóba. Számottevő szállópor deponálás tehát nem történt. Ha viszont hosszabb idő távlatában visszatekintünk, akkor szembe ötlük, hogy az alapítás utáni időszakról kezdve gyakorlatilag az 1970-es évek végéig mellékes kérdésnek számított a környezetvédelem és a füstgáztisztítás. A 19. században ezek még nem jelentek meg szempontként az ipari technológiákban.

A fő szennyező forrást kezdetben a széntüzelésből eredő pernyék, kátránygőzök, kénes-szulfátos füstök. Ezek nem csak az említett szennyeződések tartalmazták, hanem illékony halogéneket (Cl, F) és a szénben lévő (BALOGH 1992; VASSILEV et al. 2005; GOODARZI et al.2008; GÜRDAL 2008)), valamint a nyersvasban lévő illékony nehézfémek gőzét is (pl. Pb, Zn, Cd, As). Kedvezőtlen huzat esetén ezek az anyagok kondenzálódhattak a berendezések hidegebb részein. Ez a jelenség a 1930-as években bevezett erőműi BW kazánok oldalfalába épített forrcsőveken okozhatott problémát. A lerakódó agresszív szulfátos-szilikátos kondenzátumok rontották a hőátadást. A helyi túlmelegedéseknél megömlve a nagyhőmérsékletű korróziós folyamat növelte a

kazánlyukadás kockázatát. Ez a jelenség a világszerte üzemeltetett porszenes erőműi kazánoknál egy jól ismert probléma (AKAR et al. 2013). Ezek az anyagok aztán az időjárástól függően nedves, illetve száraz ülepedéssel rakódtak ki a mai Sajóvárkony térségében (4/9. táblázat). Ezek a káros környezeti hatások a Martin acélmű, majd a nagyolvasztó üzembehelyezésével fokozódtak.

A fémgőzök felszabadulása és légkörbe kerülése nagyrészt a technológia üzemi hőmérsékletétől függött, ami a kavarókemencénél 1250-1539 °C között ingadozott, a martinacél előállításánál pedig – mivel az folytacélgártás – már folyamatosan tudtak magasabb munkahőmérsékletet fenntartani (1536-1700°C között). A nagyolvasztó esetében először 500°C-os fúvósél hőmérsékletet tudtak biztosítani, amivel a fúvósíkban kb.1700-1800°C közötti hőfokot lehetett elérni. Az 1960-as évekre a korszerűsítéseknek köszönhetően, a korszerűbb léghevítők üzembe helyezésével már tartósan tudtak 850-950°C-os forrószél hőmérsékletet biztosítani, amivel a fúvósíkban földgáz segédtüzelés bevezetésével már tartósan elérhető volt az 1900-2000°C-os üzemi hőmérséklet. Az 1960-as évek elejére az ún. nagyrekonstrukció során növelték a fúvógépház teljesítményét, ami által nőtt a füstgáz térfogatárama, ez viszont jelentősen növelte a kohógáz portartalmát (4/24. ábra). Ehhez jött még a lefelé haladó anyagoszlop morzsolódása és a vele szemben áramló kohógáz nagy kinetikus energiája.



4/24. ábra Az Ózdi Kohászati Üzemek (OKÜ) légszennyezése és kohóiszapja. (Az A, C, D, képek az Ózd Városi Múzeum fotótárából származnak.) A/. kép: Az üzem közbeni füst és pernyeképződés és a szűkebb immisziós zóna látképe 1967-ben. B/. kép: A nagyolvasztó ELEX típusú nedves elektrosztatikus porleválasztójából származó iszap szikkasztott állapotban. Az alatt elterülő dolomit zúzalékon malachitos-azuritos kiválások, cementációk figyelhetők meg, amelyek jelentős részben az olvasztásra kerülő vasérczsugorítványok gyártása közben adalékolt piritpörkből származhatnak. C/.kép: az 1970-es években a fokozódó oxigén intenzifikálás (növelt oxigénráfűvés) miatt megnőtt az acélmű szállópor emissziója. D/. kép: 1978-ban üzembe helyezett Lurgi-típusú elektrosztatikus porleválasztó berendezések lecsökkentették az acélműi porkibocsajtást.

Az 1950-es években egy újabb szennyezőforrással „gazdagodott” az üzem. Ekkor létesült egy Greenwalt rendszerű érc zsugorítómű, aminek a nagyolvasztó növekvő zsugorított vasérc igényét kellett fedeznie. Ennél a technológiánál vasérc-koncentrátumokkal, kokszporral, mészkővel leválasztott acélműi és kohóműi szállóporokból összeállított elegyet adagoltak és terítettek szét egy rostélyos fenekű zsugorítóüst aljára, amit a dolgozók találóan „tepsinek” neveztek. Ezt a keverék réteget felülről begyűjtötték, és alulról ejektorok segítségével levegőt szívtak át ezen az égő anyagrétegen, ami felülről lefelé haladva összesült és zsugorodott (szinterelődött). Ezt a salakos kinézetű, sokszor fémmikus kinézetű zsugorítmányt törték, osztályozták és szállítószalagokon átadták a kohóműnek.

Környezeti szempontból fontos kiemelni ezt a létesítményt, mert mintegy 25 éven át szennyezte a környezetet, különösen a most vizsált mintaterületünket. Ennél a berendezésnél is csak egyszerű ciklonos porleválasztás történt, aminek csupán 65% körüli volt a leválasztási hatásfoka. Idősebb lakosok egykori megfigyelései, visszaemlékezései és tapasztalatai alapján ez a létesítmény hatalmas mértékben szennyezte a környéket, előfordult, hogy a hulló hó pirosra színeződött miatta. Sajóvárkony településrészen a kertészeti tenyészidőszakban piros por ülepedett a fákra és a gyümölcsökre. A nagy kiterjedésű immissziós zóna kialakulásához hozzájárult a létesítmény 120m magas kéménye is, ami akkoriban a vasmű legmagasabb kéményeként szétterítette a szennyeződést.

Az ilyen érczsugorítóműi füstgázok a szilárd vastartalmú részecskék mellett jelentékeny mennyiségben tartalmaznak egyes elemeket (Pb, Zn, Cd, Hg, SO<sub>2</sub>) valamint dioxinokat, PCB és PAH származékokat (GARA & SCHRIMPF 1998). Ezért ma már egy ilyen létesítmény üzemeltetése során nagyon szigorúak a levegőtisztaság védelmi előírások. A mi esetünkben ezeket a szennyezéseket már csak feltételezni lehet, mivel ez az üzem 40 éve megszűnt.

Az újabb technológiákkal a növekvő üzemhőmérséklet és a gyorsabb átalakulási folyamatok fokozták a betétben lévő nehézfémek kipárolgását, esetleg még a forrását is (pl. Zn, Cd). A kohóban a nehézfémek kigőzölgése mellett az említett aprózódás nagyban fokozta a kohógáz portartalmát. A kohógázt kezdetben Bayer-Schwarz rendszerű gázmosó berendezéssel (dezintegrátorral) tisztították, hogy alkalmas legyen a léghevítők felfűtésére. A nagy vasoxid- és mésztartalmú porok ugyanis hamar megömlesztették volna a léghevítők szilikatégla rácszatát.

Az 1950-es évek második felétől ELEX típusú nedves elektrosztatikus porleválasztó berendezést helyeztek üzembe mind a négy nagyolvasztónál. Nagyrészt tehát a kohógázt megtisztították a portól, de még így is jelentős mennyiség jutott ki a környezetbe (**4/9. táblázat**). E mellett 1960-ig a kohóelegyek adagolása jelentett hatalmas poremissziót, mert ekkor még az ún. Langen-féle torokzáró berendezést alkalmazták, amelynél minden egyes adagolás során rengeteg tisztítatlan torokgáz lövellt ki a környezetbe. 1960-tól korszerű, ún. Mackee-féle kettős kúpos adagolót építettek be, ami adagoláskor nem engedte távozni a torokgázt. Ennél az újabb konstrukciónál már csak a kohó járatzavara estén került ki tisztítatlan porszennyezés. Ilyenkor ugyanis az anyagoszlop zuhantatásánál a kohógáz egy külön módon, az ún. gyertya szelepen keresztül engedték ki. Ilyen kohógáz leeresztés szerencsére évente csak párszor történt. A klasszikus Bayer-Schwarz-féle dezintegrátor és nedves elektrosztatikus ELEX porleválasztóból kikerülő anyag iszapos állagú (**4/9. táblázat**) volt, amit kohóiszapnak neveztek, és szikkasztva szárították, ezután darabosították (brikett, pellet), majd vasérczsugorítmány gyártásához járták vissza változó sikerrel. A szikkasztás során e anyagok nehézfém-tartalmának (pl. Cu, Zn) egy része

is mobilizálódhatott, s kikerült a környezetbe. Véleményünk szerint ilyen módon szennyeződött el a Sárli telep talajainak egy része. A területen helyenként megjelenő malachitosodás bizonyítja ezt (4/24. ábra).

Az acélgyártásnál a Martin-acélműben az oxigénes ráfúvásos technológia miatt 1960-tól 1978-ig megsokszorozódott az acélmű por emissziója. Ekkor a helyzet javítása érdekében minden kemencéhez egy-egy Lurgi típusú száraz elektrosztatikus porleválasztót helyeztek üzembe, ami után a töredékre csökkent az acélmű por kibocsátása ( $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ ). A kohászati üzem széntüzelésű erőműve az 1990-es évek elejéig szennyezte pernyéjével a környezetét, mivel itt csak klasszikus ciklonos porleválasztás történt, amelynek a hatásfoka mindössze 65%-körül mozgott.

Az egykori acélműi és kohóműi porokról csak irodalmi adataink vannak. A nagyolvasztónál keletkező finom porra jellemző, hogy nagy a vastartalma, ami a 40%-ot is elérheti. E mellett lehet benne még 10-20% kokszipor, 1-2% ólom, 4-5% cink. A rendelkezésre álló régi, ózdi szállópor elemzések sajnos hiányosak (4/9. táblázat), mert a kohói szállóporok esetében azok Pb, Zn tartalmát nem vizsgálták, viszont a báriumot igen. A régi acélmű ún. Lurgi pora hasonló összetételű, mint a mai OAM-os ívkemence szállópora, de lényeges különbség, hogy ennek ólom- és cink tartalma fele, harmada a mai ívkemence porokénak. Ennek oka, hogy itt még 50-75%-ban nyersvasat használtak betétként, amely ólomban és cinkben szegényebb volt (4/7. táblázat). Napjainkban az ívkemencénél – így Ózdon is – 100%-ban vas- és acélhulladékot olvasztanak be, ami általában cinkkel és ólommal szennyezettebb. A jóval kisebb füstgáztérfogat miatt ezek a mai füstgázok szennyezőkben sokkal dúsabbak, mint a régi Martin-kemencék hasonló gázai. Ez a koncentráció csökkenti a porleválasztás és hasznosítás szempontjából.

Összegezve elmondható, hogy az előbbieken tárgyalt egykori források emissziója általánosságban ugyan a nagyobb térfogatáramok miatt kisebbnek látszik, de csaknem 100 éven át történt a kibocsátás, minimális gáztisztítás mellett jelentős volt. Ennek az egykori intenzív kibocsátásnak az emlékei ott vannak kvázi „beleégve” a régi vasgyár ipari műemlék épületeinek salaktégla falaiba. Az eredetileg szürke kohósalak téglák ezeken a helyeken vöröses barnára színeződtek a beleivódott szállóportól. Elmondható, hogy a mai üzem a kisebb kapacitás és a jobb hatásfokú porleválasztás miatt a régi évek kibocsátásának töredékét produkálja. Ezek a mai emissziós értékek az egyre szigorodó környezetvédelmi előírások miatt mind kisebbek lesznek.

Általánosságban igaz, hogy egy korszerű, integrált kohászati vertikum a készárura számítva még ma is nagyobb fajlagos mennyiségű hulladékot termel, mint egy miniacélmű. Ennek oka az, hogy több szorosan egymásra épülő gyáregységet tart üzemben, mint például koksizáló- és ércsugorítóművet, nagyolvasztót és oxigénes konvertert. Ezért jóval nagyobb eredő kibocsátással rendelkezik, mert ezek a társ gyáregységek is külön –külön jelentős szennyező források, noha itt is folyamatosan alkalmazkodni kényszerülnek a szigorodó környezetvédelmi előírásokhoz.

Egy minimál típusú acélműnek viszont csak egy jelentős szennyező forrása van, az ívkemence. Az előbb tárgyalt integrált üzemhez képest szinte elhanyagolható mennyiségű eredő szennyezést bocsát ki. Kijelenthető, hogy az ilyen miniacélműveknél valósul meg leginkább a hulladékszegény technológia gyakorlata. A 100%-ban fémes betét miatt jóval kevesebb fajtájú és mennyiségű melléktermék képződik (pl. salakok, szállóporok). Ezért ezek kezelése jóval költséghatékonyabb, mint a körülbelül 65%-os vastartalmú érc alapon, nagy mennyiségű ásványi nyersanyagot és nagy mennyiségű energiát igénylő integrált üzemek. Ezek a nagy gyárak sokféle és nagy tömegű hulladékot termelnek, amit egyre költségesebb kezelni. Ezeknek a nagyüzemeknek is megvan azonban a létjogosultsága.

Egyes nagy mennyiségben és jó minőségben igényelt termékek legyártásához (pl. ún. lapos termékek: lemezek, szalagok) ilyen típusú integrált üzemekre van szükség.

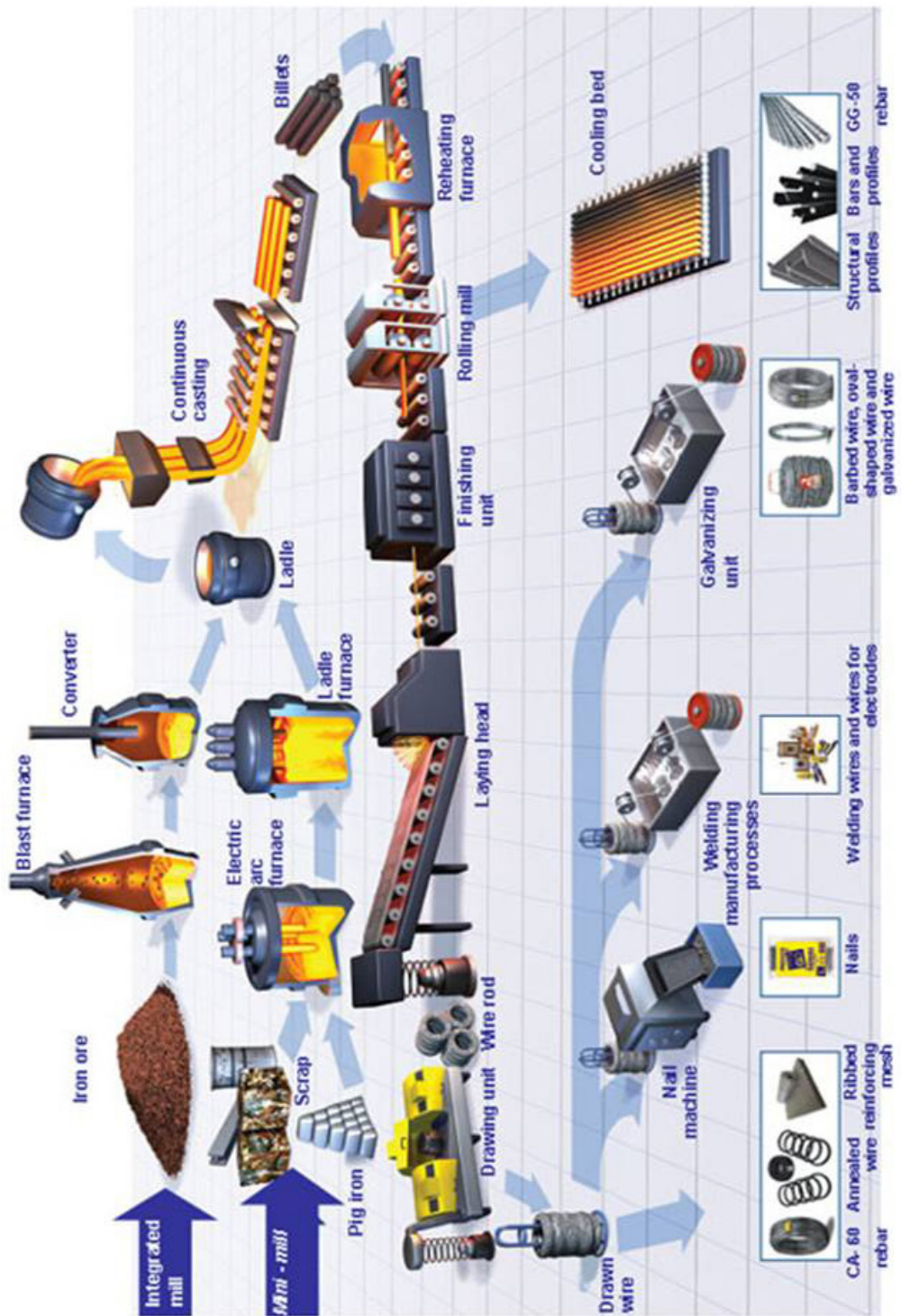
## 5. AZ ACÉLGYÁRTÁS TECHNOLÓGIÁI NAPJAINKBAN

### 5.1. Az egyetemes acélgyártás, primer acélgyártási technológiák és környezeti vonzataik

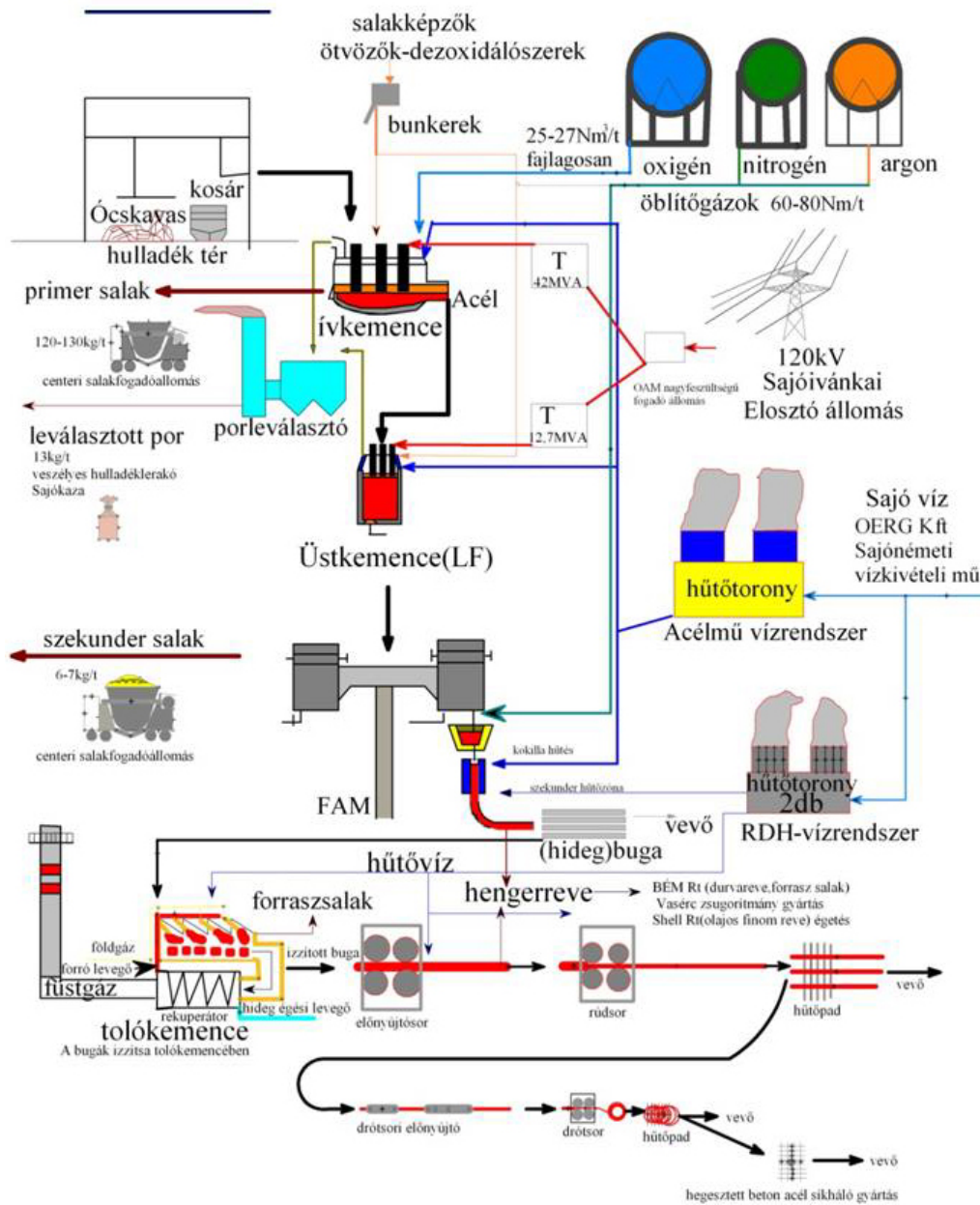
A világ acéltermelésének zömét vasércek kohósításából származó nyersvasból oxigénes konverterrel állítják elő. Ezek a konverterek normál üzemben a kémiai reakciók hőjével optimálisan csak 25-30 %-nyi vas- és acélhulladékot képesek beolvasztani. Technológiailag lehetséges ugyan 50%-os hulladék részarányal dolgozni, de ez esetben jelentősen meg kell növelni a nyersvas C és Si tartalmát, ami drágítja a nyersvas önköltségét, illetve költségesen előállítható SiC vagy FeSi beadását teszi szükségessé. Ezért konverteres üzemben a hulladék/vas arány növelése költségnövelő hatású. Ennek köszönhetően a felgyülemelő vashulladékok csak korlátozott mennyiségben alkalmazhatók a konverteres üzemeknél. A hulladékvas felhasználásakor az említett mennyiségi korlátok mellett a gyártmánytól függő minőségi követelménynek van nagyobb súlya, mivel bizonyos elemekből (pl. Cu, Sn, Ni, Sb) csak nagyon korlátozott mennyiség kerülhet a konverteres acélba.

A fenti elvárások miatt az 1970-es évektől az acélgyártás két fő vertikális üzemtípusra vált szét. Egyik az ún. **integrált acélmű** üzemtípus (**5/1. ábra**), ahol a kiinduló alapanyag vasérc bázisú, amit többnyire saját zsugorítómű, koksizómű és nagyolvasztómű segítségével dolgoznak fel. Ehhez csatlakozik az előbbieken említett LD-konverteres acélmű, amelyben az előbb bemutatott folyamat nyersvas termékét dolgozzák fel acéllá, hulladékvas hozzáadással. Ezek a gyárak napjainkra főként különféle gyengén ötvözött, hidegen hengerelhető, mélyhúzóható lapos áruk (pl. lemez, szalag) nagy tömegű gyártására vannak beállva. Ezeknél egyenletesen tiszta minőségű nyersvasra van igény, amelyek szegények Cu, Sb, Sn elemekben. Ennek függvényében kell megválasztani a kiindulási érc alapanyagokat. Az acélgyártás minőség és költséghatékonyság szempontjából ezeknek a minőségi előírásoknak és keverési arányoknak a betartásával optimalizálható. A felhalmozódó vas- és acél hulladék hasznosítására tehát csak korlátozott mértékben van lehetőség.

A **Mini Acélmű** a másik fő acélgyártó üzemtípus (**5/1. ábra**), amely a vas- és acélhulladék hasznosítására alakult ki. Az UHP-technológián alapuló eljárásnál jó hatásokkal lehet beolvasztani az acélhulladékot. Az ilyen kisebb kapacitású üzemek kis tökeigényűek, így a befektetés gyorsan megtérül. A technológiai háttér már a hatvanas évek elejére kialakult, mert 1963-ban a Heroult-féle ívkemencék új generációjaként jelent meg az UHP-kemence. E betűszó az Ultra High Power kifejezésből származik, amely ultra nagy teljesítményt jelent. Valóban nagy a fajlagos és hatékony teljesítménye, amely 350-560kW/h, de még nagyobb fajlagos teljesítményű is lehet. A nagy teljesítményű transzformátorral gyors beolvasztás valósítható meg, amit segít az 1960-as évektől robbanásszerűen terjedő oxigénezési „láz”, aminek hatására különféle adagoló lándzsa konstrukciókkal oxigént juttatnak az acélfürdőbe, így gyorsítva meg a frissítési reakciókat, megtakarítva tetemes villamos- és fosszilis energiát. Ezek a néhány 100 000 és 1 millió tonna közötti éves termeléssel rendelkező kisüzemek többnyire 100% vas- és acélhulladék

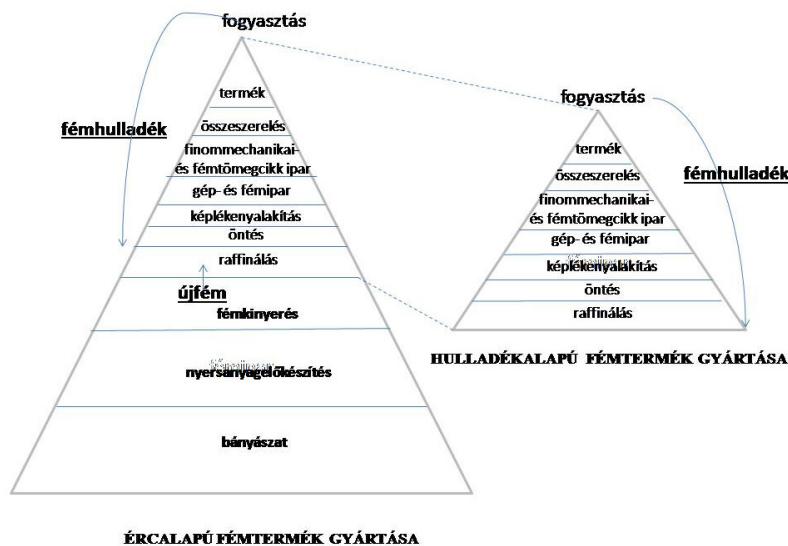


5/1. ábra Az integrált- és mini acélművek működésének egyszerűsített folyamatábrája (www.gerdau.com alapján).



5/3. ábra Az Ózdi Acélművek Kft (OAM Kft) működésének folyamatábrája.

felhasználású alapanyagbázison alapulnak folyamatos acélöntőművel (FAM). Általában egyféle acéláru gyártására szakosodnak (pl. rúd-, profil acélok). Az üzemek metallurgiai hátterét az UHP - kemence adja folyamatos acélöntéssel, korszerű üstmetallurgiai támogatással (STUBBLES 2006). Az ilyen üzemek igen olcsón működtethetők, mivel nincs szükség költséges ércelőkészítésre, kokszolásra és előzetes kohósításra (SZIKLAVÁRI 2002). Fontos megemlíteni, hogy e technológiai lépcsők a késztermékre fordított összes energiának mintegy 70%-át teszik ki, tehát a fémhulladékkal nem csak anyagot, hanem energiát is megtakarítanak (5/2. ábra).



5/2. ábra A fémfeldolgozás „táplálékpiramisa”

## 5.2. Szekunder metallurgiai technológiák és anyagforgalmuk

Az üstmetallurgia kialakulása az 1930-as évekre tehető, amikor a francia Perrin a kemencéből az acéolvadékot szintetikus mészaluminátos összetételű salakra csapolta. A két fázis intenzív keveredésével nagyban lerövidülnek a diffúziós utak, a zárványok megkötődése, felúsztása és a kéntelenítés hatékonysága pedig nőtt (SIMON et al. 1980). Ezt a klasszikusan bevált technológiát még néhol ma is alkalmazzák. Újabban a szintetikus salakokat csapolás közben adagolják be porítva, vagy közben alakítják ki alumínium dara, mész és folyópát hozzáadásával. Az így előállított acélok mechanikai tulajdonságai ugrásszerűen javultak.

Napjainkban standard technológia az inertgázos öblítés, amit még a hatvanas években fejlesztettek ki német és orosz kutatók. Ennek lényege, hogy az üstfenékebe beépített speciális, porózus téglán keresztül inert gázt, nitrogént, vagy argont vezetnek be az acélfürdő alá. Az inertgáz a fürdőn átbuborékolva igen jó hatásfokú gáztalanítást végez és segíti a zárványok felúsztását a salakrétegbe. Eközben homogenizálja a fürdőt, javítja az ötvöző szerek oldódását, kihozatalát. A FeSi például normál technológiánál csak mintegy 45%-ban hasznosul és maradéka a salakba kerül, ami veszteséget jelent. Ezzel szemben az inertgáz öblítésnél ma már 90% feletti a hasznosuló anyag mennyisége. Az acélművekben a fokozatosan dráguló ötvöző- és dezoxidálószer indokoltá teszik az inertgáz öblítést (SIMON et al. 1980), mivel ezáltal fokozható az anyagtakarékosság a jobb keveredés jóvoltából.

A legelterjedtebben alkalmazott, legkorszerűbb szekunder metallurgiai eljárások egyike az üstkemencés technológia. Az első, mai értelemben vett üstkemencés üzem 1969-ben Svédországban került beüzemelésre. Ennek a technológiának a kialakulását az segítette, hogy a későbbiekben bemutatandó vákuummetallurgiai kezelések nagyban visszahűtötték az adagokat. Ennek köszönhetően alakult ki ez az eljárás. Az előbb említett lépések után az üstöt a kemenceállás alá tolják, ahol a grafit elektródákat leeresztik a salakszintbe és elektromos ívet hoznak létre, melynek magjában 10000-12000°C hőmérséklet uralkodik, közvetlen közelében 6000-7000°C, az elektródák külső zónájában pedig 2000-3000°C jön létre. Ennek a hőnek a legnagyobb része a salakzóna közelében alakul ki és a folyamatos gázöblítés hatására egyenletesen oszlik el. Az anyagot általában 1620°C körüli hőmérsékletig hevítik. A salakzónában kialakuló 1900°C körüli hőmérséklet tovább növeli az ötvözők, dezoxidáló szerek oldódását, így növelve azok kihozatalát 99,5% fölé. A nagy hőmérséklet és az oxigénszegény bázikus közeg segíti a kéntelenítést. Ózdon is ez a technológia működik atmoszférikus nyomáson, de léteznek vákuumos üstkemencés technológiák is (pl. ASEA-SKF, VAD). Ilyen üzemelt például Diósgyőrben a DAM 2004 Kft-nél (SZŐKE 1990).

A gázatlanításnak más vákuumos technológiái is léteznek, ilyen a VOD, DH, RH stb. eljárás. Ezeket főként nemesacélok hidrogén- és nitrogén tartalmának csökkentésére használják. Az egyik legelterjedtebb vákuumos technológia a VOD (Vacuum Oxygen Decarbonising). Ennek lényege, hogy szabályozott karbon tartalmú adagot csapolnak az üstbe, ahová beadagolják az ötvözőket, majd speciális fedőt helyeznek rá, amin oxigénláncsával tovább frissítik az olvadékot egy meghatározott karbonszintig (ÉLES-SZŐKE 1981). Ezt követően leállítják az oxigén fúvatást, vákuum alá helyezik a berendezést és a fenék téglákon keresztül argonnal agitálják (kezelik). Vákuum alatt a karbon dezoxidációs képessége többszörösére nő, így a salakból már maga redukálja vissza az ötvözőket, főként a krómot. E mellett rendkívül alacsony karbontartalmat lehet elérni, ami a saválló acéloknál elvárás ( $C < 0.05\%$ ). Gyakran a vákuum megszakításával kevés FeSi-ot mérnek be a salakra, ezzel is segítve a redukciót, s ezt a vákuum alatt tovább folytatják a kívánt szintig. Ilyen berendezés üzemelt a DAM 2004 Kft diósgyőri üzemében.

Eléggé elterjedt az ún. AOD-eljárás, itt vákuum nélkül, egy speciális konverterben végzik ezt az oxidálást és argonos öblítést. Újabban léteznek más, alternatív technológiák is, ahol kémiai hővel végzik az adagok öntési hőmérsékletre történő felfűtését. Ez a technológia az ún. CAS-OB. Ennek az a lényege, hogy az acéllal teli üst felszínére egy speciális tűzálló harangot engednek rá az argon feláramlás helyén, aztán egy fogyó láncsán keresztül oxigént nyomtatnak a fürdőbe a harang alá. Ennek hatására az alumínium tartalom egy része kiég, ami tetemes hőt termel. Ezáltal akár 10°C/perc felfűtési sebességet is el lehet érni. Ennek eléréséhez a kívánt mértékig kell alumíniummal túlvöztetni az adagot. Az RH-OB technológia is hasonló elven működik, de ott vákuum alatt történik az oxidáció. Ezt a technológiát kis karbontartalmú, alumíniummal csillapított acélok esetében alkalmazzák, mert így elkerülhető a felkarbonizálódás kockázata, ami az üstkemencénél fellép. A 15-20 perces fűtés után átlag 0,01%-ot nő a karbon tartalom, de ha egy adagot többször kell „megfűteni”, akkor akár 0,03-0,04%-ot is növekedhet. Ez egy készre beállított összetételű hideg adagnál probléma lehet, mert akkor egy más minőségi kategóriába kell átminősíteni, ami által a gyártás programozhatósága romlik.

Az 1970-1980-as években voltak elterjedtek olyan üstmetallurgiai eljárások, amelyeknél egy speciális tűzálló anyagból készült láncsán keresztül pneumatikusan, tetszőleges összetételű porított ötvözőt, salakképzőt (mészpor, folyópápor, karbidpor stb.)

lehetett az acél belsejébe fúvatni (SCHOTTNER 1988b). Ilyen például az ún. SL-eljárás (Scandinavian Lancer). Ennek előnye, hogy közvetlenül az acél belsejébe lehet gyorsan, tetszőleges összetételű salakot injektálni, illetve így ötvözni is lehet (SIMON et al. 1980). Ennek köszönhetően javul az acél minősége, kevesebb a kén- és zárvány tartalma, a zárvány alakja módosítható. Ma már ez visszaszorulóban van, mert visszahűti az adagot és az így gyártott acéltermék a mai zárvány előírásoknak nem felel meg. Üstkemencével rendelkező üzemnél viszont, ahol mód van az elveszett hő pótlására és a zárványtalanításra, ott ez kiegészítő technológiának alkalmas (pl. elődeoxidációra). Ilyen technológia üzemel a Dunaferriánál, régen pedig az ÓKÜ-nél is működött.

Ma már az üstmetallurgiai kezelések során rutin eljárásnak tekinthető a különféle porbeles huzalok adagolása. Ezt a technológiát főként az adag összetételének finombeállítására alkalmazzák, illetve még elterjedtebben zárványmodifikálásra, főként alumíniummal csillapított adagok esetében (HARCSIK 2011). Erre a célra főként CaSi, CaAl porral töltött huzalt adagolnak be, s az így felszabaduló Ca-gőz a korund szemcséket gömbösíti, így javul az adag önthetősége, valamint mellékesen kéntelenít és dezoxidál is. Ez egy jól automatizált technológia, mert az olvasztárnak be kell gépelni a számítógépbe a kívánt ötvöző mennyiséget és az adagológép beméri az ennek megfelelő mennyiségű huzalt. Ez a huzal adagolás normál ötvözők esetében költséges technológia. Kevésbé igényes minőségű termékeknél – amilyen például a betonacél – inkább lapáttal mérnek be kisebb, kb. 0-10kg közötti, tehát 2-3 lapátnyi mennyiségeket. Nagyobb mértéknél a hozaganyag rendszeren keresztül számítógéppel mérik be a kívánt ötvözőt.

Mikroötvözésnél eléggé elterjedt elegáns megoldás, amikor a beadagolandó ötvözőt (pl. FeV, FeNb) papírszakokba kimérve, a kemenceajtón keresztül dobják be az acélfürdőbe.

### **5.3. Az acélöntés**

A legyártott acélt le kell önteni a megfelelő féltermék formára (pl. öntecs, buga). Ez nagy gondosságot igénylő művelet, mert még a legprecízebben legyártott, jó minőségű adagból is önthető silány minőségű tuskó, illetve buga. Az acélöntés régen kizárólag tuskóöntést jelentett, azaz megfelelő öntöttvas formába ún. kokillába öntötték az acélolvadékot. Az öntés történhetett alsó, vagy felső öntéssel. Az alsó öntésnél egy központi samott csövön engedték be az acélt, ami lefolyt az elosztó téglába, majd a csatornatéglán keresztül jutott be a kokillába, amit alulról töltött ki. Ily módon egyszerre 4-6 tuskót tudtak önteni. A felső öntésnél felülről, közvetlenül a kokillába eresztették az acélt, ami olcsóbb megoldást jelentett ugyan, de gyengébb felületi minőséget eredményezett.

Mindkét öntéstípusnál használtak speciális öntőporokat, melyek kezdetben szénsalak és folyópát keverékéből álltak. Később speciális öntőporok egész sora került felhasználásra, melyek folyópát bázisú, savanyú salakot adtak, s megkötötték a zárványokat (CSABALIK-SZARKA 1987b). A tuskó feldolgozás nagy energia- és munkaerő igényű technológiasor, nemzetközi szinten átlagosan 87%-os kihatallal, ami Ózdon mindössze 82%-nyi volt. Ma már csak néhány speciális acélminőségnél alkalmazzák ezt az eljárást.

A 60-as évektől kibontakozó FAM (Folyamatos Acélöntőmű) technológia sokat javított a termelékenységen. Egyes acélművek ma már 99%-nál nagyobb kihatallal érnek el. Ez függ a gyártás zavartalanságától is, mert ha gyakran kell szálát zárni, akkor a kihatallal romlik. Ennek oka, hogy minden nyitásnál és zárásnál kb. 1-1m-nyi szakaszt

kivágnak a szálból. Az első 1m kezdeti (fej) és az utolsó (láb) 1m-es szálrészt azok rossz minősége miatt vágják le amit, fej- és lábveszteségnek neveznek.

A technológia során különböző öntő-, vagy fedőporok kerültek felhasználásra. Ezek napjainkra csaknem kizárólag folyópát - kvarchomok keverék bázisúak. Az öntőporok alkotóinak aránya azonban elsősorban az öntendő minőségtől függ. Ennek köszönhetően a képződő salak mennyisége igen csekély, fajlagosan mindössze kb. 0,1kg 1t acél kihozatal mellett. Az öntőporok fő feladata itt is a zárványtalanítás és az oxidáció elleni védelem. Kevésbé igényes minőségeknél csak az öntővályuban képeznek védősalakot. A teljesen csillapított, azaz 30ppm-nél kisebb oxigénszinttel rendelkező acélminőségek (pl. lemez-, szerszám-, nemesacélok) zárt öntésű adagjainál a kristályosítóban is képeznek salakot, illetve öntés közben a levegő teljes kizárására törekednek védőcső segítségével (SIMON et al. 1980). A zárványok felúszását a kokillába telepített indukciós keverőkkel is segítik. Ma már az ívkemencétől kezdve, a folyamatos öntésen át a hengerlésig, csaknem az egész folyamat automatizálva van. Ma már tehát egy kohászatban dolgozó szakembernek értenie kell az új technikák kezeléséhez is.

## 5.4. Az ÓAM Kft működésének gyártástechnológiai vázlata

### 5.4.1. Az ívkemencés acélgyártás

A technológiai folyamatok pontos és részletes ismerete jelen tanulmány szempontjából azért fontos, mert a felhasznált nyersanyagok minősége, a hozzáadott adalékok és a kivont alkotók milyensége, tömege és a kezelési eljárások befolyásolják a felszabaduló melléktermékek (pl. gázok, salakok, szállóporok) tulajdonságait, mennyiségét, esetleges toxikus hatását, vagy környezeti aktivitását

Az acélgyártás (5/3. ábra) legelső technológiai lépése az olvasztásra kerülő, ún. fémes betét összeállítása. Az OAM Kft-nél a jelenleg előkészített betétek 100%-ban vas- és acélhulladékból állnak (KARCAG & PÓCZOS 2000). Az üzembe érkező acélhulladék az acélmű fedett, hídaruval felszerelt hulladékterére kerül. Itt történik a hulladékok minőség és típus szerinti tárolása, az esetlegesen bekerülő egyéb, nem odavaló hulladék kiválogatása. Ezzel csökkenthető az üzemzavarok száma, javítható az acél minősége.

Az acélhulladék a minőségi átvétel után a neki megfelelő tárolóba kerül. A betétet innen elektromágneses daruval a vonszolókocsin lévő 30–32m<sup>3</sup> térfogatú adagolókosárba helyezik, ezt 300 atmoszférás nyomóerejű hidraulikus prés alá állítják, ott tömörítik, majd ráhelyeznek egy hasonló „réteget”, ismét tömörítik, s addig ismétlik ezt a folyamatot, amíg el nem érik a 25-30 tonnányi tömörített tömeget. Ezt az anyagot a kosár alá telepített mérlegben a szállító kocsival együtt mérik, regisztrálják, majd drótköteles vontatással juttatják a kemencecsarnokba. Itt a kosarat daruval kiemelik a szállítókosárból, majd annak tartalmát az UHP kemence tetejének elfordításával szabaddá váló kemencetérbe juttatják a kosár aljának szétnyitásával (5/4. ábra). Az üres kosarat visszavontatják a hulladékterre, közben visszafordítják a tetőt, leengedik az elektródákat, bekapcsolják az áramot és ezzel megkezdődik a beolvasztás.

A villamos energia bevitt és az elektródaszabályozást számítógép vezérli a SIEMENS cég SIMELT nevű folyamatirányító rendszere segítségével. A kemence fajlagos villamos energia felhasználása átlagosan 410kWh/t (~1,5GJ/t). Fontos még a fosszilis energia bevétel is, ami első sorban ~0,58GJ/t fajlagos földgáz felhasználást jelent. Az acélhulladék összetételétől függően ingadozó, de jelentős energiaforrás lehet még a betétben tárolt ún. kémiai hő, ami a betét szennyezőinek (C, Si, P, Mn, Al stb.) oxidációjakor szabadul fel. Ehhez sorolható még az acél oxigénes fúvatásakor

bekövetkező vasoxidáció hője is, ami nem olyan jelentős, mint például a Si-é és az Al-é, de azért számottevő. Az összetételtől függően a betét oxidációja során felszabaduló reakcióhő általunk becsült értéke kb. 0,5-2GJ/t. Amint látható, az acélhulladék minősége jelentősen befolyásolja az ívkemence energiafelhasználását, s ezáltal az olvasztási teljesítményt.



5/4. ábra Az OAM Kft ívkemence munkafolyamatának fázisai A/. kép: a vas- és acélhulladék beadagolása „kosárral”. B/. kép: a hulladék beolvasztása elektromos ívvel. C/. kép: oxigén befúvatás manipulátorral olvasztás közben. D/. kép: az acéolvadék csapolása EBT-rendszerrel.

Amint beolvadt az első kosár tartalma, a folyamat leáll az újabb hulladék betöltéséig. Ez a művelet ~2,5 percet vesz igénybe. Egy olvasztási művelet során – minőségtől függően – általában 2-3, lazább hulladék esetén 3-4 kosárnyi anyag kerül a kemencetérbe. A beolvasztást régebben a kemence ajtaján keresztül benyújtott manipulátoros kokszpor- és oxigén adagolásával végezték, ebből mára csak az oxigén lándzsa maradt üzemben. Jelenleg a kemence oldalfalába, a hidegfoltok környezetébe épített földgáz-oxigén égővel, un. RCB-vel (**R**efining **C**ombined **B**urner) segítik a beolvasztást (MOXON et al. 2005), mivel ez nagy impulzusú szűrő lángot képezve gyorsítja azt.

A beolvasztás után az égőt átállítják oxigén lándzsa üzemmódra, ilyenkor a bejuttatott szuperszonikus oxigénsugár krátert képezve hatol a salakba. Ott intenzíven keveredik az olvadékkal, ami hasonló mechanizmus, mint az LD konverternél (SIMON et al. 1980). Ennek során acél-salak emulzió alakul ki a fürdőben, ami felgyorsítja a kémiai reakciókat. Az RCB égők mellett az oldalfalban helyeznek el három kokszpor befúvásra szolgáló lándzsát is, amelyek működése összehangolható az RCB égővel. Ilyenkor a kokszport a salakban kialakult kráterbe juttatva érik el a salak habosítását (lásd később). A klasszikus, manipulátoros, fogyólándzsás oxigénadagolást olyankor használják, amikor rövid idő alatt sok oxigént kell bevinni a fürdőbe, például gyorsítani kell a beolvasztást- frissítést, vagy sok még a karbon.

A beolvasztást befolyásolja a hulladék mérete, szerkezete, összetétele. Minél nagyobbak, tömörebbek a hulladékdarabok, annál hosszabb a beolvasztás, s minél kisebbek, annál nagyobb a fajlagos felület, gyorsabb az olvadás, de nő a leégési veszteség. Különösen nagy a veszteség revés-rozsdás hulladékok estében, mert a beolvadó vasoxid

redukciójára itt nincs, illetve minimális a lehetőség. Például egy 50%-os korrodáltságú acéllemezek a beolvadása során jobb esetben csak a feléből lesz ismét acél. Az általános tapasztalatok szerint a beolvadásból számolt kihozatal az ívkemencénél átlagban 89%. A beolvadás közben megkezdik a salakképzők beadását, amit részben szintén pneumatikusan, a kemence falába épített mézpor-lándzsán keresztül végeznek, vagy darabos meszet adagolnak a hozaganyag silóból, a boltozaton lévő adagoló tölcserbe.

A mézpor ugyan drágább, mint a darabos méz, de jobb a hasznosulása, így jóval kevesebb is elég belőle. A beolvadási szakasz után az oxigén aktivitás és hőmérsékletmérés, majd bemártó szondás mintavétel és színképelemzés következik. Ezután, a mért eredmények függvényében az acélgyártó főolvasztár eldönti, hogy kell-e még fűteni, frissíteni. Ennek során az acélfürdő karbon-, szilícium-, foszfor-, mangán tartalmát kioxidálják az előbb említett RCB égővel. Eközben a karbon lándzsával koksport fúvatnak be a salak habosítására. Ez elfedi az ívet, óvja az oldalfalat az ívsugárzás károkozásától (MATSCULLAT et al. 2008). A habosított salak jó hőszigetelőként növeli a fürdőnek átadott hő mennyiségét, így 65-70%-ra nő a kemence hatásfoka.

A habosítás során intenzív fürdőmozgás alakul ki a salak és az acél olvadék között. Ez az érintkezési felületüket több ezerszeresére növeli, így a köztük lejátszódó kémiai folyamatok sebessége a két fázis között jelentősen felgyorsul, csökkentve az adagidőt. Az intenzív keverést segíti még az osztrák **RHI AG** cég (tűzállóanyag konszern) által szállított, inertgáz öblítésű három, ún. **DPP plug** (Direct Porosity Purge plug) argonozó téglá, amit a kemence fenékbe építenek be (RAHM 2005). Ennek hatása abban rejlik, hogy a beinjektált nitrogén/argon csökkenti a fürdőben oldott CO parciális nyomását, ezzel gyorsítva annak képződését a karbon oxidációját. Nem elhanyagolható előnye még, hogy jelentősen homogenizálja a fürdőt mind összetétel, mind a hőmérséklet szempontjából.

A salakképzésre jellemző, hogy a salakot habosítják és a képzett salakot lefuttatják az acélfürdőről. A lefuttatott salakolvadékot salakfazekakba gyűjtik és vasúton szállítják az Aicher Beton Kft. salakfogadó állomására Centerbe, ahol leöntik. Voltak kísérletek, hogy a salakot közvetlenül a kemencénél granulálják, de ez eddig nem járt eredménnyel (részletesebben lásd később). Amint az a folyamatábrán látható a legnagyobb volumenű melléktermék a primer salak.

A beolvasztás után jön a kikészítés fázisa, amikor a kifrissülő fürdőben végbe megy a foszfortalanítás, kéntelenítés és megtörténik az acélfürdő csapolási hőfokra hevítése. Általában a kikészítés elején képzett salaknak van legnagyobb foszfortartalma, mert a foszfortalanítás viszonylag alacsony hőmérsékleten megy végbe, 1580°C körül, fölötte viszont fokozatosan csökken a salak foszformegkötő képessége. Ezzel szemben a kéntelenítés hőigényes folyamat, ami a frissítés során fejlődő hő hatására intenzívebbé válik, de az oxidatív viszonyok miatt legjobb esetben csak 20-50%-os hatásfokú.

Többszöri salakcserevel viszont akár 75%-os kéntelenítést is el lehet érni. A nagy foszfor tartalom csökkentésénél is hatékony a többszöri salakcsere. A salakcsere jelentősen megnöveli az adag időt, ezért nem alkalmazzák, maximum extrém magas 0,05-0,090% P tartalom esetén.

Napjainkban az ívkemencék esetében általános trend a kikészítési szakasz rövidülése és áthelyezése más berendezésbe (pl.üstkemence). Ez a technológiai szakasz elsősorban a dekarbonizáció, gázatlanítás és a csapolási hőfok beállítása miatt fontos. A kéntelenítés és a foszfortalanítás csak másodlagos. A hulladék általában alacsony foszfortartalmú. Elvárás, hogy a kemencéből csapolt acél P tartalmának lehetőleg <0,030%-nak kell lennie, hogy a hozaganyagokkal (deoxidálószerrel, ötvözővel, karbonizáló salakképzővel) és az estleges

salakátfolyással az üstbe bevitt többlet P-ral is biztosan 0,035-0,05% alatt maradjon a végleges foszfor tartalom, a gyártandó acél minőségéhez igazítva.

A várható trendeknek megfelelően, savanyúbb salakoknál már kevés oxigén befűvésakor is látványosan megnőhet az acél P- tartama, jóval meghaladva a maximális 0,050 %-ot is. Emellett a C-tartalom is megnő, s a várható 0,05-0,1% körüli beolvadási érték helyett ilyenkor 0,3-0,6% karbon is visszamaradhat. Ekkor valószínűleg nagy a betét szürkeöntvény tartalma, vagy ritkábban rossz a hulladék minősége a belekerült talajásványok apatitja következtében. Szükség szerint ekkor alkalmazzák a már említett salakcserét, és manipulátorral oxigént fúvatnak be.

#### 5.4.2. A szekunder acélmetallurgia jellemzése

A csapolás előtt, az adaggyártás legvégén, az előbb már említett módon, még legalább egyszer hőmérsékletet, aktív oxigént és kARBONT mérnek. Az előbbieket alapján elmondható, hogy a szekunder metallurgiai kezelés képletesen szólva már az ívkemencénél elkezdődik. Az acélgyártó főolvasztár a gyártási programnak megfelelően a csapolásnál a kiömlő acélsugarba méri be a szükséges ötvözőket (FeSi, FeMn, FeSiMn) és a salakképző meszet. A csapolás a legkorszerűbb excentrikus fenékcsapolási (EBT) rendszerben történik. Közvetlenül a csapolás előtt a kemencében mért összetétel és a gyártandó acél minőség függvényében a főolvasztár utasítása alapján az olvasztárok beadagolják a csapoláshoz előkészített üstbe a szükséges mennyiségű zsákolt karbonizálót (koksztot vagy antracitot) és a dezoxidáló alumíniumot, ha az oxigén aktivitás 300ppm-től nagyobb a csapolandó acélban (**5/5. ábra**). A csapolás elindultával az acélgyártó beadja a kimért anyagokat az üstbe. A csapolás után közvetlenül – ha szükséges – folyósítóként még szintetikus alumínát salakot is dobnak a salakra.

Fontos még megemlíteni, hogy a csapolás során még 50-75kg OLIVIA FILL fantázia nevű dunit örlemény (lásd később), mint zárópor is kerül az üstbe a csapolónyílás nyitásakor, amit szintén hozzá kell számolni az üstsalak mennyiségéhez és a salakképzőhöz.

Bizonyos szennyezők az ívkemencénél nyerik el csaknem végleges összetételüket. Ezért a P, Cr, Ni, Cu, Sn stb. elemek mennyiségét a következő technológiai lépéseknél már nem lehet számottevően tovább csökkenteni. Ezért az ívkemencének kitüntetett szerepe van az acélgyártásban. Amint az látható, a megengedett szennyező tartalom termékesoportonként is különböző. A betűk a hengermű számára fontosak, mert ezek különféle hengerelt árucsaládot takarnak.

A lecsapoló acél további kezelése az üstkemencénél történik. Itt már a főszerep a kéntelenítésé, dezoxidációé, zárványtalanításé (*BUL'KO et al. 2009*) és végül az öntési hőmérsékletre történő felfűtésé. Ha szükséges, akkor az üstkemence olvasztár még további karbonizálót, ötvözőt, alumíniumot adagol be az üstbe.

#### 5.4.3. Folyamatos acélöntés

Az előző adag öntésének befejezésével, a torony elforgatásával helyet cserél a teli és az üres üst. Az öntési pozícióba hozott üst tolózárának nyitásakor az üstzárópor (10kg por: kromit + kvarc örlemény) kiömlik a közbenső üstben lévő előző adagra (**5/6. ábra**). Normál esetben ezután rögtön elindul az acéolvadék folyása. A szál nyitásakor a kristályosító megtelik acéllal, ekkor azonnal óvatosan megkezdődik a hidegszál kihúzása. Ezáltal a húzótüske köré dermedt acél és a kokilla falán kialakult kemény kéreg további része a szekunder vízűtés hatására megvastagszik, miáltal kialakul az öntendő szál. Zavartalan szekvens öntéseknél akár 0,5% körüli szintre is lecsökkenhet a korábban már

említett ún. vágási veszteség. Éves átlagban tehát e téren a nemzetközi trendeknek megfelelő nagyságrendben, tehát 1%-on belül vagyunk.

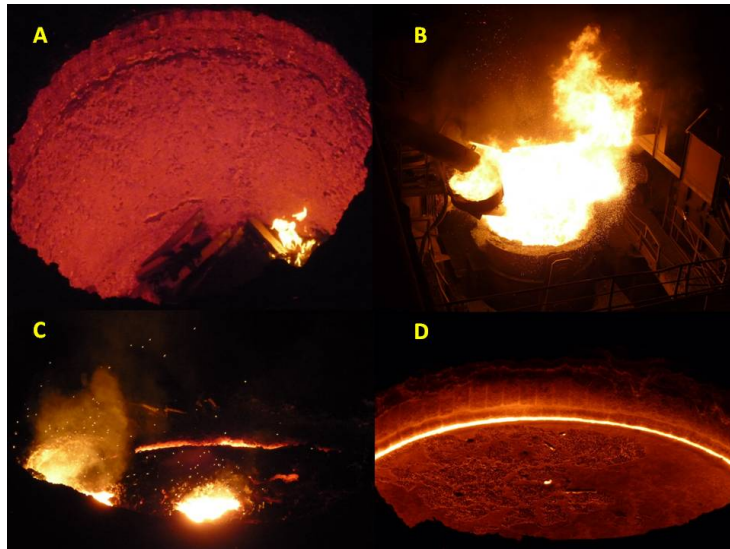
Az ún. kokilla, vagy újabb elnevezéssel kristályosító cső fala növényi olaj (repceolaj vagy napraforgóolaj) kenésű. Ez az olajfilm megakadályozza az acél hozzátapadását a kokilla falához. Az öntés során ez az olajfilm pirolizálódik. Egy része kokszolódik és egy koromszerű sötét bevonatot képezve növeli a hőátadást a kokilla felé. A másik része a kokilla szájánál elég. Ez enyhén csökkenti az acéltükörnek a levegőből való oxigénfelvételét. Az el nem égett, el nem bomlott rész elpárolog és többnyire a salakteknőben lévő, leengedett acélsalak felületére kondenzálódik. Ennek köszönhetően a következő salakleengedésnél ez az olajbevonat pirolízisen esik át, amelynek eredményeként lehelet vékony, fémes csillogású, grafitszerű bevonat (film) képződik a két salakfázis határán. Ennek az általunk több ízben részletesen megfigyelt jelenségnek a folyamatát követve megállapítható, hogy nincs káros környezeti kimenete, nem képződik toxikus hatású szerves vegyület vagy gáztermék, de mineralógiai szempontból érdekes a grafitosodás jelensége.

Az acélbuga öntésnél az ideális növényi olaj felhasználás ~3,5dl/t. Ezzel a repceolajos kenéssel csak ilyen félig csillapított, vagy szilíciummal csillapított acélminőségek önthetők (pl. drótkötél anyagok, kordhuzal). A legelterjedtebb, alumíniummal csillapított acélok – feltehetőleg a nagyobb hidrogénérzékenység miatt – csak speciális fedőporos kenéssel önthetők. Igény esetén az OAM-nál ez is megoldható, de ehhez zártöntés szükséges.

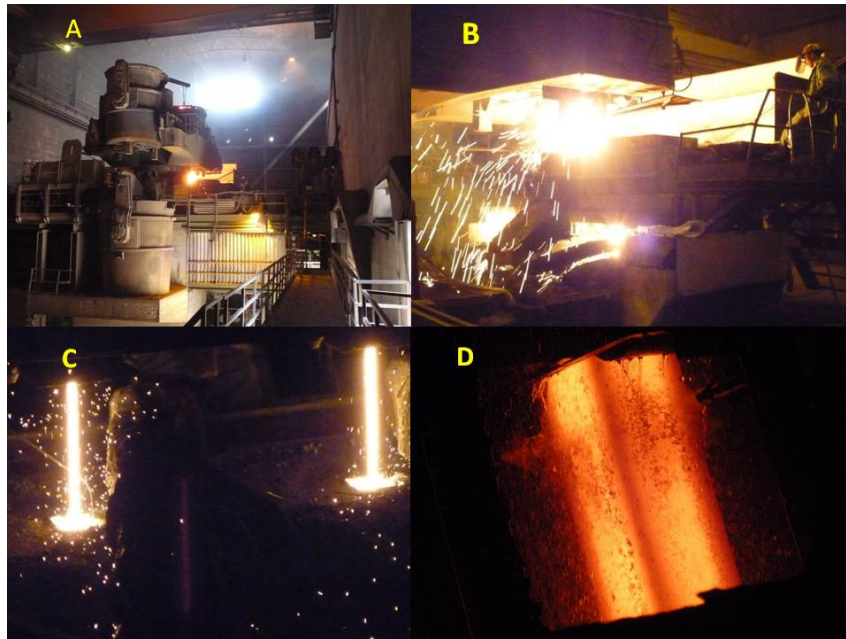
Újabban az öntés során az üstből kiömlő acélsugarat sugárvédő csővel védik a levegő oxigénjétől. Ennek eredményeként az acél alkotói már csak részlegesen éghetnek le. Egyébként a titán, – ezt jelenleg Ózdon nem használják ötvözőként – valamint az alumínium, szilícium, és a mangán hajlamos a leégésre. Ennek mértéke normál esetben elhanyagolható. Jellemzően a mangánál 0,01%-os, a szilíciumnál 0,02%-os leégéssel számolnak. A gyakorlatban azonban nehéz eldönteni, hogy ilyen esetekben mindig tényleges oxidációról van-e szó, vagy éppen a jobb keveredésből eredő hígulás, ill. a mangánszilikát zárványok salakba történő felúszása áll a háttérben. Az acél oxigén szintjének ismeretében ez általában tisztázható.

Általános tapasztalat szerint, ha az alumíniumtartalom 0,003%-nál nagyobb, akkor az a kiömlőnyílás (kagyló) szűkülését okozhatja (HARCSIK 2011), mivel gyorsan növekvő, lineáris szerkezetű korund kristályok gyors fejlődését segíti elő. Ez szélsőséges esetben a szálak elfagyását is elősegítheti. Ez a tapasztalat elemi Al-nál valószínű. A valós viszonyokat feltételezve gyakorlatilag 0 a valószínűsége annak, hogy a jelen technológiával gyártott acéljainkban elemi, fémes Al-fordulhasson elő 40-90ppm oxigénszint mellett. Ez a probléma az alumíniummal csillapított acéloknál jellemző. A félig csillapított acéloknál viszont ritkább, nagyobb a valószínűsége, hogy mullit, periklász és spinell zárványok képződése alakulhat ki, vagy kénesebb adagoknál MnS és CaS jelenhet meg. Újabban a közbenső üstben fedőport (kvarchomok, petrolkocsz, rizshéj, folyópát őrlemény keveréke) alkalmaznak, adagonként kétzsáknyit (2x5kg), amellyel hőszigetelő salakot képeznek a fürdő felszínén. Ennek kb. 90%-a elég, ezért ~1,0-1,5kg salak marad utána. Ehhez jön még az üstök nyitáskor beömlő zárópor (10kg/üst), amelynek 60%-a kvarchomok, ez adagonként 6kg. Az adag végén még kb. 0,5kg szekunder salak is átmehet a közbenső üstbe. Adagonként tehát a közbenső üstnél átlag 10kg-nyi salak képződésével számolhatunk.

Egy átlagos, 21 adagos szekvensnél 1260t acél leöntése során kb. 200kg salak képződik. Újabban a FAM salak fajlagos mennyisége tehát 0,160kg/t<sub>acél</sub>, azaz 100000t



5/5. ábra Az üstmetallurgia munkafázisai. A/. kép: csapoláshoz előkészítet üst a beadagolt karbonizáló koksszal és a dezoxidáló alutömbökkel. B/. kép: csapolás. C/. kép: közvetlenül a csapolás után kialakult salak az acéolvadék felszínén, részlegesen megolvadt salakképzővel. D/. kép: az üstkemencés kezelés során öntési hőfokra fűtött acélfürdő felülete a technológiailag optimális állagú salakkal.



5/6. ábra A folyamatos acélöntés (FAM) munkafázisai. A/. kép: a FAM berendezési. B/. kép: oxidáció elleni védelem nélküli nyitott öntés a közbenső üsttel. C/. kép: repceolaj kenésű kristályosítók üzem közben. D/. kép: a kristályosítóból kijövő, izzásban lévő, belül még folyékony, de már szilárduló szál a szekunder hűtőzónában.

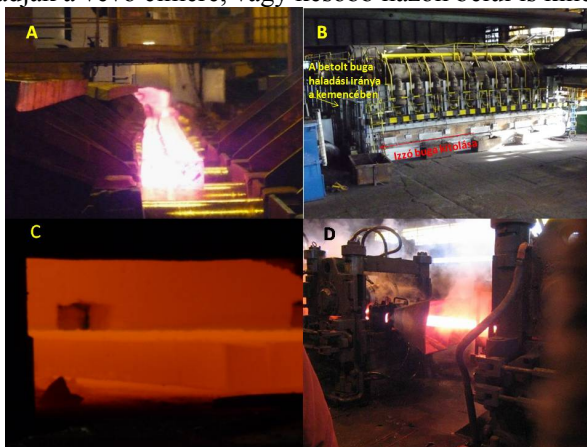
acél leöntésekor 16t salak képződik, ami elenyésző mennyiség. Az üstből a közbenső üstbe ömlő acélsugarat sugárvédőcsővel zárják el a külvilágtól. Ez lényegében egy félig zárt öntési technológia. Eddigi tapasztalatok alapján elmondható, hogy csökkent az oxigén alkalmazása, mert a szigetelő salak miatt kisebb a hőveszteség, kisebb a leégés. Ezért csökkent a salak mennyisége is.

A hagyományos öntésnél 5-6 adagonként kellett salakolni, ekkorra 5-8cm vastag salakréteg gyűlt össze. A fedőpor+sugárvédőcső alkalmazása során már csupán 8-9 adagonként történt salakolás, amikor 1-2cm vastag salakréteg gyűlt össze. A rendszeres salakleeresztés azért fontos, mert a savanyú salak megtámadja a kopóbélést. A másik ok pedig az, hogy ez a salak alapvetően MnO(FeO)-SiO<sub>2</sub> dimer rendszerű, ami 1240-1400°C-os tartományban folyékony. Amint kezdi megkötni a szennyezőket (CaO, MgO, ZrO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), úgy emelkedik az olvadáspontja, s ha meghaladja az acélfürdő hőmérsékletét (1570°C-ot), akkor ráfagy az acél felszínére, ami problémát jelent, mert nem köti meg a felúszó zárványokat, nem lehet mintát venni, hőmérsékletet mérni. A fedőpor folyópát tartalma jól folyósít, de ez lassan elpárolog, ezért pótolni kell.

A fedőporból kialakult aktív védősalak hatékonyan megköti a zárványokat. A jövőben beüzemelésre kerülő nagyobb, 10t-s adagsúlyú közbenső üstök, illetve öntőkocsik használatával tovább javulhat az öntés minősége, mivel a nagyobb térfogat miatt kisebb a fajlagos hőveszteség. Nagyobb fürdómélység esetén, az esetleges oxigénes beavatkozás a fürdőnek csak a felszínét érinti majd. Ezért az oxidzárványok inkább úsznak fel, illetve fogynak el az ötvöző Si-mal Mn-nal reagálva, mintsem átfolyának a kokillába. A kristályosítóba beépített indukciós keverő tekerccsel szintén javul a zárványok salakba való felúszása, valamint tovább homogénizálódik az acél összetétele még a kokillában is.

#### 5.4.4. Rúd Drót Hengermű (RDH) technológiája

A leöntött buga, a FAM tolópadról közvetlenül mehet a tolókemencébe, hengerlési hőmérsékletre történő izzítás céljából (5/7. ábra). Maga a kemence német (még NSZK) OFAG licenc, magyar (KGYV) kivitelezéssel. A buga a FAM hűtőpadról a bugatérre kerülhet letárolás céljából. Az export bugákat így összegyűjtik, minősítik és vasúti kocsikba rakva feladják a vevő címére, vagy később házon belül is kihengerelhető.



5/7. ábra A Rúd-Drót Hengermű (RDH) működésének munkafázisai. A/. kép: a hengermű tolókemencéjébe betolásra kerülő, a FAM-ról jövő még ~700-800°C-os izzó buga. B/. kép: a hengermű tolókemencéjében ~1100°C- ra izzítják a betolt bugákat és a nyilakkal jelölt irányba mozgatva érik el e hőfokot a kemence kitolási végéig. C/. kép: a kitolási oldalra ért izzó bugák. D/. kép: hengerlés a rúdsoron.

A tolókemence un. betolási végén kettesével tolják be a bugákat. A bugára merőlegesen van a toló szerkezet, ami 5 munkahelyes, mechanikus meghajtású toló pofa, amelyik a berakott bugát betolja a többi közé a kemencébe, ahol CORVISIT (műkorund) sínen csúszva mozognak. A samott falazatú kemencében rekuperatív földgáztüzelésű boltozati égőkkel fűtik fel a bugákat. Az égősorok a boltozatban három zónába rendezettek. A betolási oldalnál a legkisebb hőmérséklet 980-1000°C, a középső zónánál már 1100-1150°C, a kemence végén, a kitolási zónánál pedig már 1200-1250°C hőmérséklet jellemző. E folyamat során elérhető, hogy a kitolásra kerülő buga átlag hőmérséklete 1100°C körüli legyen. Fontos, hogy annyi hő tárolódjon benne, ami képlékenyen tartja a hengerlés végéig.

A hengerműi berendezéseket egy neves német cég (SCHLOEMANN) licence alapján a csehszlovák (ma cseh) ZDAS cég szállította és szerelte be 1976-ban, tehát már majdnem 40-éve vannak üzemben jelentősebb meghibásodások nélkül. A hengerlés folyamata teljesen automatizálva van. A megfelelő hőmérsékletre felhevített bugák a hengersorra kerülnek kitolásra, általában kettesével, un. két eret alkotva. A kívánt termék a végső formáját több hengerblokkon („szúráson”) áthaladva nyeri el.

Az, hogy hány hengerállvány van installálva a hengersorba az a gyártmánytól is függ. Az üzemnél a megmunkálás során lehetőség van a szálát átirányítani a rúdsorról a drótsorra és ott hengerhuzalt gyártani egészen 8mm átmérőig, amit még melegen tekercselnek, s ha van rá igény, hidegen bordáznak. A kész huzalt 0,8-1,0t-s kötegekbe tekercselve adják el.

A hengerüzemnek van egy nagyon fontos, még a nyolcvanas évek vége felé kialakított technológiája (MOLNÁR & MARCZISNÉ 1988), amellyel minimális befektetés mellett tudták növelni a rúdaru folyáshatárát és szakítószilárdságát. Ez az un. irányított hűtés, egy speciális hőkezelési eljárás. Ennek lényege, hogy az utolsó szúrásokban óvatosan, több lépcsőben meghatározott mennyiségű vizet engednek a még izzó acélra. A jól kivitelezett hűtés során a rúd anyagának jellegzetes szöveti képe alakul ki. A külső oldal felől edzett martenzites kéreg (ferrit+Fe<sub>3</sub>C tük) borítja, míg a belső mag a hagyományos perlites (ausztenit+karbid eutektoid) ferrites szerkezetű marad. A kettő közötti átmeneti zónában bainites szövet (epszilon karbid vékony korongokként+ferrit) alakul ki. E hármas réteges szövet kialakulása azért fontos, mert elősegíti a lehető legnagyobb szilárdságot, ezáltal kisebb önsúlyú vasbetonszerkezeteket lehet építeni, tehát kevesebb anyag felhasználásával ugyanolyan statikai tulajdonságokat lehet elérni, mint a hagyományos, karbonnal erősebben ötvözött vastagabb betonvasaknál (pl. B60-40). Tehát ez egy anyag- és energiatakarékos technológia, amit a megfelelő kristályszerkezet kialakulása tesz lehetővé.

E szilárdság még tovább fokozható, ha az említett kristályhatárokon mikroötvözéssel és megfelelő hőkezeléssel (kiválásos keményítés) olyan szabályozott eloszlású, kis mennyiségű vegyület fázisok létrejöttét segítjük elő, amelyek blokkolják a kristályok transzlációs és hasadási képességeit. Az ipari gyakorlatban erre a legelterjedtebben használatosak a különféle nitrid vegyületek, például az Al-, Ti-, Nb- és V nitridjei. Az acéloknál lehető legnagyobb szilárdság növekedést a Nb-és V mikroötvözéssel érhetjük el. Ennek során az acélt 0,03-0,04%-ban ötvözik ezekkel az elemekkel, melyek az acélban oldott nitrogénnel NbN és VN zárványokat képeznek. Ezek az acélok izzítása során szilárd fázisban oldódnak, és a hengerlés vége felé a jól kivitelezett irányított hűtés eredményeként nagyon finom eloszlásban válnak ki a kristály határokon (PROHÁSZKA & RÉPÁSI 1988). A még igen drága és nehezen hozzáférhető ritkaföldfémekkel még tovább lehet fokozni ezeket a kedvező tulajdonságokat, csökkenő méret és termék tömeg mellett. Az acélok tulajdonságainak javítása terén még beláthatatlan lehetőségek nyílhatnak meg.

Az acélok hegeszthetőségét az úgynevezett karbon egyenértékkel jellemzik, ennek többféle számítási módja van, de általánosan elfogadott a Nemzetközi Hegesztési Szövetség által bevezetett formula, ami ötvözetlen és gyengén ötvözött acélokra vonatkozik. Ennek számításánál a következő ötvözőket kell figyelembe venni: C, Mn, Cr, Cu, Ni, Mo. Ha a számított karbon egyenérték ( $C_{eq}$ )  $<0,40$  akkor jól hegeszthető az acél, ha ettől nagyobb, akkor rosszul hegeszthető. Vannak olyan táblázatok, amelyek ilyen esetekben is megmutatják, hogy milyen karbon egyenértéknél milyen hőmérsékletre kell előmelegíteni a kérdéses hegesztendő területet. Az acélgyártásba bekerülő hulladékok tisztaságának és a hatékony acélgyártásnak tehát itt a készáru hegeszthetőségénél is kitüntetett szerepe van.

A hengerműnek a legnagyobb tömegű mellékterméke az ún. hengerreve, ami nagy tisztaságú, 80-85%-os Fe tartalmú vasoxid. Ezt régen vasérc zsugorítmány gyártására használták. Újabban vegyipari célra vasklorid gyártásához vásárolják meg az OAM Kft-től. Tehát ez egy jól értékesíthető melléktermék, ami hulladékhasznosítás szempontjából sem jelent problémát.

## **6. AZ ELEMÉK VISELKEDÉSE AZ ACÉLGYÁRTÁS FOLYAMATÁBAN**

Az elemek az acélgyártási folyamatokban viselkedésük alapján három csoportba sorolhatók (ÉLES-SZŐKE 1981; SZIKLAVÁRI 2000; BECKER 2007). melyeket a következőkben önálló alfejezetekként mutatunk be, külön alpontokban kitérve e csoportok környezeti szerepére. A három elemcsoport az alábbi:

- maradó elemek, melyek  
nem távolíthatók el az acélfürdőből gazdaságos módszerrel,
- salakfázisban dúsulók,
- az acélgyártás hőmérsékletén eltávoznak.

### **6.1. Acélfázisban dúsuló, ún. maradó elemek**

Az első csoportba tartozó maradó elemek (BURÓ et al. 2006) azért veszélyesek, mert többségük melegtörékenységet okozhat. A legveszélyesebb közöttük a réz, antimon, ón, bizmut, mert az acél szövetségben hajlamosak a különválásra és önálló fázist alkotva összefüggő hártóképzőként képeznek a ferrit-austenit kristályok között. Ezek az elemek szennyezett-ötvözött hulladékból juthatnak a rendszerbe, de színesfém- és rozsdás-, oxidált acél hulladékból is számottevő mennyiség kerülhet be.

A korrózió során a rozsdás szerkezetében kialakul egy átmeneti, tömör réteg a rozsdás és fémfelület határán. E folyamat hasonló az érctelepekben kialakuló oxidációs-cementációs övek (GRASSELLY 1993) jelenségeihez. Ez az oxihidratált, színesfém tartalmú mállási kéreg jól tapad a fémfelülethez, ami a későbbiekben le is lassíthatja a korróziót. Az ilyen módon vastagodó burok a korrózió folyamán dúsul rézben, nikkelben, kobaltban, krómban, foszforban stb. (ÉLES-SZŐKE 1981). Az acél olvasztásakor ezek az elemek bejutnak az olvadási fürdőbe. Erre a viselkedésre különösen az ötvözöttebb minőségek, például az időjárásálló acélok (pl. COR-TEN®) hulladékai hajlamosak, de normál, ötvözetlen acélhulladékoknál is megfigyelhető ez a jelenség. A maradó elemek közvetett módon, hosszú távon, környezetvédelmi- és hulladékhasznosítási problémát is jelentenek, mivel megnehezítik az újrahasznosítást, illetve alacsonyabb minőségi kategóriába tartozó,

kevés profitot hozó termék gyártását teszik csupán lehetővé (KOLESZÁR 2013). E fázisok sokszor már jóval 1000°C alatt olvadó eutektikumokat hoznak létre **(6/1. táblázat)**.

Mivel közülük általában a réz van legnagyobb mennyiségben jelen, és együtt dúsul a kénnel, ezért ezen szemléltetjük a nagy réz- és kéntartalom káros hatásait **(6/1. ábra)**. A CuS-FeS diagramon 20% kéntartalom fölött erőteljesen csökken a rendszer likvidusz hőmérséklete a 1130-813°C-os hőmérsékleti tartományban. Ezzel rohamosan nő a melegtörékenységi hajlam. Ebből az következik, hogy jelentős réz tartalom esetén az acél erőteljes kéntelenítésével (pl. Mn-nal) ezt a tendenciát a visszajára lehet fordítani, vagy inkább mérsékelni. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a kristályhatáron lévő rezes fázis likvidusza annak kéntelenedésével növekszik, miközben a melegtörékenység kockázata csökken. A kéntelenítésnek ez a másik jelentős haszna, különösen a rézzel szennyezett hulladékból gyártott acélok esetében.

Jelentős Sn-tartalom esetében már nem nagyon lehet mit tenni, mivel ez tovább csökkenti lefelé a likvidusz hőmérsékletét. E káros elemtartalmat itt legfeljebb hígítani lehet „tisztá” hulladékkal. Tulajdonképpen egy ónbronzzal jellegű peritektikus interkristalin ötvözet fázis jelenik meg (VERŐ & KÁLDOR 1996). Az ón rontja a réz oldhatóságát a hengerlés hőmérsékletén képződött, lapon centrált kockarácsú vaskristályokban (ausztenit). Ez tovább növeli a kristályhatár menti rézdúsulást, mivel az Sn kiszorul a rácsból. A két fém ezért dúsul a kristályhatárok közti terekben, e határon bronzjellegű „réteget” alkotva **(6/1. ábra)**.

A nikkel viszont kioltja, csökkenti az ón hatását és növeli a réz oldhatóságát az ausztenitben. Jelentősebb mennyiségben viszont rontja az acél hegeszthetőséget a maradék ausztenit kialakulását elősegítve. A nagy Cu tartalom leggyakrabban elektronikai hulladékokból ered, melyek hanyagságból kerülnek az ötvözetlen acélhulladék közé (pl. villanymotor, transzformátor, kábel, bronz hulladék, hatástalanított löszerek). Ezek gyakran Pb, As stb. források is. A nikkel saválló hulladékból és nikkel bevonatból, katalizátorok hulladékból származhat.

Az Pb és Zn elsősorban az acélgyártás hőmérsékletén elpárolgó elemek közé tartozik, de itt is említendő, mert nagyobb mennyiségben szintén elősegíthetik a melegtörékenységet, ha nem tudnak kiválni és eltávozni az acéolvadékból a beolvasztás végéig. A túl rövid adagidők estében ez a veszély reális lehet. A P nagy mennyiségben szintén fokozza a melegtörékenységet. Ennek oka a szemcsehatáron kiváló apró Fe – foszfidok, különösen az 1000-1100 °C tartományban olvadó Fe<sub>2</sub>P, azaz schreibersit szemcsék jelenléte, ami a vasmeteoritokban közönséges elegyrésznek tekinthető.

A Cu, Ni, Cr, Mo, V, Nb jelentősebb mennyiségben növeli az acélnek mind a meleg- mind a hidegalakítással szembeni ellenállását **(6/1. táblázat)**. Ezen kívül még a Cu, Ni, Cr, Mo növelhetik a korróziós hajlamot is a P-ral együtt, de mint említettük ez a folyamat az idő függvényében lelassul, illetve meg is állhat a passzíválódott határfelület miatt. A Ni, Cr, Mo, V a Mn-nal együtt növeli az acél szívósságát.

Sokszor egy ötvöző elemről egymagában nehéz eldönteni, hogy jelenléte káros-e, vagy sem, különösen, ha kis mennyiségben van jelen és többféle egyéb kísérő ötvöző elem is előfordul a rendszerben. Tulajdonképpen a mennyiségtől és a gyártmánytól függ, hogy az adott ötvöző káros-e vagy sem.

#### *6.1.1. Az acélhulladék alapú acélgyártás problémája*

A bemutatott acélgyártási eljárások közül ma egyik legkedveltebb a vas- és acélhulladék újrahasznosításával történő technológia, amely zárt ciklusú folyamattá válik, ha sorozatosan visszaforgatjuk a gyártásból kikerülő, majd elhasználódó vas-és

acélanyagot (6/1. ábra). Ha ennek során nem történik meg az anyag hígítása, akkor az acéltermékekben felhasznált ötvözők, különösen a Cu, Ni, Sn, Sb, Bi fokozatosan feldúsulnak, ami környezeti veszélyeket rejt a jövő generáció számára. E dúsulás nehezíti a technológiát, mivel megváltoztatja a kristályközi terekbe beépülő szennyező vegyületek alacsonyabb olvadáspontja által az acélötvözetek viselkedését és olvadákonyságát. Ezt a problémát jelenleg, átmenetileg mérsékelni lehet néhány technológiai részfolyamat beépítésével. Ilyen például a kéntelenítés, az öntés közbeni oxidáció elleni védelem, a megfelelő összetételű fémcsuték összeállítása, vagy esetenként a Si-ötvözés (Si >0,40%), fázishatár nélküli amorf ötvözetek létrehozása stb. Ezek azonban csak időlegesen odázzák el a problémát, mivel hosszabb távon veszélyes mértékben feldúsulhatnak a nehézfém ötvözők. A korrózió szintén növeli az említett ötvözők és szennyezők (pl. Sn, Sb) arányát, mivel a leváló vasoxid és oxihidroxid elvész a rendszer számára. A korrózió, az anyagvesztés mellett energia veszteséget is jelent, mivel az elemi Fe-ban tárolt energia elvész kb. 16-17GJ/t ferrum. Ha a konverteres acél előállítás kb. 1GJ/t energia igényéhez hozzá számoljuk a rozsdát, mint vasoxid nyersvasgyártáskori redukciójához felhasználandó 15-16GJ/t nyv energiát, a kvázi ércről a nyersvasig tartó út során, akkor válik érzékelhetővé, hogy 1t rozsdát képződése milyen jelentős energiavesztést jelent.

Az USA-ban a becsült korróziós veszteséget korábban évente 22,5%-ra becsülték (DÉVAI 1979). Ez az érték ott valószínűleg mérséklődhetett, ellenben Magyarországon jelenleg is ebben a tartományban lehet a korróziós veszteség, így ennek pótlásához ugyan annyi új fém kell előállítani. Ez jelentős anyag- és energia többletet igényel, s az egyre szigorodó környezetvédelmi előírások tovább fokozzák a kiadásokat. Ezek tehát mind önköltségnövelő tényezők.

Véleményünk szerint a fentiekből következik, hogy a korrózióvédelem egyben anyag- és energiavédelem is, mivel a korrózió védelemmel ellátott berendezés elemi ferrum anyaga és a benne tárolt energia megőrződik az újrahasznosítás, illetve a jövőbeli felhasználók számára. A rozsdát vasércként történő hasznosításakor a bányászat energia igénye és környezetkárosító hatása elmarad, vagy csökken. A nagyméretű, erősen korrodált ipari szerkezetek bontásánál több tonna rozsdahulladék is képződhet. Ilyenkor célszerű lenne a rozsdát és az erősen korrodált fémhulladékokat szelektív összegyűjtése, mert az így összegyűjtött vasoxidban dús törmelék alkalmas lehet vasérc zsugorítóbetétek. Az erősen elrozsdásodott, nagy fajlagos felületű hulladékok, például drót, drótháló, cső, lemez stb. akár közvetlenül is kohósítható lehetne, megfelelő darabolás és tömörítés után. Számításaink szerint 50 % rozsdát tartalmazó hulladéknál például még mindig csupán fele akkora az olvasztás-redukció energia igénye, mint ha tisztán ércből kellene előállítani az acélterméket. Az acélhulladékok és korróziós termékek együttes olvasztására legalkalmasabb lenne valamilyen aknás olvasztó berendezés, amilyen például az előzőekben már bemutatott OXY-CUP eljárás (KÜTTNER GmbH & Co KG. 2010). Ezzel tulajdonképpen szintetikus nyersvashoz hasonló félterméket kapnánk, ami jól illeszkedik a hagyományos acélgégyártási eljárások valamelyikébe. Az ívkemencénél például a nyersvas szerű folyékony féltermék által nő a termelékenység és a kihozatal, csökken a fajlagos salakmennyiség, a fajlagos villamos energia és földgáz felhasználás.

Tehát egy ilyen együtt olvasztással, redukcióval az ötvözőelem dúsulás mérsékelhető lehetne, s mellette csökkenne a vasérc- és földgáz importtól való függés. Napjainkban még nagyrészt vasércekkel, kisebb részben vasszivaccsal történik a többlet vas és acél igények kielégítése, de ebből a vasérc felhasználásból egyre jelentősebb a vasciklusban a leégési és korróziós ferrum veszteségek pótlása is.

A lehetőségeket mérlegelve megállapítható, hogy a kohászat gazdaságos és környezetkímélő fenntarthatósága érdekében a jövőben érdemes tovább elemezni ezt a kérdéskört. E mellett megfontolandó, hogy a nagy mennyiségben tárolt, nem hasznosított, ipari hulladékként kezelt vastartalmú anyagok (pl. vörösiszap, nagy  $\text{FeO}_x$  tartalmú acélgyártási és lángdarabolási salakok, leválasztott kohászati szállóporok) potenciális másodnyersanyagok (vas- és színesércek) lehetnek a jövőben, a maradó szennyezőelem szegénységük miatt (lásd később).

## 6.2. A salakfázisban dúsuló elemek

Környezetvédelmi és üzemgazdasági szempontból nagyon fontos kérdés a salakfázisban dúsuló elemek vizsgálata, mivel nagy mennyiségűek, hiszen az acélgyártás legnagyobb tömegű mellékterméke a salak. Mennyisége és tulajdonságai jelentősen befolyásolhatják a gyártást és a salakhasznosítás lehetőségeit.

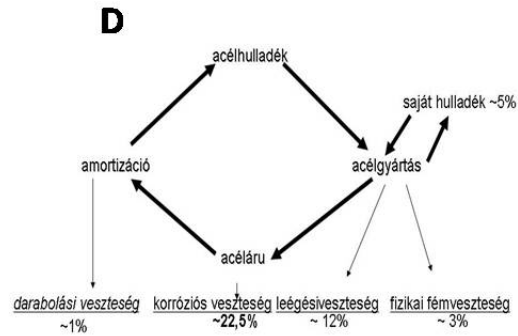
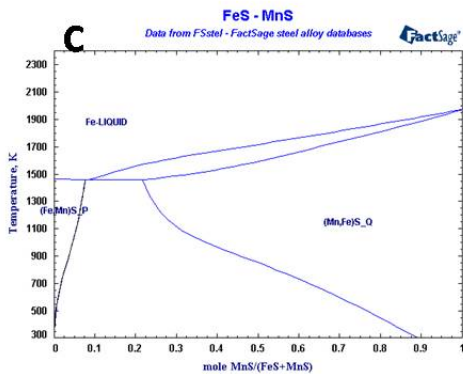
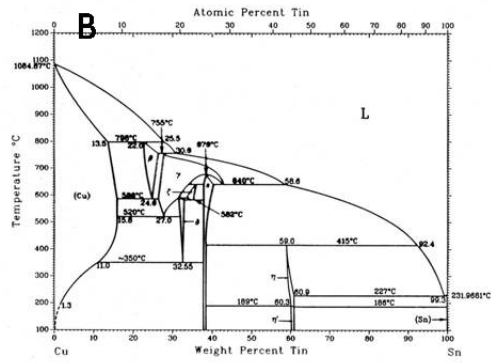
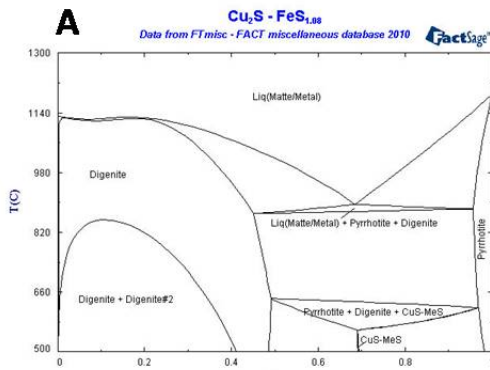
A bázisos acélgyártási salakok legfontosabb komponense a  $\text{CaO}$ , amit égetett mészhalmazban juttatnak a kemencébe. A bázikus meszes salak – mint ismert – megkötí a savas alkotókat és nélkülözhetetlen a kéntelenítő és foszfortalanító reakciókban (SIMON et al. 1980). Az acélgyártásban alkalmazott égetett meszeknek nagy reakcióképességgel kell rendelkezniük, hogy gyorsan, hatékonyan tudjanak oldódni. A túlégetett, kis porozitású mészhalmaz viszont csak nagyon lassan oldódik, ezért. Az ilyen salaknál hamarabb következik be a falazat eróziója. A másik, gyakori minőségi probléma a mészhalmaz rossz kiégetettsége. A technológia szempontjából káros, mert hőt von el a rendszerből és enyhén oxidál. Hűti a fűrdőt, mivel gyakorlatilag mészkővel állunk szemben, aminek előbb ki kell égnie, hogy oldódhasson. A mészkőnek számos előnyös tulajdonsága ismert, minőségét korlátlan ideig megőrzi, nem porzik, kicsi a kéntartalma, gyakorlatilag hidrogén- és nitrogénmentes, a fűrdőből kihajtja ezeket a gázokat.

A Martinacél gyártási technológiánál az 1960-as évek közepéig alkalmaztak mészkő adagolást („meszes fővetést”) abból a célból, hogy távolítsa el az olvadákból a nitrogén és hidrogén gázokat. Ezt a technológiát a hidrogén jelenlétére kényes acélminőségek előállításánál használták (pl. rugó acélok) (CSABALIK & SZARKA 1987a). Manapság már az energia költséges volta miatt ez nem éri meg, másrészt az inertgáz öblítéses technológiák sokkal hatékonyabb gáztalanító eljárások. A mészkő alkalmazása esetleg kisebb részarányban adagolva lehet gazdaságos

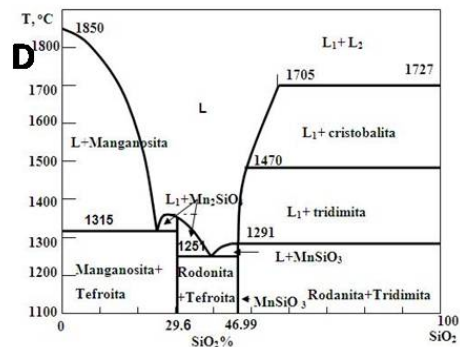
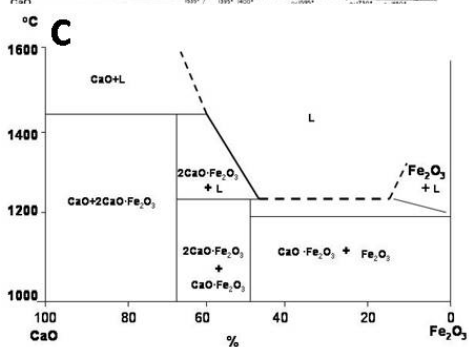
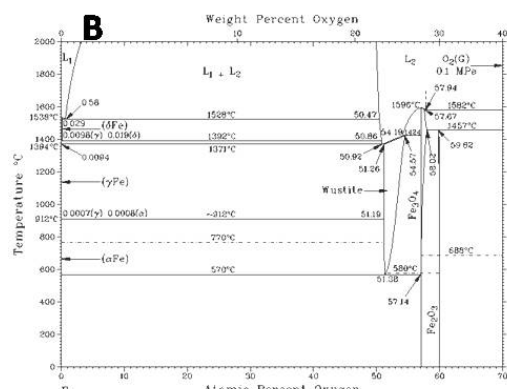
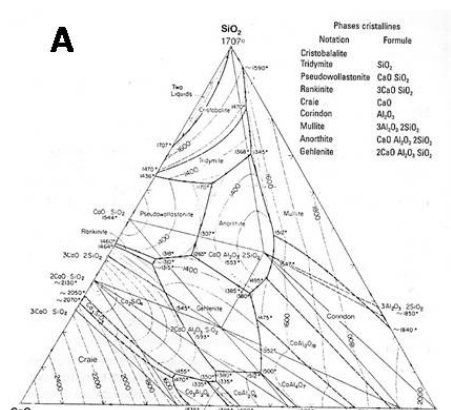
A bázikus acélgyártási salak másik fontos alkotója a vas. Az acélgyártásnál kiegészít, mint kolloid ferrum emulziót képez a salakkal, illetve jelentékeny részben oxidokként  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  oxidokat hoz létre, de jelentősek a ferrit vegyületek is (6/2. ábra).

A  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  a rozsdából, ill. oxigénes frissítésből származik, ez a salak folyékonyágát növeli. A wüstitnek ( $\text{FeO}$ ) igen nagy szerepe van az acélgyártásban, mert az acélfűrdőben a legjelentősebb oxigénhordozó fázis. A frissítésben közvetlenül csak az  $\text{FeO}$  játszik szerepet. Ha túl oxidatív a kemence, vagy túl sok az apróvas hulladék, ennek leégése akár 40%- fölé is emelheti a salak összes vasoxid tartalmát. A helyes arányt rendszerint az oxigén befűvás optimalizálásával és kokszipor adagolással szabályozzák be.

A vasoxidok direkt redukciója endoterm folyamat (FARKAS1989), így kissé csökken a fémfázisnak átadott energia. Általános tapasztalat, hogy minél kisebb a gyártandó acél karbon tartalma, annál nagyobb salakjának  $\text{FeO}$  tartalma, ami optimálisan 30% körüli szintet ér el. Az egyensúlyi C-O diagramról is leolvasható, hogy minél alacsonyabb a fűrdő karbon tartalma, annál nagyobb oxigén tartalommal kell egyensúlyban lennie, ami fordítva is igaz. Az ehhez tartozó oxigén forrása a salak  $\text{FeO}$  tartalma. A salak



6/1. ábra Az acélok kristályhatárai mentén megjelenő szennyezők (Cu, Sn, S) ásványfázisainak viselkedése. (Az A, B, C képek Verő- Káldor 1996 és internetes források alapján.) A/. kép:  $\text{Cu}_2\text{S} - \text{FeS}_{1.08}$  biner rendszer állapotábrája, ami bizonyítja, hogy ezek a kristályhatár menti Cu-Fe-S dúsulások összetételileg közel állnak a rézkohászat féltermékével az ún. kéneskövel. B/. kép: Cu-Sn biner rendszer állapotábrája alapján kijelenthető, hogy nagy kén- és óntartalom esetén ónbronzzal jellegű intermetallikus ötvözet jelenik meg a kristályhatáron. C/. kép: az FeS-MnS biner rendszer görbéje, ahol a mangánötvöztetés kéntelenítő hatása és az acélénál magasabb olvadáspontú MnS (alabandin) képződése látható. D/. kép: zárt ciklusú acélhulladék hasznosítás rendszerábrája.



6/2. ábra A kohászati salakok fő komponenseinek állapotábrái. A/. kép:  $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  ternér rendszer állapotábrája, ami nagyrészt lefedi az általunk vizsgált salakok fő fázisait. B/. kép (himikatus.ru nyomán):  $\text{Fe-O}$  binér rendszer állapotábrája, ami az acélgártási-, de egészében a mélykemence salakok, valamint a hengerrevék esetében jellemzi őket. C/. kép (Sövegjártó 1960 nyomán):  $\text{CaO-Fe}_2\text{O}_3$  binér rendszer állapotábrája, ami az oxidos, nagy mésztartalmú acélgártási salakokat jellemzi. D/. kép (internetes forrás nyomán):  $\text{MnO-SiO}_2$  binér rendszer állapotábrája, ami az acélok enyhe oxidációja során alkalmazható (pl. FAM-salakok).

vastartalmának egy része magnetitként vagy más, spinell szerkezetű ásvány formájában van jelen (pl. kromit, hercynit, jakobsit).

A különféle ferritek CaMgMn-ferritek formájában állnak rendelkezésre tartalék mész - oxigén forrásként. Véleményünk szerint a különféle kalcium-ferrit vegyületek belső oxigén- és bázicitás puffert képeznek. Ez azt jelenti, hogy ha a fürdőben csökken a bázikusság, például hirtelen megugrik a kokszzhamu tartalom, vagy nagy szilícium tartalmú betétet olvasztanak be, akkor szétesnek CaO-ra, MgO-ra, MnO-ra, ami megköti az  $\text{SiO}_2$ -ot, illetve a bomláskor felszabaduló  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  a salakhabosítás során a kokszipor adagolásnak köszönhetően FeO-ra bomlik. E folyamat mobilizálja a tartalék oxigént. Az ilyen anyag és bomlási folyamat a salakhabosítás során jelentős, mert így egy adott oxidáló képesség és bázikusság fenntartható, s e mellett a savanyító hatást tompítja.

Mivel az oxigén az acélban vegyületfázis megjelenése nélkül maximum 0,23 %-ig oldódik, e fölött már megjelenik a wüstit-olvadék, tehát az acél egyensúlyi, kb.0,01-0,02% karbon tartalmával már ilyen oxigén tartalom van egyensúlyban.

Ez a valóságban csak a kemencében hűlni hagyott, illetve a salakkal leengedett acéloknál valósul meg a salaktálban. Vizsgálataink szerint a ezekben az esetekben van idő az egyensúlyi állapot létrejöttéhez. Ahhoz, hogy az acél csaknem teljes C tartalma kioxidálódhasson az adagidőn belül, ehhez még nagyobb mennyiségű O forrásra van szükség, ami itt a salak FeO tartalma, illetve az oxigén gáz, ami szintén FeO-dá alakul. Ehhez nélkülözhetetlen a két fázis intenzív keveredése is. A karbon az egyedüli anyag az acélban, aminek oxidációs terméke 100%-ban gáz, CO és  $\text{CO}_2$  formájában. A ferrum leégésnek a romló kihozatal mellett van egy káros fémtani hatása, az, hogy a maradó elemek és a kéntartalom fokozatosan dúsulnak az adagban.

A betétben általában jóval 1% alatti elemi Si tartalom szokott lenni. Alkalmanként azonban nagyobb mennyiségi arányban juthat be Si-mal ötvözött hulladékból (pl.öntöttvas, transzformátor acél, rugó acél). A Si az ilyen olvadékból jelentős szennyező, mivel oxidációs termékként savanyú  $\text{SiO}_2$ -ot képez, ami a kokszzhamu kavasavtartalmával együtt a salakban feldúsul. A legjelentősebb Si források a betétben a szilícium oxidos vegyületei, az  $\text{SiO}_2$ , mint kvarchomok és a kőzetalkotó szilikát ásványok ( agyagásványok, piroxének, amfibolok, földpátok, csillámok, gránátok stb.) Ezek az anyagok zömmel a fémek betéthez keveredett/tapadt talaj, kő és építési törmelékekből származhatnak, műanyagok festékek és papírok töltőanyagai is lehetnek. Alkalmanként a mesterséges források is számottevőek, amilyen például az üveg- és porcelán törmelék, valamint a vízvágási iszapok és homokfűvási porok. Ezek a szilikátos anyagok néha nagy mennyiségben is megjelenhetnek szándékos hozzákeverés révén (lásd később). Az olvadékból ezek a vegyületek általában felúsznak a salakba. Bázikus acélgyártásnál meg kell kötni, közömbösíteni kell őket, mert túlságosan megnövelhetik a falazat kémiai erózióját, csökkentik a P és S salakba való felvételét. Megkötésük égetett mésszel történik.

Az olvadékból került Si az egyik legjelentősebb hőfejlesztő elem, mert minden 0,1% Si a betétben átlagosan 20-30°C-kal növeli a fürdő hőmérsékletét. Tehát tüzelőanyagot, illetve villamos energiát spórolunk meg. A növekvő salakmennyiség azonban növeli a szállítási költségeket és hőt von el a rendszerből. A Si, Mn, Al stb. elemek oxigénnel való egyensúlyi állapota hasonló tendenciát mutat a karbonéval, csak a paraméterek nagysága különbözik. Az erősen bázikus salakot az  $\text{SiO}_2$  kisebb mennyiségben is jól folyósítja.

A P jelenléte az acélban általában káros, mert a kikristályosodó foszfidok ridegebbé teszik, növelik a szilárdságát, de rontják a szívósságát és hegeszthetőségét, fokozzák a korróziós hajlamát. Járulékosan növelheti a melegtörékenységi hajlamot is, mert a 10% foszfortartalomhoz tartozó Fe- $\text{Fe}_3\text{P}$  eutektikum likvidusza 1048°C. Ezért célszerű

eltávolítani az acélból. A foszfor többnyire különféle szürke öntvényekből, bevonatokból származik. Az eltávolításához előbb oxidálni kell, mivel a foszfidok bomlásából  $P_2O_5$  képződik. A bázikus oxidos salakban apatitként vagy nagelschmidtit-ként, silicocarnotit-ként, illetve ha a bázikusságnak megfelelő mennyiséget felvette a salak, akkor már csak vasoxi-foszfátként ( $9FeO \cdot PO_4$ -ként) tudja megkötni a salak. A hőmérséklet alacsonyan tartása kedvez a foszfortalanításnak (SIMON et al. 1980.) Magasabb hőmérsékleten – az előbb említett módon a fém redukálja a foszfort. A P-ral mint hőtermelő elemmel is számolnunk kell, de ez kisebb reakcióhő értékű, mint a Si. A savanyúbb kemencesalaknál kevés oxigénbefűvés és a magas hőmérséklet mellett nagyon megnőhet a foszfortartalom. Ilyenkor a kikapcsolt kemencébe csak oxigént fűvatnak a visszahűtés érdekében.

A későbbiekben részletesebben foglalkozunk a szekunder metallurgiai technológiákkal. Itt kell azonban megemlítenünk, hogy már az ívkemencénél a csapolás közbeni salakvisszatartás hatékonyságának messzemenő hatása lehet a szekunder metallurgiai technológiára, ezen keresztül pedig a gyártmány minőségére. Napjainkban a salak P tartalma miatt kitüntetett szerepe van a kemencékben a salak visszatartásának. Előfordulhat, hogy egy kis P mennyiségre beállított acéladag P tartalma nagy mennyiségű salak átfolyásakor és a dezoxidáló reagensek sziliko-mangano-aluminotermiás reakcióival megduplázódhat. Az ötvöző elemek közül a Cr és a Mn is hasonlóan viselkedik.

Előfordulhat, hogy a Cr tartalom megduplázódik az üstben, ami alacsony krómtartalmú adagnál nem probléma. Egy maximálisan megengedett 0,25% Cr tartalomra beállt összetételnél azonban – A minőség esetén – ha 0,30%, vagy még több, az elviheti a karbonegyenerértéket (**Ceq**-et), rontva ezáltal az acéltermék hegeszthetőségét. Csökkentése érdekében a csapolásnál minimálisra kell leszorítani az átfolyó oxidos salak mennyiségét. Egy esetleges salakátfolyás esetében az összetétel átgondolt céltudatos alakításával orvosolható ez a probléma (pl. alacsonyabb karbontartalmat állítanak be).

A szabvány csak a C, P, S, N Ceq-nél ír elő konkrét felső határértékeket. Ezeknél a gyártmányoknál a legfontosabbak a mechanikai tulajdonságok, amiket az összetétel (főleg C és Mn tartalom) határoz meg alapvetően. Ez azt is jelenti, hogy az összetételi határok nem merevek. A nyersacél esetlegesen több Cr, Ni, V stb. tartalma esetén célszerű az összetételi előírás középső alsó tartományára ötvözni C-t és Mn-t. Ez költséghatékonyság szempontjából igen előnyös, mert így évente akár több százmillió forintot is meg lehet takarítani. Ezáltal az önköltségben tovább növelhető az árrés, ami jelenleg teljesül is. E mellett a fajlagos szekunder salak mennyisége is csökken.

Megfigyeléseink és becslésünk szerint Ózdon a következőkben tárgyalandó EBT csapolási technológiánál kb. 10-20  $kg_{salak}/60t$  adag az a salakmennyiség, amely optimálisan átfolyhat az acéllal. Mivel a „fővésben” lévő acélban intenzív keveredés van, ezért el kell fogadnunk, hogy általában nem lehet 100 %-os salakmentességgel csapolni.

Az ívkemencék csapolási rendszerei közül a fenékcsapolós (BT, bottom tapping) (SZŐKE 1990), vagy napjainkra már szinte egyeduralkodóan az excentrikus fenékcsapolós (EBT) kemencék terjedtek el, illetve váltak be, amilyen az OAM Kft-é is (KARCAG & PÓCZOS 2000). Az EBT-csapolási rendszerrel csökken a kifolyó acél hővesztesége, amivel átlagosan 0,05GJ/t energia megtakarítás érhető el (BIRAT 2000). Az OAM-nál ez 60t névleges adagsúlynál átlagosan 0,3 GJ/adag megtakarítást jelent. A nagy foszfortartalom szintén növeli a fajlagos salakmennyiséget, mert annál többször kell salakot cserélni minél nagyobb a P tartalom.

A P egyébként igen értékes alkotója lehet a salaknak, ha citromsavval oldható formában van jelen, mivel így salaktrágyaként értékesíthető. Ez esetben a salak annál értékesebb, minél foszfordúsabb. A legdúsabb a Thomas salak, a 14-20%  $P_2O_5$  tartalma

miatt (LOCH & NOSTICZIUS 1992). Átlagos salakokban max. 1-2%-nyi a  $P_2O_5$  tartalom, de az ívkemence salakok csak néhány tized % nagyságrendben tartalmaznak  $P_2O_5$ -ot.

A kén, vizsgálataink szerint – mint az majd az acélhulladékok minőségének jellemzésénél ismét előkerül – kb. 50-60%-ban a fémes betétből származhat. A többi kén a segédanyagokból, a betéttel bevitt bevonatokból és korróziós termékekből eredhet. A segédanyagok közül legjelentősebb kénforrásként a salakhabosító kokszipor kerül be a kemencébe. A kén jelentékeny részét a bázikus salak képes megkötni. Ezért az acélfázisból eltávozó kén döntő részben a salakban kötődik meg szulfidként.

Az acélgyártásnál felhasznált égetett mész minősége, napjainkban romlik, mivel a földgáz drágulása miatt alkalmazot szénporos segéd tüzelés növeli az égetett mész kéntartalmát, ami miatt csökken a salakok kénfelvevő képessége (BRELOWSKI & WOLFE 2005). A kén kisebb részben oxidálódhat és gázhalmazállapotban, főleg  $SO_2$ , alárendeltebben  $SO_3$  formájában a füstgázokkal eltávozik. Ebből eredhet a szállóporok szulfát tartalma. Nagy kéntartalmú betétnél és fűtőanyagnál ez potenciálisan jelentős lehet, e miatt a környezetbe kerülve savas esőt okozhat és növelheti a korróziót (DÉVAI 1979).

A kén a vassal eutektikumot képez, amely  $988^\circ C$ -on olvad, s ez ún. vörös törékenységre vezethet, ami kéntelenítéssel és/vagy mangánötvözéssel orvosolható. Ez csapoláskor történhet meg. A kén 25-szörösének megfelelő mennyiségű mangán már elhárítja ezt a veszélyt (KÁLDOR & VERŐ 1996), de ez szigetszerű MnS zárvány szemcséket hoz létre, amelyek az acél mechanikai tulajdonságai szempontjából hátrányosak. Az oxigénben túltelített acél kén nélkül is hajlamos a vörös törékenységre, ami már a kristályhatár menti wüstit kiválása miatt is bekövetkezhet. Ez a jelenség leggyakrabban a S, Cu, O együttes jelenlétekor szokott bekövetkezni. A mai hatékony üstmetallurgiai kezelés már könnyen eliminálja ezt a problémát.

A  $MgO$  igen fontos alkotója a salakoknak. Gyakran a magnezit béléstű kemencéknél a salakhoz dolomitot, magnéziumos mészkövet (dolime) és  $MgO$  téglaoörleményt adagolnak, hogy ne támadja meg a falazatot. A  $MgO$  jelenléte túlzott mennyiségben káros, mert a sok nagy olvadáspontú periklász szemese kedvezőtlenül nagyra növeli a salak viszkozitását, míg a kevéssel nagyobb viszkozitás előnyös a salakhabosítás hatékony kivitelezésénél. Német vizsgálatok szerint az acélgyártási salakoknál 0,98-as bázikusság mellett a  $MgO$  tartalom 10 %-ig csökkenti a salak viszkozitását (MUDERSBACH et al. 1999). A salak szabad  $MgO$  tartalma nedvesség hatására duzzad (lásd később).

A  $MnO$  a betét Mn tartalmának oxidációjával képződik több %-nyi mennyiségben, és segíti a bázikus salak kéntelenítését. Ha sok mangánoxid van a rendszerben, akkor az a fürdő C tartalmát 0,15 % közelében tarthatja, ami kis karbon tartalmú gyártmányok – például az OAM Kft-nél az A1 minőség ( $C_{max}$  0,11 %) – esetében zavaró lehet, ezért ilyenkor új salakot kell képezni.

Egykor a klasszikus SM - kemencés gyakorlatban alkalmazott technológia volt az ún. „mangánérces fővetés”, amit a nagyobb C-tartalmú minőségek gyártásakor alkalmaztak (CSABALIK-SZARKA 1987a). A mangán a salakban a spinell szerkezetű oxidokba épül be. A salakátfolyás csapoláskor a mangánnál is minimalizálendő, mert a krómhoz hasonlóan mangánnal is túlvöződhet az adag. A salak  $FeO$  tartalma is így redukálódik ki a salak átfolyásakor. Ezzel elméletileg kissé nőhet a kihozatal, mert többlet vas kerül a rendszerbe. Ez által az adagban kissé hígulhat a Cu-, Co-, Ni-, Sb-, Sn tartalom, ami a gyakorlatban alig érzékelhető. A beötvözött Si-ot a kemencesalak átfolyás kioxidálhatja.

A salakban számos vegyület dúsulhat:  $Cr_2O_3$ ,  $V_2O_5$  stb. Ezek mennyisége erősen ingadozik, szinte mindig az ötvözött, krómozott felületű, vagy Cr-, V-, Ti ötvözésű ócskvasból eredhet, ami leginkább az EHRM hulladék osztályra jellemző (lásd később).

Az üzemi tapasztalatok alapján közülük főként a króm jelentős. Elvileg stabil Cr forrás a kemencében régebben alkalmazott Permasit G, amit ma a Rubinit VK-3 márkanevű krómtartalmú tűzállóbeton helyettesít. Ennek részaránya csekély az összes króm tartalom belül, mivel ez igen stabil kötőanyag, amit nehezen támad meg az acél- és a salakolvadék.

A króm III. oxid jelenléte a salakhabosítás szempontjából 0,5-1,0 %-os részarányig előnyös, ettől nagyobb mennyiség esetén a tömegesen képződő kromit miatt besűrűsödik és sűrű, lepényszerűen összeálló, kásás állagú képleteket alkot, amit a szakzsargonban találhatóan „bundás” salaknak neveznek. Az ilyen salak teljesen alkalmatlan bármilyen metallurgiai cél elérésére. Ennek a fürdőről történő leeresztése is nehéz, tehát el kell kerülni a Cr-mal erősen ötvözött hulladékok adagolását, illetve oxidáció nélküli olvasztást kell alkalmazni (ARH & TECHOVNIK 2007), de ez utóbbi a betonacéloknál nem járható.

A fémhulladékokat többféle nemfémes bevonat típus is burkolhatja, közöttük a legelterjedtebbek a különféle zománcok, melyek változatosak, bonyolult összetételűek lehetnek (ALBERT 1978). Tulajdonképpen fémfelületre felvitt üvegszerű, rendszerint színezett szilikátos bevonatok. Gyakori alkotói a hálózatképzők ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{NaAlF}_3$ , különféle foszfátok stb.), valamint pigmentek ( $\text{NiO}$ ,  $\text{CoO}$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{BaO}$ ,  $\text{SnO}_2$  stb.) és töltőanyagok, amilyen például a talk, kvarc. Zománcozott hulladékok például az elhasználódott serpenyők, lábasok, edények, amortizálódott vegyipari reaktorok, tartályok, háztartási gépek stb.. Nagy tételben ezek többnyire károsan befolyásolják a gyártási költségeket, mert a savanyú oxidok által nő a fajlagos salakmennyiség. Jelentős problémát okozhat a salak nagy Ba tartalma, amely zománcozott hulladékból és Ba tartalmú, hőálló fehér festékből, az ún. „permanens fehér”-ből (pl. radiátor zománc) származhat, de bárium-szulfát töltőanyagú műanyagok hulladékból, elektronikai hulladékból (pl. Ba-ferrit anyagú mágnes hangszóróból) és papírból is eredhet.

A V és a Cr a redox viszonyoktól függően a salakba kerülhet, vagy vissza is redukálódhat a fürdőbe, míg a Sr és Ba a salakba jut. Ezek az elemek a salakkal együtt kikerülhetnek a környezetbe, de vizsgálataink szerint nem jelentenek problémát.

#### *6.2.1. Az acélgyártási salakkal távozó ötvöző elemek környezeti problémája*

Az salakkal távozó Cr, Mn, V stb. elvesz a rendszerből, ami hasonló a leégési veszteséggel eltávozó ferrum viselkedéséhez. A szennyezőktől mentesítő ún. felépítéses acélgyártás miatt jelenleg óriási pazarlás történik világszerte ezekkel az egyre dráguló ötvözőkkel, mivel kikerülnek a körforgásból. Ez jelenti az alapvető problémát, mivel pótlásukra újabb érceket kell kibányászni, kohósítani, vállalva az ezzel járó környezeti károkat, kockázatokat. A környezeti hatásuk közvetett a bányászat reaktiválásán keresztül. Ugyan akkor viszont, ha ezek az elemek közvetlenül kikerülnek a természetbe, rendszerint olyan vegyületekként kötődnek meg a kohászatis alakok bomlása mállása során, ami semlegesíti őket, mivel kivonja a természetes körforgásból.

A Cr-mal, Mn-nal V-mal gyengén ötvözött acéloknál jelenik meg az újrabányászás kényszere, mivel nem gazdaságos hulladékaik szelektív gyűjtése, viszont az erősen ötvözött acélokat megéri szelektíven újra hasznosítani. Mennyiségileg a gyengébben ötvözött minőségek a legelterjedtebbek. Itt vethető fel az a gondolat, hogy a primer salakok idővel potenciális Cr- és Mn ércékké válhatnak a nyersanyag készletek kimerülése miatt. Európában már most jelentkezik a mangánérc hiánya, így ebből az EU jelenleg is behozatalra szorul. Az oxidos acélgyártási salakok közül a múltban többfelé időszakosan Mn ércként alkalmazták a Martin salakot és a Bessemer salakot.

### 6.3. A füstgázzal eltávozó elemek

Az illékony elemek közül a Cd, Pb, Zn, Ag, Hg tartozik ide, de ide sorolható még a C, H, N, F, Cl, Br is, amelyek a N és H kivételével környezetvédelmi szempontból potenciális veszélyt jelenthetnek. Mivel főleg szállóporok szemcséihez kötődnek, ezért porleválasztással a gázokat leszámítva megfoghatók, sőt vissza is nyerhetők. A túlzottan nagy Zn tartalom dugulást okozhat a füstgáz rendszerben.

A többi elem –különösen a toxikus nehézfém és más bioaktív elem- potenciális környezeti kockázatot jelenthet, mert a szállóporba, vagy a salakba, és kedvezőtlen esetben ezen keresztül a környezetbe kerülve mobilizálódhatnak és károsíthatják az élővilágot. Ezért megfelelő kezelésükről gondoskodni kell. A mai hulladékok egy része -mint másodlagos ólom- és cinkforrások- nyersanyagot jelenthetnek a jövő fémipara számára.

A cink az ember szempontjából esszenciális nyomelem, számos enzim alkotórésze. Kifejezett, ismert káros hatása nincs. Egyedül az ún. öntödei lázat okozhatja (TAKÁCS 2001), ami egy könnyen múló lázas állapot. Jól mobilizálódó fém, amely az élő szervezetekből hamar kiürül. Fő forrásai leginkább a horganyzott bádoggal készült hulladékok, mivel igen sokrétű ezek felhasználása (pl. tetőfedő lemezek, esőcsatornák, vödrök, locsolókannák, mosófazekak), valamint festékek pigmentjei [ZnO, ZnS, korrózióálló festékekben Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> és fém cinkpor], ezért a Zn az egyik leggyakoribb nehézfém.

Az acélglyártás folyamán a cink nagy része már az ívkemencénél eltávozik. A maradék cinktartalom az üstkemencénél, valamint a FAM-on tovább csökken. A cink átlagosan 60-80ppm mennyiségben marad vissza az acélban. Acélfüzdőben ritkán előforduló 500ppm koncentráció fölött intenzíven füstöl, ami zavarja az acélszint láthatóságát, de egyéb problémát nem okoz. Nagyobb mennyiségben az öntésnél elméletileg szálszakadást, melegtörékenységet okozhat, de Ózdon ilyen káreset még nem fordult elő.

A környezetünkben másik gyakori nehézfém az ólom, ami két fő forrásból eredhet, festett bevonatokból és Pb ötvöztetett acélokban gyártott gépkocsi alkatrészek olvasztásából. Ritkán előfordulhat még, hogy ólomakkumulátor vagy régi ólom vízvezeték kerül a hulladékba, ami sajnos még ma is előfordulhat az OAM-nál is. Legnagyobb részük azonban ólom festékekkel festett bevonatokból származik (TAJTHY 1991). Ennek két fő típusa van. Egyik az alapozó festékek fő pigment komponense a minium (Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), ami vörös színű erős mérgező, a másik pedig az ún. ólom fehér (PbO) amit jó színtartóssága miatt régen általánosan használtak fehér fedőfestékek pigmentjeként, mind fém, mind fa felületekre. Az ólom vegyületek igen veszélyes mérgek, mert a központi idegrendszerre hatnak és idült mérgezésnél krónikus magasvérnyomást és szellemi leépülést okozhatnak, valamint karcinogének és nehezen távolíthatók el a szervezetből (TAKÁCS 2001).

Az acélművekben a Cd is előfordulhat, s jelenlétét Ózdon is kimutattuk szállóporból és egy salakmintából. Fő forrásai egyes festékek, amilyen például a Cd-vörös CdSe, vagy kadmium sárga CdS (greenockit), illetve a kadmium narancs CdS(Se). Ezek festett, amortizációs vashulladékokon jutnak be a gyárba. A kadmium vörös a színárnyalattól függően különböző mennyiségű CdSe-et tartalmaz. A szelént és kadmiumot csak a salakban és szállóporban tudtuk kimutatni néhány ppm mennyiségben.

Az említett festékfajtákat – a Zn tartalmúakat kivéve – többnyire már betiltottak, de a tiltó intézkedések előtt gyártott festékek és az azokkal kezelt, napjainkra amortizálódó acélszerkezetek, berendezések még ma is előfordulnak (KOLESZÁR 2013).

Az eddig felsorolt elemek csaknem kizárólag a szállóporban dúsulnak, mivel az acélglyártás hőmérsékletén illékonyak. Az ólom esetében – annak nagy forráspontja (1725 °C) miatt – nem mindig tökéletes az elpárolgás, illetve inkább a mechanikai kiporzás a

jellemző. A Pb nagyobb fajsúlya miatt részlegesen lesüllyedhet a fürdő aljára, ami káros lehet, ha ott felhalmozódik, mint ólom olvadék, mert kimoshatja a tűzálló bélést, s ezáltal a kemence üzem közbeni kilyukadását okozhatja.

Az általános tapasztalatok szerint az ólom az acélban átlagosan 18ppm, de alkalmanként 300ppm körüli mennyiségben is megjelenhet. Utóbbi esetben már az öntés közben szálszakadás, a buga hengerlése közben melegtörékenység léphet fel. Az acélban esetlegesen megjelenő magas ólom tartalom inkább a gyártásnál káros, mint a környezetre.

Az acélhulladékoknál és a nyersacéloknál az optikai emissziós spektrometriás vizsgálataink alapján megállapítható volt, hogy a nehézfémek döntően különböző bevonatokból származnak (lásd később). Esetünkben, a gyengén ötvözött hulladék túlsúlya miatt a bekevert anyagban nem található erősen ötvözött hulladék.

A gáznemű szennyezők közül a N és H befolyásolja leginkább a gyártmány minőségét. Az acélgyártás során a N az ívkemencében a gyártás végéig a karbon oxidáció intenzitásának növekedésével fokozatosan csökken, mivel a képződő CO buborékok mintegy kimossák a fürdőből a N-t és a H-t. Tulajdonképpen az egész acélgyártási technológiai vertikumban pontosan a nyersacélgyártó berendezésekkel lehet elérni a legkisebb N és H tartalmakat. Ez vonatkozik az ívkemencére is, de a konverteres eljárásokhoz képest így is kicsivel több a visszamaradt nitrogén.

A nitrogén mennyisége irodalmi adatok szerint az LD acélban 30-50ppm, míg a hagyományos, ívkemencés technológiánál 80-160ppm. Az ózdi ívkemencében – méréseink szerint – átlagosan 51-99ppm közötti ingadozás lehet, tehát kisebb, mint az irodalmi átlag. Ez az előbb felsorolt feltételeken túl a habos salaknak is köszönhető, mert a levegőtől elzárja a villamos ívet, illetve az intenzív kigázosodás során a CO képződése kihajtja a nitrogéntartalom jelentős részét. A N részben a betétből, illetve a beolvadás kezdeti szakaszából származhat, amikor még nincs összefüggő salak, ami elzárna a levegő útját az ívtől. Származhat még a berakott acélhulladéktól, és az acél hőmérsékletének növekedésével annak N- és H- felvevő képessége nő. A kellően habos salak jól szigetel.

A H-t jelenleg az OAM-nál nem vizsgálják, ezt a betonacél szabványok sem írják elő, pedig alkalmanként jelentős a rozsdás betét aránya, ami potenciálisan pelyhesedést okozhatna. Általános tapasztalat viszont, hogy a frissítés során, az adaggyártás végére teljesen lecsökken az acél hidrogén szintje, sőt itt is, ahogy az egész adaggyártás folyamatában, ennél a technológiánál a legalacsonyabb az oldott H-tartalom (SZŐKE 1990). Valószínű, hogy mivel a termék félig csillapított acél, ezért az acél öntése/dermedése közben számottevő kigázosodás, CO fejlődés következik be, ami szintén kihajtja az esetleges hidrogén tartalmat.

A kén jelentős része a salakban marad, kisebb részben SO<sub>2</sub>-ként a füstgázokkal távozik, s ennek egy része a szállóporban megkötődik. A környezetben kiülepedő port a kén mérsékeltén korrozívvá teheti.

A karbon döntő részben CO<sub>2</sub>-ként jut ki a kéményen, mint üvegházhatású gáz, illetve kisebb, elhanyagolható részben szilárd, el nem égett, finom koksziporként a füstgáz rendszeren át, valamint kis mennyiségben a salakkal, annak felszínén úszva távozik.

Említést érdemel, hogy a különféle festékek kiégésekor a pigmentet diszpergálva tartó kötőanyagok különféle szerves lakkok, gyanták, polimerek elégnak. Ezek égése közben mérgező, illékony szerves vegyületeket (pl. PAH dioxinok) képezhetnek (FARKAS 2000). A műanyag hulladékok közül igen káros a PVC, PTE (teflon), ami főként szederezett (aprított és osztályozott) gépkocsi hulladékkal kerülhet az acélgyártás folyamatába. Napjainkban a fémtömegcikk ipar és az autóipar a VOC (szerves illékony szennyezők) csökkentése céljából világszerte száraz, oldószermentes, elektrosztatikusan porlasztott

porfestékeket (kataforetikus festés) alkalmaz, amit kb. néhány száz °C körül – az adott por minőségétől függően – beégetnek a munkadarab felületébe. Ezek a festékek polimer alapúak, PE, PS, PA, PTE, PVC stb.. Várhatóan a közeljövőben is jelentős lesz a fémhulladékok polimer tartalma. A polimerek közül a PVC bomlása endoterm, nagy mennyiségű töltőanyaggal és klórral. Belső lágyítású PVC-nél a Cl tartalom elérheti a 75%-ot is. A felszabaduló klór reagálhat a füstgázzal távozó alkáliakkal és kicsapódva NaCl-ot és KCl-ot képez. A begyűjtött szállópor mintáink mindegyikéből azonosíthatók és mérhetőek voltak a klorid vegyületek. PTE teflonnál nagy mennyiségű F kerülhet a füstgázba, égéstermékai szintén gazdagok illékony szerves vegyületekben (FARKAS 2000). Ezek mennyiségét utóégetéssel lehet minimalizálni, ahogy az OAM-nál is megvalósítják.

Termodinamikailag bizonyított tény, hogy a nagy mennyiségű, klórban és karbonban dús, enyhén-mérsékelt redukív olvadékok környezete – amilyen például az ívkemence salak – kedvez a vízoldható BaCl<sub>2</sub> képződésének (MÁRKUS 2009). Ez a mérgező vegyület azonban nagy valószínűséggel már a természetes csapadék csekély szulfát tartalmával reagál és oldhatatlan baritot képezve kiválik.

Napjainkban világszerte nagy hangsúly helyeződött az üvegházhatású CO<sub>2</sub> kibocsátásra (MÉSZÁROS 2001, BROECKER 1997, MUNKÁCSY 2011). Mennyiségét az ipari technológiákban, az energetikában és a mezőgazdaságban jelentősen csökkentenünk kell, hogy lassítani tudjuk az aggasztóan felgyorsult globális klímaváltozást, felmelegedést, amely a geológiai trendek alapján tőlünk függetlenül is bekövetkezik, mi csupán a sebességét tudjuk módosítani. Az OAM-nál a környezetvédelmi felügyelőség felé szigorú jelentési kötelezettség van érvényben, mivel a cég kvóta köteles. E témakört e tanulmányban nem fejtjük ki, mivel nem környezetpolitikai tárgyú, viszont említését az aktualitása indokolja, s az hogy a ma iparában fontos költségtényezőként jelentkezik. Az acéliparban az acélhulladék bázisú elektroacélgyártásból bocsájtják ki a legkevésbé CO<sub>2</sub>-ot, tehát e téren ez egy erőforrás kímélő, klímabarát technológia.

## **7. AZ ACÉLGYÁRTÁS BEMENŐ ANYAGAINAK JELLEMZŐI ÉS VIZSGÁLATAIK**

### **7.1. Acélgártási hulladékbetét jellemzői és a hulladékok előkészítése**

Az acélmű legfontosabb alapanyaga a vas- és acél hulladék, amely Ózdra 80-90%-ban vasúton, 10-20 %-ban pedig közúton érkezik. A beérkező szállítmányt a hulladéktér daruzott hozaganyag tárolójába küldik, ahol daruval a minősítésének megfelelő hulladéktárolóba helyezik. A vállalat a következő minőségekben vesz át hulladékot:

- E1: régi könnyű hulladék, 6mm-nél vékonyabb lemezek, 60 mm-nél vékonyabb csövek kevés szennyezővel.
- E2: új nehéz hulladék, 3mm-nél vastagabb darabok ércbázisú gyártásból.
- E3: régi, ércbázisú gyártásból származó, amortizációs acélhulladék pl. régi I-szelvények, vasúti sínek, kazánlemezek stb. kevés szennyezővel.
- E5: vasforgács.
- E8: könnyű, nem rozsdás új hulladék, kevés szennyezővel.
- E6: vékony, nem rozsdás új hulladék, kevés szennyezővel.
- EHRM: gépgyártási és gépamortizációs hulladék vasöntvényel, sok szennyezővel.
- EHRB: nem ércbázisú, egyéb gyártási hulladék, sok szennyezővel. Az OAM-nál ide tartoznak a saját selejt hulladékok illetve a bugavégek.

E40: időszakosan beszerzett, aprított és osztályozott (shredderezett) hulladék, az adag hígításához (drága, de jó minőségű). Ez azonos lehet az E6 hulladék osztállyal, különféle festékekkel, lakkal, bevontan stb., vagy horganyzottan.

Az előbbi hulladék osztályok lehetnek bevonatosak is (pl. festék, műanyag, horgany). Ezek alapján további szabványok állnak rendelkezésre a még aprólékosabb szeparálás céljából, de ezeket az OAM hulladékterén nem alkalmazzák, mivel jelenleg az itt gyártott minőségeknél csak mérsékelt elvárások vannak, illetve nincs is mód annyi féle vas- és acél hulladék tárolására. A bevonatokból származó, esetleges káros szennyezők zöme csaknem maradéktalanul eltávozik a fémfázisból.

A shredder hulladékhoz hasonló jellegű, azaz gépkocsi amortizációs hulladék a bálázott hulladék is, de e típusnál korábban sok volt a visszaélés, mert a préselés előtt gyakran talajjal és egyéb szeméttel rakták meg a préselendő gépkocsit, hogy így nőjön a bála tömege, viszont romlott az acélkihozatal és aránytalanul nőtt a salak mennyisége.

Vannak még nem szabványos, konzervipari, ózozott, finomlemez hulladékok, illetve a szeparátorvas, ami EU szinten még nem egyértelműen lett besorolva ebbe az E kódjelű jegyzékbe (MSZ 2592:2003J 2003). A szeparátorvasat, vagy más néven salakvasat üzemünkben nem kedvelik, mert az üst meredvény, vagy öntővályú meredvény, ami feldarabolva is lassan olvad, ezzel hűti a rendszert, késlelteti az endoterm kémiai folyamatokat. A fürdőn jégkockaszerűen úszó, be nem olvadt acéltömb csapolás közben a csapolónyílásra felfeküdve elzárhatja az acél útját, vagy eltöri az elektródát üzemzavart okozva. Ezért inkább csak hulladék hiány esetén használják. Az OAM -os meredvényeket az AICHER BETON Kft a hulladékpiacon értékesíti.

A hulladékterén a gyanús darabokat (pl. poroltó- és gázpalackok, sűrítetlevegő tartályok) kiválogatják és félre teszik, de ennek ellenére is történhet kisebb robbanás.

Az acélhulladékok közül érdemes külön is említeni a vasforgácsot (**E5**), ami egy sajátosan viselkedő anyag. Különösen, ha nagy az öngyulladásra hajlamos, finomszemcsésű öntvényforgács tartalma (köszöri iszap, vaspor). Nagy halomban tárolva, különösen hűvös időben, jól láthatóan gőzölög a depóniája, ami a lassú oxidáció jele. Száraz, meleg időben nagy az öngyulladás kockázata, amire sajnos már Ózdon is volt példa 6-7 éve, amikor begyulladt egy forgács halom és három napig oltották a tűzoltók az újra gyulladások miatt. Ilyenkor az égést fokozza, ha nedves, olajos-gépszír tartalmú részek is vannak benne.

Az ilyen, nagy fajlagos felületű, elemi vas tartalmú anyagoknál a lassú oxidáció során, már a tárolás folyamán, a kemencébe adagolás előtt megnőhet a "leégési veszteség". Ezért nem érdemes nagy mennyiségű forgácsot sokáig tárolni. A forgácsoláshoz használt olajos hűtőfolyadék számos szerves szennyezőt tartalmazhat (pl. p – m- klór- krezol, éter, PCB, PAH, stb.) (ALVES & DE OLIVEIRA. 2006). Az olajos forgácsot elvileg olajmentesíteni kell, de mindig marad vissza valamennyi, tehát mindig tartalmaz kevés hűtőolajat is, ami olvasztáskor elpárolog. A szállópor klorid tartalmának kisebb része is ebből eredeztethető.

Az elmondottak miatt a forgács szállítmányok gyakran bizonytalan összetételűek lehetnek. Keveredhetnek hozzá a köszöri iszaphoz hasonló megjelenésű gépipari hulladékok is, amik szennyezettek lehetnek nem fémekkel (pl. vízvágási iszapok sok kvarccal, gránáthomok, műkorund csiszolópor). A vasoxidban dús homokfűvási poroknak pedig nagy kvarchomok-, korund-, mullit- stb. tartalmuk lehet. Újabban világszerte a jóval olcsóbb erőműi szénpernye (sok kén) és/vagy granulált rézkohászati salakpor (Cu) kezd terjedni, mint, homokfűvási csiszolóhomok. Az előbb említett gránáthomokokat különösen Németországban, Belgiumban használják, mint homokfűvó közeget. Ezekben az

országokban a kvarchomok be van tiltva a szilikózis veszély miatt. Gyakran Németországból is hoznak Ózdra ilyen E5 kategóriájú hulladékot, ezért a finom frakcióban dús forgács szállítmányokat fokozottan ellenőrizni kell. Sajnos szándékos szennyező hozzákeverés is előfordulhat. Ezek a java részben szilikátos anyagok savanyítják a salakot. Vizsgálataink szerint a gránát homok Ózdon jelen lehet a hulladékok között, mert az egyik beolvadási salakban röntgendiffrakcióval gránátot sikerült kimutatni.

A beérkező hulladékok 98%-a többnyire ötvözetlen, vagy gyengén ötvözött acél-hulladék, de keveredhetnek hozzá erősen ötvözött hulladékok is, (pl. headfield acél anyagú markoló fogak, különféle saválló acélok, öntvények). Ezek jelentős részét kiválogatják, ami az anyagnak kb. 0,1-0,5%-a, tehát szinte elhanyagolható, viszont a többi, kb. 0,5% könnyű- és színesfém hulladék (pl. alumínium, réz). A fennmaradó 0,5% nem fém anyaga gumitömlő, szivacs, PUR hab, PVC cső, PE, zsugorfólia, polisztirol (hungarocell), fahulladék, kő- és beton törmelék (mosógép nehezék), nyomokban enyhén patogén kórokozóval szennyezett hulladék (használt pelenka, injekcióstű, állattetem), valamint további 1% rozsdapor+talaj+festékporkeverék, ami a szállítás alatti rázkódás miatt hullik ki. Ez a maradék hulladék a kommunális hulladéklerakóba kerül, nagy részük a vasúti vagonok takarításakor képződik (max. 5-10kg/vagon). Ózdon, intenzív, kb. 10 000-20 000<sup>t<sub>acél/hó</sub></sup> termelés mellett maximum 1-5t vagontakarítási por képződik.

Az éghető hulladék műanyag energetikai szempontból előnyös is lehetne, de nagy az illó- és szennyező anyag tartalma: égésgátló komponensek (trikrezil-foszfát, Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cl-paraffinok, hexabrom-benzol stb.), töltőanyagok (FARKAS 2000). A hulladék adagolása 30-32m<sup>3</sup> térfogatú berakó kosarakban történik. Az előbb említett hulladék osztályokból mindig a gyártmány minőségének megfelelő, ill. a rendelkezésre álló hulladékot rakják be, amit az adagoló kosárba préselnek. A kemencébe juttatott hulladék összmenyisége átlagosan 75-80 tonna adagonként. Az átlagos acélkihozatal jelenleg 89-90%.

A leégési veszteségben több tényező adódik össze. Becslésünk szerint a betétben átlagosan 1-2% az az ötvöző, ami elsalagosodik, 1-2%-nyi a bevonat, ami festék, zománc, rozsdá, üveg sár stb. lehet, továbbá 1-2% a nedvesség, max.0,1% olaj és gépszír. Ideális esetben a jó minőségű hulladéknak is átlagosan kb. 5%-a az elsalagosodó, kiégő, elpárolgó része, ami nem fémes vas. A leégési veszteség tehát általában felerészben az ötvözőkből, fele részben pedig a nem fémes szennyezőkből ered. Ettől csak ritkán van eltérés.

## 7.2. Az OAM-nál felhasznált acélhulladékok kémiai minőségvizsgálata

A hulladékterről begyűjtött próbákat S-OES technikával elemeztük és az eredményekből kitűnt, hogy maguk a fémes fázisok általában szennyező anyagokban szegények. Szembetűnő, hogy döntően az EHRM, EHRB, E5 a legszennyezettebb, főként Si, Cr, Ni, Mn, Mo, V, S, Pb elemekkel. A réztartalom inkább az EHRB-ben nagy, itt viszont a többi szennyező, az ólom, cink és a kén kivételével csekély. E három szennyező ilyen mennyiségben még nem jelent minőségi, vagy egyéb problémát, csak a relatív mennyiségük több más osztályok Pb és Zn tartalmához képest (*7/1. táblázat*).

A többi hulladékosztálynál az átlagos szennyező elemtartalom megfelelő, illetve a gyártmányban megengedett szinten áll, vagy az alatt marad. A hulladékok Cu, Sn tartalma igen kicsi a gyártmányéhoz képest, kivéve az EHRM-et és EHRB-t. E két szennyezettebb hulladék minőség típus időszakosan kerül felhasználásra kisebb mennyiségben, mindig más, „tisztább” hulladékkal hígítva.

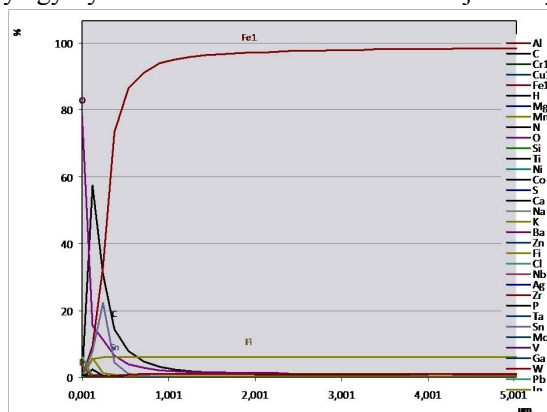
A leggyakrabban (kb. 70-100%-ban) használt hulladékok az E2, E8 és E3, s csak kisebb részben (kb. 0-20%-ban) EHRM, EHRB és E5. Üzemi tapasztalatok szerint a

leggazdaságosabb 48 %-os részarányban nehézhulladékot, 50%-ban könnyűhulladékot keverni, 2% vasforgács mellett. Napjainkban a betét összeállításánál gyakran a hulladékhoz történő hozzáférés a döntő. A saját, visszajáró hulladék aránya az összesen belül kb. 2%.

### 7.3. A felhasznált acélhulladékok bevonatának vizsgálata

A gyártmányok nagyobb Sn és Cu tartalma az ónozott ill. Cu tartalmú bevonatokból származik. Vizsgálataink szerint a GD-OES módszerrel meghatározott mélységprofil egy konzervdobozon 1µm vastag bevonatot mutatott ki (7/1. ábra). A doboz lemezének belső oldalát nem vizsgáltuk, de feltételezhető, hogy ott is hasonlóak az adottságok. A konzervdoboz külső felületén 0,001-0,5µm vastagságú az ón tartalmú réteg, melynek maximuma 0,25µm mélységben mutatható ki, ahol az átlag óntartalom 25%. A karbon és az oxigén csúcsból látható, hogy a külső lakkréteg mélyen bele van ivódva az ón rétegbe, sőt még kissé behatol az acélfelületbe is. Az origó környékén látható néhány kisebb csúcs, ami alumínium és kalcium összetételű, amik bizonyára a lakk töltőanyagai mészkőliszt és timföld formájában, de lehet az acélfelületen Al-zárvány is. Beolvadásnál egy ilyen bevonat anyagának döntő része az acélba jut, kisebb, elhanyagolható része a salakban marad, míg a lakk elég és CO<sub>2</sub>-ként eltávozik.

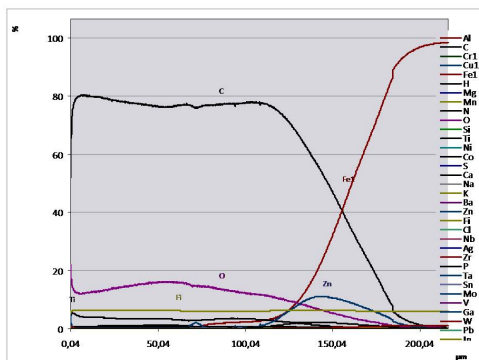
A horganyzott bádoggal szemben napjainkban egyre jelentősebbek a gépkocsi amortizációs eredetű hulladékok, amelyek szintén tartalmaznak cinket. Ilyenek például a schredderezett acélhulladékok (E32). Az ózdi acélmű ilyeneket is használ, ezért megvizsgáltuk ezt a hulladék fajtát is. A schredderezett hulladék anyaga ledarált és osztályozott karosszéria (E8-hoz hasonló), ami festett, horganyzott és különféle egyéb bevonattal van ellátva. Napjainkban a járművek felületi bevonatai több rétegben felvitt összetett rendszerek, ahol az alkotókat többféle módon lehet kombinálni és ez megnehezíti a hulladékként történő szétválogatásukat. Ez indokolta a kísérleti mélységprofil vizsgálatunkat, amely egy ilyen összetett bevonatot tárt fel teljes mélységében.



7/1. ábra Bevonatos acélhulladék mélységprofil vizsgálata konzervdoboz esetében GD-OES módszerrel (elemezte: Márkus Róbert).

Egy Opel Vivaro mikrobusz motorháztetőjéről készítettünk GD –OES mélységprofil elemzést (7/2 ábra). A felvételen egymástól jól elkülönülnek a karosszéria bevonatának rétegei. Jól kivehető a lakkréteg, majd a horganyzott bevonat, végül maga a karosszéria. A horganyzott bevonaton látszik, hogy két rétegben lett kialakítva. Az alsó alapréteg

vastagabb (100-200 $\mu\text{m}$ ), a külső réteg vékonyabb (10-15 $\mu\text{m}$ ), és e kettőt egy vékony védőréteg választja el.



7/2. ábra Bevonatos acélhulladék mélységprofil vizsgálata Opel Vivaro karosszéria esetében GD-OES módszerrel (elemezte: Márkus Róbert).

A felvételen a cinktartalmú alapréteg alatt két kisebb fekete vonal látható, amelyek közül az alsó az elemzésünk alapján cinkfoszfátnak bizonyult, ezt korróziógátló alapként vihették fel. A másik, fekete vonal egyenletes eloszlású bevonatot jelent, melynek összetétele titán-dioxidnak bizonyult. Ebben a titán-dioxiddal telített lakkban van egy másik, cink-tartalmú réteg, ami cinkpor lehet. Ez a két alkotó együtt hozhatja létre a karosszéria szürke metálfényét. A cinkpor ezen felül még egy előretölt aktív korrózióvédelmi állás is. A kimutatott összetétel alapján tehát a shredderezett hulladék bevonatából jelentős Zn, P,  $\text{TiO}_2$  szabadulhat fel. Mivel a lakk elektrosztatikusan felvitt polimer, ezért annak kiégése után a szabadabbá váló Zn és  $\text{PO}_4^{3-}$  mechanikus módon, porként is távozhat a füstgáz rendszeren keresztül. Ezzel a folyamattal értelmezhető a szállóporok rendellenesen nagy P tartalma. Ezek a tények egyértelműen azt támasztják alá, hogy a szennyezők jelentős része a különféle védő bevonatokból és korróziós termékekből származik.

#### 7.4. A korróziós termékek kéntartalma

Elemzéseink alapján a korróziós termékekben nagy S-tartalom jelenhet meg. Ezt tapasztaltuk a gyár környezetéből különböző helyekről gyűjtött, 3féle közegből származó használtvas minta korróziós bevonatának elemzésekor (7/2. táblázat). Az első minta (rozsdas 1. jelű) a közeli Serényfalva felújítás alatt álló vízvezeték hálózatának használt csőanyagából származott. A második minta (rozsdas 2. jelű) az egykori ózdi kohászati törzsgyár kábelalagútjának bontásakor, egy rozsdás kábeltartó sarokvasból lett begyűjtve. A harmadik minta (rozsdas 3. jelű) az OAM Kft-ben a bugatéri daru I gerendájáról lett mintázva.

Mindhárom mintában nagy kéntartalmat mértünk, de a legnagyobb érték, 2%-nyi mennyiség a rozsdas 1. mintában jelentkezett. Ha ilyen nagy kéntartalmú vas-és acélhulladék kerül beolvasztásra, akkor nagyobb mennyiségben salakképző meszet kell hozzáadni az adaghoz az üstkemencénél, melynek eredményeképpen viszont több szekunder salak képződik. Általánosságban megfigyeltük, hogy az erősebben oxihidratációnak kitett vizes, nyirkos, párás helyekről származó vas- és acélhulladék mállási kérge vastagabb és benne átlagon felüli kéntartalmak mutathatók ki.

A rozsdásodó vasfelületeken gyakran figyeltük meg több-kevesebb karbonát jelenlétét, ami részben a felülettel érintkező vizekből, vagy hozzátapadt talaj maradékokból (pl. lész, agyagmárga) származhat. Behatóbb elemzést igényelne a karbonát rozsdásodásban betöltött szerepének vizsgálata. A  $\text{CaCO}_3$  részben passzíválja a vasat, mivel lúgos mikrokörnyezetet teremtve, kedvező irányba torzíja a korróziós folyamatot.

A talajvízes zónába hatoló építményeknél gyakran használnak vasbeton elemeket, illetve acélvázat, amin agresszív talajvíz esetén intenzív rozsdaképződés következhet be ebben az építésföldtanilag kritikus zónában. E folyamatokban a vizes közeg kémhatásának fontos szerepe van, s ezt gyakran befolyásolhatják bomlási folyamatok és bakteriális tevékenységek, amelyek különösen felerősödhetnek a talajvízszint ingadozás zónájában (DÉVAI 1979).

## 7.5. Az acélgyártásnál adagolásra kerülő hozaganyagok

### 7.5.1. A salakképző anyagok jellemzése az OAM üzemtől kapott adatok alapján

Az üzem főként 10-40mm- es darabnagyságú lábatlani, varini (Várna, SK) égetett meszet használ, ami a nagyobb reakcióképesség érdekében lágyra van égetve. Jellemzője, hogy a CaO tartalom minimum 91%, a MgO max 4%. A nagy magnézium tartalmú mészkövek fokozatosan tolódnak el a dolomit összetétel irányába, a Ca-nak a Mg-mal történő, rendszerint szindiagenetikus, metasomatikus helyettesítése által. Az ún. *dolime* minőségűnél a magnézium tartalom megközelíti a 8-10 %-ot.

Az ózdi mészfelhasználás jelenleg 1,5-2t/adag körüli értékű. Mostanában jellemző, hogy az égetett meszek kén tartalma 0,020-0,095 %-körüli értékre növekedett, tehát a kéntelenítő képességük romlik. Az ózdi primer salak kén tartalma jelenleg 0,10-0,20%, tehát a mész sokszor kénben már részlegesen telített (**7/3. táblázat**). Így ezzel romlik a salak kénkapacitása. Ez különösen a primer salakoknál problémás, mert azok többnyire pontosan a 0,10-0,20%-os tartományban veszik fel a kén. E miatt valószínű, hogy a hulladék kén tartalmának gyakran csak igen kis része megy a salakfázisba. A növekvő kén tartalomnak az oka az, hogy a mészművek az igen elterjedten alkalmazott regeneratív tüzelésű ikeraknás MAERZ kemencékben – az egyre költségesebb földgáztüzelést optimalizálandó – szénpor segéd tüzelést építenek be (BRELOWSKI & WOLFE 2005). Az OAM Kft főbb mész beszállítóinál, a beremendi Carmeuse Kft-nél, a lábatlani Calmit Hungária Kft-nél és a szlovák varini DOLVAP S.r.o –nál stb. is ilyen rendszerek üzemelnek. (Az S.r. o. jelentése magyarul Kft.)

A varini (várnai) mész gyakran annyi magnéziumot tartalmaz, ami a nyugati szakirodalomban definiált dolime-nek felel meg. Az ilyen magnézium tartalmú mész részben előnyös, mert csökkenti a falazatkopást, de nagy mennyiségű MgO esetében besűrűsödik a salak és elveszíti a reakcióképességét. A dolime minőségű mész adagolásánál tehát körültekintően kell eljárni. A beremendi és a Nováky-i (Nyitra Novák SK) mészport nem vizsgáltuk, de valószínűleg hasonló lehet a dararabos mészhez. A mészpor szemcsemérete 0-2mm közötti, aminek előnye a gyors oldódás, s így a gyorsabb salakképződés. Néha kevés szalonai mészkövet is felhasználtak adalékként (**7/4. táblázat**).

### 7.5.2. A kokszipor és az antracit vizsgálata

A kokszipor teljes karbon tartalma átlag 85%, kén tartalma 0,89%, hamutartalma átlagosan 10 %, nedvesség tartalma 2%, a többi komponens (O+N+H) együtt 3%.

A kokszipor a salakhabosítás nélkülözhetetlen kelléke. Hátrányos tulajdonsága, hogy jelentős kénforrás és salakja savanyú, ami a 10%-nyi hamutartalomnál 100kg/t

mennyiséget jelent. Hamuelemzést nem készítettünk, de irodalmi adatokból megállapítottuk, hogy a kokszzhamu  $\text{SiO}_2$  tartalma általában 48-50% között mozog (7/5. táblázat). Átlagosan tehát 1t kokszból 48-50kg  $\text{SiO}_2$  van jelen. A kokszfelhasználás növelésével a kén bevitelen túl nő a salak kovásva tartalma, azaz csökken a bázikussága. A kokszfelhasználás általában ~0,5-1,4t/adag között ingadozik. A salakhabosításnál 95%-os kokszhatszámossal számolnak. Újabban ~300-400 kg/adag mennyiségben antracitot is bejuttatnak a hulladék adagolását megelőzően. Ezzel lehet csökkenteni a jóval drágább koksztörzselés felhasználását. A fürdőben beolvadáskor az antracittal nagyobb kiinduló karbon tartalmat lehet elérni. Ennek eloxidálásakor szintén habos salak keletkezik.

### 7.5.3. Az acélgártás során felhasznált dezoxidáló-, ötvöző- és karbonizáló anyagok

Az üstmetallurgiai kezelés során elődezoxidálásra DAL-3 minőségű alumínium tömböket használnak 8 kg-os egységek formájában. Ez az ötvözet típus alumínium hulladék átolvasztásával készül, s a szabvány szerint legalább 92%-nyi Al-ot kell tartalmaznia. Ezen kívül jelentős mennyiségű, több százaléknyi Si, Mg is lehet benne, amelyek szintén előnyösek, mint dezoxidáló elemek. Előfordulhat még Cu, Zn, Sb, is, amelyek melegtörékenységet okozhatnak, de az összetételnél általában alig érzékelhetők.

Az acél karbonizálásához jelenleg 2-3mm szemcseátmérőjű koksztörzselést használnak. Ennek karbon tartalma minimum 90%, a hamu tartalma 8%, a kén tartalma 0,8%, a nedvesség tartalma 1%. A karbonizáló koksztörzselést, 10kg-os kiszerelésben kerül adagolásra. Átlagosan egy zsák 100ppm (0,01%) karbon felvételt jelent 60 t acélra számítva. Így a hasznosulás minimálisan ~60%-os lesz. A maradék az illóanyag +hamu+dezoxidációban elfogyott karbon. Alkalmanként a kiszerelés pontatlansága miatt lehetnek eltérések, ilyenkor többet adagolnak az üstbe. Ez jellemzően alacsony karbon tartalmat, vagy nagy nedvesség tartalmat jelent, ami előmelegítés híján hidrogénrobbanást okozhat. Ennek elkerülése végett a karbonizálót a csapoláshoz előkészített 1000 °C-ra felfűtött üstbe adagolják. Az a kb.0,5-1,0 perc elég neki, hogy az esetleges nedvesség eltávozzon, valamint a koksztörzselés is előmelegedjen.

Alkalmanként koksztörzselés helyett antracit törzselést használnak. Ennél jelentős lehet az éghető illó tartalom, különösen, ha az összetétel nem teljesen antracit, hanem fekete kőszén is van hozzá keverve. A mai üzleti morált ismerve ez is előfordulhat. Ez a csapoláskor intenzív kigázósodást okozhat, ami meggyulladva igen nagy lánggal ég. A gyanúsán olcsó „antracit”-ot tehát fenntartással kell fogadni!

Az antracit szállítmányoknál érdemes lenne nem csak a teljes karbon tartalmat meghatározni, hanem azt is, hogy ebből mennyi a fix karbon és az éghető illóként távozó karbon aránya. A nagy hamutartalmú koksztörzselés növeli a szekundersalak mennyiségét és csökkenti annak bázikusságát.

Nagyobb karbon tartalmú acélok (B2, C1, C2 minőségűnél 0,15-0,21% C) gyártásakor a 80 %-os Mn tartalmú FeMn-nal ötvözik az adagot, amelynek 6-8%-os a karbon tartalma (ezt hívják „karburé”-nak), így minimális veszteséggel beötvöződik. Egyes üzemekben nyersvascipóval, vagy karbon huzallal karbonizálnak. Ez a módszer a jelenlegi ózdi gyártmányoknál nem gazdaságos, mert növeli az önköltséget, de egy szerszámacélt, csapágyacélt, vagy kordhuzalt gyártó üzemenél ezek valamelyike szinte egyedüli alternatívát jelenthet.

A legnagyobb volumenben alkalmazott mangán ötvöző az ukrainai Nikopolból importált szilikomangán, a FeMnSi. Ennél minőségtől függően 60-80% a Mn és 8-20% a Si tartalom. Ennek dezoxidációban felhasználódó része (kb. 10%-a) szilikátos olvadék zárványt képez, ami felúszik a salakba. Alapötvöző még a ferroszilícium is. Ebből az

ötvöző családból az OAM-nál a szlovák FeSi 75-ös minőséget használják, melynek átlagosan 75%-os a Si tartalma. Az ötvözők beszerzésénél és alkalmazásánál azt is figyelembe kell venni, hogy különböző mennyiségben egyéb szennyezőket, főként S-t és P-t is tartalmazhatnak. Léteznek olyan nagy foszfortartalmú minőségek, amelyek mint P ötvözők szerepelnek a piacon. Ezek esetleg még olcsóbbak is, mivel a P-ral szennyezett mangánérccek jóval gyakoribbak. Egy szakmailag tájékozatlan anyagbeszerző kizárólag az ár alapján rossz döntést hozhat, ami a gyártás során nagy kárt okozhat.

Külön érdemes még említeni az időszakosan használt különféle FeSi, FeMnSi pogácsákat, amelyek Csehországból érkeznek. Ezek dióbrikett szénhez hasonló megjelenésű anyagok, melyek ötvözőporból vannak tömörítve, műgyanta kötőanyaggal brikettálva. Adagolásuk megegyezik a darabos ötvözőével. Ez a brikettált ötvözőanyag elviekben nagyon hasznos, mert az ötvözőanyagok aprítása, törése, osztályozása során képződő porok így hasznosíthatók. Ára kb. fele lehet a darabos ötvözőének. Ennek ellenére közvetlen ötvözőként történő adagolása sokszor nem előnyös. A kötőanyag gázosodása miatt a beadott brikett felúszik a salak felszínére és a belőle felszabaduló gázbuborékok miatt lebeg, s amíg a kötőanyag tökéletesen el nem ég, addig teljesen hatástalan.

Az előbbieken bemutatott kvázi "tömegötvöző" anyagok mellett van pár olyan ötvöző is, amit ritkán, egyes speciális minőségeknél, s csupán kis mennyiségben alkalmaznak. A szilikocalciumot (CaSi) porbeles huzalként alkalmazzák zárványmodifikációra, vagy kéntelenítéshez. Az un. GEWI minőség gyártásánál mikro ötvözőként FeNb-ot, illetve újabban norvég FeV-85-öt használnak. Ezeket darabosan papírszakokba kimérve, az üstkemence ajtón keresztül juttatják be az acélfürdőbe. Mennyisége függ az adag, valamint a beadásra szánt ötvöző anyag Nb, illetve V tartalmától.

Végezetül fontos megemlíteni, hogy az ötvözőanyag takarékoság egyik leginkább meghatározó tényezője a salakmentes csapolás (lásd később), valamint a már említett RHI -DPP- inertgáz öblítéses rendszer az ívkemencében. Ezek által jelentősen csökken az acélban oldott aktív oxigén szintje. Az OAM-nál ezzel még kísérletezni kell, pontosabban finomabbra kell hangolni, mert az eddig alkalmazott, tisztán nitrogénes öblítésnél kissé nő az acél öregedését okozó N tartalom. Ennek mértékét az előírt tartományban (<120ppm) kell tartani, amit eddig sikerült megvalósítani.

#### *7.5.4. A salakok folyósítására alkalmazott adalékanyagok*

Az üstsalakok viszkozitásának csökkentésére különféle timföld tartartalmú adalékokat használnak. Kezdetben az OAM működésének első 4 évében még fluoritot is alkalmaztak e célból. Később ezt drágának és károsnak ítélték, ezért felhasználását beszüntették. Az acélműben éveken keresztül 8 kg-os kiserelésű zsákolt timfölddel oldották meg a salakfolyósítást, de ez költségesnek bizonyult. E helyett napjainkig számos, sokáig hulladékként kezelt, nagy timföldtartalmú anyag került felhasználásra, például az alumíniumkohászati salakok, köszörűkő- és tűzálló zúzalékok.

A legnagyobb mennyiségben Al-kohászati salakörleményt alkalmaznak 10kg-os zsákolt kiserelésben, aminek 80-90%  $Al_2O_3$  tartalma van, sőt még fémes alumíniumot is tartalmazhat ingadozó mértékben (1-10%), ami kedvező. Ezen kívül szintén változó, max. néhány %-nyi kriolit tartalma is lehet, ami szintén folyósító hatású.

Időszakosan Szlovákiából a ZIAROMAT a.s.-tól, a közeli Kálnóból (Kalinovo) 40-50mm-es darabnagyságú műkorund zúzalékot is importálunk, szintén 10kg-os zsákos kiserelésben. Az anyag fő összetevői 80%  $Al_2O_3$ , 10%  $SiO_2$ , 8%  $Fe_2O_3$ .

Újabban szintén szlovák eredetű zsákolt köszörűkő zúzalékot használnak, aminek összetétele nem ismert, de a szemcsék színe, tehát a kőminőségek alapján ennek is a 85-90% alumínium-oxid tartalma lehet.

#### *7.5.5. Az acélműben használt ipari gázok*

A legfőbb energiahordozó az elektromos áram után a földgáz. Ezt a MOL Földgázszállító Zrt. szállítja az ózdi üzembe, a bányászati földgázfogadó állomáson keresztül. Az így bejövő földgáz az Alföldről, a kardoskúti tárolóból érkezik. Az itt tárolt földgáz nagy része orosz importból származik, kisebb részben pedig hazai és nyugat-európai eredetű betáplálás. Sokévi átlagban a földgáz fűtőértéke  $32\text{MJ/m}^3$ . Ma már a földgáz ingadozó mennyiségben tartalmazhat inert összetevőket, nitrogént és széndioxidot kb. 5-10%-os részarányban. A  $\text{CO}_2$  kibocsátás megítéléséhez szükséges ismernünk ezeket az adatokat.

Az acélműben a metallurgiai folyamatok hatékonyabbá tételére, a felesleges C, Mn és Si tartalom kioxidálására az ívkemencénél oxigént alkalmaznak, ami miatt optimalizálódik a villamos- energia és földgáz felhasználás is. Az oxigén tisztasága 99,5 %-os. Az OAM Kft telephelyére a LINDE Zrt. kazinbarcikai oxigéngyárából cseppfolyós állapotban, speciális tartálykocsikban, közúton érkezik az oxigén. Az átfertés után az oxigén 4 nagy speciális, hőszigetelt acéltartályba kerül, ahonnan az igénynek megfelelő mennyiségű és nyomású oxigént elpárologtató hűtők segítségével gázzá konverzálnak biztosítják, amely azután acélcsőn jut be az üzembe. Érdekes adalék, hogy ez a felhasznált oxigén Kazinbarcikán hulladékgázként keletkezik. A Borsodchem ottani ammónia üzemének állítanak elő nitrogént, a levegő cseppfolyósításával, majd annak frakcionált desztillációjával, tehát ott ez az oxigén lényegében általuk nem hasznosított melléktermék.

Az ívkemence DPP-rendszerű gázöblítéséhez nitrogént alkalmaznak, ami az oxigénhez hasonló módon érkezik Ózdra, de kisebb mennyiségben. Az üstök inertgázos öblítéséhez argont használnak, ami az előzőekhez hasonlóan jut ide.

A gázadagoló rendszer PLC-vezérlésű nyomásszabályozással üzemel. Ha hosszútávon jelentősen növekedne az ózdi termelés, akkor gazdaságosan megvalósítható lenne helyben egy saját molekulaszűrős (PSA) oxigéngyár létesítése, ami automata üzemmódban működne. További előny, hogy elmaradna a közúti szállítás és a cseppfolyósítás költsége. Egy üzemenyag árrobbanás esetén mindez perspektivikussá válhat.

#### *7.5.6. Az acélműben alkalmazott jelentősebb tűzállóanyagok*

A tűzállóanyagok nem hozaganyagok, de bizonyos szempontból azokhoz hasonlóan viselkednek, tehát ki vannak téve mind az acél, mind a salak eróziós hatásának (NICOLAE et al 2011). Ennek eredményeképpen megjelennek a salakban és megjelenhetnek az acélban, mint exogén zárványok.

Elhasználódva a salakokkal együtt a meddőre kerülnek, így összetételük és mennyiségük megismerése a környezeti szempontú vizsgálat miatt fontos.

Amint már említettük, az ívkemence bázikus bélése, a bélés anyaga magnézium és magnézium-karbon tűzálló anyagokból áll. A vizsgálatainkhoz az RHI AG által a termékekhez mellékelte összetételi adatokat (RADEX AG 2004.) használtuk fel, mivel nem volt lehetőség külön tűzállóanyag elemzésre.

Ezek az anyagok döntően magnéziából állnak. Mivel ez a vegyület játszik jelentősebb szerepet a salakban, ezért a tűzállók összetételénél elegendő csak a magnézium-oxidot ismerni. Az OAM-nál a kemencébe beépített tűzálló anyagokat az osztrák RHI AG gyártja és szállítja. A tartós bélés RADEX PLAST-HV ( $\text{MgO}$ : 88%) szinter-magnezit, ami vegyi

kötésű. A kopó bélés többféle magnézia-karbon téglá, melyek lényegében csak a maradék karbon tartalmában különböznek.

A téglák közül a következőkben példaként kettőnek az összetételét hasonlítsuk össze. Egyik a RADEX PLE 5 (MgO 97%;  $C_{\text{maradék}}$  5%) magnézia karbon téglá, a másik a forrófoltnál alkalmazott RADEX PLSE 14 (MgO 95%;  $C_{\text{maradék}}$  14%) téglá, melyek borsavas kötésűek. A kemence feneké ANKERHARTH NN93 dolomitos magnezit örlemény döngölet. A vízhűtéses oldalfalakat vízüveg-alumínium-szulfátos vegyikötésű ANKERJET BK 40 (MgO:97%) típusú magnezit tűzálló masszával védik. A szerelvények és a tűzálló falazat közötti kötést a krómforrásoknál említett RUBINIT VK-3 tűzállóbetonnal biztosítják, ami szintén magnézia alapú, de 3,5 %  $Cr_2O_3$ -at tartalmaz. Ez adja jellegzetes zöld színét. A csapoló nyílás javításához is használják. A kemence üzem közbeni javításánál az oldalfalakat ezzel az ANKERJET BK40-es anyaggal szórják be, illetve a kemence feneket ANKERFRIT NX93 olajos szintermagnezit örleménnyel (MgO:85,3 %) javítják, ami beégve keramikus kötést képez. Ezek a tűzálló anyagok 85-97 % MgO-ot tartalmaznak. Tulajdonképpen ezekből az anyagokból ered a salak MgO tartalmának csaknem 100%-a.

Feltételezhetően e téglák kötőanyagainak is lehet hatásuk az acélgyártásra, mert a karbon kötőanyag mérsékelheti az acél oxigénfelvételét, a szulfátos kötőanyagból kén kerülhet az acélba és a króm tartalmú masszából Cr ötvöződhet. Az üzemi tapasztalat viszont azt mutatja, hogy ezek a hatások elhanyagolhatók a hulladékkal bevitt szennyezők mennyiségéhez képest. A teljesség igénye nélkül röviden érdemes említést tenni ezekről a hatásokról is.

A döntő hatás a magnéziumoxidé, mert ez kerül végül a salakba. Az acélban diszpergálódva, különféle zárványok képzésében is részt vehet (pl. spinell, forsterit). Az acélban diszpergáltan a Mg 20-30ppm közötti nagyságrendet jelent, ami megfelel 34-51ppm periklásznak, valószínűleg nagyobb részben spinell és más Mg-szilikát zárvány.

Az acél üstök bélésére jellemző, hogy van egy speciális alumínium szilikát anyagú kartonszerű tűzálló lap, ezután jön egy sor LEGRAL téglá (70%  $Al_2O_3$ ). A salakzóna karbon-magnezit téglából van kifalazva (SYNCARBON), az alatta lévő terület spinell kötésű műkorund monolit bélés (COMPRIT 185HVM). Folyamatos üzemmenet mellett ezek a falazatok 50-70 adag átfutását is kibírják. Ebből a spinell kötésű korund-monolit bélésből  $Al_2O_3$  kerülhet a fürdőbe átlag 20g/t mennyiségben, ami 0,001% alumíniumnak felel meg. Sokszor ezzel magyarázható az acél 0,001%-os alumínium tartalma olyankor is, amikor nem adagolnak fémes alumíniumot. Ilyen kis mennyiségben az alumínium ártalmatlan.

A tűzálló fogyasztásban másik jelentős tétel a folyamatos öntés. A közbenső üstök falazata is kétrétegű: egy un. tartós- és egy kopóbélésből állnak. A tartós bélés ANKOCASST spinell kötésű monolit tűzálló beton, a kopóbélés pedig ANKERTUN SH70 típusú 96 % MgO tartalmú Ca-citrát kötésű monolit beton. A két tűzállóanyag közül az utóbbi kopóbélésből fogy a legtöbb. Egy ilyen szett ideális esetben 15-21 öntést tesz lehetővé. Zavarmentes folyamatos üzemben az előbb vázolt 21 darabos szekvens könnyen kivitelezhető, ami már jelentős nyereséget jelent a tűzálló anyag felhasználásban. Ez a nagyobb szekvens szám a 2000-es évek közepén bevezetett svájci INTERSTOP AG ún. MNC technológiának köszönhető (KÖHL et al.2000). Ennek a technológiának a lényege, hogy a közbenső üstből kifolyó acélsugár egy speciális, tolózárás üzemből cserélhető betéten keresztül ömlik a kokillába. E betétek különböző átmérőjű  $ZrO_2$  kerámia bélésű kifolyó nyílással kerülnek forgalomba és azokat az átmérőjük szerint alkalmazva/váltogatva lehet szabályozni az öntési sebességet. A nagyobb szekvensszám

együttal a nagyobb béléstartósságot is jelenti, így a kopóbélés hulladék mennyisége kb. fele/harmada a hagyományos szabadkifolyású rendszereknél tapasztalhatóhoz képest.

A hengerműben a bugák izzítására rendszeresített tolókemence bélésére jellemző, hogy az oldalfalak SK 36 tűzállósági fokozatú samottból állnak, a boltozat önhordó, lemezfüles habsamott blokkokból van összeállítva. A samott termékek jelentős részben a felvidéki Kalinovóból a ZIAROMAT a.s. szlovák tűzállóanyag gyárból származik. A kemence feneke magnezit anyagú tűzálló beton, amelyben két sávban a kemence hossz tengelyével párhuzamosan két sorban van beépítve a magyar MOTIM Zrt. gyártmánya, az olvasztott műkorund blokkból ( CORVISIT ) kialakított csúszósín. Ezeket csúsznak el a bugák az előtölés során. Ez az izzító kemence talán a legkisebb tűzállóanyag fogyasztó az egész üzemben, mert 8-10 évente kell csak átépíteni, és a tűzálló hulladék nem több néhány tonnánál. Ennél is a folyamatos üzem a gazdaságos, mert a hőingadozástól megrepedhetnek, kieshetnek egyes téglák, viszont könnyen javíthatók, cserélhetők.

Összességében megállapítható, hogy ésszerűen megtervezett, fennakadás nélküli, folyamatos termeléssel, többlet ráfordítás nélkül lehet optimalizálni a tűzállóanyag felhasználást. Ehhez az is szükséges, hogy a gyárba beszállított tűzálló szállítmány ép és jó minőségű legyen, ami rendszerint teljesül is.

## **7.6. A nyersacél vegyvizsgálatának mineralógiai vetülete**

A hulladéknak az átlagösszetételből általunk számolt potenciális beolvadási (likvidusz) hőmérséklete 1512°C, illetve e körül ingadozhat. Az alkalmazott képlet (STEELUNIVERSITY.ORG. 2006) nem veszi figyelembe az acélban oldott gázokat (CO, O, N, H, Ar), a különféle kolloid méretű zárványokat és az egyéb ötvözőket (Mo, W stb.).

Ezt az is bizonyítja, hogy az ötvözés mértékének növelésével – a W és a Mo kivételével csökkent a likvidusz hőmérséklete. A kikészített acél olvadék potenciális likvidusza 1527°C-nak adódott, ami reális.

Az összetételből sejthető a beolvadással, frissítéssel kapott acél ebben az állapotban ferrites, rossz minőségű, mert nagy mennyiségű oxidos (wüstit)- szilikátos (mullit, szillimanit, hercynit, kristobalit stb.)- és szulfid (troilit/pirrotin-alabandit) zárványt és gázt (CO) tartalmaz. A nagy gáztartalom oka a karbon oxidációja során fejlődő szénmonoxid, amelynek oldékonysága a hőmérséklet emelkedésével (fűtés) nő. Az acél csapolási hőfoka általában 1650-1700°C, de olykor előfordul, hogy valamivel kisebb.

A hulladékok elemzéseiből kapott átlageredménnyel egy feltételezett, oxidáció nélküli beolvadási összetételt kaptunk. A valóságban ettől lehetnek eltérések, de az adatok ezek ellenére elég jól tükrözik a beadagolt fémes betét kezdeti állapotát (*7/1., 7/6. táblázatok*).

Számos ötvöző/szennyező mennyisége különbözik a mért/számított értékektől. Ezek okai az ingadozó fémes összetételen túl a hulladékok különféle bevonat-rétegei, valamint a hatékony metallurgiai munka. Ennek köszönhetően sok szennyező eltávozik a fémes fázisból (C, Mn, Si, Cr, Al, Ti, P stb.), míg mások (Cu, Sn, Sb, Bi, As, Pb stb.) feldúsulhatnak benne. Ennek értelmében általában a króm jelentős részben oxidálódik és a salakba kerül, amit a nyersacél átlagösszetétele is bizonyít, bár alkalmanként kicsit megnőhet benne a Cr és a Ni tartalom. A maradék ötvözők közül jelen van a molibdén és az arzén. A molibdén jelenléte a betonacélok gyártásánál előnyös, mert a hengerlés végén, „ingyen” mikro ötvözőként, elősegíti a bainites átalakulást, amikor irányítottan hűtik az acélt (VERŐ & KÁLDOR 1996). Nitrogén jelenlétében molibdén-nitrid kiválás történik, ami az acél folyáshatárát növeli. Az arzén ebben a koncentráció tartományban nem káros.

A nitrogén mennyisége az egész technológia során az olvasztásnál a legkevesebb, majd a csapolástól kezdve növekszik, mert az acélsugár nagy felületen érintkezik a levegővel, s onnan ill. az üstbe beadott hozaganyagokból nitrogént vesz fel. Méréseink szerint az OAM nyersacélok csapolás előtti nitrogén tartalma 44-99ppm között ingadozik, többnyire a 50-80 ppm között tartományban van, átlagosan **63ppm**. Ennél több nitrogén a rosszul habosodó, hígfolyós, gyengén bázikus és/ vagy nagy FeO tartalmú salak képződésének tudható be, ahol az ív nincs takarásban és érintkezik a levegővel.

Az átlagos össz. oxigén tartalom vizsgálataink szerint 297-2126ppm közötti tartományban ingadozik, átlagosan **781ppm**. Az acélban oldott aktív oxigén ( $O^{2-}$ ) mennyisége szintén a salak aktív FeO tartalmától függ, ami a bázikussággal van kapcsolatban, azaz a savanyúbb salakokénál kisebb a salak aktív oxigén koncentrációja, tehát kevés az acélban ionosan oldott oxigén.

A **DPP** öblítő téglák használatával szintén csökken az oxigén tartalom, mert a fürdőben az inertgáz a képződő CO parciális nyomását lecsökkenti, ami gyorsítja a dekarbonizációt. E reakció hatékonyan fogyasztja az oldott oxigént. Ennek köszönhetően kisebb lesz az egyensúlyi oxigéntartalom, így a csapolásnál már kevesebb dezoxidálószer kell adagolni, ami költséghatékony és anyagtakarékos megoldás, ami a fajlagos salakmennyiség csökkenését segíti elő. E mellett kiválóan kimossa a fürdőből az oldott gázokat (pl. H) és segíti a zárványok felúszását a salakba.

Amint a hulladékok vizsgálati eredményeinél már láttuk, a szennyeződés nagyobb részt a hulladékok bevonataiból származik, amit még egy kissé növelhet az ötvözők egy részének (pl. Cu, Ni, Sn, Sb) leégésből eredő koncentrációja.

### **7.7. Az üstmetallurgia és a folyamatos acélöntés hatása a gyártott acél minőségére**

Bizonyos, hogy a technológia fontosabb részeinek van közvetlen vagy közvetett hatása a környezetre is, miközben a termék, minőségének javítása az alapvető cél. Ózdon jelenleg 4 féle acélminőséget gyártunk, melyek ötvözetlen és gyengén ötvözött betonacélok. A belőlük származó acélminőségek többsége a B 500-as betonacél termékcsaládba tartozik. Fontos feltétel a hulladékok és adalékanyagok jó minősége, ami nélkül igen nehéz jó minőségű acélt gyártani. Az ívkemence elsődleges feladata a beolvasztás, a frissítés, a foszfortalanítás, de leginkább az átolvasztás, míg a kéntelenítés az üstkemencére hárul.

A kéntelenítés jó minőségű mész és optimális fürdőhőmérséklet (min.1600°C) esetén hatékonyan kivitelezhető, de ehhez az is kell, hogy a kiindulási kéntartalom is megfelelő tartományban, lehetőleg 0,07-0,08%-alatt legyen és álljon rendelkezésre elég idő az adag kezelésére. A kénteleníthetőséget az is befolyásolja, hogy milyen minőséget gyárt éppen az üzem. Például az ózdi, saját házi szabványunk szerinti **A** minőségnél 0,035% a **B1**-nél 0,045% és a **B2**-nél pedig 0,05 % a kéntartalom felső határa. Ezért a **B2**-t a egyszerű kénteleníteni, míg az **A**-t alkalmanként bonyolultabb (7/7. táblázat).

Ilyenkor szoktak lapáttal  $CaC_2$ -ot adagolni, ami akkor a leghatékonyabb, ha a fürdő 1600°C körüli hőfokú és nincs a salakban FeO, MnO, ami karbidfogyasztó lenne.

Egy másik módszer a szilikokalciium (CaSi) huzal adagolása. Ennél az a probléma, hogy 0,020% S tartalom alatt hatékony. mert e fölött lehetséges a CaS zárványok képződése, ami kagylószerűkület okozhat (HARCSIK 2011), valamint az acélban maradvá ronthatja annak mechanikai tulajdonságait. A Ca-huzal adagolás technológiája elsősorban zárványmodifikálásra és dezoxidálásra alkalmas, amit jól átgondoltan kell véghez vinni,

mert egy rosszul kivitelezett kezelés inkább árt, mint használ. Előtte teljesen csillapítani kell az acélt, különben az aktív oxigén fogyasztja el a Ca-ot.

A CaSi huzal másik haszna, hogy a bomlása során felszabaduló Ca-gőz képes redukálni az  $Al_2O_3$ -ot, ami azt jelenti, hogy a szögletes korund vagy alumínát szemcséket legömbölyíti, aminek több előnye van. Egyik az, hogy a gömbölyű szemcsék kevésbé hajlamosak az összetapadásra, ezáltal javul az acél folyékonysága, így öntés közben nem kell oxigénnel fűjni. Az apró gömbölyű zárványok jelentősen javítják az acél mechanikai tulajdonságait (SCHOTTNER 1988b), különösen a dinamikus igénybevételekkel szembeni ellenállást növelik. A szögletes szemcsék csúcsainál halmozódnak fel ugyanis a feszültségek, és tönkremenetelnél azután innen indulnak ki a repedések, míg a gömbölyű szemcse elnyeli a feszültségeket, amelyek eloszlanak a felületén.

Az OAM-nál ezt a CaSi huzaladagolós technológiát még finomítani kell, mert jó esetben ezzel már javítani lehet az önthetőségen. Az alumínium mérsékelt használatával szintén lehetne javítani a folyékonyságon, mert lecsökkenne a korundzárvány-tartalom. Ez nem kivitelezhető az OAM-nál. Az alumíniumnak a salakra történő dobásával a salakban lévő FeO, MnO visszaredukálható a fürdőbe, amivel a folyamat a diffúziós dezoxidáció nagyobb részarányát segítheti elő

A jelenlegi technológiával az üstkemencénél van mód teljesen csillapított acél gyártására, de a folyamatos acélöntés jelenlegi installációjával nincs lehetőség ilyen adagok leöntésére, mert a folyamatos acélöntés nyitott, oxidáció elleni védelem jelenleg még nincs, illetve újabban sugárvédőcsővel részlegesen megoldott a védelem. Így legfeljebb félig csillapított minőségek gyárthatók, de a betonacélok többségét a világon mindenütt így öntik.

Jelenleg csak félig csillapítanak, azaz 50-150ppm közötti aktív oxigéntartalmat állítanak be. Mivel a kiömlő acélsugár érintkezik a levegővel, ezért a sok kiéghető ötvözőt (pl. Si-ot, Ti-t, Al-ot) nem tartalmazhat, a Mn/Si aránynak pedig <2.5-nek kell lennie. Ennél a 2,5-ös aránynál gyakorlatilag tephroitos Mn-olivin összetételű olvadékszárnyok képződnek, melyek a többi apróbb zárványt (korundot, hercínitet, spinellt stb.) nedvesítik (PRASAD & SANKARANARAYANAN 2010), így megkötik és magukkal viszik őket a salakba. A Si nem lehet több 0,25%-nál mert a többi kiég és a tapasztalatok alapján kb. >0,80%-os Mn tartalomtól egyre intenzívebb salakosodás megy végbe a kokillánál.

Megfigyelhető trend, hogy a csapolástól kezdve mintegy 15-20ppm-mel nő az acél nitrogén tartalma. Ennek oka, hogy a kiömlő acélsugár a levegővel érintkezik. Az üstben az argonos öblítés képes ezt max. 30%-kal csökkenteni, de ha az üstkemencében még utána kell fűteni, akkor a nitrogén szint a villamos ív miatt megnőhet akár 100ppm-re is. A házi előírás szerint a nitrogén tartalom maximum 120ppm lehet a FAM-os próbában, míg a hengerelt készáruban 140ppm-et ír elő a magyar szabvány. E szabvány több nitrogént is megenged, ha a kérdéses gyártmányban vannak nitrogént megkötő elemek (pl. Al, Ti, V, Nb, Cr). Az ózdi acéloknak a N tartalom az előbbi határokon belül marad, de a jelenlévő Cr, V, Nb tartalom miatt egy esetlegesen nagyobb N jelenléténél az említett szennyezők védelmet jelenthetnek.

A FAM-on a nitrogéntartalom tovább nő, mivel a közbelső üstben újabban sugárvédőcsövet és fedőport alkalmaznak, ami által, a leégés és a hőveszteség csökkent. A sugárvédő cső használatkor nitrogén tartalom átlagosan a felére csökken (10-15ppm-mel) a hagyományos sugárvédő cső nélküli öntéséhez képest.

A N felvételt az üstsalak állapota is befolyásolja. Rossz minőségű, erősen viszkózus salaknál az argon közvetlenül az öblítő téglák felett lyukat képezve áthatol a salakrétegen.

Eközben az áramlással kidudorodó acél nagy felületen érintkezik a levegővel, s ilyenkor látványosan megemelkedik a N tartalma.

A másik probléma olyankor fordul elő, ha túlságosan bázikus a salak. Ilyenkor a salakkéreg megdermed az acél felszínén és az öntés végéig úgy marad a salakzónában, de közben az acél kifogy alóla. A csökkenő acélszint keltette vákuum levegőt szív be, ami oxidálja a salak nélküli acélfelszínét, így az acél nitrogént vesz fel belőle. Ekkor az öntés utáni szekundersalak kiöntésénél az üst úgy néz ki, mintha tele lenne, mert a salakzónában maradt összefüggő, izzó, szilárd salakréteg a megdermedés miatt ezt a látszatot kelti. Ezek a problémák elkerülhetők a kellően bázikus, 1540-1570°C közötti likvidusz hőmérsékletű üstkemence salak képzésével és fedőpor adagolásával. Ez által az öntés végéig összefüggő folyékony salak borítja a fürdőt. Az ilyen jellegű salak fő ásványos fázisai a melilitakermanit elegysor középső tagja, ahol a likvidusznak minimuma van. Az elegysor két szélső tagjának tiszta állapotú megjelenése nem előnyös, mert nő a dermedéspont és meghaladja az acél likviduszát.

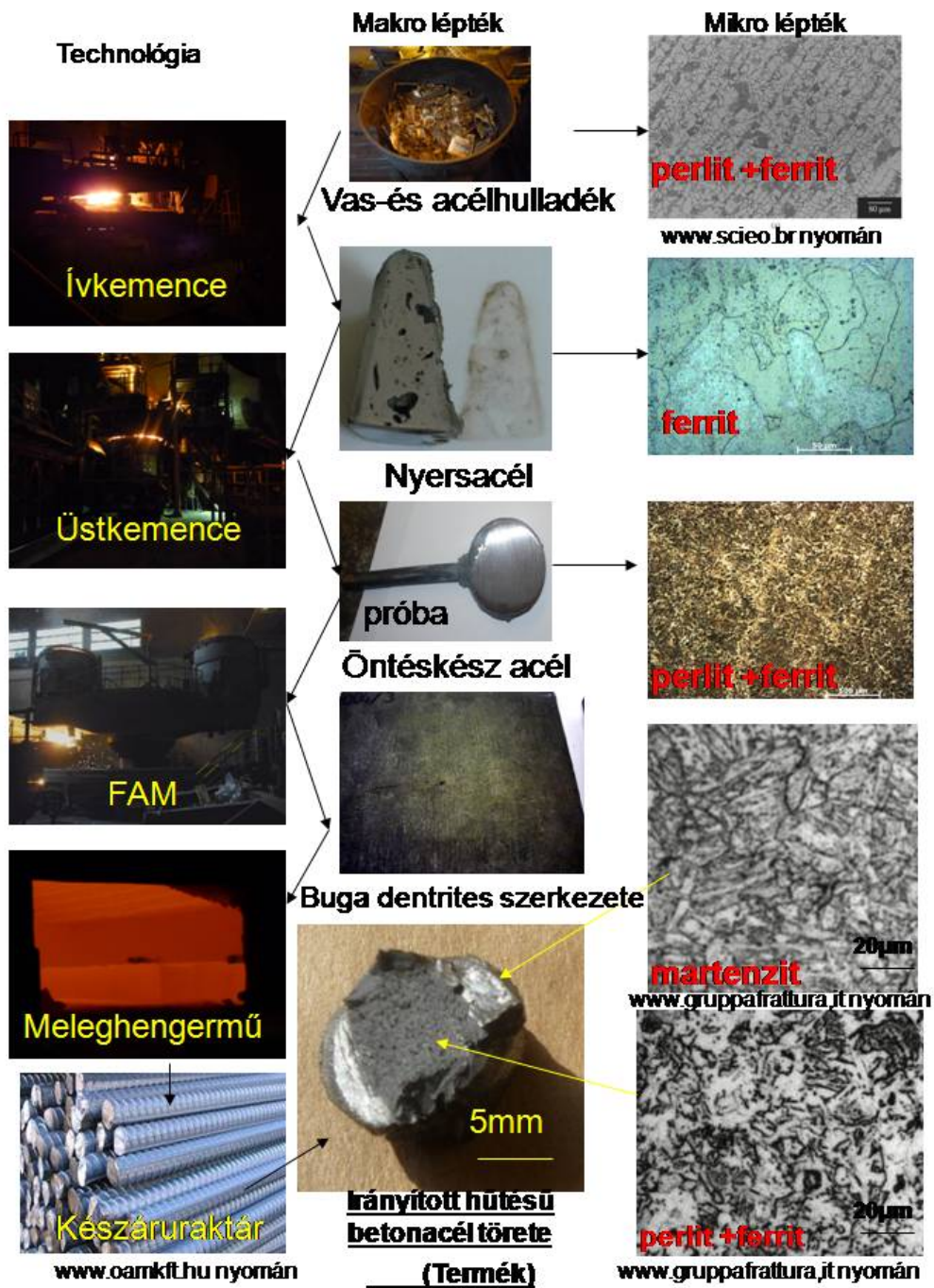
Az erősen viszkózus üstkemencesalaknak van egy másik logisztikai és minőséget befolyásoló hatása, az hogy nem lehet tökéletesen kiönteni a salakot az üstből. Ezzel elszennyeződhet a következő adag, mert az acél a salakból felveszi a ként és keveredésük közben zárványok diszpergálódhatnak az acélban. Az öntés után visszamaradt vastag salaktapadvány megnehezíti az argonkövek oxigénes tisztítását. Valamennyi salak mindig marad vissza az üstben, ami általában nem túl jelentős, kb.50 kg/üst lehet maximum. E tapadványt az ún. üstnyomóval távolítják el, ami egy szájára fordított régi salaküst.

A szekundersalak minősége tehát még az acélöntést, illetve az öntés alatt álló acél minőségét is nagyban meghatározza, míg az üstsalak minőségét annak kémiai, s leginkább ásványos összetétele befolyásolja.

Méréseink szerint az öntésre kerülő acélban még 35-40ppm Mg van diszpergálva, ami szintén rontja az acél folyékonyságát. A Mg bizonyosan a tűzálló bélés eróziójából ered. Az üst kopóbéléséből származó Mg megjelenési formája lehet periklász (SYNCARBON üsttéglá salakzóna) vagy spinell (COMPRIT 185HVM tűzálló beton), de közre játszhat a közbenső üst is, mivel anyaga szintén főleg MgO (ANKERTUN SH70 beton). A MgO bejutásának mértéke függ a salak bázikusságától és/vagy az acél oxigén szintjétől. Vizsgálataink szerint a közbenső üstben a Mg szint stabilan beáll 25-45ppm közötti tartományba.

Az összetétel alapján sokszor valamilyen szulfid kiválás is valószínűsíthető, például MnS és CaS, ezért lenne fontos, a minél hatékonyabb kéntelenítés. Rossz folyékonyság és /vagy kagylószerűkülés esetében fogyólandzsával oxigént juttatnak a fürdőbe, ezáltal nő annak hőmérséklete.

A közbenső üstök befogadó képessége átlagosan 5-8 t, az acélszint átlagosan 80cm a fenéktől számítva. Ha sok oxigént fúvatnak bele a fürdőbe, annak alkalmanként olyan káros hatása lehet, hogy a lándzsa és a környező acél oxidációja során képződő FeO olvadék cseppeknek csak részlegesen van lehetőségük felúszni a salakba. Itt már általában nincs elég idő és kémiai energia az FeO elbontásához, ezért az a vasoxidokkal együtt zárványként marad meg a fürdőben. A kis fürdómélység esetén a közbenső üst fenekébe épített kiömlőnyílások által keltett örvénylés magával ragadja azokat, így átjutnak a kokillába, ahol salakosodást okozhatnak. E mellett a dermedő szálban a szál elhajlás belső íve felőli oldalon apró, max. mm-es zárványsort alkothatnak, anyaguk főként FeOx (főként a wüstit). Kis mennyiségben nem károsak, de ha nagy számban fordulnak elő, akkor a buga izzítása közben feloldódnak és megnövelhetik a hengerelt áru O tartalmát. Ha pedig az oxigén tartalom 300-500 ppm-ig nő, akkor az már nagyon lerontja a termék mechanikai



7/3. ábra Anyagátalakulási folyamatok az acélgártás során az alapanyagtól a készáruiig.

tulajdonságait. Megnö például a folyáshatár, vagy akár el is tűnhet. Az anyag 500 ppm oxigén tartalom felett már ridegen törik, folyás nélkül, mellette nő az átmeneti hőmérséklet és a ridegtörési hajlam. A nitrogénnel együtt fokozódik az öregedési hajlam is. Ez már azt jelenti, hogy a termék a környezeti hőmérsékleten már szabadban történő hevertetése során felkeményedik és akár kisebb mechanikai hatásra is törik. Ezeket a hatásokat az acél alumínium tartalmának legalább 200 ppm-re történő beállításával lehet elkerülni. Ehhez az acélt teljesen csillapítani kell, vagyis az aktív oxigénnek 30 ppm-nél kevesebbnek kell lennie. Egy ilyen acélminőség gyártása csak zártöntéssel lehetséges. A vállalat középtávú fejlesztési programjában szerepelnek ilyen jellegű fejlesztések, amivel már minőségi acélokat is lehetne gyártani.

A jelenlegi termékválaszték a klasszikus és költséghatékony nyitott öntéssel is lehetséges a paraméterek pontos betartása mellett: megfelelő kiadási hőmérséklet, zárványtisztság, optimális öntésidő stb., s még ezzel az öntéstechnológiával is mérsékelhető az oxigén fúvatás alkalmazása. Jól beállított hőmérséklettel és összetétellel 70-100 ppm-nyi össz. oxigén tartomány minden nehézség nélkül tartható, ami a jelenlegi termék kínálatnál már több mint elégséges. A megfelelő minőség és a költséghatékonyság egyben biztosíték arra is, hogy legyen minimális a selejt, csekély a gyártási hulladék és így alig lesz kimutatható káros környezeti hatás.

## 7.8. A nyersacél metallográfiai vizsgálata

Az acélgyártási anyagforgalmi rendszerben két nagy anyagcsoport különül el, az acéltermékek, valamint a salakok és egyéb meddő anyagok (szállóporok, amortizálódott tűzállók stb.). Bár számunkra vizsgálatunk tárgyaként a salakok és meddők az elsőrendű fontosságúak, nem tekinthetünk el a fémes fázis átfogó bemutatásától (*7.3 ábra*) sem, mivel az ezeket létrehozó technológiák során termelődnek ki melléktermékként az említett salakok és meddők. Ugyanez érvényes a következő alfejezetben tárgyalandó üstmetallurgiai termékekre és metallográfiájukra.

A 2. fejezetben bemutatott módszerekkel vizsgáltuk meg az ívkemencés acélok mintáit, amelyekből típusonként jellemző felületi csiszolatok készültek. Ezek vizsgálatából mutatunk itt be néhány kiragadott példát, amely a képződés és a szöveti jelleg közötti kapcsolatokat szemlélteti és alkalmas az anyag típusok jellemzésére abban a köztes állapotban, amely után még mód nyílik az észlelt hibák, hiányosságok korrekciójára, amire az üstkemence nyújt majd lehetőséget. Az alábbiakban bemutatjuk azokat az anyagvizsgálatra begyűjtött különféle ívkemencés acélmintákat, amelyekből töretek és polírozással elemzésre alkalmas felületek lettek kialakítva. A szövet és az összetétel vizsgálata képet nyújt e termékek kristályosodási jellemzőiről, és nem fémes zárványként megjelenhetnek bennük ásványokkal analóg vegyületek.

Kemencés acél meredvény amit a salakból vettünk annak kihülése után a centeri salakárokából. A minta csiszolt polírozott makrofotójának felvételét mutatja, ahol a minta 3x8 cm-es méretű példánya látható, felületén cm-es hólyagokkal (sötét foltok), ami a nyersacélra jellemző tulajdonság, azok nagy gáztartalma miatt. A próbadarab jobb oldalán a polírozott felület Baumann lenyomata látszik. E módon vizsgálható a szulfid tartalom mennyisége és eloszlása. Ez itt jelentős és egyenetlen eloszlású, s az is látható, hogy szemcseközi kristályai a gázhólyagok határán is dúsulnak.

Az előbbi minta nitállal maratott szöveti képe. Ennél hülés miatt viszonylag jól fejlett ferrit kristályok figyelhetők meg, amelyek, ~1-2µm-es méretű gáz- és oxidos

salakzárványokat is tartalmazhatnak egyéb beágyazódásokkal, amelyben itt gyakori ásványok jelennek meg (pl. korund, spinell, mullit).

Ezek alapján a fenti nyersacél minták ebben az állapotukban használhatatlanok nagy gáz-, szilárd oxid- és szulfid zárvány tartalmuk következtében. Ebből következik, hogy ez előbbi problémák elhárításához nélkülözhetetlen a későbbi üstmetallurgiai munkafázis, amely során a dezoxidáció segítségével csökkenthető az oxigén-, a kén-, valamint, a zárvány- és gáztartalom, valamint itt történik az adag készre ötvözése, amelynek eredményeként a gyártmánytól függő mértékben és mennyiségben perlitfázisok jelennek meg. E kérdések egyértelműbb tisztázásához további vizsgálatokra van szükség (pl. SEM/EDS, mikrokeménység mérés).

## 7.9. Üstmetallurgiai és folyamatos öntésű acélok metallográfiája

A lecsapolt, ötvözött üstkemencéhez áthúzott adag szekunder metallurgiai kezelése során az előző fejezetben tárgyalt hátrányos tulajdonságok nagyrészt megszűnnek. Az üstkemence álláson a korábban említettek szerint beállítják az acél összetételét. E közben lecsökken az adag kén és oxigén tartalma, viszont közben nő a karbon, a mangán és a szilícium tartalom. Az oxigén tartalom beállításához alumíniumot használnak. Az alumínium adagolásával a fokozott oxidáció (kagylószerűkülés) miatt vigyázni kell (lásd később). Az acél megjelenésére jellemző, hogy az üstmetallurgiával kezelt adagok csiszolt, polírozott felülete lunkerektől és makrozárványoktól mentes *(7/3. ábra)*. A kezelt acél lassú dermedésekor a beötvözött karbon és mangán mennyiségétől függő eloszlásban a ferrit fázisban perlit jelenik meg. Az ilyen acélok gyors dermedésekor dendrites ferrit jelenik meg, a karbon tartalomtól függő mennyiségű martenzittel. Az általunk vizsgált, készre ötvözött acélból vett próba ilyen szövetű.

Az öntéshez feladott adag megnyitása során – normál üzemmenet mellet – az acélban lényegi változás nincs, de kisebb minőséget befolyásoló tényezők még előfordulhatnak. Ilyen például az oxidzárványok megrekedése a szálban. Az acélbugából vett minta metszetének mélymaratása során kapott makroszöveti képen a vártan megfelelően jelennek meg a bugánál jellemző gyors hűtés során kialakuló makroszöveti elemek/zónák *(7/3. ábra)*. A dermedés kezdetét a globulitos kéreg jelzi, amelyből oszlopos dendritek nőnek ki, mintegy kérget alkotva, és körbe veszik a buga közepén elhelyezkedő ún. ekvixiális dendrites zónáját, ahol a közel ekvigranuláris dendriteknek nincsen kitüntetett iránya. Ha az öntés közbeni hűtés nem egyenletes, akkor a különböző dermedési sebességek miatt feszültségek ébrednek az öntés alatt kialakuló szálakban, amelyekben emiatt repedések jöhetnek létre. A felvétel jobb oldalán látható a már említett sáv, ahol a felfelé szálló oxid zárványok megrekedve összegyűlnek.

## 8. A KOHÁSZATI FÁZISÁTALAKULÁSOK ÁSVÁNYTANI VETÜLETEI

E fejezet a vas- és acélkohászat különböző szakirodalmi forrásművekben fellelhető fázisátalakulások mineralógiai jellegű összegzése. Ez egyfajta interpretáció kíván lenni a kohászat felől a geológia felé. Ezeknek az átalakulási folyamatoknak az ismerete a geológia számára azért fontos, mert ezek határozzák meg a késztermék és a salak, mint mesterséges kőzet kristályosodási képességét és ásványi összetételét. Az utóbbi meghatározója a salak bomlékonyságának, környezeti hatásainak, illetve utóhasznosítási lehetőségeinek. Ezeket az ismereteket az archeometallurgiai rekonstrukciónál

analógiaként hasznosíthatjuk, ahol a termékek és salakok geokémiai és mineralógiai tulajdonságai alapján földtani (archeometriai) szempontból visszakövetkeztethetünk az egykori nyersanyagokra, segéd- illetve adalékanyagokra, kohászati szempontból pedig a metallurgiai folyamatra és annak hatékonyságára. Ezekből kirajzolódhat az egykori ipari tevékenység anyagigénye és valószínű környezeti hatása is (pl. KOLESZÁR et al. 2007).

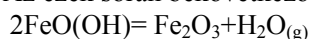
### 8.1. A főkomponensek fázisátalakulásai

Az acélglyártás során az első lépés a beadagolt hulladék átmelegedése és beolvadása, amit alulról a visszahagyott salak, felülről a villamos ív, oldalról az RCB-égők-, a martinkemencék földgáz-olajtüzelésű égői segítenek elő oxigénes lángintenzifikálással.

A martinkemencéknél speciális ún. berakó teknővel vagy másnéven „kanál”-al adagolták be a betét anyagot és a szükséges salakképzőket. A folyékony nyersvasat a kemence hátuljába épített beöntőnyíláson keresztül öntötték be a kemencébe miután a már bentlévő hulladékvas betét elérte a kívánt kb.1000 °C-os hőmérsékletet. Ívkemencénél a kosaranként beadagolt anyag minőségtől és mennyiségtől függően átlagosan 10-20 perc szükséges a beolvadáshoz. A folyamat a fizikailag kötött víz párolgásával és eltávozásával kezdődik, ami után kiégnek a karbon tartalmú szennyeződések (polimerek, fahulladék, humusz stb.). Ez nagyon gyorsan beindul és végbemegy, részarányuktól függően néhány másodperctől egy két percig tart, míg a berakó teknős (kanalas) adagolás hosszú ideig tartott.

Eközben kb. 350-400°C-on beindul a rozsdá (limonit) főleg kémiaailag kötött vizének leadása, ami tökéletesen 1000 °C-on megy végbe, bár 80-90%-uk már 350-700°C között eltávozik

Az ezek során bekövetkező átalakulás:



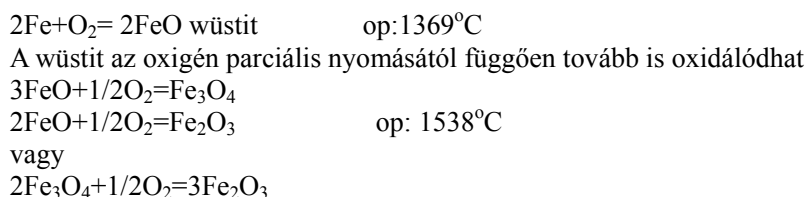
goethit hematit/maghemit+ vízgőz----- gáz

A vashidroxidok bomlása endoterm folyamat, ezért a nagy mennyiségű, erősen rozsdás hulladék beolvasztása rengeteg energiát igényel.

A talaj agyagtartalmának bomlása során piroxének, plagioklászok képződnek, melyek üveges, kezdetben alkáli dús olvadékok alakítanak ki 800-1000°C között. A beadagolt koks hamuja is hasonló fázisátalakuláson megy keresztül 1000-1100°C között, mivel körülbelül ebben a tartományban van a kokszhamu lágyulási pontja. Ez a kétféle savanyú olvadék a beolvadás közben reakcióba lép a beadagolt mésszel és a falazat magnézit anyagával. Ez a folyamat kevés salakképző méssz, vagy nagyarányú mészkőhányad, illetve túlégetett, kis reakcióképességű méssz esetében igen jelentős lehet. Ennek biztos jele a falazat kopása, vegyi korróziója, amely különféle piroxének és piroxenoidok (diopszid, wollastonit), szigeteszilikátok (bredigit, monticellit stb.), csoportszilikátok (pl. gehlenit-akermannit elegy) képződésében nyilvánulhat meg (**6/2. ábra**).

Ebben a rendszerben nem ábrázolható, de ezek az ásványok kezdetben még vasat és mangánt is tartalmazhatnak jelentős mennyiségben. A beolvadási folyamat közben a bázikusság növekedésével a vas- és mangánoxidok fokozatosan kicserélődnek CaO-ra. A berakott hideg, fémes acélhulladék az 580°C-ot elérve rohamosan kezd oxidálódni, revésedni. A fűtás miatt kialakuló oxigén fölösleg miatt 1050°C-on számottevő vas oxidáció megy végbe, ami a vas oxigén atmoszférában bekövetkező égését jelenti. Az intenzív revésedés 1394°C-on átmegy reveolvadásba. Az oxigéntartalom növekedésének függvényében tulajdonképpen wüstites-magnetites-hematitos olvadék képződik.

Öntöttvas hulladék esetén az olvadás már 1270°C-on beindul. A nagy oxigén tartalmú közeg miatt a benne lévő karbon, szilícium és foszfor oxidációja jelentékeny hőtermelve, nagyon hamar lezajlik. Ekkor a fő oxidációs ágens már az FeO. Oxigénes fúvatásnál a vas oxidációja az alábbiakban bemutatott módon játszódhat le.



Az intenzív leégés során így egy mélykemence- vagy lángvágási salakhoz hasonló összetételű, fémmikus megjelenésű salak kezd kialakulni, ami kezdetben csaknem tisztán vasoxidokból áll. Ez a fémmikus olvadék keveredik a beolvadt meddővel és először egy savanyúbb salakfázis alakul ki, ami az olvasztás elején a FeO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> rendszerrel értelmezhető.

Enyhén oxidáló közegben a MnO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> rendszer alakul ki, és az oxidáció ez esetben a C kiégése előtt megáll. Fémes felületű hulladék oxidáció nélküli, illetve gyenge oxidatív átolvasztásakor ilyen salakra lehet számítani, mert ilyenkor a gyenge oxidáció miatt szinte elhanyagolható a vas oxidációja.

Ez a MnO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> összetételű rendszer **(6/2. ábra)** jellemző a FAM közbenső üstjének salakjára is. A csapolás után közvetlenül felúszó „primer” dezoxidációs salakok is ilyenek lennének salakképző mész adagolása nélkül. A berakott fémes hulladék beolvadásakor az Fe-O fázisdiagramon látható, hogy a fémes beolvadás – tiszta ferrum esetén – elméletileg 1538°C-on megy végbe. Az ötvöző/szennyező tartalom ezt jó pár °C-al lejjebb is viheti.

Saját eredményeink szerint a hulladék átlagos összetételéből számítható likvidusz hőmérséklet 1527°C, s a valóságban is e körül ingadozik. Ez egy átlagos érték. A fémhulladékok jellemzésénél látható, hogy a hulladékok ötvözőelem tartalma csoportonként eléggé sokféle és változó mennyiségű. Az is valószínű, hogy az erősebben ötvözöttek összetételétől függően, szinte darabonként különböző hőmérsékleten olvadhatnak be, korábban, mint az ötvözetlen, illetve gyengén ötvözött hulladékdarabok.

A hulladék leégést a FeO<sub>x</sub> olvadékfázis és a fémfázis fizikai olvadásának aránya illetve a reakció felületének nagysága határozza meg. Ha a betét hőmérséklete valamilyen okból ezen az 1400 °C közeli hőmérsékleten, illetve ez alatt megreked és csak lassan éri el az acél likvidusz hőmérsékletét, akkor jelentősen nőhet a leégési vasvesztés (pl. hirtelen kialakuló, hosszan fennálló áramkimaradás esetén). Ez a kihozatal romlásával együtt ronthatja az acél minőségét is, mert megnőhet a fürdő Cu, Sn, Ni, Sb, Bi és S tartalma.

A beadagolt salakképző CaO és koksziporhamu 1300°C-on olvadékot képez a kalcinálódott fénoxidokkal, szilikátokkal. E közben a hőmérséklet emelkedésével – amikor a betét eléri az 1528-1538°C-ot – végbemegy a teljes beolvadás. Ilyenkor már elvileg nincs be nem olvadt fémhulladék, kivéve a W- és Mo dús hulladékokat (pl. gyorsacélok). Ekkor a salakolvadék már összefüggő réteget alkot. Fúvatás közben beindul az acélfürdő fővése és a szennyezők kiégése sorrendben a következő: Al < Si < Mn < C.

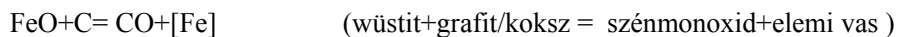
E kérdéskör fázisátalakulásaival és az ásványokkal analóg vegyületek megjelenésével módosulásával több szakirodalmi forrásmű is foglalkozik (FARKAS 1989; SIMON et al.

1981). Az acélfürdőn kialakult salakban a bázikusság és a hőmérséklet, illetve a redox viszonyok függvényében az alábbi reakciók mehetnek végbe:



A befűvott kokszpor miatt enyhe direkt redukcióra is lehet számítani. Tulajdonképpen ez a reakció mérsékli a vasleégést, valamint elsőrendű szerepe van a salak habosításában.

A vas- és acélhulladékok közül a szürkeöntvénynél az előbbi direkt redukciós gázosodási reakcióhoz hasonlóan megy végbe a grafit oxidációja:

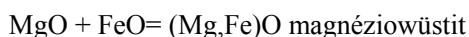
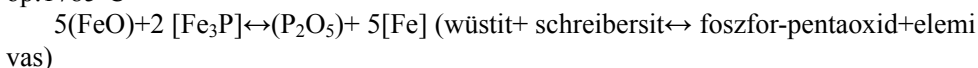
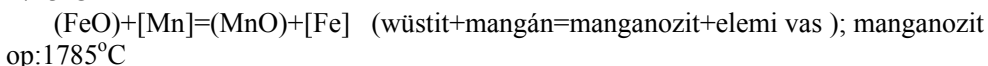
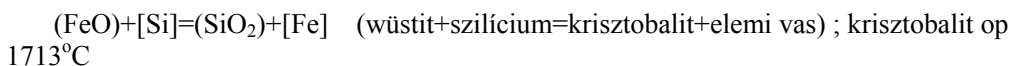


A betét karbon tartalma döntően a perlitben lévő cementit fázisból ered. (\*A perlit az acél egyik szöveteleme, amit gyöngyfényéről neveztek el perlitnek. Összetétel szerint a ferrit és a vaskarbid (cohenit) eutektoidja. Nincs kapcsolata a közettanban használt perlit névvel.)



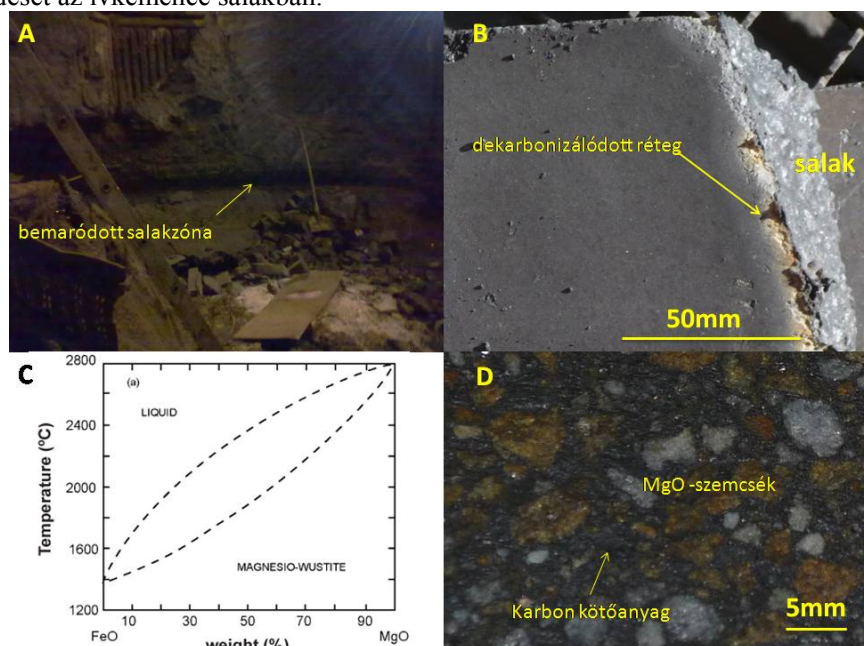
E reakciókból származtatható a füstgáz szénmonoxid tartalmának nagyobbik része. Később a hőmérséklet csökkenésével megjelenik a CO<sub>2</sub> is. A gáz egyensúlyának ezt a felbomlását írja le az ún. Boudouard-féle reakció (FARKAS 1989). Ennek ismerete szempontunkból az esetleges környezeti hatásai miatt szükséges (CO, CO<sub>2</sub>, korom emisszió). A füstgázokban lévő szénmonoxid és széndioxid arányának kialakulásában van nagy szerepe ennek az egyensúlynak. A szénmonoxid kibocsátásnak ez a legjelentősebb forrása, bár a gyári területről légi úton, jelentősen felhígulva már igen csekély mennyiségben jut ki, ami tényleges környezeti veszélyt nem jelent. A korom képződésnél alárendelt jelentőségű ez a forrás.

A wüstitnek a többi szennyező/ötvöző (Si, Mn, P) kiegészében is kitüntetett szerepe van, ahogy azt bizonyos elemhelyettesítések elhagyásával az alábbi példákkal szemléltetjük:



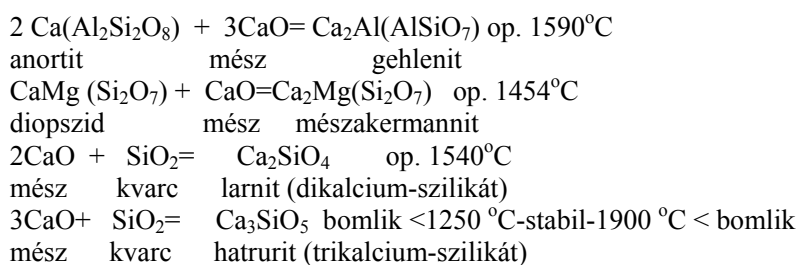
Az acélban a frissítés során kialakuló oxidációs termékek felúsznak a salakfázisba és ott egymással különféle ásványegyütteseket alakítanak ki a bázikusság, a hőmérséklet és az oxigénpotenciál függvényében. Ha az olvadékban nő a SiO<sub>2</sub> tartalom, akkor savanyodás is felléphet, ilyenkor a gehlenit mellett a salakban piroxének, anortit, mullit is képződhet. Gyakran a salak FeO tartalma jelentős szerepet játszik a falazat kopásában, mert szilárdoldatot alkot a magnéziával (**8/1. ábra**).

A foszfor-pentaoxid mint köztes termék tovább alakulhat apatittá vagy a SEM/EDS vizsgálataink szerint nagelschmidtit jellegű kalcium-szilikát-foszfát típusú komplex vegyületté, illetve nagy vastartalom esetén a wüstittel vasfoszfáttal alkotott komplex oxifoszfát vegyületté. Az >1580°C hőmérsékleten a P-t az elemi vas vissza tudja redukálni a fürdőbe vasfoszfidos, vagyis schreibersites olvadékká. Saját SEM/EDS vizsgálataink igazolták a salakban megjelenő kalcium szilikát-foszfátos, valószínűleg nagelschmidtit jellegű vegyület létét. Az XRD vizsgálataink pedig kimutatták az említett vasoxifoszfátok képződését az ívkemence salakban.

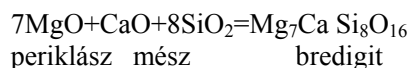


8/1. ábra Az ívkemence falzatának salakeróziója. A/ kép: az ívkemence medencéjének előregedett bemaródott salakzónája az tervezett élettartam (kemencekampány) után. B/ kép: kemence béléséből származó elhasználódott karbon-magnézia téglakorrodált felülettel. C/ kép: az MgO-FeO binér rendszer, ahol a magnézia és a wüstit (FeO) szilárdoldatot alkot, ami elősegíti a falzat kopását és az ebből származó MgO zárványként történő diszperzióját az acélfürdőben. D/ kép: karbon magnézia téglavágott, csiszolt, polírozott felülete a különböző mesterségesen kristályosított periklász (MgO) szemcsékkel.

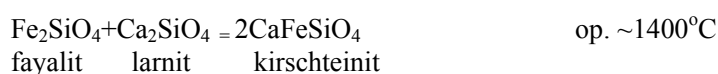
A mészben gazdag bázikus salakokban a jelentősebb fázisátalakulások a következők:



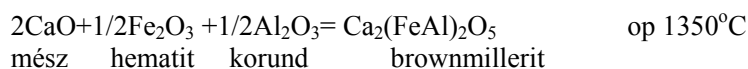
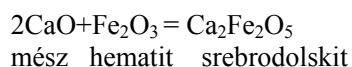
Acélglyártási salakoknál gyakori a larnit bredigit, illetve egyéb Mg tartalmú olivin szerkezetű Ca ásvány képződése, amilyen a merwinit és a monticellit, melyek megjelenése részben a falazat erózióját jelzi. A szekunder salakok esetében az ívkemencénél alkalmazott OLIVIA-FILL márkanévű dunites zárópor is jelentős magnézium forrás lehet annak forsterit tartalma miatt. Az alábbi első egyenlet ilyen átalakulást mutat be:



Ha ez a fenti reakció az ívkemence csapoló nyílásában megy végbe, akkor a csapolást meggátolja, amelynek elhárítása idővesztést és többletköltséget jelenthet. Ilyenkor a csapolónyílásban maradt salaktapadványok megömlése vagy a zárópor jelentős fayalit tartalma okozhatja ezt a fennakadást, de ez nagyon ritkán fordul elő. Acélglyártási salakokban ismert a kirschsteinit jelenléte is. A fayalit reakciója a salakkal az alábbi módon nyilvánul meg:



Bázikus oxidos salakoknál nagyon jellegzetes a magnetit és a hematit reakciója a mésszel. Ennek során különféle ferritek képződnek, melyek közül a legjellemzőbb a kalciumferrit és a dikalcium-ferrit (srebrodolskit). Ha timföld is van a rendszerben, akkor brownmillerit is létrejöhet. Az itt jellemző átalakulások:



Ezek a reakciók jól bizonyítják, hogy a Fe(III) oxid savanyú karakterű. Az előbbieken bemutatott salakásvány fázisok a gyakorlatban multikomponensű eutektikumot képeznek egymással, melynek szolidus hőmérséklete 1300°C körül ingadozik az összetételtől függően.

Az acélfüldő króm tartalma az oldott oxigénnel előbb eskolaitot, azaz króm III oxidot képez, ami a tűzálló beton króm III oxidjával és a salak wüstit tartalmával egyesülve kromitot alkot az alábbiak szerint:



A kromit jelenléte 1-2 %-ig hasznos, mert növeli a salak viszkozitását és mint apró részecske segíti a salakhabosítást (MATSCULLAT et al. 2008). A kromit az acélgyártás hőmérsékletén szilárd szemcseként lebeg a salakban az egyéb különféle nagyolvadáspontú fázis MgO, larnit stb. társaságában. Ezek a szilárd fázisok salakolvadék-salakásvány szuszpenziót képeznek a metallurgiai folyamatok hőfokán, nagyban befolyásolva a likvidus hőmérsékletet.

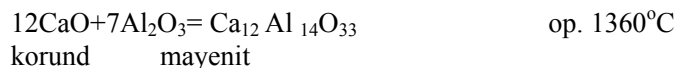
A látszólag nagy króm tartalom környezetvédelmi szempontból potenciálisan problémásnak tűnhet, mert elvileg  $\text{CrO}_4^{2-}$ -ot képezhet (SZEGVÁRI I.2005.). Ismert tény, hogy a Cr VI (ill.  $\text{Cr}^{6+}$ ) beépülhet a brownmillerit rácsába aminek bekövetkeztével ez a krómtartalom kioldódhat, ami környezeti kockázatot jelenthet. A mai modern ívkemencés technológiánál azonban minimális a valószínűsége a krómVI megjelenésének, mert a salakhabosítás miatt a kokszpor a kromát kialakuláshoz szükséges oxigén potenciálnál redukívabb környezetet tart fenn a kemencében. A salakban diszpergált nagy mennyiségű kolloid méretű elemi vas és a  $\text{Fe}^{2+}$  az esetlegesen képződő Cr VI-ot még üzem közben redukálja.

Az acélgyártás salakjaihoz nagyon hasonló a cementklinker, ezért a króm szempontjából érdemes összehasonlítani a két anyagtypust, mivel a gyártási különbségeik miatt a bennük található króm is másképpen viselkedik. A cement égetésénél a króm gyakran kromát formájában van jelen. Ennek az az oka, hogy ez az acélgyártásánál jóval oxidatívabb, erősen bázikus közeg, ami nagyon kevés vasat tartalmaz, s ez teljes egészében  $\text{Fe}^{3+}$  formájában van jelen. Így nincs jelen a rendszerben redukáló szer, vagyis a cement brownmillerit tartalmához kötött CrVI a cementnél a legjelentősebb. Ezért újabban  $\text{FeSO}_4$ -ot adagolnak a kész klinker őrleménybe, hogy a betonkeverésnél a vasgálic oldódásakor felszabaduló  $\text{Fe}^{2+}$  redukálhassa a klinker  $\text{CrO}_4^{2-}$  tartalmát (KOVÁCS 2007).

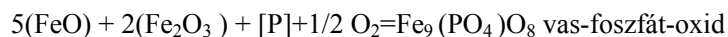
A vizsgálataink szerint az ívkemence salakban a króm kisebbik része szilikát ásványokhoz kötött, mert a Cr III ( $\text{Cr}^{3+}$ ) beépül az alumínium helyére, jelen esetben a melilit ásványba. Ez a szilikát ásvány nehezen oldódó, a mállása igen lassú, több száz évig is tarthat. A mállás során a  $\text{SiO}_2$  egy része is oldatba kerül, ami negatív töltésével vonzza a különféle kationokat. Ezzel tulajdonképpen egy összefüggő CSH (Calcium-Silicate-Hydrates) filmet alkot a salakdarabok felszínén.

Ez az összefoglalóan kalcium-szilikát-hidrát vegyületek alkotta bevonat saját szerkezetébe részben beépíti, részben megköti a különböző nehézfémeket. A salakban lévő Ca-ferritek és a kolloid méretű elemi vas szemcsék mállása során limonitos bevonatok, azaz rozsdafoltok jelennek meg. A limonit, illetve a frissen kialakuló  $\text{FeO}(\text{OH})$  gél nagy felületi töltöttségével szintén jelentékeny nehézfém akkumuláló. A CSH mállásának egyik mellékterméke a  $\text{CaCO}_3$ , ami kalcit-aragonit képződést alakít ki, s ez mintegy szigetelő bevonatot képez. A salakokban található nehézfémek kioldódása, ezáltal jelentősen megnehezül. Ez a mechanizmus még számos, főként kolloidikai vizsgálatot igényel, de az idősebb, több évtizedes salakokon megtalálható bevonatok jelenléte erősíti ennek a feltételezett mechanizmusnak a helyességét. Ez a jelenség a hétesi és az onnan Ceneterbe áthordott idős salakhányók anyagán közvetlenül megfigyelhető.

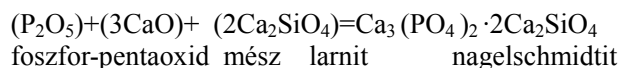
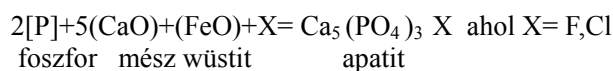
A bázikus, főként redukáló salakokban jellemzően Fe szegény fázisok jelennek meg. A szekunder salakokban a nagy timföldtartalom különböző Ca-aluminátok formájában van jelen, közülük legfontosabb a mayenit. Ezek a fázisok jól kimutathatók az ózdi salakokban is. A salakban lévő szabad periklász és szabad korund reagálhatnak egymással spinellt képezve, ami zárványként benne maradhat az acélban. Az elmondottakat az alábbi egyenletek szemléltetik:



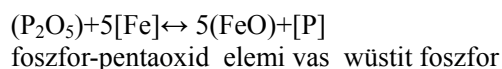
A foszfor jelentékeny részben az acélhulladék bevonatából származhat. Ilyen bevonatok például a cinkfoszfát, a foszforsavval passzivált felületek, a műanyag hulladékok (pl. égésgátlók) stb., de öntvényekből is származhatnak. Az oxidatív bázikus salakok kedveznek a foszfor eltávolításának. Mészmentes, bázikus, tisztán FeO-dús olvadékokban az alábbi feltételezett reakció mehet végbe:



Az eredményként kapott vas-foszfát-oxid fázist kimutattuk az ózdi primer salakban. A foszfortalanítás során adagolt mész hatására a feltételezhetően létrejövő jelentősebb ásvány fázisok az alábbiak szerint képződnek:



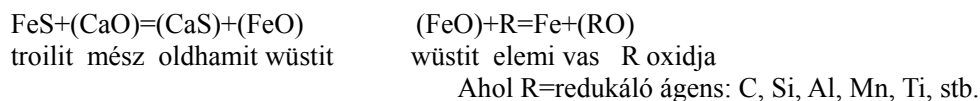
A vizsgálataink szerint a foszfor az OAM salakokban kisebb részben a vasoxidokhoz kötődik, nagyobb részben pedig valószínűen a nagelschmidtitben, esetleg más hasonló kalcium foszfát-kalcium szilikát jellegű komplex vegyületben jelenik meg. Ezek a foszfát fázisok stabilabbak, mintha vasfoszfátot képezne a foszfor-pentaoxid, de ha a hőmérséklet növekszik, akkor a vas vissza is redukálhatja a furdőbe, ahogy az alábbi összefüggés mutatja:



A gyakorlatban ezért a foszfortalanításhoz a kisebb, 1550-1580°C-os furdőhőmérséklet az optimális.

Az OAM leválasztott szállóporaiban általában több foszfor van, mint a salakban, ez valószínűleg a műanyag égésgátlókból, vagy a passzivált acél hulladékokból származhat.

A kikészítés során a mész hatására némi kéntelenítésre is lehet számítani:

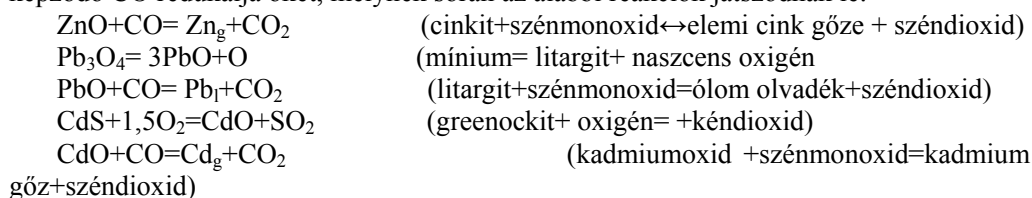


Az oxidatív viszonyok miatt itt a kéntelenítés csak igen gyenge hatásfokú. A hatékony kéntelenítés az üstkemencénél érhető el, ahol redukív bázikus salakot alakítanak ki, mert ezzel nő meg a kén aktivitása a kívánt mértékig.

## 8.2. Egyéb ötvözők és szennyezők reakciói a technológia során

Ebben az alfejezetben olyan elemekről és vegyületekről van szó, amelyek környezetileg kártékonyak, vagy veszélyesek lehetnek, tehát megismerésük ebből a szempontból is fontos. E mellett a fázisátalakulások során gyakran jönnek létre, vagy bomlanak fel ásványokkal analóg vegyületek, amelyek mineralógiai szempontból érdekesek. Az itt megjelenő nehézfémek folyamatai jó egyezést mutatnak a szinesfémek pirometallurgiai feldolgozása során lejátszódó reakciókkal (PÁSZTOR et al. 1990).

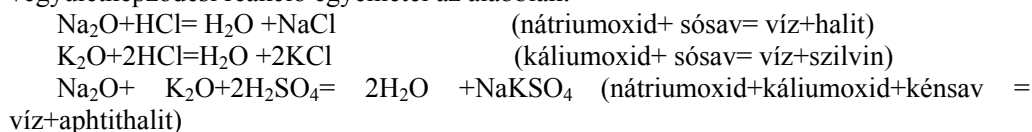
A festett felületeknél legelőször a lakk és egyéb szerves kötőanyagok égnek ki. Később a festék pigmentek (Zn, Pb, Cd stb.) szabaddá válásával a kokszipor és a belőle képződő CO redukálja őket, melynek során az alábbi reakciók játszódnak le:



Ha nagy a betét Pb, Zn, Cd tartalma, illetve, ha a csapolás előtt rövid a kikészítési idő, akkor előfordulhat, hogy ezeknek az elemeknek nincs ideje teljesen eltávozni a rendszerből, és még az acélban is kimutathatók maradnak. Ha 0,03-0,1% -nyi Pb vagy Zn reked meg az acélban, akkor az melegtörékennyé válhat.

A bárium-szulfát 1580°C-ig stabil, majd ezt a hőmérsékletet elérve BaO-ra és SO<sub>2</sub>-ra bomlik, s ezt a reakciót segíti a jelen lévő SiO<sub>2</sub>. Reduktív közegben 744-955°C között a baritot a karbon is redukálja bárium-szulfidá, ami vízdékvény. Ez a szulfid 1200°C felett bomlik, tehát az acélglyártás hőmérsékletén a BaS elbomlik és BaO formájában lesz jelen. A salakban a Ba általában valamilyen szilikátként kötődik meg, legvalószínűbben az melilit csoportként ismert akermanit-gehlenit elegysorba épül be. Önálló ásványt is alkothat az ún. andrémeyerit-et amit szintén a melilit csoportba sorolunk. Az EDS vizsgálataink szerint az OAM salakokban ilyen jellegű Ba-tartalmú kristályos fázis jelenik meg, ami feltehetően stabil vegyület, így a Ba kioldódása minimális. A redukatív salak olvadékokban klór jelenlétében termodinamikailag adottak a BaCl<sub>2</sub> képződésének feltételei, ezért XRD elemzéssel nyomokban kimutatható az ívkemence salakokban (MÁRKUS 2009).

A hulladékkal bevitt alkáliák az acélglyártás hőmérsékletén elpárolognak és a kokszipor, illetve a bekerülő műanyagok (pl. gumi, PVC, teflon) égése során fejlődő SO<sub>2</sub> és a nedvesség miatt kialakuló kénsavgőz, sósavgőz, folyosavgőz a szállópor szennyeződések alkáli fénoxidjainak heterogén fázisú reakciójával különféle alkáli szulfátokat, halogenideket képezhetnek a szállóporban. Ezek a fázisok erősen korrozívak (lásd később). A szállópor szemcséinek felületén lejátszódó fontosabb kolloid léptékű vegyületképződési reakció egyenletei az alábbiak:



Az egyenletekből látható, hogy a szállóporral együtt, azok anyagszemcséire tapadva gyakran fordulnak elő és távoznak a rendszerből különböző sófélék. Ezek jelenléte makro-

és mikroszkópi vizsgálattal jól kimutathatók voltak mintáinkból. A szállóporminták áztatása és bepárlása során képződött precipitátumokban olyan bomlékony vegyületeket is észleltünk (pl. melantherit), amelyek néhány órán, vagy egy-két napon belül tovább bomlottak, vagy színüket megváltoztatva hidratálódtak a levegő páratartalmával reakcióba lépve.

## **9. AZ ACÉLGYÁRTÁSI SALAKOK VIZSGÁLATA ÉS KÖRNYEZETI JELLEMZŐI**

### **9.1. Az ipari salakok általános csoportosítása és jellemzése**

A salakok csoportosíthatók keletkezésük, felhasznált technológiájuk, valamint bázicitás alapján. A keletkezésük alapján három fő csoportba sorolhatók: kohászati salakok, energetikai salakok, valamint egyéb, összeolvadás útján, nem szándékosan megömlesztett anyagok, hulladékok. Utóbbiak közé sorolhatók például a téglagyári hulladékká váló, túlhevítés miatt összeolvadt, habos, hólyagos téglatömbök vagy egyéb szilikátipari hulladékok. Ebbe a csoportba sorolhatók a különféle bázikus szállóportól megömlött samott- és dinas termékek, regenerátor rácstéglák és a különféle salakok egymásra hatásával létrejött újabb és egyedi salaktípusok.

E folyamatok vizsgálatával és ezeknek a magas hőmérsékleten képződő salakoknak, illetve salakszerű melléktermékeknek a hasznosításával, kezelésével, tárolásával illetve semlegesítésével foglalkozó interdiszciplináris tudományterület célszerű lenne összefoglalóan *scoriológia*-nak nevezni. A scorio- görög-latin eredetű szó, jelentése salak, a logia görög kifejezés, ami tudományt jelent. Ez tehát egy összefoglaló, egyértelműsítő elnevezés, gyakorlatilag egy „terminus technicus”. Ez összefogná, szintetizálná a már eddig is létező, látszólag egymástól sokszor elkülönülten működő, különféle diszciplínák felől közelíthető tudományterületi ismereteket. Az azonos objektumot-közeget (salak, salakszerű melléktermékek, pernyék) létrehozó, kezelő, vizsgáló, felhasználó tudományok a teljesség igénye nélkül a bányászat, a geológia és segédtudományai (pl. mineralógia, petrográfia, teleptan, melioráció), energiaipar (szén-, szénhidrogén-, hasadóanyag erőművek, biomassza erőművek), kohászat, fémtan, építőipar, kerámiatan, vegyipar, specifikus iparágak (pl. peturgia) környezetan-környezetvédelem, stb.

Eredményeik szintézisével újabb, iparilag is hasznosítható eredmények szülehetnek (pl. tartósabb tűzálló bélesek). Ez az új tudományterület többek között a hulladékszegény technológiák kialakításához nyújthat hasznos segítséget. Másodsorban e melléktermékek gazdaságos hasznosítása által a természetes erőforrásokkal való takarékosabb gazdálkodást segíti. Ezen kívül jól értékesíthető, profitábilis termékeket képezhet a sok melléktermékkel működő iparágakban. Így például a bányászatban a kiégett szén- és egyéb meddők anyagának hasznosítása, az energiaiparban az erőműi pernyék és salakok kezelése és részbeni hasznosítása, atomerőműi hulladékok kezelése, hatástalanítása, raktározása, a kohászatban a kohászati salakok feldolgozása és részbeni újra hasznosítása stb. Az építőipar főként tereprendezésnél, töltéseknél, rézsüknél, út- és egyéb alapoknál illetve építőipari adalékanyagként hasznosíthatja a salakokat és pernyéket.

A lehetséges kohászati technológiák széles köréből e tanulmánynak elsősorban a vaskohászati salakokkal való foglalkozás az elsődleges célja. A vaskohászati salakokon belül megkülönböztethetünk kohosalakokat, amelyek típusait gyakran a kidolgozó személy, vagy szervet nevével, vagy nevének rövidítésével jelölnék: Bessemer-, Thomas-,

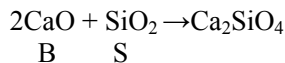
Siemens Martin (SM)-, Linzi-Donawitzi eljárás (LD)-, ívkemence-, és üstkemence stb. salakokat.

A kohászati salakok funkció alapján csoportosíthatók kéntelenítési-, foszfortalanítási- és ötvözési-dezoxidálási- stb. salaktípusokra. Az adaggyártás folyamatának redoxi-viszonyai alapján különbséget tehetünk oxidáló és redukáló salakok között. Figyelembe véve, hogy az adaggyártási folyamat egy, vagy több berendezésben játszódik le, elkülöníthetünk egy- és kétperiódusú salakokat. Az előbbiekhöz tartoznak például a villamos ívkemencék, vagy az egyperiódusú, redukáló üstkemencés eljárások. A kétperiódusú folyamatoknál azonos térben, de különböző időben elkülönülve zajlanak le a folyamatok. Ilyenek például a hagyományos kétsalakos, ívkemencés eljárások, ahol az acélglyártás oxidációs periódusát követően, az oxidos salak lehúzása után, ugyanabban a kemencében zajlik a redukáló fázis is, új redukáló salak képzésével.

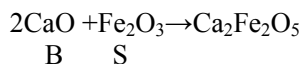
A kohászati salakoknál gyakorlatilag a bázicitás alapján történő csoportosítás a legfontosabb. Ennek alapja a Lux-Flood-féle sav-bázis elmélet, mely a magas hőmérsékleten lejátszódó, nem protolitikus sav-bázis reakciók magyarázatát adja. A salakok ion elméletéhez hasonló, amely szerint a bázisok oxidion ( $O^{2-}$ ) donorok, a savak pedig oxidion ( $O^{2-}$ ) akceptorok (BODONYI & PITTEK 1992).

Acélglyártási salakokban lejátszódó reakciók közül véleményünk szerint az alábbiakban bemutatott reakcióknak van nagy gyakorlati jelentősége.

Szilikátos sav-bázis reakciók, pl.:



Nem szilikátos sav-bázis reakciók, pl.:



*Bázisos oxidok:* MnO, FeO, CaO, MgO,  $K_2O$  stb.

*Savanyú oxidok:*  $P_2O_5$ ,  $SiO_2$ ,  $BO_3$ ,  $Fe_2O_3$  stb.

*Amfoter oxidok:*  $Al_2O_3$ , stb.

A salakok bázicitását tehát a savas és bázisos oxidok aránya határozza meg, így a természetes magmás kőzetekhez hasonlóan megkülönböztethetünk bázikus, neutrális és savanyú salakokat.

A kohászatban leggyakoribb és leglényegesebb fő salakalkotók általában a CaO, a FeO, a  $Fe_2O_3$ , a MnO, az  $Al_2O_3$ , a  $TiO_2$ , a MgO, a  $SiO_2$  és a  $P_2O_5$ . Ugyanezek az alkotók a természetes kőzeteknek is legfontosabb komponensei. A bázikusságot az ún. salakszámmal jellemezzük, aminek többféle számítási módja ismert (FARKAS 1989, SIMON et al. 1980). A két leggyakrabban alkalmazott módszert az alábbiakban mutatjuk be.

a/. A  $B_1$ -es bázikusságot (ismertebb néven „kis faktor”-t), a salak CaO és  $SiO_2$  tömeg %-ának hányadosaként kapjuk, mint dimenzió nélküli számot:  $B_1 = \text{CaO} \% / \text{SiO}_2 \%.$

b/. A  $B_2$ -es bázikusság („nagy faktor”) az előzőhöz hasonlóan számítható, egyes komponensei összegének hányadosaként:  $B_2 = \text{MgO} \% + \text{CaO} \% / \text{SiO}_2 \% + \text{Al}_2\text{O}_3 \%.$

Ha  $B = 1$ , akkor neutrális

Ha  $B < 1$ , akkor savanyú

Ha  $B > 1$ , akkor bázikus

E két, széles körben elterjedt salakszámon kívül más indexeket is alkalmaznak. Nagyobb foszfor tartalom esetén például az  $\text{SiO}_2$ -hoz hozzá adjuk a  $\text{P}_2\text{O}_5$ -ot és ezzel osztjuk el a  $\text{CaO}$  és  $\text{MgO}$  értékek összegét. A fenti salakszámokat többnyire üzemi célra, tájékoztató jelleggel adják meg. A legpontosabban úgy kapható meg a bázikusság, hogy az összes bázisos oxidok százalékos értékének összegét osztjuk az összes savanyú oxidok százalékos értékeinek összegével. Léteznek még egyéb alternatív bázikussági koncepciók is, melyek még nem teljesen elterjedtek, illetve alkalmazhatóságuk csak speciális esetekben lehetséges. Ez utóbbira példa az oxigén parciális nyomását megadó mutatószám ( $p\text{O}$ ), egy másik a karbonát kapacitás, de alkalmazzák az optikai bázikussági mutatót is (MILLS 2011). Az ilyen célú salakszámokkal leginkább kohászati kutatómunkákban találkozhatunk.

Az e tanulmánnyal is bemutatandó scoriológia többnyire mesterséges kőzetekkel foglalkozik, hiszen e termékek antropogén technológiák melléktermékei, de a természetes eredetű kőzetek között is található olyan analógiákat (DRISSEN 2004), amelyeknél hasonló a képződés, megjelenés és szintén nehéz megfelelő jellemzőket, illetve mutatószámokat találni a leírásukhoz. Ilyenek például a tökéletlen részleges olvadáson átesett granitoidok egyes részei, amelyek változatos összetételűek és szemcseméretűek, hibrid jellegűek, továbbá a resztit tartalmuk eltérő minőségű lehet egyazon testen belül a kiindulási kőzet heterogenitásának függvényében. A másik csoport olyan vulkáni és szubvulkáni környezetbe nyomult vulkanitok köre, ahol a víz-kőzet kölcsönhatás, a környezet laza anyagaival történő erőteljes keveredés miatt heterogén szövetű és összetételű, változatos megjelenésű kőzetek jönnek létre, és amelyeknél e miatt igen nehéz pontos jellemzést és megnevezést adni e kőzeteknek (pl metaszomatitok, inhomogén magmakeverékek, peperitek, mikromelangeok).

A legtöbb bázikussági koncepció közös hibája, hogy nem veszi figyelembe a reális viszonyokat, hanem általában egy adott átlagos salakösszetételből indul ki, azaz figyelmen kívül hagyja azt a tényt, hogy a reális salakolvadékok többnyire heterogén fázisok összességei és sokszor szuszpenziók, nem homogén olvadékok. A heterogén fázisok vizsgálatánál a kémiai összetétel alapján a salak bázikusnak tűnik, de nem kéntelenít eléggé, e mellett megnő a falazat kopása. Ezek oka a salak heterogenitása, ami miatt az olvadékfázist többféle összetételű rész alkotja. Ha a mész kevesebb a szükségesnél, illetve a nagyfokú túlégettség miatt lassúbb az oldódása, akkor szintén a falazat kopását idézi elő. Ez a kis reakcióképesség olykor a rossz kiégetettségre, és a rossz minőségű acélhulladékokra vezethető vissza.

A fentieknek az ellenkezője is előfordulhat, ha a salak kémiaiilag ugyan elég savanyú, de elfogadhatóan kéntelenít. Ebben az esetben heterogenitásának, esetleg nagy mennyiségének, és a hosszabb adagidőnek lehet döntő szerepe. Ez a szerep abban nyilvánul meg, hogy egy erősebben bázikus reaktív olvadékfázis és egy nagyobb részarányú savanyú, vagy inert olvadék/szilárd fázis van jelen, ami rendszerint viszkózusabb is. Az összetételen túl a hőmérsékletnek is meghatározó szerepe van a salak-fém reakciók hatékonyságának növelésében, ugyanakkor a salakban megjelenő fázisok milyenségét is befolyásolja.

Ez utóbbi különösen a salakhabosításos, elektrokemencés gyakorlatban meghatározó, ami a különféle szilárd részecskéknek köszönhető. Tulajdonképpen az ásványtani és geokémiai megközelítésnek ezéért jut nélkülözhetetlen szerep a salakok vizsgálatában.

Az olvadékoknak az anyagtranszport folyamatokat meghatározó tulajdonsága a viszkozitás. Ez a fluidumokhoz hasonlóan a belső súrlódás mértékét jelenti. Jele:  $\eta$  mértékegysége a Poise  $1\text{Poise} = 1\text{Pa} \cdot \text{s}$ . A salak viszkozitásának, tehát a salak és a fémfűrdő közötti reakciókban van döntő jelentősége, mivel a híg folyós, kis viszkozitású közegben nagyobb a diffúziós sebesség, vagyis jobb a folyékonyság ( $1/\eta$ ). Ilyenkor tökéletesebb a keveredés, ami megnöveli a salak és a fémfázis fajlagos határfelületét, akár több ezerszeresére is, ami elsősorban mechanikai keveredés útján valósul meg. Ez történik az LD- és az UHP-technológia esetén is. A reakciósebesség növekedése javítja a termelékenységet.

A jobb hatásfok a gyakorlatban általában bázisos salakokkal érhető el, amelyekben a kéntelenítés és foszfortalanítás is nagyobb hatékonysággal zajlik le. A kohászatban a híg salakot „rövid”, a viszkózusabb salakot „hosszú”-nak is nevezik az ellenőrzés céljából olvadékbba mártott vasrúd végére tapadó salak szálhossza alapján. Az oxigénes konverteres acélgégyártásnál a nagy híg folyósságú, reakcióképes salaknak van kulcsszerepe. Az üstmetallurgiai eljárásoknál szintén fontos a salak híg folyóssága, de itt nem oxidáló, hanem redukáló salakot kell képezni.

Az ívkemencés gyakorlatban a közepes viszkozitású salaknak van kitüntetett szerepe, mert ennél a technológiánál manapság világszerte a salakhabosítás az elterjedt üzemi technológia. Itt a kissé viszkózusabb salak előnyös, viszont az anyagátadási folyamatok lassabban játszódnak le közte és a fémfázis között. Szükséges tehát a viszkozitás optimalizálása. A bázikus acélgégyártási salakok viszkozitása  $1600^\circ\text{C}$  közelében, híg folyós salaknál  $\sim 0,002\text{poise}$ , a közepesen folyós salaknál  $\sim 0,02\text{poise}$ , a sűrűn folyós salaknál pedig  $0,2\text{poise}$ . Az előbbieket értelmében üzemileg a  $\sim 0,02\text{poise}$  körüli viszkozitás az ideális.

Az ívkemencés salaknak mérsékelten jó hővezető képességgel is rendelkeznie kell, hogy az ív hőjének minél kisebb része vesszen kárba a salak ohmikus ellenállása miatt. Ehhez FeO jelenlétére van szükség, mivel az ilyen technológiák a felépítéses acélgégyártást alkalmazzák. Az FeO-ban dús salak minden lehetséges kioxidálható ötvözőt-szennyezőt eltávolít a fűrdőből, ami által egy gyakorlatilag tiszta, ideális esetben csaknem karbon- és ötvöző mentes olvadék jön létre, amit csapolás után az üstben karbonizálunk, ötvözünk a kívánt összetétel eléréséig. Így egy túloxidált fűrdőt kapunk, nagy aktív oxigén tartalommal, aminek mennyisége általában  $297\text{-}2100\text{ppm}$  között ingadozik. A kéntelenítésre itt csak mérsékelt lehetőség van a nagy oxigén aktivitás miatt. Adott hőmérsékleten viszont a salak FeO,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , F, PbO stb. tartalmának növekedésével csökken a viszkozitás és nő a folyékonyság ( $1/\eta$ ).

A bázikuság növelése általában növeli a viszkozitást. Ilyenkor a salakban felszaporodó szabad MgO, CaO valamint periklász, kromit, larnit és spinell stb. illetve egyéb, a salakban az acélgégyártás hőmérsékletén ( $1600\text{-}1700^\circ\text{C}$ ) éppen szilárd fázist képző vegyületek részarányának növekedése előnyösen befolyásolja, növeli a viszkozitást (ARH & TECHOVNIK 2007), így fokozza a salak habosodását. A szilárd részecskék hatását az effektív viszkozitással jellemzik, aminek a jele:  $\eta_{\text{eff}}$ . Ennek számítása az alábbiak szerint történik:

$$\eta_{\text{eff}} = \eta(1 - 1,35\theta)^{-5/2}$$

$\theta$  = a szilárd fázis részaránya a salakban  
 $\eta$  = salakviszkozitás szilárd fázis nélkül

A habosodás mértékét az ún. habosítási indexszel szokták jellemezni, amit **FI-** vel (**Foaming Index**) vagy  $\Sigma$ -val jelölnék, ami egy dimenzió nélküli szám. Ideális a habosítás, ha ennek értéke 10-20 közötti. Számítására a legelterjedtebb képlet:

$$\Sigma = 115 \eta / (\gamma \rho)^{0.5} = h_{\text{hab}} / U_{\text{gáz}}$$

jelenti)  $\eta$ =salakviszkózitás (itt az összes viszkózitást

$\gamma$ = a salak felületi feszültsége

$\rho$ =salaksűrűség

$h_{\text{hab}}$ =habvastagság

$U_{\text{gáz}}$ =gázáramlási sebesség a salak felszínén

Újabban már léteznek mérőberendezések, amelyekkel ezt a paramétert közvetlenül lehet mérni. Ehhez mérik a kemence zajsztintjét, vibrációját a kemencepáncélra szerelt szenzorokkal. A beérkező mérési eredményekből egy számítógép kiszámolja a habosítási indexet és szabályozza a salakhabosító karbon befűvésének mértékét. Ez még kísérleti-félüzemi állapotban lévő technológia, de ígéretes, mert ha megbízhatóan működik, akkor vele automatikusan szabályozni lehet a salak habosítását és a salakhabosító kokszpor adagolását (MATSCHULLAT et al. 2008). Az optimalizált salakhabosítással átlagosan 5 perccel csökkenthető az adagidő. Ezzel a módszerrel nagyban lehet növelni a termelékenységet és csökkenteni a villamos áram- és földgázfogyasztást. Ez így áttételesen környezetvédelmileg is egy jelentős haszonnal járó technológia. A jól habosodó optimális salakmennyiséggel csökkenthető a fajlagos salakmennyiség, a kokszporbefűvés miatt nincs meg a Cr VI képződés feltétele, csökken a zajszenyezés, nő a villamos energia hasznosulása. Az elmondottak miatt a környezetbe kikerült ivkemence-, vagy más néven primer salaknak a depónián semmilyen káros környezeti hatása nincs.

## 9.2. Az acélsalakok kén- és foszfor felvétele

Ebben a fejezetben csak vázlatosan foglaljuk össze a két legfontosabb szennyezőnek, a kénnek és a foszfornak a salakokban történő viselkedését. A szakirodalomban ezek részletesen megtalálhatók, sőt a többi elem viselkedésének termodinamikai jellemzésével is számos tanulmány foglalkozik (MILLS 2011).

A kén aktivitása meszes, bázikus közegben megnő, így nagy része a fémfázisból a salakfázisba megy át. A fémfázis és a salakfázis kéntartalma közötti egyensúlyi állapot a hőmérséklet növekedésével a salak kéntartalmát növeli. Az elemek, így köztük a kén és a foszfor aktivitását (effektív koncentrációját) általánosan kifejező összefüggés:

$$a = \gamma c$$

$a$ =aktivitás

$\gamma$ =aktivitási koefficiens

$c$ =koncentráció

Értékét más elemek is befolyásolják, amit éppen az aktivitási koefficiens ( $\gamma$ ) fejez ki. Közismert például, hogy a nyersvas hatékonyabban kénteleníthető az acélnál, mivel a nyersvasban lévő elemek, például a P, Si, Mn, növelik a kén aktivitását. Az elemi állapotú dezoxidáló elemek, a Ca, Si, Al, Mn mennyiségének növelése kedvez az acélok kéntelenítésének. Az üstmetallurgiánál ott jelentkezik ez a hatás, ahol nagy fürdőhőmérséklet és alacsony oxigén aktivitás uralkodik mind a salak-, mind a fémfázis esetében. A tapasztalatok alapján a hatékony kéntelenítés előfeltétele 1600-1620°C közötti fürdőhőmérséklet.

A foszfor viselkedése pontosan ellentétes a kénével, mert ezt az elemet a magas hőmérséklet a fémfázisban tartja, sőt a salakból visszaredukálódhat. A foszfortalanításnak tehát az oxigénben dús, nagy FeO tartalmú, „hidegebb” 1550-1580°C fürdőhőmérséklet a kedvező. Mindkét szennyező eltávolításának alapfeltétele a salak bázikussága.

A salakhabosításos technológia révén ezek a hatások csak mérsékelten valósíthatók meg az üzemi gyakorlatban. Ennek legfőbb oka az optimális habosíthatóság miatti kompromisszum. Ezzel magyarázható a mérsékelt bázikusság és a szerényebb kéntelenítés, foszfortalanítás. Ezeket a hatásokat maximálisan, a lehetséges mértékig ki kell aknázni (STEELUNIVERSITY.ORG 2006).

A salakoknak kulcsszerepük van az acélgyártásban, mert a kéntelenítő és foszfortalanító képességük az adott fizikai és kémiai körülmények között mindig a bekövetkező egyensúlyi állapotig nő. Ilyenkor a salakok telítődnek és már nem tudnak több S-t és P-t felvenni. Ilyenkor a telített salakot le kell futtatni és új salakot kell képezni. Itt is igaz, hogy a többszöri, kis mennyiségű salak alkalmazása a leghatásosabb.

Ez a folyamat művelettanilag tulajdonképpen a folyadék-folyadék extrakciós eljárások közé tartozik. Itt is érvényes a Nernst féle megoszlási törvény:

$$(a_1)/[a_2]=L \qquad (a_1)= A \text{ c komponens aktivitása 1-es fázisban}$$

$$[2]= A \text{ c komponens aktivitása 2-es fázisban}$$

Adott hőmérsékleten a két fázisban található komponensek aktivitásainak hányadosa állandó, amit megoszlási hányadosnak nevezünk, melynek L a jele. Mint látható, az L számos kémiai számításban alkalmazható, illetve nélkülözhetetlen paraméter.

Az azonos hőmérsékletű, különböző összetételű salakok kénfelvevő képességének összehasonlítására az ún. szulfidkapacitás (Cs) alkalmas. Ez a paraméter üstmetallurgiai- és kohosalakok kénfelvevő képességének számítására alkalmazható, ahol a salak feletti gázatmoszférában az oxigén parciális nyomása  $p_{O_2} < 10^{-14}$  (Pa)

Az ívkemencés üzemben ez nem tűnik alkalmazhatónak. Itt hasonló módon a szulfátkapacitás ( $C_{SO_4}$ ) értelmezhető inkább, de nagy FeO tartalom esetén ez is értelmezhetetlen.

$$C_s = \frac{(S\%)(p_o)^{1/2}}{(p_s)^{1/2}} \qquad C_{SO_4} = \frac{(S\%)(p_o)^{1/2}}{(p_s)^{3/2}}$$

szulfidkapacitás                      szulfátkapacitás

$p_s$  = a kén parciális nyomása az olvadék felett

$p_o$  = oxigén parciális nyomása az olvadék felett

S% = a salak kéntartalma

A szulfáthoz hasonló elven számolható az ún. foszfát kapacitás (DIPPENAAR 2004) melynek képlete:

$$C_{PO_4} = (P\%)[O\%]^{-0,25}/[P\%]$$

A szögletes zárójel jelöli a fémfázisban-, a normál zárójel pedig a salakfázisban lévő komponenst. A bázikus oxidos salakok legfontosabb metallurgiai előnye az, hogy nagy fajlagos felületű oxidációs közeget jelentenek (ez a hatás 20-30%-os ferrum tartalomnál a legjelentősebb). Hátránya a nagyobb salakhányóra kerülő leégési- és fizikai vasvesztés, a rosszabb kihozatal. A salakhabosításnál a mérsékelt bázikusság miatt mérsékelt foszfortalanításra van csak lehetőség. Ezt salakcserével lehet növelni, de erre nincs elég idő.

Általában, végszükség esetén nagy foszfortartalmaknál alkalmazzák a salakcserét. Sajnos ez is elhúzhatja az adagidőt 10-30 perccel, ami egy jelenlegi 55-60 perces adagtartamnál igen sok, különösen, ha minden adagnál van némi csúszás. Ezzel jelentősen leromolhat a termelékenység. Tapasztalataink szerint a hulladék minősége tehát nagyban befolyásolja a termelékenységet is.

### **9.3. Kohászati salakok, technológiai hulladékok és az üzemi szennyvíz kezelése**

#### *9.3.1. Az Európában alkalmazott salakkezelési módszerek áttekintése*

Az ebben az alfejezetben bemutatásra kerülő salakkezelési módszerek **(9/1. ábra)** megismerésére azért van szükség, mert ezektől, függ, hogy a számunkra leginkább fontos hulladékcsoport milyen méretű, szerkezetű, megjelenésű és összetételű formában válik részévé a környezetnek, ahol deponálják.

A primersalakok kezelésére még sok helyen – így Ózdon is – az olvadék állapotú salak speciális edényben történő gyűjtését alkalmazzák. Ennél a klasszikus technológiánál egy falazatlan acélöntvény edénybe (salakfazék) gyűjtik a salakolvadékot és a megtelt salaküstöt vasúton egy adott térségbe szállítják, ahol tartalmát kiöntik.

Világszerte ma már az ilyen kisebb volumenű üzemeknél speciális gumikerekes salakfazék szállító céljárművek vannak üzemben. Ilyen például a sokfelé használt KAMAG típusú salakszállító jármű. Az ilyen jármű a szemetes konténerszállító tehergépkocsinhoz hasonlóan a salaktárhoz tolatva kampós emelő szerkezetével pakolja fel a salakfazekat a rakterét képző befogó szerkezetbe. Ezzel a rakománnyal az adott üzem közvetlen közelében található salakárokhoz tolat, ahol beönti annak tartalmát.

Ez logisztikailag rugalmas megoldás, mert nincs pályához kötve. A Meitingeni anyavállalatnál is ilyen járművek vannak üzemben. Ózdon ezzel szemben vasúton történik a salakszállítás, mert a Környezetvédelmi Főfelügyelőség egyedül az Aicher Beton Kft salakfogadó állomását tartja biztonságosnak, ami kizárólag vasúton közelíthető meg. A továbbiakban erről a technológiáról lesz szó.

A hagyományos salaküstös szállítás és kezelés mellett kezd kialakulni a salakok ún. granulálása, amelynek során az olvadékot valamilyen módszerrel hirtelen lehűtik, ami által az szétesik apró szilárd részecskékre, s így már jól kezelhetővé válik.

Napjainkra számos alternatív granulálási technológia alakult ki, ami olcsóbb, hatékonyabb és az onnan kikerülő termék jól értékesíthető. A kihűlt salak szerkezete nagyban meghatározza a feldolgozhatóságot is. Makroszkópikus megjelenése, szerkezete jelentősen függ kezelésének módjától. A kemencéből kiömlő habos salak nedves granulálása során megszilárdul, de habos szerkezete megmarad. A gyors hűlés miatt a salak túlhűl és üvegesen dermed. Ezért az így nyert anyag igen törékeny és könnyen szétesik néhány mm-es szemcsékre. Ez a további feldolgozást nagyban megkönnyíti, mert a törés energiaigényének döntő része megtakarítható. Erre többféle üzemen belüli ún. in situ, és üzemen kívüli „ex situ” technológia létezik.

Németországban a salakgranulálásban a száraz léggranulálás (MERKEL et al. 2006) és nedves granulálás egyaránt jelen van, és általában salakfazékból, üzemen kívül, ex situ módon történik. Az in situ módszerek közé sorolható az ún. CLEAN-BED® eljárás, ahol egy cserélhető salakzúzalék ágyazati réteggel ellátott tálcára csapolják a salakot, miközben vizet permeteznek rá. Az így megdermedt salak már könnyen kezelhető (MÁRKUS 2011). A savanyított javított térfogatállású salak már jól hasznosítható az útpépítésben (MÁRKUS & GREGA 2006)

Olaszországban alkalmazzák az ún. SLAG-REC<sup>®</sup> technológiát (ROBERTI 2009). Ennek a módszernek a lényege, hogy a salakfazék tartalmát egy egymással szemben forgó, léghűtéses, sima hengerpár közé öntik ahol a salak először egy gyenge ventilátoros léghűtésen megy keresztül, majd a dermedésnek indult salak egy rázó asztalra kerül, amit vízzel intenzíven hűtenek. A rázóasztalról lekerülő salaktörmelék egy gumiszalagos szállítószalagra jut, amin mágneses szeparátor van elhelyezve a salakban lévő kisebb acélcseppek visszanyerése céljából. A berendezés a jelenlegi konstrukcióban nem működött kielégítően, mivel a kemencéből kiömlő salak sugármagyságát üzem közben nem lehetett kielégítő módon szabályozni. A kísérletek jelenleg szünetelnek, de még nem kerültek le a napirendről. A további próbálkozásoknál egy közbelső üst funkciójú tároló, pufferoló eszközre mindenképpen szükség lesz. Ha sikerülne megvalósítani az üzemszerű granulálást, azzal jelentős költségmegtakarítást tudna elérni az OAM.

A granulálás környezetvédelmi szempontból is előnyös, mert az üveges salakfázisokban megkötött nehézfémek rosszabbul oldódnak ki, mint a kristályos fázishoz kötöttek.

A granulálással a jelenleg alkalmazott klasszikus salakfazekas salakgyűjtést és vasúti szállítást, ill. kezelést ki lehetne váltani, amely egy költséges eljárás. Ezen kívül logisztikailag problémás a salakfazék mozgatása, mert lefoglalja az ívkemencét kiszolgáló adagoló darut.

### 9.3.2. A jelenleg Ózdon alkalmazott salakkezelési technológia

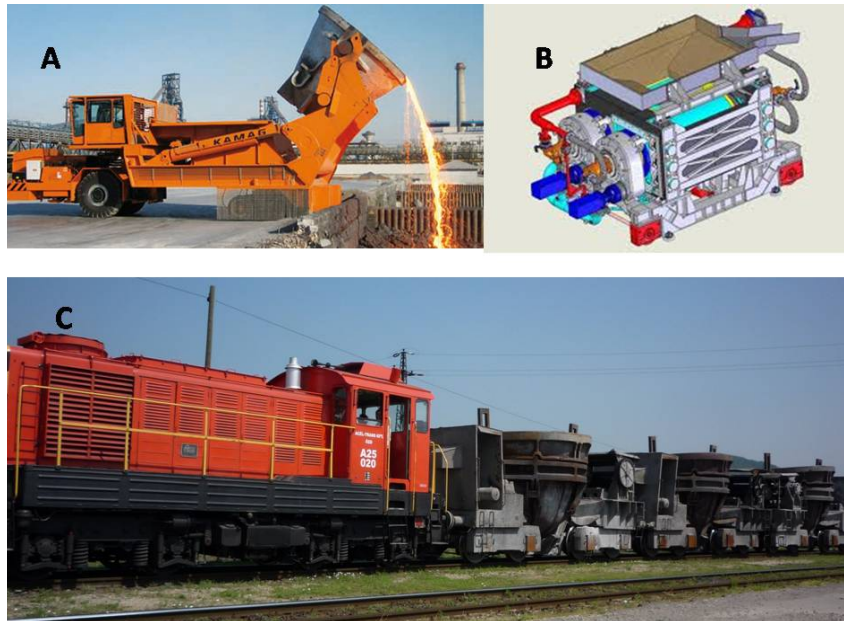
A jelenlegi ózdi salakforgalom vizsgálatánál rendszeres megfigyeléseket végeztünk figyelve a képződési folyamatot, az ennek során felmerülő technikai problémákat és elemeztük a gazdaságos megoldást lehetővé tevő salakkezelési módokat. A depóniára kerülő szállítmányok mintázása és elemzése mellett számításokat végeztünk a salakkal hányóra kerülő acélveszteség mennyiségére vonatkozóan, valamint vizsgáltuk ennek részleges visszanyerési lehetőségeit.

A primer salak fajlagos mennyisége átlagosan 120-130kg/t acél. Alkalmanként apró hulladéknál a leégési veszteség felmehet akár 250kg/t-ra is, de ez nagyon ritka. A salak leengedésekor a salakkal kevés salakhabosító kerülhet a salaktálba, ami kigázosodik és ez a folyamat a salak acéltartalmát alig érezhetően növelheti. Ennek a gázosodásnak a hatása abban nyilvánul meg, hogy a salakfazékba ömlő, keveredő salakban lévő kevés kokszt még enyhén redukáló hatású. A salaktálban jellemzően egy nagyon enyhe direkt redukció megy végbe CO gázfejlődéssel, ami megkeveri a salakolvadékot és mintegy kiflotálja a lebegő acélcseppeket, ami hasznos, de ennek a folyamatnak leginkább csak anyagvizsgálati szempontból van módszertani jelentősége (lásd később).

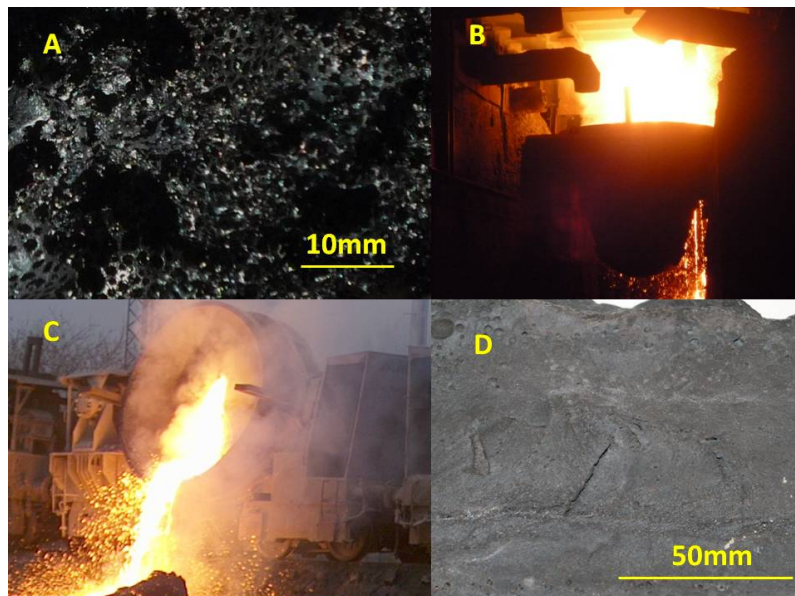
A salak lefuttatása során a kiömlő, látszólag nagy mennyiségű (térfogatú) habos salak ténylegesen nem annyira sok, mint amennyinek tűnik (**9/2. ábra**). A lecsapolt salak valódi térfogata annak gáztartalmától, viszkozitásától, felületi feszültségétől és hőmérsékletétől függően akár a duplája is lehet az elméletileg várható gázmentes salakolvadék térfogatához képest. A későbbiekben a salaktálban az állás, szállítás és kigázosodás során a habos szerkezet összeesik és olvadékká válik. Ebből már érthető, hogy látszólag pazarlónak tűnően miért csak félig van megtöltve egy ilyen salaktál.

Alkalmanként kb. 50-200 kg sódert is adagolnak a kiömlő salaksugárba, ezzel nő a térfogatállóság. Manapság a mésztakarékosság miatt eleve kissé savanyúbb a salak, ezért jelenleg nem szükséges külön savanyítani (MÁRKUS 2009).

Egy ilyen salakos edény maximális kapacitása 35t, de a már említett habzás miatt csak 10-15t-át engednek bele. Az olvadék a 11m<sup>3</sup>-es salakfazékban összetéltől és



9/1. ábra Salakkezelési eljárások nemzetközi áttekintése. A/. kép (www.kamag.com): Kamag típusú önjáró salaküst szállító jármű. B/.kép (www.slagrec.eu): SLAGREC<sup>®</sup> típusú száraz salakgranuláló berendezés 3D rajza. C/. kép: hagyományos vasúti salaküst szállítás Ózdon az OAM Kft-nél.



9/2. ábra A primer salak kezelése és megjelenése. A/. kép: optimálisan habosított ivkemence salak töretének likacsos felszíne. B/. kép: a salak gyűjtése a munkatér (ívkemence pódium) alatt sínen mozgatható salakfazékba. C/. kép: a megtelt salaküstöket speciális vasúti szerelvényeken szállítják le olvadt állapotban a Centeri Salakfeldolgozó Mű salakárákhoz, ahol leürítik. D/. kép: a salakárokba szétterülő salakláva töretén látszanak a befagyott mozgáspályák.

hőmérséklettől függően 3-4 óra alatt, teljes térfogatában akár meg is dermedhet. A salakmeredvény ürítése és így az 5-11m<sup>3</sup>-nyi monolit tömb aprítása jóval körülményesebb és költségesebb. Az olvadékként történő kezelés hatékonyabb, ezért időben el kell azt szállítani. A salakot egy speciális salakfazék szállítására rendszeresített vasúti szerelvény erre tervezett tartó szerkezetébe fogják be. A fazekat e szerkezet buktatásával ürítik. A salak ürítésére a már előbb említett Aicher-Beton Kft. ózd-centeri telephelyén üzemeltetett salakfogadó állomáson kerül sor. Ez az üzem még 1984-ben a régi vasgyár kohó- és martinsalakjának, valamint szénsalakjainak feldolgozására létesült. A salakárok teljesen szigetelt és a csurgalékvizeket egy drén rendszer gyűjti össze és forgatja vissza a monitorok táplálására.

Jelenleg Ózdon csak az egykori martin salak árok üzemel, illetve a Center I. és a Center II. Törő- és Osztályozómű mágneses szeparátorral felszerelt salakfeldolgozó berendezéseivel. Az Aicher Beton Kft. a salak zúzásán, osztályozásán és értékesítésén túl foglalkozik frissbeton, valamint különféle beton elemek (falazóblokkok, térburkoló kövek) gyártásával is.

A salakkezelési technológia abból áll, hogy a beérkező salakos kocsit a salakárokknál a megfelelő helyre beállítják, rögzítik és egy háromfázisú dugaszoló csatlakozóval ellátott kábelen keresztül 380 V-os ipari áramot kapcsolnak a szerelvény buktató szerkezetére. Ezt a szerkezetet az ott lévő villanymotor oldalra megdönti, majd elfordítja a befogott fazekat, amiktől annak tartalma az árokba ömlik. A kihűlt salakot visszatermelik. A visszatermelt salakot feladják előbb a Center I. törő/aprító/osztályozó berendezésre, majd onnan tovább haladva a termelvény a Center II törő/osztályozó műre kerül, ahol a kívánt szemcseméretre törik. A törés és aprítás közben elektromágneses szeparátorok kinyerik a salak fémes vastartalmát, amit értékesítenek.

Az üstben a salakolvadék általában két fő fázisra válik szét. Az anyag kb. 75-80%-át kitevő olvadékra, ami lávaként terül el az árokban, illetve a maradék salakkéregre, amely gyakran egyéb, fémikus acélban gazdag, korallszerű differenciátumot is tartalmaz. Ez a kéreg sokszor problémát jelent a salaktól tisztításánál, mert gyakran beletapad és locsolással, illetve légalapáccsal kell kiszedni belőle, ami többlet költséget és időt jelent. A két (három) salakfázis szerkezete, összetétele kissé különbözik. Ez az összetételbeli különbség a későbbiekben lehetővé teszi a szelektív hasznosításukat. Jelenleg egységesen zúzalékként értékesítik őket. A hosszú ideig pihentetett salakok néhány kutató szerint alkalmasak beton adaléknak nagy szilárdságuk és kopásállóságukból kifolyólag is mivel a káros duzzadási folyamatok már lezajlottak bennük (PELLEGRINO & GADDO 2009)

A kemencében salak-fém emulzió jön létre, ebből a közepes viszkozitású salakból a reakció végeztével, nem mindig tud tökéletesen kiüledni az összes acél, így a salak leengedésekor a ferrum egy része is vele távozik a rendszerből. Az üzemi megfigyelések szerint a salakban ily módon megrekedt acél mennyisége a salak tömegének átlag 20% -át teszi ki. Megközelítőleg tehát egy átlagos 9t-nyi összes salakmennyiség esetében ez adagonként ~1,8t-nyi acélvesztést jelent. Vizsgálataink szerint ez 17 %-nak adódott, ami közel van az előbbi értékhez. Ehhez 1,53t acél tartozik. A habosító direkt redukciója is kb. 1%-kal megnövelheti az elemi vas mennyiségét, ezért a salakban diszpergáltan maradó 20%-os fémtartalom reális lehet. Egy átlagosan 75t fémes betét hányadnál a salakkal mechanikusan történő vasvesztés 1,8-2,7%, illetve ez kerekítve 2-3% között ingadozhat. Ez a fém mennyiség nagyobb részt a salakolvadék szállítása közben ülepszik ki.

A kiüledett fémek a visszamaradt salakkéregben és a korallszerű differenciátumban dúsulnak. Tulajdonképpen ebben a maradék kb. 21-25%-ban dúsul döntően az a bizonyos 20%-nyi fémes vas, ami a salak leengedésekor távozik el. Mivel a salakmennyiség és

minőség erősen ingadozik, ezért nem követünk el nagy hibát, ha átlagosan kerek 2 tonnával számolunk. Ezzel tulajdonképpen 30 adagonként elvész 1 adagnyi acél, ami nem tűnik soknak.

### 9.3.3. A szekunder salakok kezelése

A szekunder salakok kezelése világszerte nagy probléma, mert általában önporlóak, ezért nehezen kezelhetőek, de jóval bázikusabbak, mint a kohósalakok. Az esetleges visszajárthatóságukat nehezíti a nagy, olykor 1-2 %-nyi kéntartalom. Egyes kutatók építőanyagként is ajánlják (Setian et al 2008). Olaszországban bízatos kísérletek folynak az üstkemence salakporoknak, mint salakhabosító anyagoknak az ívkemencébe történő befúvatására. A vizsgálatok szerint az ily módon képzett salakhab jóval stabilabb, mintha kokszept használnának. A hőszigetelő és zajcsökkentő képessége is jobb.

Ózdon az üstkemencesalak (szekunder salak) képződés 1990-92 között indult, kezdetben hétesben rakták, le majd 8 év szünet után az új miniacélmű működésével összhangban ismét képződik, s most Centerben kerül deponálásra.

A szekunder salak kezelése a FAM-nál kezdődik (9/3. ábra), mert az adag leöntése után az üstben visszatartott, többnyire olvadt salakot az üst döntésével beöntik a szekundersalak táliba. Egy tál a salakmennyiségtől függően 1-1,5 műszak alatt telik meg, ami kb. 21t mennyiséget jelent. Ha erősen bázikus, akkor a tálban kihűlve azonnal elporlad, amitől növekszik a térfogata. Amint megtelik a salakfazék, daruval kiemelik a tartókeretből az ívkemence elé, ahol a salaküstöt szállító vasúti kocsi már várja. Innen a salakfazék kezelése megegyezik a primer salakéval.

Az acélműn belüli szekunder salakfazék mozgatás szintén logisztikailag problémás, mert a technológiai folyamatokkal ellenirányba kell mozgatni, ami lefoglalja az ívkemence darut, mert csak az képes felemelni a salakfazekat. Az alternatív salakgyűjtés könnyen kivitelezhető, de folyamatos termelésnél nagyon hamar megtelik és bonyolult lenne kiüríteni. A probléma megoldható lenne egy kivontatható salakteknőt tartalmazó berendezés beüzemelésével. A fejlett ipari országokban ezt a már említett KAMAG típusú, vagy más hasonló konstrukciójú salakszállító járművel oldják meg. Az üstös szekundersalak-szállítás kiváltásával hely szabadulna fel.

A vasúton Centerbe érkező anyagnál az elmondottakhoz képest annyi a különbség, hogy ez már teljes anyagában szilárd, illetve por, olykor a mélyebb rétegekben még vannak vörösen izzó részek. A darabos, el nem porladt tömbök a már említett larnit módosulat változása miatt túlnyomórészt elporladnak, ha kevés a Mg és Mn tartalmuk. Ez a poros anyag nehezen kezelhető és a szélerózióra igen érzékeny, ezért ettől vízpermettel védik, mert a nedvesség hatására az átázott kéreg betonszerűen megköt.

A depónia felszínén a locsolt, karbonizálódott, kemény réteg idővel repedezik, duzzad, miáltal a leszivárgó csapadékvíz és a levegő széndioxid tartalmának hatására a mélyebb rétegek is megkötnek. Ez a későbbiekben nehezítheti a kitermelést. A szekunder salak deponálása ráfizetéses, mert a mozgatása, kezelése, jelentős üzemanyag-, bér- és amortizációs gépköltséggel jár. A jövőben az EU-s és hazai környezetvédelmi előírások szigorodása miatt előbb-utóbb számítani kell majd valamilyen deponálási, környezetterhelési díj megfizetésére is. A költségek és szigorítások miatt a jövőben már az is sikernek számíthat a salakkezelés- és hasznosítás terén, ha e tevékenységet legalább nullszaldósra sikerül kihozni. Ha valamilyen innovatív hasznosítási lehetőség is kialakulna, akkor a salak is egy értékes termék lehetne, ahogy napjainkban ilyennek számít a granulált kohósalak, mint cementipari segédanyag (O'ROURKE et al.2008).

Vizsgálataink szerint a depóniára került új szekunder salakpor frissen nedvesítve látszólag elég szilárdan megköt, de rázatáskor megfolyósodik. Ez a jelenség az anyag tixotrópiájára utal, ami előnyösen kihasználható lehetne. Korábbi véleményekkel ellentétben a nedvesített por megkötése vibrációval gátolható, késleltethető. Ez az újszerű felismerésünk lehetőséget nyújtana e salaktípus nedves állapotban történő kezelésére (pl. zagy állapotban történő szállítás, más anyaggal keverés, töltésbe történő beépítés.). A zagyként kezelt salakpor alkalmas lehet például beépített, lakott területek földalatti üregeinek tömedékelésére, beszakadásra hajlamos pincék, bányavágatok belterének kitöltésére, így kármegelőzésre. E hasznosítások gyakorlati kutatására e munka keretében már nem nyílt lehetőség.

Vizsgálataink szerint a szekunder salak alkalmas lehet szelektív hasznosításra is. Egy egyszerű 1mm lyukátmérőjű szitálással két fő frakcióra lehet bontani, egy finomabb por frakcióra és egy mm-feletti darabos frakcióra. Az utóbbi számos még hasznosítható komponenset tartalmaz: acélcseppek, lepények, fel nem oldódott ötvözők (FeSi, FeMn), tűzállók (pl. MgO, a salak 1mm-1cm frakciójában 75% a magnézia. Ezek az értékes komponensek a salakösszetételtől függően feldúsulhatnak a szitálás során akár több tíz százalékos nagyságrendben is. Ami a legnagyobb előny, hogy a salak nem igényel energiaigényes törést, csupán egyszerű rostálást.

Kísérleteink szerint a szekunder salakpor egyszerűen, 15%-nyi víz hozzáadásával jól pelletezhető, ami azután a 28 napos pihentetés során jelentősen felkeményedik. Ez a pellet már alkalmas útépitésre is, igaz nem térfogatálló. Egyéves kitéti kísérlet során bebizonyosodott, hogy a pelletek egy kisebb részénél apró kipattogzások történtek, ami a lassan megoltódó mész és periklász térfogati növekedésére vezethető vissza. Kis kén tartalom esetében ez az anyag felhasználható lehet az üstmetallurgiánál, mint szintetikus salak. Előtte érdemes kiégetni, ami kéncsökkenítő hatású.

Az ózdi körülmények között – legalább részlegesen – érdemes a salakport az ívkemencébe járatni pneumatikusan. A drága, messziről hozott mész egy részét ki lehetne váltani vele. A legnagyobb előnye az erős, 1,5-1,8 közötti bázikuság és a 1400-1500 °C közötti likvidusz hőmérséklete. Ezek következtében a finom salakpor nagyon könnyen és gyorsan oldódik a salakban és a nagy bázikusága miatt jól pufferol. Ennek, valamint a salak MgO tartalmának köszönhetően a falazat nem lesz védtelen a mész feloldódásáig. Hátránya, hogy kissé megnőhet a kén tartalom, bár a salakhabosító kokszporban is kb. ugyanannyi kén található. Ezt a kérdést átgondolva optimalizálni kell, mert ha az égetett mész felhasználását ezáltal, néhány tíz százalékkal csökkenteni lehetne, az már jelentős önköltségsökkenítő tényező volna. Ezáltal redukálódna a javítóanyag felhasználás, amiköltségmegtakarítást jelent.

A szekunder salakhasznosítás tehát még egy kiforratlan terület, ami számos, ma még nem ismert üzemgazdasági előnnyel járhat. Újabban eredményesnek tűnő kísérletek zajlanak a szekunder salak visszajáratásával kapcsolatban. Jelenleg a zsákolt, a szabadban pihentetett salakokat adagolják be az ívkemencébe még az adaggyártás elején, a hulladékadagolás előtt. Ennek mennyisége ~1,5t/adag. Az eddigi eredmények azt mutatják, hogy ez hatékony, mert így a beolvadt hulladékhoz tapadt talaj, zománc stb., valamint a foszfor megkötődik ebben a bázikus salakban és lefuttatásra kerül a salakfazékba. Ezután már elég kevesebb égetett meszet adagolni. Ennek a mésznek már kifejezetten csak az oxidációs termékeket kell megkötnie és a kén.

Ezzel a módszerrel érzékelhetően lecsökkent a magas karbon-, foszfor- és kén tartalmú beolvadások száma. Nőtt a termelékenység, ellenben valószínűleg a fajlagos energiafelhasználást kissé megemelheti. Az égetett mész magas előállítási és szállítási

költsége mellett ennek a salaknak ilyen kisebb részarányban történő adagolása indokolt esetben gazdaságossá teheti ezt a tevékenységet. E mellett eltűnik, egy újabban ismét veszélyes hulladékká visszaminősített ipari hulladék, ami plusz haszon. Ennek az anyagnak a megfelelő osztályozásával, darabosításával ezt a visszajáratást optimalizálni lehetne.

A magyar gyakorlattól eltérően Németországban a szekundersalak nem minősül veszélyes hulladéknak. Az ózdi üzem meitingeni anyavállalatánál a Lech Stahlwerkénél például a szekunder salakot kihűlés után vízzel telt medencében pihentetik, majd a pihentetés után őrlik, és meliorációs célra értékesítik, mint tápmeszet. A nagy mésztartalom miatt savanyú talajok javítására alkalmas (LOCH – NOSTICZIUS 1992). Jelentős, könnyen mobilizálható makroelemeket (Mn, S, P, Si stb.) és mikroelemeket (Zn, V, B, Cu stb.) tartalmaz, így műtrágyaszerű hatása van. A mésszel szemben az az előnye, hogy a szilikátásványok a mészhez képest lassabban, de a talajásványokhoz képest gyorsabban mállanak. Ezáltal retard hatású műtrágyának is felfoghatók, mivel a kiszórt anyag több év alatt lassan, fokozatosan válik szabaddá és felvehetővé a növények számára. E hatások tisztázására érdemes lenne mezőgazdasági tartam kísérleteket végezni.

A németországi gyakorlat mutatja, hogy a szekundersalakok hasznosítása lehetséges és működik. Szerintünk alternatív lehetőséget jelenthet bizonyos trágyalevek salak őrleménnyel való kezelése, ahol a trágyalé nitrifikációs folyamatai oldják és tárják fel a hasznosuló tápelemeket, ahogy a növények számára már közvetlenül felvehető szerves komplexekké alakulnak. Ebben az irányban is érdemes lenne hazai kísérleteket végeznünk, amire Ózd környete kitűnően alkalmas lenne.

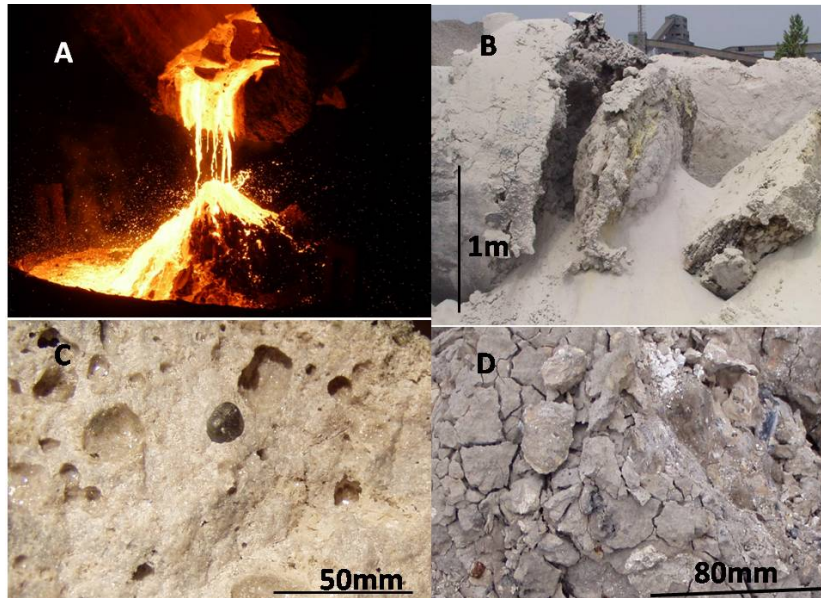
A felsorolt, lehetséges alternatív salakhasznosítási eljárásokat összegyűjtve és egy projekt keretében kísérletekkel megerősítve olyan melléküzemág lenne kifejleszhető az a ózdi acélműre és a salakhányókra alapozva amely reális közelségbe hozná számos alkalmazás megvalósítását innovatív beruházásoktól tenne lehetővé a körzetben és kitűnő munkahelyteremtő lehetőséget teremtene, az e téren hátrányos település számára. Mindez a települési önkormányzat és az acélmű vezetése és egy e célra létrehozott kutató csoport, helyi állami és EU-s pályázati segítséggel rövid időn belül sikerre vihetné. A FAM salakok és hulladékokat a technológiai hulladékokkal együtt kezelik (9/4. ábra).

#### 9.3.4. A hengerreve és kezelése

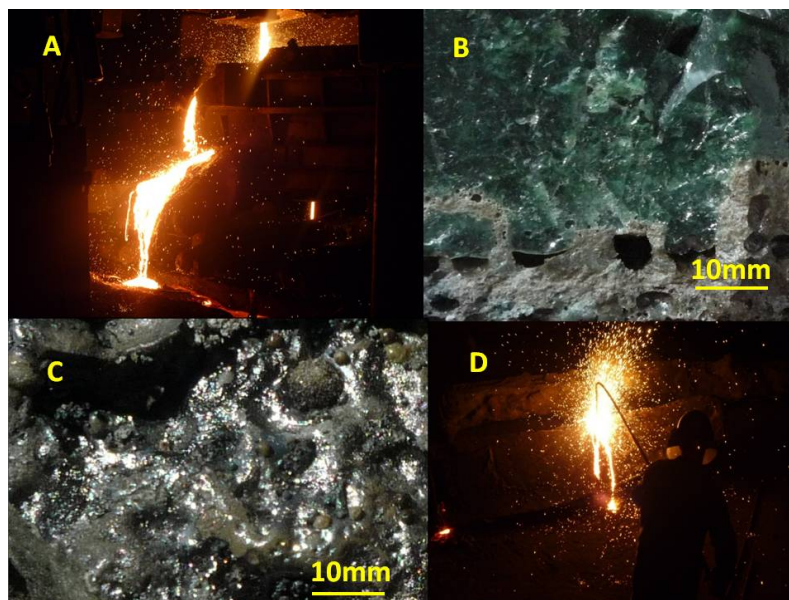
A reve az acélgártás során a folyamatos öntéstől kezdődően több ízben képződik, mint jellemző salak jellegű hulladék. Tárgyalását ez indokolja. Az izzó acél levegővel érintkező felülete lassan oxidálódik. Az e közben képződő és a felületről leváló apró vasoxid pikkelyeket nevezük revének. Ezek anyaga 98-99%-ban különböző oxidfokozatú vasoxid  $FeO$ ,  $Fe_3O_4$ ,  $Fe_2O_3$ , alkalmanként akár még 1-2% fémes vasat is tartalmazhat, 1-2%-nyi samott törmelékkel együtt. Az ózdi üzemben alapvetően kétféle reve termelődik, a száraz- és az olajos reve.

A száraz reve mennyiségileg sokkal kevesebb, leginkább a FAM-nál, illetve a hengerműi hűtőpadon képződik. Jellemzője, hogy pikkelyes szerkezetű, vöröses szürke színű és főként hematitből épül fel. A tolokemencében a buga izzítása, majd esetleges, hosszú ideig tartó hőntartása során nagy táblákká összeállva is képződhet.

Az olajos reve az összes revének kb. 95%-a, ennek is két fajtáját ismerjük, a finom- és a durva revét. Ezek hengerlés közben jönnek létre és a hengerolaj miatt válnak olajosakká, a hűtés miatt pedig vizessé. Az olajos reve az ún. revékútban gyűlik össze, ahová a hengesor és a FAM szekunder vízkörének kifolyó vizeiből mosódik be. A finom reve szemcsemérete mm-körűli, az olajtartalomtól függően krém-, illetve gesztenyepüré állagú



9/3. ábra Az üstkemence salak kezelése és megjelenése. A/. kép: az öntés végén az acélüstben visszatartott, olvadt, szekunder salak kiöntése a salakfazékba. B/. kép: a salaktálban megdermedt szekunder salaktömb önporladása a centeri salakárokban. C/.kép: bomlatlan, darabos szekunder salak töreti képe. D/. kép: 8 éve megszilárdult porladt duzzadásnak indult szekunder salak jellegzetes repedezése.



9/4. ábra A FAM melléktermékek és kezelésük. A/. kép: a salak leengedése teknőbe a közbenső üstből. B/. kép: a leengedett salak törete, amely savanyú, a mangántól zöld színű, üveges szerkezetű, kevés sárgásbarna kristályos alkotóval. C/. kép: a salakteknőben kondenzálódó repceolaj gőz pirolízisével képződött grafitos film. D/.kép: a visszamaradt acélmeredvények oxigénes darabolása melynek vágási felületén wüstites-magnetites összetételű salakömlődék képződik.

anyag, olykor még 10% olajtartalommal. A durva reve pedig mm-től a cm-ig terjedő méretű apró pikkelyek halmaza.

Hat évvel ezelőtt még külön kezelték a finom revét, amit a Shell cég vásárolt fel, hogy kinyerje belőle az olajat. A durva revét pedig elvitte a Borsodi Ércelőkészítő Mű (egykori BÉM Zrt.) és az általa gyártott vasérc zsurorítvány vastartalmának beállításához használta fel. Napjainkban egy osztrák tulajdonú, Kazincbarcikán működő vas-klorid gyártó cég vásárolja meg az összes revét, tehát ennek a kvázi salakféleségnek a hasznosítása a leginkább megoldott és a legnagyobb múltra visszatekintő.

A száraz revéből időnként célszerű lenne zsákolva néhány tonnányit félretenni, ami házi felhasználásra kerülhet túlvözezés esetén. Ez azt jelenti, hogy ha egy adag valamilyen okból (pl. mérleg meghibásodás miatt) elsősorban Si, Al, tartalom szempontjából az üstnél túl van ötvözve, akkor ilyen zsákol, ismert összetételű reve adagolásával ezek a kívánt értékekre csökkenthetőek le. Ózdon egyszer már sor került ilyen beavatkozásra. Ezáltal elkerülhető az adag ívkemencébe való visszaöntése, ami logisztikailag bonyolult és felborítja a gyártás programját, azaz veszteséget okoz. Egy ilyen félretett, zsákolt revapor készlet összeállítása költséghatékony, mert alkalmazása nem igényel külön adagoló berendezést (pl. oxigénlándzsát).

### 9.3.5. Technológiai hulladékok és hasznosításuk

Az ide tartozó hulladékok a kohászatban nélkülözhetetlen tűzálló anyagok, amelyeket viszonylag kis mennyiségben hosszútávon rendszeresen amortizál a gyártási folyamat, így anyagaik a salakokkal együtt kezelendő hulladékként részét képezik a másodlagosan hasznosítandó melléktermékeknek. Ismeretük a környezeti hatások miatt fontos.

A technológiai hulladékok közül a legnagyobb mennyiségű a kemence- és üstbontási téglá, ill. a tűzálló beton hulladék. Ezek a hulladékok főleg közúton, vagy kisebb részben vasúton kerülnek Centerbe, a salakfeldolgozó műbe. Eddig egyedül a magnézia karbon téglá került időszakosan visszajáratásra. Megőrölve adagolták a kemencébe, hogy csökkenjen a falazat kopása. Ez egy jó hasznosítási terület, ismét alkalmazni kellene.

A különféle Zr oxid tartalmú tűzálló anyagok szelektív gyűjtése szintén célszerű lenne, mert ez értékes, speciális anyag. A különféle samott jellegű tűzállók egy része visszajárátható lehetne a samott iparba is, valamint az enyhén csorbult egész téglák értékesíthetőek lehetnének a lakosság számára tömegkályha- és cserépkályha építőknél. A nagy timföldtartalmú tűzálló anyagok salakfolyósításra szintén felhasználhatók, ami gazdasági haszonnal járna. A korábban alkalmazott környezetileg veszélyes azbeszt felhasználását ma már tiltják. Ilyen anyagokkal a salakhányókon nem találkoztunk, mivel ezek eleve nagyon kis mennyiségben kerültek felhasználásra.

Az acélműben könnyű hőszigetelőként többfelé alkalmaznak osztrák Alstyria márkanévű alumínium szilikát anyagú, üvegyapot megjelenésű, tűzálló paplant. Ennek rostjai a hagyományos üveg- és kőzetgyapothoz hasonlóan, nem bizonyítottan a rákkeltőek lehetnek. A 70% körüli alumíniumoxid tartalmukból és nagy fajlagos felületükből következően hatékony salakfolyósítók lehetnének, ami házon belüli felhasználásukat szinte teljesen megoldaná. Ezzel kapcsolatos javaslatainkat a közeljövőben mutatjuk be az acélmű illetékes vezetőinek. Jelenleg kismennyiségben kerül ki elhasználódott állapotban az üzemből, de ezt az anyagot speciális módon, a vagonakakarítási hulladékkal együtt kommunális hulladékként Sajókázára szállítva az új regionális hulladéklerakóban tárolják az EU-s előírásoknak megfelelő körülmények között. A különféle gyártásközi acélhulladékok, öntési meredvények (9/4. ábra) medvék, bugavégek és hengerműi darabolási hulladékok újrahasznosítása házon belül gyakorlatilag teljesen megoldott. Az

elmondottak alapján ebben a témakörben számottevő környezeti probléma nincs, s az újrahasznosítások terén kedvező perspektívákat tudunk felmutatni.

#### *9.3.6. Az ipari szennyvizek kezelése*

Az OAM Kft-nek két nagy ipari vízköre van, az acélműi- és a hengerműi. Az acélműi víz jellemzően lágy, amit két axiál ventilátoros hűtőtoronnyal hűtenek le. Ez a víz szennyeződéseket nem tartalmaz, ellenben a nyílt rendszer miatt egy idő után oldott anyagokban betöményedik, azaz keményebb lesz. A hengerműi rendszerrel 4 axiál ventilátoros hűtőtorony üzemel, itt főként homokszűrővel mechanikusan tisztított sajtóvizet használnak fel. Ez utóbbi nyíltvízkör a hengerállványok és a hengerelt ér hűtésére szolgál. A FAM primer hűtése is a hengerműi nyíltvízkörre kapcsolódik. A tolokemence hűtése lágyvízzel történik. A FAM-ról lejövő víz egy aknába, az ún. revékútba ömlik, ahol a szekunder hűtőzónából ide mosódik be a reve. Innen a víz tovább megy a hengerműi revékútba, ahol a hengersorról lejövő revét fogják fel. Szivattyúk segítségével bekerül az ülepitő medencébe ahol IRONGUARD nevű detergenssel leválasztják az olajat. Az olajtalanított víz így mehet vissza a vízrendszerbe, vagy a Kajlapatakba, mint befogadóba.

A jelenleg kitűnően működő üzemi vízellátó rendszer semmilyen környezeti veszélyt nem jelent a szűkebb és tágabb környezetére. A gyár területéről sem felszínen sem felszín alatt nem juthat ki élővízzel semmilyen toxikus vagy egyéb veszélyes vízzöldékony anyag. A környezetvédelmi felügyelet által is rendszeresen végeztetett és ellenőrzött vízvizsgálatok igazolják a veszélymentes üzemet.

## **10. AZ OAM SALAKOK MINT MESTERSÉGES KÖZETEK ÁSVÁNYTANA-GEOKÉMIÁJA**

### **10.1. A primer (ívkemence) salakok anyagvizsgálata**

#### *10.1.1. A primer salakok makro- és mikroszkópi jellemző*

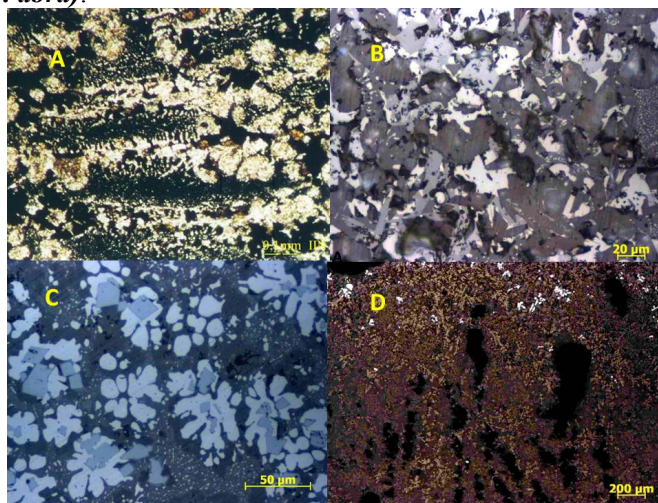
A tipikus acélgégyártási vasoxidos primer salakok felhalmozása 2000-ben kezdődött az ózd-centeri salakfeldolgozó telephelyén. Ezzel a salaktípussal a régebben deponált gyári salakok közül a Martin-salakok mutatnak legtöbb hasonlóságot. A salakokból gyűjtött típusos mintákból készítettünk természetes felszínű, tört felületű példányokat, valamint polírozott feleületeket a közettani leíráshoz.

A frissen kihűlt primer salakok makroszkópi megjelenésére jellemző, hogy többnyire sötétszürkék, feketék, de néha vörösesbarna színűek is lehetnek. A depónián megfigyelhető beinduló mállás és felületi oxidáció következményeként színük néhány év alatt kéesszürkévé változott. A Martin salak analógiái alapján várható, hogy színük a szemcsefelületeken idővel -a fokozatos elemkioldódás miatt- fakófehérré változik. A nyers törési felületeken főként mattok, de néhol, a vasoxidban dús részekben fémfényűek. Sűrűségük rendszerint nagy, 3,5-5,7g/cm<sup>3</sup> körül ingadozik a vasoxid és az elemi vastartalom függvényében. A kopással szembeni ellenállásuk jó, ezért útépitéshez világszerte ajánlják. A savanyúsággal együtt csökken a sűrűségük, nő a fajhőjük.

Az OAM-os primer salakolvadékokra jellemző, hogy 1-20mm vastagságban szétterülve üvegesen hülnek ki, az igen gyors hűlésű részek lehetnek üvegfényűek is. A vastagabb rétegek és az üstben maradt tapadványok kristályosan dermednek meg, és ez teszi ki a salakok kb. 90%-át. A salaklávában az összetétel függvényében lehetnek üveges

fázisok, de jóval kisebb részarányban, a maradék 10%-ában, ami főként a szétfolyt salak gyorsabban hűlt fémoxidszegény széleire jellemző.

Szövetükben a fémoxidok közetmikroszkópi vékonycsiszolatban opak mezőket alkotnak, a szövet kisebb részében pedig átetsző mátrixba ágyazott kettőstörő ásványok találhatóak (10/1. ábra).



10/1. ábra A primer salakból készült közetmikroszkópi vékonycsiszolat (A kép) és ércmikroszkópi felületi csiszolat (B, C, D) jellemző szöveti felvételei. A/. kép: a II Nikol állásnál készült felvételen a fémes (vasoxidos) részek opak megjelenésűek. Általában ebben a salakfajtában a vasoxid tartalom elérheti a 25-30%-ot is. A sötét mezőkben nehezen elkülöníthető apró szemcsék formájában magnetit és wüstit is előfordul. A világos mezők orientált elrendeződése a még folyékony salakban lejátszódott gravitativ differenciáció következménye. Bennük sziget- és csoportoszilikát ásványok találhatóak. A vörösesbarnán áttetsző foltok a különféle kalcium ferrit szemcséi. B/. kép: a salakláva legtopegesebb részének fémmikroszkópi metszetén jól elkülönülnek a vasoxidos és a nem fémes fázisok (utóbbiak sötétek). C/. kép: a salakkorallban látható jellegzetesen csoportosuló foltok a fáziselkülönülés közben, nyugvó állapotban alakulnak ki. Belsejükben magnetit-kromit elegykristályok képeznek kristálycsírát, s ezek köré válik ki a vasoxid (wüstit), majd körülöttük és közöttük a ferrit és végül a szilikátok. D/. kép: salakkéreg jellegzetes dendrites, porózus, kissé irányított szövege figyelhető meg.

Tapasztalataink szerint az oxidos acélgyártási salakok vizsgálatára – a fémoxid szemcsék nagy mennyiségi aránya miatt- a fémmikroszkóp nélkülözhetetlen eszköz. Ezzel vizsgáltuk a salakláva, a salakkorall és a salakkéreg szövetszerkezetét. Ezek felületi metszetén megfelelő nagyításnál válik láthatóvá, hogy e szabad szemmel kompaktnak tűnő felszínek is tele vannak apró hólyagüregekkel, tehát mikroszkópi léptékben változó mértékben mikroporózusak. Az ásványos alkotói között fémmikroszkópi optikai jellemzők alapján 3 komponenst lehet elkülöníteni, a fehér wüstitet, a szürke ferritet és egy sötétszürke színű, szilikátos (larnitos-gehlenites) fázist, melyek jelenlétét elektronmikroszkopos felvételekkel is igazoltuk.

#### 10.1.2. Az ózdi primer salakok vegyi jellege, elem- és ásványos összetétele.

Ózdon az ívkemencében az optimális foszfortalanítás elérése céljából bázikus salakot képeznek B1= 1,5-2,5 közötti bázikusságra törekedve. A vizsgált salakmintáink

mérsékelt bázikusak, mert bázicitásuk átlagosan  $B_1=1,67$ , ami látszólag megnyutató, de a másik képlettel számolva már csak  $B_2= 1,07$ . Ez utóbbi már alacsony, ami főleg a kohósalakokra jellemző és elméletileg kiegyenlített összetétel feltételez (FARKAS 1989), de ez a salak mégis savanyúnak tűnik, ami láthatóvá válik az ívkemence falazat kopása alapján is. Ezért a gyakorlatban a  $B_2$ -es számítási módszer tűnik reálisnak, tehát nem mindegy, hogy melyik képlet szerint számoljuk a bázikusságot, mert a  $B_1$  bázikusság a nem tükrözi a valóságot, nagyobb  $B_2$ -nél. A gyakorlatban  $B_1$ -et alkalmazzák, de a salak agresszivitása miatt reálisabb a  $B_2$ -es számítási módszer. A 132638-as számú adag kezdetének és végének, valamint a salakrészekből gyűjtött mintáknak a számított  $B_1$  és  $B_2$  bázicitási értéke és átlaga (saját mintáink alapján) az alábbi:

	132638. adag beolv. vége		Láva			Kéreg			Korall			átlag
	1	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
$B_1$	1,51	1,79	1,31	1,68	0,98	0,97	1,20	1,15	1,12	1,07	1,11	<b>1,67</b>
$B_2$	1,17	1,5	1,03	1,21	0,82	0,80	0,99	0,93	0,95	0,88	0,91	<b>1,07</b>

A fenti mintákból készült elemösszetételelemzés adatainak átlaganem minden esetben fedti az egyes egyedi minták elemösszetételei arányait, mivel az átlag egy viszonylag nagyszórású mintasorozatból számolt érték. Ez abból adódik, hogy a salakolvadék gyakorlatilag egy heterogén, több fázisú rendszer, sőt az egyes adagokból kikerülő salakok összetételében is lehetnek kisebb–nagyobb eltérések. Az összetételben – egy komponenst kivéve, ami az elemi vas – nem lehet szisztematikus különbséget megfigyelni a mintáink között.

A primer salakok átlagos főelem összetételéhez (*10/1. táblázat*) szándékosan számoltuk bele az elemi vasat, hogy reálisabb képet kapjunk a rendszerről. A bázicitást bemutató táblázat alapján jól kivehető a már említett vaskorall nagy fémes ferrum tartalma, ami hígítja a P és S mennyiségét, ezáltal ideális betétanyag lehetne a nagyolvasztóknál, mint önjáró fémesített zsugorítmány. Ezt viszont megnehezítheti a szennyező/ötvöző elemtartalom. Ennek biztos eldöntéséhez szükség van a salak nyomelem tartalmának ismeretére is. A fémek kéntartalmát nem vizsgáltuk külön, de az átlagos viszonyokat ismerve feltételezhetően 0,05-0,07 %-nál nem lehet nagyobb.

A salakok nyomelem tartalmából (*10/2. táblázat*) az látható, hogy a salaknak a fémdús részében dúsul a Cu, Ni, Co, Sn, Mo, s ezek maradé elemek lévén a fémfázisban maradnak vissza. Ez azt jelenti, hogy a salak maradék ferrum tartalma finom eloszlású, hintett, kolloid közeli méretű diszperzen szóródott fémcseppecskékhez lehet kötve. Feltűnő, hogy a Ni teljesen ki van ülepedve az olvadékból, nincs kimutatható mennyiségben jelen. A tisztán sűrűség alapján történő ülepedésnek köszönhető mind a korall, mind a kéreg nagyobb Cr, Pb és Zn tartalma. A Ba és a Sr a salaklávában és a kéregben dúsul leginkább. Az acélban nem vizsgáltuk, de a salaknál mértük a Se-t, ami nagy valószínűséggel a bevonatoknál tárgyalt kadmium vörös, illetve kadmium narancs festékekből származhat, de mint az eredményekből látható, a kadmium szinte az összes mintából eltűnt, nem mérhető, kivéve egy korall mintánkat.

A fémdús salaknak a nagyolvasztóba kerülő betétként való felhasználását a jelentős ötvöző elem tartalma korlátozza, viszont import vasécekkal keverve, felhígítva alkalmazhatók. Jelen gazdasági környezetben ez a fémes szeparátum értékes, mert a ferrum tartalom ugyan alacsonyabb, mint az érceknél, de a fémtartalom jelentős része elemi állapotban van, bázikus, e mellett mangánt tartalmaz, tehát részlegesen kocsz, mészkő és mangánérc takarítható meg vele. Helyi szinten ideális kiindulási alapanyag

lehet további feldolgozáshoz és fém kinyeréshez is, mivel a törés és osztályozás energiaigénye kisebb, mintha az egész vegyes salakárokából visszatermelt anyagot adnánk fel szeparáláshoz. A jelenlegi, kissé savanyúbb salaknál csak a fémvisszanyerés lehet az optimális kohászati hasznosítási mód.

Racionálisan helyi szinten megérné visszajáratni ezeket a kinyert acélcseppeket, ha szelektíven lehetne kezelni a salakféléseket. A már említett ellátásbiztonság szempontjából ez nagyon előnyös lenne, nincs többletköltség vonzata, mivel az egész salakkezelési technológia arról szólna, hogy a salakláva ürítése után a salaküstöt arrébb vontatva ütnék ki belőle a kérget a korallal együtt. Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy a salakárokban a primer salak fogadó részét két részre választanák, egy olvadt salakürítési- és egy kéregürítési zónára.

A leengedett salakok bázikusságát és összetételét kisebb mértékben még a szállítás közbeni differenciálódás is módosíthatja. A salak differenciálódását megfigyeléseink szerint nagyban elősegíti a lefuttatás során a salakkal távozó habosító kokszipor is.

Ez a habosító koks minden bizonnyal kissé módosítja a salakfázisban hűlő olvadék összetételét, mert a direkt redukció kissé csökkentheti a salak  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  tartalmát, ezzel együtt növelheti az  $\text{FeO}$ , az elemi ferrum részarányát és a kéntartalmat. A koksztartalom pedig csökkenti a salak bázikusságát. A salakra engedett vízzel mérséklük a habzást, de a víz okozta bomlás miatt valószínűleg kissé növekedhet az  $\text{FeO}$  és  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  tartalom.

Az elmondottakból következik, hogy a pontos üzemi salakvizsgálat érdekében csak a kemencéből, illetve a kiömlő salaksugárból vett salakpróbák értelmezhetők jól, mivel mentesek a gyors átalakulások okozta változásoktól. A környezetvédelmi és salakhasznosítási célú vizsgálatoknál a salakfázisból, de leginkább ennek ürítése során a salakárokban vett próbák az ideálisak.

Bár nem vizsgáltuk, de feltételezhető, hogy a kétféle salakpróba összetétele között néhány %-os eltérés lehet. Az eltérés oka, hogy alkalmanként a salaktálba csapolás közben a salakhoz savanyítási céllal sódert adagolhatnak. Ennek mennyisége 50-200kg lehet (MÁRKUS 2011). A kvarcdús sóderrel elméletileg nő a térfogatállóság és csökken a nehézfémek oldhatósága. Ha az adagonként átlag 9-10t salakot vesszük alapul, akkor kiderül, hogy ez a 0,05-0,2t sóder nem jelentős mennyiség. Adagolását azért tartották szükségesnek, mert a bázikus salakok hajlamosak a meszes-magnéziumos szétesésre, amit a szabadmész és a magnézia hidratációja okozott. Ezt az eljárást ma már ritkán alkalmazzák, mivel a mai savanyúbb salakoknál a hatását nem lehet pontosan definiálni.

Véleményünk szerint a primer és szekunder salakok ásvány-közettanilag a természetben előforduló kontakt metamorf ún. mészkő-szkarnokhoz hasonlítanak, azon belül leginkább a mészkő-bazalt kontaktusok metasomatizált anyagához. Ez utóbbiakra jó példákat találhatunk a dunántúli bazalt tanúhegyek egyes szegélyein (MARINCEA & BILAL 2001; KÓNYA 2009), amelyekkel összevetve a salakjaink természetben is előforduló anyagokhoz sok hasonlóságot mutató mesterséges kőzeteknek tekinthetők.

Salakmintáink a műtermékek közül a cement klinkerekhez (TALABÉR 1966) állnak közel. Ezt bizonyítják egyes irodalmi források (MATSCEI et al 2007) illetve a mintáinkon különböző módszerekkel (DTA, XRD, SEM/EDS) kimutatott ásványfázisok: a  $\text{CaO}$ , a larnit, hatrurit, srebrodolskit, brownmillerit, gehlenit stb., illetve másodlagos ásványai a tobermorit, xonotlit, ettringit, thaumasit és karbonátok. Néhány összetevő arra utal, hogy a salakjaink bizonyos rokonságot mutatnak a cementtel és a betonnal.

Hasonló megfontolások alapján a németek a salakokat „industriellgesteine”-nek, azaz ipari kőzeteknek nevezik (DRISSEN 2004). A tájékozatlanabb környezetvédők és laikusok a megfelelő ismeret hiánya miatt sokszor a olyan anyagokat tartanak mesterségesnek,

szintetikusnak, környezetileg veszélyesnek, amelyek ipari eredetűek bár, de analógok egyes természetben előforduló kőzetekkel.

A természetben gyakoriak az elemeloszlás területi anomáliái, amelyek az elemgyakoriság földi átlagaihoz viszonyítva, vagy egy regionális geokémiai térkép hasonló adataival összevetve mutathatók ki (FÖLDVÁRINÉ 1975; GRASSELLY 1993; ÓDOR et al. 1995; GREENWOOD & EARNSHAW 1997). Az alapvető kérdés valójában az, hogy milyen formában van jelen az adott komponens, azaz mennyire vízdékony, mennyi idő alatt oldódik ki, van-e valamilyen csapda mechanizmust a környezetben, vagy magában az anyagban, ami gátolja/lassítja az adott nehézfém kioldódását a képződményből (salakból, földtani közegből).

Az előbbi fejezetben szó volt róla, hogy a salak a salakfazékban három fő fázisra választható szét szállítás közben. A röntgen vizsgálataink alapján a salak fázis főként larnitból, gehlenitből, wüstitből, brownmilleritből, illetve magnetitből és elemi ferrumból áll, amit irodalmi források is hasonlóan mutattak ki (BRADŠKAJA et al. 2004). A salakok elemösszetételét bemutató első két oszlopában a 132668-as adag beolvadási és kikészítési fázisból vett próbáinak adatai szerepelnek, amivel érzékeltetni szeretnénk volna azt, hogy az adaggyártásnál hogyan változik a salak kémiai-, és XRD fázisösszetétele.

Az adatok tanulsága szerint nagyon jelentős kémiai összetételbeli különbségek nincsenek, kivéve a vasoxid tartalmat és a bázikusit. A trend szerint a salak kissé savanyúbb, mint majd az adaggyártás végénél lesz, illetve a beolvadás során a magnetit tartalom teljesen wüstit alakul. Az is érzékelhető, hogy a kikészítés során az adag a bázicitás növelése érdekében még kaphatott néhány mázsa meszet, ami a későbbiekben az ásványos összetételben is megjelent. Az elemi vastartalomban a habzás és keveredés miatt jelentős ugrás észlelhető.

A beolvadásnál az ásványos fázisok változásában a trendek szerint kissé savanyúbb neutrális, illetve gyengén bázikus salakképződést segítő fázisok vannak jelen (**10/2. ábra**). Vizsgálataink szerint a szilikátok közül itt érdekes módon nyomokban a szigeteszilikátokhoz tartozó grosszular gránát is megjelenik. Ez az ásvány a természetben leginkább a mészkőbe benyomuló magma kontaktizációjával jön létre (SZAKÁLL 2001), ezért tisztázandó, hogy esetünkben mi váltja ki a képződését, ami a kontaktusokon nagy nyomáson, de 1000°C alatti hőmérsékleten játszódik le. A kemencében az elektromos ív közelében 6000-7000 °C uralkodik, ami nagyon eltér az említett értéktől. A cement klinkereknél is kimutattak hasonló fázisokat (TALABÉR 1966), tehát a gyártási folyamatokban is előfordulhatnak természetközeli körülmények és képződmények.

A fémforgács jellemzésénél említettük, hogy vízvágási iszapok, homokfűvási homokok is tartalmazhatnak gránáthomokot, tehát ilyen módon is keveredhetnek az acélhulladék közé. Nagy valószínűséggel éppen egy ilyen hulladék elegy kerülhetett ez esetben beadagolásra.

A másik szilikát fázis a dikalcium-szilikát a larnit, melynek hűlése során térfogatnövekedés következik be, de ezt mérsékli a Mg és Ba tartalom növekedése. A larnit térfogatváltozása során az anyag gyakran repedezik, ilyenkor romlik a térfogatállósága. A larnit nedvesség hatására különféle kalcium szilikát hidrátokká bomlik (pl. tobermorit, xonotlit, jasmundit, hillebrandit), valamint sok amorfszerű, ma még részben ismeretlen mikroásvány képződhet, amelyeket összefoglalóan C-S-H (kalcium-szilikát-hidrát) fázisnak neveznek (TALABÉR 1966). Ezek leginkább termikusan (DTA-val) vizsgálhatók, mivel nagyobb részük röntgenamorf. Vízhátnak kitett környezetben fokozatosan kimállanak, ami növeli a salakkő porozitását, de csökkentheti az anyag

nyomószilárdságát. A beolvadási salakok tartalmaznak magnetitet és wüstitet is, melyek túlnyomóan a hulladék leégéséből származnak.

Az adag gyártása közben végbemenő fázisátalakulást jól érzékelteti a kb. 20-25 perccel később, a kikészítés végén vett salakpróba fázisösszetétele, mert jól kivethetők benne a növekvő bázikusság következményei (**10/3. ábra**). Rendszerint a szabad mész is megjelenik portlanditként, ami valószínűleg a nem megfelelő mintatárolás miatti hidratálódás következménye. A larnit itt is kimutatható, valószínű, hogy a mész és a larnit, a salak lassú hűlése során széteső instabil trikálcium- szilikát bomlástermékei. Ez a szétesés csak igen gyors hűtéssel kerülhető el, ami a salak granulálásánál meg is valósul. Ha a hatruritba magnézium, a szilikát helyére pedig 1,5% körüli részarányban  $Al_2O_3$  és  $Fe_2O_3$  épül be, akkor még szobahőmérsékleten is bomlatlan maradhat (TAYLOR 1997).

A fentiek alapján az ipari gyakorlatban a cementgyártásnál a klinker gyorshűtésének óriási hatása van a cement kötőképességére, mivel a cementben ez a fő hatóanyag. A többi fázisnál szembeötlő a magnetit átalakulása dikalcium-ferrit (srebrodolskitté), illetve a gránát meszes – magnetites reakciójaként kalcium-aluminát-ferrit, azaz brownmillerit, illetve további larnit is képződhetett. Bázikus acélglyártásnál – ideális esetben – az ívkemence oxidáló periódusában áll elő ez a reakciósor.

A brownmillerit szerkezet hasonló a perovszkit  $CaTiO_3$  szerkezetéhez, sőt a  $Fe_2O_3$  és  $Al_2O_3$  helyére  $TiO_2$  is beépülhet, ami által egy perovszkit-brownmillerit elegykristály jöhet létre. Amikor a salakláva XRD felvételén megjelenik a perovszkit, minden bizonnyal elegykristállyal állunk szemben.

Az előbbieken említett srebrodolskit, brownmillerit és általában a különféle kalcium-ferritek, nedves környezetben szintén instabilak, lassan mállanak és feloldódnak (SÖVEGJÁRTÓ 1969). A bomlástermékük kalcit/aragonit, valamint limonit.

A százéves ózdi martinsalakokon ezek a folyamatok látványosan végbe mentek már. Azt is megvizsgáltuk, hogy a salak differenciációja során az ásványfázisoknál van-e valamilyen különbség az ásványfajok között. E vizsgálathoz a két fő salak-differenciátumot mintáztuk, a salaklávát és a kérget. A salakláva esetében hasonló az alapfázis, mint az előbbi kettőben, leszámítva, hogy itt már a larnit mellett savanyúbb közeget jelző, stabilabb csoportszilikátok (gehlenit, akermanit) is jelen vannak. E két ásvány korlátlanul elegyedik szilárdoldatot alkotva, de érdekességük, hogy  $1380^\circ C$  körüli minimum olvadáspont alakul ki 73%-körüli gehlenit tartalomnál. E furcsa binér rendszer ún. minimumos görbével írható le (MENDYLAEV et al. 2006).

A salakkéreg annyiban különbözik a lávától, hogy itt az elemi vastól a wüstiten át a magnetitig jelen vannak a vasoxid ásványok, illetve a srebrodolskit és egy mangántartalmú spinell, ami valószínűleg spinell-galaxit keverékkristály lehet. Nincs mérhető mennyiségű larnit, illetve nyomokban kalcit mutatható ki (**10/4. ábra**). Ez a kalcit a salak szabad mésztartalmából származhat, ami viszont az égetett mész fel nem oldódott részéből eredhet. A salakláváról a 2. fejezetben említett kétféle XRD készülékkel is készültek röntgen felvételek (**10/5. ábra**), hogy összehasonlítható legyen a kétféle mérőmódszer. Az eredmények alapján kijelenthető, hogy ha ásványfajok szempontjából vizsgáljuk a rendszert, akkor nagyon sok különbség van a két módszer között. Ha viszont kristályszerkezetileg minősítjük az anyagot, akkor nagy hasonlóságot fedezhetünk fel. A gehlenit és a wüstit mind a két felvételen jól azonosítható. A ME Anyagtudományi Intézetében készült felvételen előfordul a hausmannit és a perovszkit is.

Az ME Ásvány- és Kőzettan Tanszék műszerének salakfelvételén megjelenik a magnetit és a Srebrodolskit, ami jól érzékelteti azt a tényt, hogy a különféle idegen atomok beépülése a kristályszerkezetbe a rácsparamétereket torzíja. Ha ez még párosul a röntgen

sugárforrások különbözőségével és gyengébb felbontásával, akkor a mért intenzitásokból kapott fázisösszetételek kissé eltérhetnek a valóságtól. A fő fázisoknál mégis jól adják a kristályszerkezeteket, mert a magnetit és a hausmannit is spinell szerkezetű, előbbi inverz, utóbbi torzult szerkezeti formában.

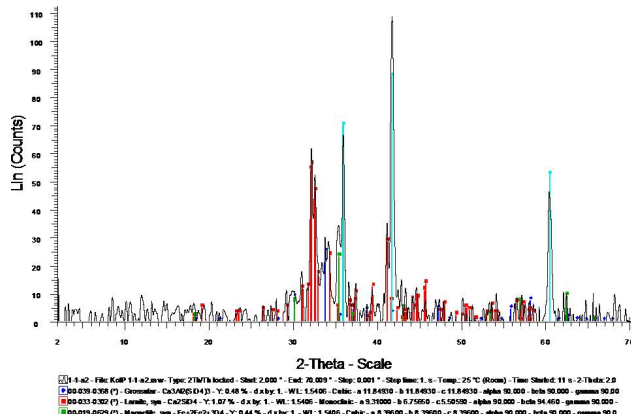
A srebrodolskit perovszkit szerkezetű és hajlamos az elegyedésre, tehát a perovszkit szerkezet itt bizonyosan srebrodolskit – brownmillerit elegyedést takar. Némi eltérés még így is lehet, mert a kalcium titán-aluminát ásvány monoklin, míg a másik felvételen megjelenő hibonit-5H kalcium-aluminát hexagonális rendszerben kristályosodik. Ennél az esetről a két műszer sugárforrásainak és a röntgensugár felbontó képességének különbözősége is szerepet játszhat. A larnit a kobaltcsöves műszer felvételén nem jelenik meg jól kiértékelhetően, illetve kis intenzitással jelenik meg számos bizonytalanul azonosítható egyéb fázis mellett. A larnit a Cu - röntgensöves műszernél megjelenik, viszont itt nem mutatható ki a wüstitbe beépülő foszfát, ami nagyon kis mennyiségben lehet jelen, s jóformán még EDS-el is alig mérhető, viszont ez a nagyon kevés foszfát az FeO rácsában XRD-vel jól mérhető beépülést hoz létre (**10/6. ábra**), de ezt csak nagy rendszámú fémből készült röntgensövel lehet kimutatni, mint amilyen esetünkben a Co. A kis mennyiségű foszfát a köbös wüstitbe beépülve és vele új fázist képezve rombos szerkezetűvé torzíja azt. Az ilyen vasoxid-foszfát jellegű fázisok az oxidos acélglyártási salakokból már régóta ismertek, tehát ez a komponens is bizonyítottan jelen van.

A primer salakok vagy a még nagyobb vastartalmú salakok vizsgálatánál célszerű a Co, Cr, vagy más nagyobb rendszámú elemről készült antikatóddal ellátott XRD csövet alkalmazni. Az ideális vizsgálat tehát az lenne, ha mind a két módszerrel, azaz Cu és Co vagy Cr antikatódos röntgensövel vizsgálhatnánk minden salakmintát, s így sokkal több információt szerezhetnénk róluk. A begyűjtött háromféle salakdifferenciátumunkról SEM/EDS felvételeket és mikroszkopos elemzéseket készítettünk az elemi és az ásványos összetétel pontosítása céljából.

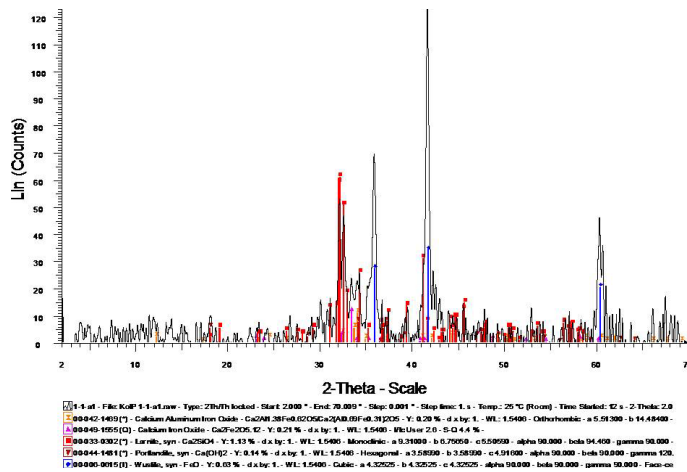
Az eredmények szerint a **salakláva** esetében az ásványi összetevők túlnyomórészt wüstitnek bizonyultak, de mellette jelentős Mn- és kevés Mg tartalom is megjelenik (**10/7. ábra**). A kis mennyiségű króm kromit jelenlétére utal, ami kristálycsíráként az olvadékban már eredetileg is szilárd alkotóként van jelen. Ismert tény, hogy a króm Cr II –ként a wüstitbe is beépülhet (DRISSEN 2006).

A ferrites komponensek kalcium aluminát összetételűek. Egyikük (3- as fázis) közel ideális brownmilleritnek bizonyult, némi Ti tartalommal, ami azt mutatja, hogy ez egy perovszkit-brownmillerit elegyedés kezdeti tagja lehet. Az 5-ös fázis viszont aluminátban dúsabb, ami a mayenithez áll közel. A salakok SEM/EDS vizsgálata szerint a P jelentősen dúsul az 5. fázisban, s ez minden bizonnyal a nagelschmidtit és/vagy szilikocarnotit megjelenését jelzi. A negyedik elegyrész dikalcium-szilikát, azaz larnit. Ennek egyedisége, hogy 1,45 % vasat is tartalmaz. Ez megfelel annak a trendnek, amely egyes források szerint (pl. TAYLOR 1997) a vas Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> -ként be tud épülni maximum 2%-os részarányban az SiO<sub>2</sub> helyére az Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-dal együtt. Emellett itt is megfigyelhető a foszfor megjelenése, ami nagy valószínűséggel szintén nagelschmidtit lesz. Apró báriumdús szemcsék is kimutathatók voltak, amelyben a kén a vas és a réz is dúsul. A **10/7. ábrán** látható egy minden bizonnyal bomlófélben lévő barit szemcse, ami összeolvadóban lehet egy túlégetett acél cseppel, amiben sok a leégés miatti réz.

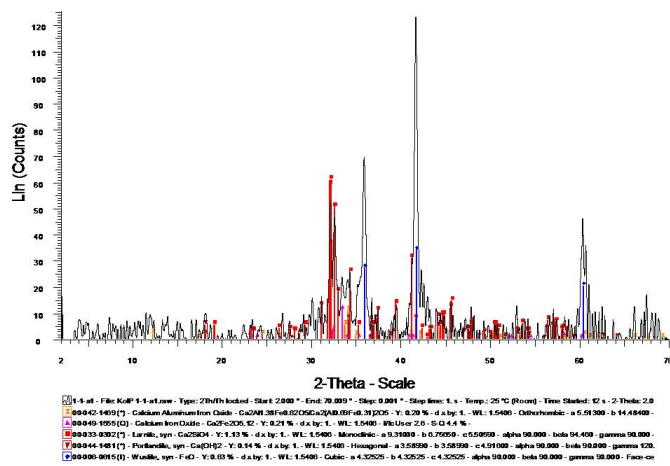
A **salakkorall** differenciátum SEM/EDS felvételén (**10/8A. ábra**) három egymástól igen jól elkülönülő ásványfázis van jelen, a kiülepedő ferrum (1), a wüstit (2) és a kromit (3). A 4-es és 5-ös számozású foltokban, azok heterogén volta miatt, a szilikátos (larnit/bredigit; melilit) és az oxidos (magnetit-srebrodolskit) komponens egyszerre van jelen.



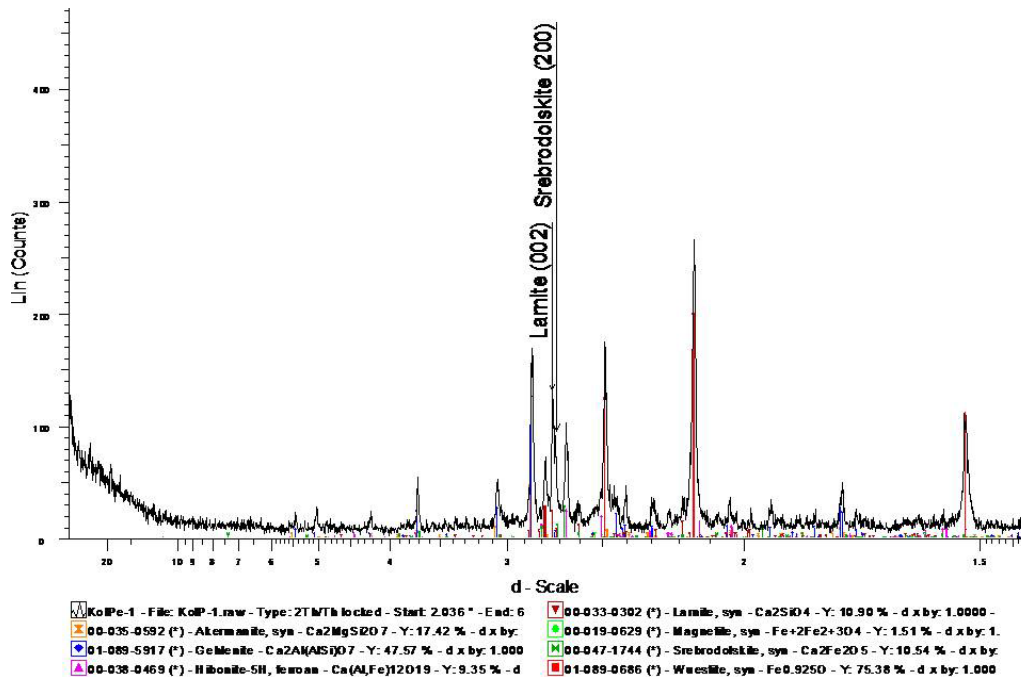
10/2. ábra Beolvadási primer salak (132638-as számú adag) XRD felvétele (készítette: Kristály Ferenc, ME)



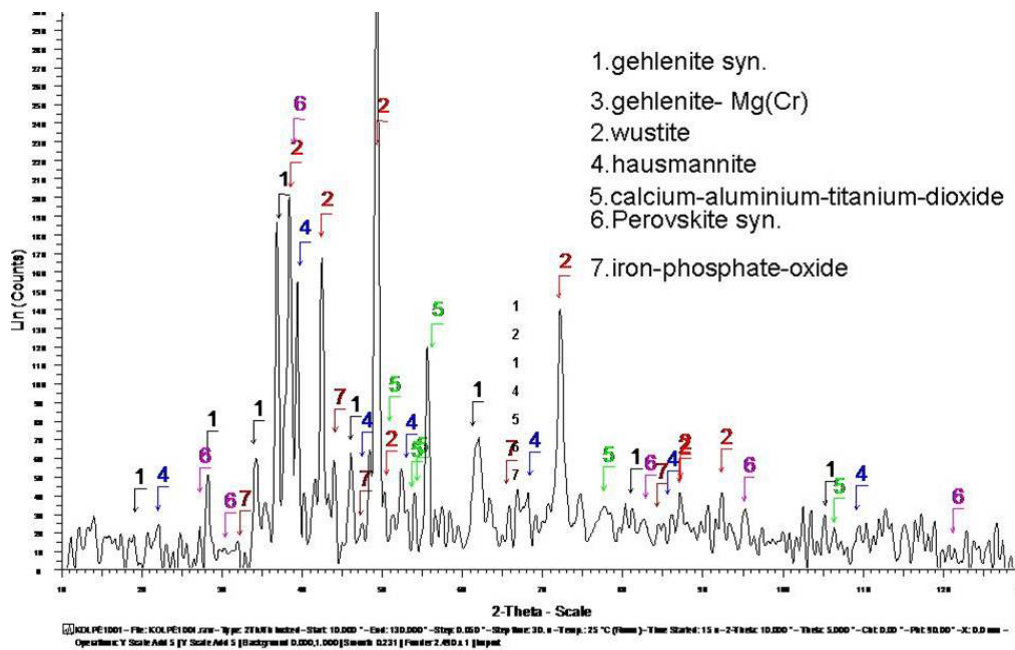
10/3. ábra Kikészítési primer salak (132638-as számú adag) XRD felvétele (készítette: Kristály Ferenc, ME)



10/4. ábra Primer salakkéreg XRD felvétele (készítette: Kristály Ferenc, ME)



10/5. ábra Salakláva XRD felvétele (készítette: Kristály Ferenc, ME)



10/6. ábra Salakláva XRD felvétele kobalt antikatódos készülékkel (készítette: Súlyom Jenő, ME)

Ugyenezen a felvételen látható, hogy a látszólag homogén mátrix nagyobb nagyításnál szintén több alkotós.

A salakkoral másik SEM/EDS felvételén (**10/8B. ábrán**) az 1-es számmal megjelölt alkotó wüstittel bevont acélcsepp, a 2-es jelű ásvány pedig nagyon jól fejlett oktaéderes kromit kristály, kevés akermanitos-srebrodolskitos tapadvánnyal.

A **salakkéreg**ről készült SEM/EDS felvételek különösen tanulságosak (**10/9A, B. ábra**), mert a hűlési sebesség csökkenésével feltűnően változik a szövet, a komponensek száma és összetétele. Az első felvételen a salakkéreg külső oldala felőli hűlés látható. Ez a felvétel bizonyítja, hogy magában a salak olvadékban a dermedés pillanatában is még két egymással korlátozottan elegyedő fázis van jelen, egy vasdús, mangánban gazdag, króm tartalmú, wüstites-magnetites (**10/9A. ábra**), ami apró szferulákat alkot, és a másik (**10/9B. ábra**), ami a mátrixot adja, mint egy vasban szegényebb, kalciumszilikátban dús olvadék, kevés alumíniumoxiddal és magnéziumoxiddal. Valószínű, hogy üzemi hőmérsékleten a reális salakolvadékok is ilyenek lehetnek. Egy ilyen rendszer hűlésével az anyagban a szferulák összetapadnak dendritekké, majd további lassuló hűléssel a kivált wüstites fázis mellett a homogén szilikátos mátrixból megjelennek az előbbieken már megismert összetevők fejlettebb kristályai.

A fentiek mellett, megjelenhetnek más alkotók is. Egy salakkéreg töretben például szembetűnő a többszörösen ikresedett jacobsit megjelenése, amit bárium tartalmú melilitásványok (akermanit-gehlenit) borítanak. A beágyazó környezet felületi összetétele kissé eltérőbb, mert az előbbi fázisok mellett jelen van a larnit és vele együtt nő a foszfortartalom, ami nagy valószínűséggel a már említett nagelschmidtit jelenlétére utal.

Összegzésként a salakok ásványairól elmondható, hogy már olvadékként két egymással korlátozottan elegyedő fázist alkotnak, mintegy eutektikumot képezve. A wüstites fázisokban dúsul a vason kívül a mangán, ami mangánferritet (jacobsitot) is alkothat. A króm csaknem 100 %-ban kromitot hoz létre, de XRD adatok alapján beépülhet a gehlenitbe is, s ilyenkor az Al-ot helyettesíti. A kromit-jacobsit-magnetit különböző arányban tartalmazhatnak Mn, Cr, Fe elemeket, sőt Al és Mg atomokat, mivel ezek a spinell szerkezetbe bármilyen arányban beépülhetnek egymást helyettesítve, valószínűleg elegysort, szilárd oldatot alkotva. A helyettesítés egyik következménye lehet, hogy a kisebb Cr tartalmú kromit rácsparamétere már a magnetitéhez áll közelebb és az XRD felvétel számítógépes kiértékelésénél a szoftver magnetitnek adja meg. Ilyen módon ezekben a vegyületekben gyakran előfordulhat, hogy a fokozatos helyettesítések miatt egy-egy ásvány tulajdonképpen ásványcsoportként jelenik meg. Kicsi tehát a valószínűsége annak, hogy egyes fázisok 100 %-os tisztaságban fordulhatnak elő.

Oxigén konverterből származó salakoknál megfigyelhető, hogy a króm egy része  $\text{Cr}^{2+}$ -ként beépülhet a wüstit helyére, ami szintén veszélytelen, de a nagyobb oxigénpotenciál miatt itt már megjelenhet a  $\text{Cr}^{6+}$  is, ami a különféle kalciumferrit fázisokba épülhet be (DRISSEN 2006).

A salakokban a szilikátok fő tömegét két ásványtársaság adja, a larnit és a melilit csoport. Az EDS mérések azt mutatják, hogy a bárium főként ezekbe a szerkezetekbe épülhet be helyettesítőként.

Egyik mintánál a bárium szulfidos formában jelent meg, ami vízzeloldható, így potenciális környezeti kockázatot jelent. A képződő  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  azonban a levegő  $\text{CO}_2$  tartalmával  $\text{BaCO}_3$ -t képez, ami rosszabbul oldódik, mint a  $\text{CaCO}_3$  és az esetlegesen oldatba kerülő báriumot a csapadék, vagy a talajvíz szulfáttartalma baritként teljesen megkötöti, s így már nem jelent veszélyt, mert környezetileg közömbössé válik. Ha a BaS szilikáttal reagál, a bárium tartalma a salakban marad szilikát fázishoz kötve, így

kivonódik a vizes közegű környezeti folyamatokból. A kéntartalom pedig a redox viszonyok függvényében az acélfürdőben oldódik, esetleg kiég és SO<sub>2</sub>-ként távozik a rendszerből. Utóbbi esetben meszes vízzel reagáltatva gipszként kicsapatható, ahogy ezt a széntüzelésű hőerőművekben megfigyelhetjük (KOZAK & PÜSPÖKI 1996).

A salakásványokról viszonylag pontos képet a salakpróbák nagy sorozatszámú röntgendiffrakciós vizsgálatából kaphatnánk. A cementklinkereknél ugyan alkalmaznak kvantitatív XRD vizsgálatot, de ez napjainkban még nem tökéletes, fejlesztése folyamatban van, illetve a Bogue módszerével kémiai összetételből számítják ki a cement ásványos alkotóit (BALÁZS 1994), ami még pontatlanabb, legfeljebb tájékoztató jellegű. A salakok esetében nem ismerünk ilyen közelítő módszert sem. Jelen vizsgálataink ezért inkább félkvantitatívnak tekinthetők, de arra alkalmasak, hogy általános, közelítő képet alkothassunk a salakok kristályos összetevőiről. Ezt a képet gyakran zavarosabbá teszi, hogy egyes alkotók alig kristályosodott formában, esetleg kristálycsíráként, illetve mikroásványként vannak jelen, néhány pedig a röntgenamorf határon helyezkedik el. Lehetnek olyan komponensek, amelyek bizonytalanul, vagy csupán valószínűsíthető módon mutathatók. A reális kémiai inhomogenitásokat és képződési körülményeket elemezve jelenlétük mégis feltételezhető. A hányóra került salakoknál az egyes komponenseken megkezdődött mállás is bonyolíthatja az azonosítást. Az ilyen típusú anyagokról legreálisabb képet a tapasztalataink szerint XRD és a SEM/EDS technikák együttes alkalmazásával kaphatunk, és kiegészítésül használjuk a közetmikroszkópot.

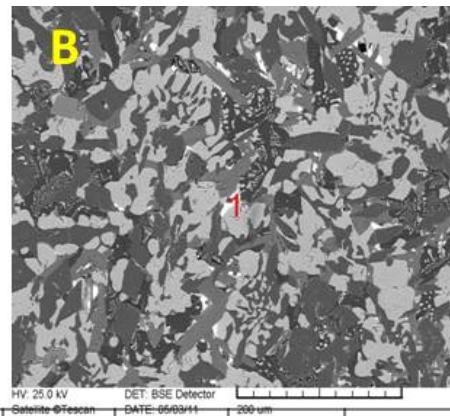
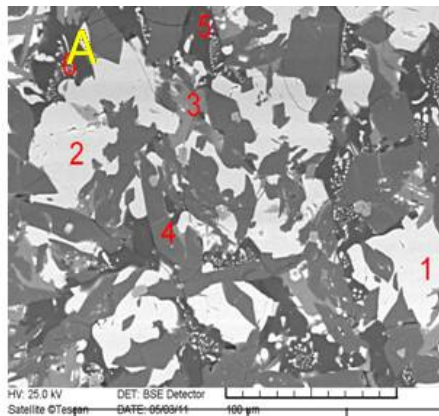
### *10.1.3. A primer salakok környezeti hatásai oldási vizsgálat alapján*

Az oldási vizsgálatokat <63 µm szemcseméretű, nagy fajlagos felületű, púderfinomságú salakörleménnyel végeztük a várható kioldás gyorsítása érdekében. A gyakorlatban azonban a salakok blokkos, tömbös, darabos, változó méretű fragmentumok formájában kerülnek depóniába, s így éri őket a csapadékvíz hatása, amely rendszerint gyengén savas kémhatású. A citromsav alkalmazását az indokolta, hogy jól közelíti a természetben található gyökérsavak reakció- és komplexképző képességét

A kétféle primersalak örleményből (salakláva és kéreg) 1-1 grammnyi mennyiséget áztattunk be desztillált vízbe és 2%-os citromsav oldatba (**10/3. táblázat**), majd 24 órán át állni hagytuk. Az így oldatból kapott elemösszetételi eredményekből kitűnt, hogy már a desztvízben is történik mérhető kioldódás (pl. Fe, Ca, Cr, Pb, Zn). Ugyanebből az örleményből citromsavas oldással dupla mennyiségű elem oldódott ki. Itt leginkább a Ca, Mg, Fe, Mn volt uralkodó, s ezek 100-szor jobban oldódtak ki, mint a Cr. Ha tehát a salakban lenne is mobilizálható Cr<sup>6+</sup>, az a Fe<sup>2+</sup>-vel rögtön reagálna és kicsapódna. Az Pb és a Zn szintén kivonódna a rendszerből adszorbeálódás miatt.

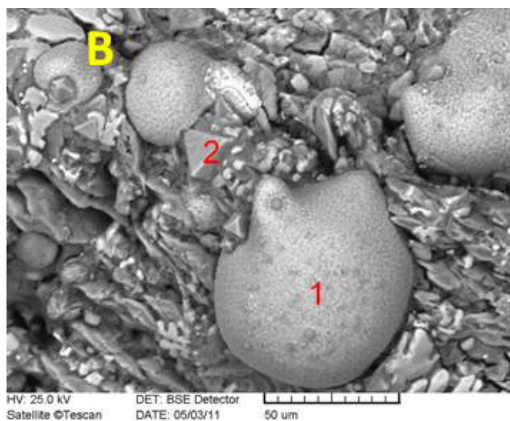
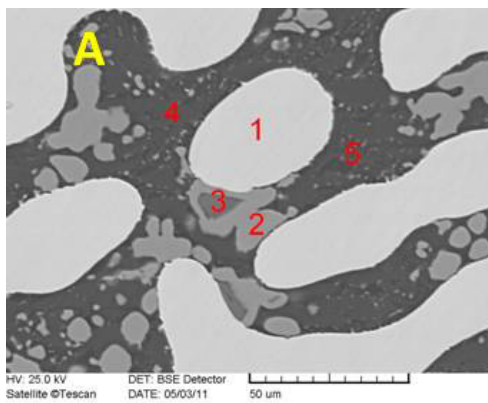
Az ívkemence salakoknál az ilyen ppm-körüli mennyiségű oldható króm, ha egy hosszú oldási kísérletnél Cr<sup>6+</sup>-ként lenne jelen az oldatban, akkor a jelentős oldott Fe<sup>2+</sup> tartalom miatt hamar visszaredukálódna ártalmatlan Cr<sup>3+</sup>-má és különféle csapadékokhoz (SiO<sub>2</sub> gél) vagy ásványokhoz, például tobermorithoz kötődve kiválna az oldatból (SHRIVASTAVA & SHRIVASTAVA 2000; NEHRENHEIM & GUSTAFSSON 2008). Ezért analitikailag is nehezen lenne kimutatható, illetve ha mégis, akkor az eredmény bizonytalansága lenne igen nagy. Az ilyen kis mennyiségű oldott króm speciációs vizsgálata analitikai kémiai szempontból is elég problémás.

Ez a kismennyiségű króm tehát inkább analitikai szempontból jelenthet problémát, mint sem a környezetvédelem szempontjából.



<b>Komp/fázis</b>	<b>A/1</b>	<b>A/2</b>	<b>A/3</b>	<b>A/4</b>	<b>A/5</b>	<b>A/6</b>	<b>B/1</b>
<b>O</b>	<b>8,63</b>	<b>8,86</b>	<b>11,6</b>	<b>17,52</b>	<b>18,75</b>	<b>13,46</b>	-
<b>Mg</b>	<b>3,65</b>	<b>4,16</b>	-	-	-	<b>1,41</b>	-
<b>Si</b>	<b>0,14</b>	<b>0,47</b>	<b>2,77</b>	<b>19,3</b>	<b>0,48</b>	<b>3,36</b>	-
<b>Ca</b>	<b>2,36</b>	<b>2,34</b>	<b>42,7</b>	<b>60,77</b>	<b>44,41</b>	<b>32,14</b>	<b>7,76</b>
<b>Cr</b>	<b>1,52</b>	<b>1,57</b>	<b>0,77</b>	-	-	<b>0,67</b>	-
<b>Mn</b>	<b>8,49</b>	<b>7,99</b>	<b>1,09</b>	<b>0,54</b>	-	<b>3,08</b>	<b>1,45</b>
<b>Fe</b>	<b>75,21</b>	<b>74,61</b>	<b>25,39</b>	<b>1,45</b>	<b>3,98</b>	<b>27,79</b>	<b>36,83</b>
<b>P</b>	-	-	-	<b>0,21</b>	<b>0,79</b>	<b>0,43</b>	-
<b>Al</b>	-	-	<b>12,09</b>	<b>0,21</b>	<b>31,58</b>	<b>17,67</b>	<b>1,44</b>
<b>Ti</b>	-	-	<b>3,59</b>	-	-	-	-
<b>Ba</b>	-	-	-	-	-	-	<b>18,13</b>
<b>S</b>	-	-	-	-	-	-	<b>30,29</b>
<b>Cu</b>	-	-	-	-	-	-	<b>3,63</b>

10/7. ábra Salakláva SEM/EDS A, B felvétele (készítette: Kovács Árpád, ME)



<b>m/m%/fázis</b>	<b>A/1</b>	<b>A/2</b>	<b>A/3</b>	<b>A/4</b>	<b>A/5</b>	<b>B/1</b>	<b>B/2</b>
<b>O</b>	-	<b>0,92</b>	<b>6,23</b>	<b>7,77</b>	<b>10,78</b>	<b>9,46</b>	<b>5,46</b>
<b>Mg</b>	-	<b>1,59</b>	<b>3,39</b>	<b>2,11</b>	<b>2,21</b>	-	<b>1,21</b>
<b>Si</b>	-	<b>2,02</b>	-	<b>20,3</b>	<b>21,54</b>	<b>0,83</b>	<b>1,42</b>
<b>Ca</b>	-	<b>3,92</b>	<b>1,12</b>	<b>34,49</b>	<b>38,1</b>	<b>1,84</b>	<b>1,78</b>
<b>Cr</b>	-	<b>0,7</b>	<b>42,91</b>	-	-	-	<b>48,18</b>
<b>Mn</b>	-	<b>7,74</b>	<b>5,31</b>	<b>3,5</b>	<b>2,54</b>	-	<b>5,26</b>
<b>Fe</b>	<b>100</b>	<b>82,15</b>	<b>32,41</b>	<b>25,56</b>	<b>17,52</b>	<b>87,87</b>	<b>33,18</b>
<b>P</b>	-	-	-	-	-	-	
<b>Al</b>	-	<b>0,95</b>	<b>8,62</b>	<b>6,99</b>	<b>7,32</b>	-	<b>3,5</b>

10/8. ábra Salakkorall SEM/EDS A, B felvétele (készítette: Kovács Árpád, ME)

## 10.2. Szekunder salakok anyagvizsgálata

### 10.2.1. Az ózdi szekunder salakok fizikai-és kőzetmikroszkópi jellemzői

Ezt a salakfajtát az előbb jellemzett primer salakokkal együtt deponálják a centeri salakfeldolgozó területén. Elvileg külön kezelik őket, de olykor előfordul a keveredésük is.

Megjelenésükre jellemző, hogy a friss salak színe főként szürkésfehér, zöldesfehér, vagy sárgásfehér. Frissen dermedve tömörek, de a már említett larnit térfogatváltozása miatt rögtön porladni kezdenek. A porladt salak a levegőn néhány hét alatt megköt és az így megszilárdult salak már darabosan törik és nagy a porozitása. A benne található mészes és magnézium oxid szemcsék hidratációja és a karbonizáció miatt a cementálódott darabjaik néhány év után szétrepedeznek. Sűrűsége kisebb, mint a primer salakoké.

Mikroszkópi vékonycsiszolatban áttetszők, ritkán primersalak hozzáfolyás miatt lehetnek részben opakok is. Vékonycsiszolatok tanúlsága szerint a salak mátrixába ágyazottan piroxének voltak megfigyelhetők.

Ércmikroszkóppal megvizsgáltuk a fehér és a barnásszürke bomlatlan, darabos salakváltozatokat. Vizes közegben csiszoltuk, ami egyben a vizes maratásnak is megfelelt, s a felületekről mikrofotókat készítettünk. A vizes maratás különösen a fehér darabos salaknál előnyös, mivel számos inhomogenitást tett számunkra láthatóvá. A másik salaknál e módszer nem okozott említésre méltó változást. A vizes maratás segít előre jelezni a salak vízállóságát, térfogatállóságát. A víz hatására a fehér salaknál a mészdús részek kékre színeződnek, a larnit dúsak pedig világos barnára.

A mintákról készült cemenetmikroszkópi fotófelvételek (10/10. ábra) közül az elsőnek a szövete szemléletesen bizonyítja a lassú hűlés hatásait, valamint a hatrurit vagy más néven trikalcium szilikát szététesését. Ha a szilikát szerkezetbe a Si helyére Al épül be, akkor a bomlás lelassul, vagy megáll, így a trikalcium szilikát szobahőmérsékleten is megmaradhat (TAYLOR 1997).

A negyedik (D) képen (10/10. ábra) az enyhén savanyú barnásszürke salak látható. Ez a minta kovasavval telített, ezért a fő fázis ásványai csoportszilikátokban gazdagok, mint az akermannit-gehlenit sorozat (sötét mezők). A világos részekben alárendelten jelentkeznek a szigeteszilikátok is, például a larnit-bredigit sor ásványai. Az előbb említett ásványok 1550°C körüli hőmérsékleten korlátozottan oldódnak egymásban, így hajlamosak eutektikum kialakítására. Ezt az eutektikus szövetet láthatjuk a képen ahol a sötét mátrixban elszórtan világos apró lencseszerű képletekként jelennek meg.

### 10.2.2. Az ózdi szekunder salakok elem- és ásványos összetétele

A szekunder salakokra jellemző, hogy az ívkemence salakokhoz képest általában jóval bázikusabbak ( $B_1=2.$ ), ami rendszerint a porladt salakoknál általános. A darabos salakok láthatóan szilikátosak és savanyúbbak, de olykor itt is előfordul a 1,5 körüli érték, ami szélsőséges esetben 1-is lehet.

Az is ennek a salaktípusnak a sajátja, hogy többnyire még az egy acéladaghoz tartozó salak mennyiség sem teljesen egységes összetételű. Ez hasonló jelenség a kohosalakokhoz. Mivel ez jóval bázikusabb, mint a kohosalakok, ezért itt a darabos savanyúbb fázisok száma kisebb, s általában a porladásnak indult szekundersalak tömbök legalább 80%-a porrá esik szét. Átlagosan kevesebb, mint 20%-a marad darabos formában vissza. Nem ritkán előfordul az is, hogy egy kiborított salaktömbnek 80-100%-a nem porlad el, hanem darabos marad, illetve csak nagyobb darabokra esik szét.

E salakok elemi összetételére jellemző (10/4. táblázat), hogy vastartalmuk elhanyagolható. Ez csak a végsalakokra vonatkozik, mert a közvetlenül csapolás után

képződő üstsalakoknak 10-15%-os FeO tartalma is lehet, ~10%-os MnO tartalom mellett. Ez az adag az üstkemencés kezelés során visszaredukálódik a fürdőbe. Ritkán részlegesen megmaradhat benne néhány % MnO, ilyenkor általában nincs elég idő az adag kezelésére, mert fel kell adni öntéshez a FAM-ra az adagot. Az ívkemence salakokéval csaknem azonosak a nyomelemeik (**10/5. táblázat**), de jóval kevesebb a primer salakokéhoz képest.

A szekunder salakok ásványtársulása hasonló jellegű, mint a primer salakoké, de lényeges különbség a Fe-tartalmú ásványok hiánya, viszont markáns a mangán jelenléte, ami jól látható az XRD és SEM/EDS felvételeken (**10/11-16. ábrák**).

A csapolás közben képződő mangánszilikátok főként tephroitos, glaucochroitos összetételűek. Ezek folyékony zárványokat alkotnak, melyek felfelé úszva összeállnak nagyobb cseppekké, vagy lepényekké, e mellett jól nedvesítik a különféle, egyéb nem fémes zárványokat (pl. korund, spinell, mullit, krisztobalit). A nedvesítéshez nélkülözhetetlen, hogy az acélban a Mn/Si arány 2,5, vagy még nagyobb legyen. Ez az alapvetően Mn-szilikát alapú fázis a salakba felúszva aludara és mészhatására elbomlik és a Mn visszaredukálódik a fürdőbe. A képződő vegyületek gyakorlatilag a CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> rendszerrel jellemezhetők (DRISSEN P. 2000).

A diffrakciós felvételek azt mutatják, hogy a feltételezett ásványok megjelennek a vizsgált salakokban. Kis mennyiségben a bomlott salaknál a periklász önálló fázisként jelenik meg. A szulfidok piroszolt alkotnak és kolloid szemcsékként vannak diszpergálva, melyek a röntgen számára nem láthatók, de víz hatására záptojás szagot árasztanak, így jelenlétük érzékelhető a bomlott és a fehér darabos salakokban egyaránt.

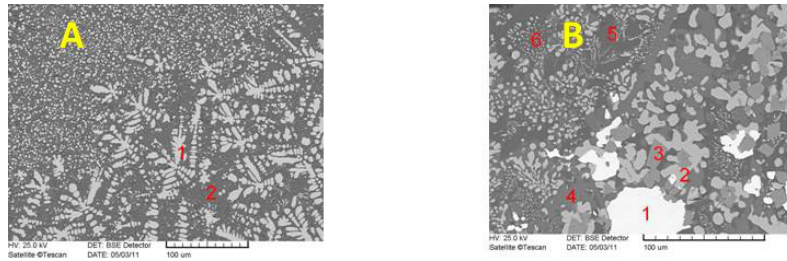
Vizsgálataink szerint az ásványfázisok kb. 90 %-át két csoport alkotja. Az egyik a mellit- (gehlenit – akermannit csoport), a másik a larnite-bredigit csoport. Ezek minden salaktípusban jelen vannak. Van még egy harmadik említésre méltó csoport is, ami kb 10 % ot tehet ki, ezek a kalcium aluminátok.

A salak a hűlés során, larnit jelenlétében bomlásra hajlamossá válik, amit a larnit β-γ módosulátváltozása magyaráz, ugyanis eközben a larnit kristálytérfogata 10 %-kal növekszik. Az e miatt ébredő feszültség okozza a szerkezetben a porrá esést (CAVALOTTI et al. 2007). E por képződése egyszerre előnyös és hátrányos. A jelenség előnye, hogy a visszamaradt fémtartalmat szitálással és elektromágneses leválasztással ki lehet nyerni aprítás nélkül. A hátránya viszont, hogy a finom szemcsék szélerezési veszélye nélkül.

Az elektronmikroszkópi és XRD felvételek igazolták a vizsgált salakfajtákban az alábbi ásványos alkotók jelenlétét:

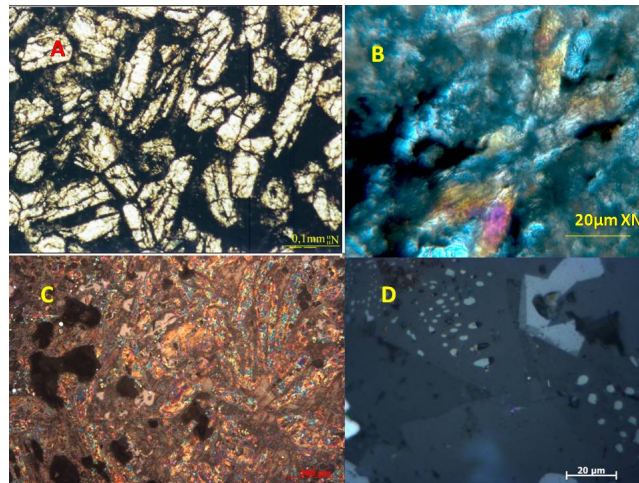
	porladt	fehér darabos	barnásszürke darabos
gehlenit (g)	+	+	+
kalcit (c)		+	
mervinit (me)		+	+
larnit (l)		+	
bredigit (b)	+	+	+
myenit (ma+)	+	+	
periklász (p)	+		
spurrit (sp)		+	
Mg-kutnahorit (k)	+		

A porszennyezés megelőzésének legelterjedtebb módja a vízzel történő locsolás. A locsolt salakfelület hidratálódik és egy kötött, szilárd kéreg alakul ki. A víz hatására a



Komp/fázis	A/1	A/2	B/1	B/2	B/3	B/4	B/5	B/6
<b>O</b>	<b>6,85</b>	<b>14,31</b>	-	<b>9,85</b>	<b>13,79</b>	<b>18,54</b>	<b>19,25</b>	<b>16,17</b>
<b>Mg</b>	<b>0</b>	<b>0,48</b>	-	<b>2,6</b>	<b>4,7</b>	-	-	<b>1,76</b>
<b>Si</b>	<b>0</b>	<b>18,8</b>	-	-	-	<b>20,17</b>	<b>16,35</b>	<b>13,81</b>
<b>Ca</b>	<b>1,48</b>	<b>52,96</b>	-	-	<b>0,49</b>	<b>52,31</b>	<b>37,37</b>	<b>30,21</b>
<b>Cr</b>	<b>0,93</b>	-	-	<b>1,45</b>	<b>35,4</b>	-	-	-
<b>Mn</b>	<b>6,4</b>	<b>1,9</b>	-	<b>6,61</b>	<b>4,03</b>	<b>1,22</b>	-	<b>1,72</b>
<b>Fe</b>	<b>84,34</b>	<b>9,71</b>	<b>100</b>	<b>78,58</b>	<b>29,97</b>	<b>3,88</b>	<b>3,88</b>	<b>19,06</b>
<b>P</b>	-	<b>0,76</b>	-	-	-	<b>2,86</b>	-	-
<b>Al</b>	-	<b>1,08</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Ti</b>	-	-	-	-	<b>0,27</b>	-	-	-

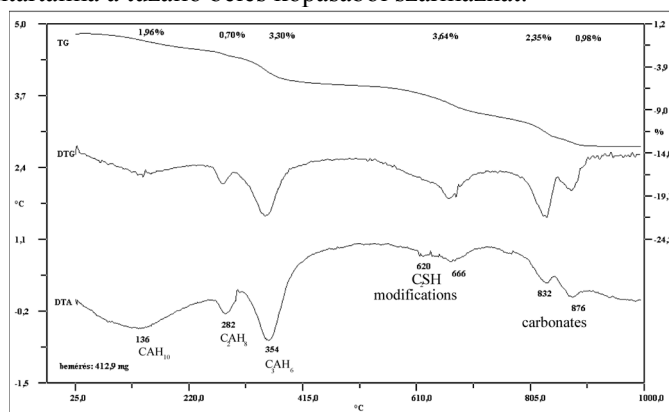
10/9. ábra Salakkéreg SEM/EDS A, B felvétele (készítette: Kovács Árpád, ME)



10/10. ábra: Szekunder salakok közetmikroszkópi (A, B) és ércmikroszkópi (C, D) metszeteinek szöveti felvétele. A, B. képek: A salakok anyagában bázisos szilikátásványok (pl. piroxének) láthatók, a második képen porladt állapotban kalcium szilikát hidráttal cementálva, mikropórusokkal. C/. kép: fehér darabos szekunder salakban larnit kristályok, apró kék színű mészkiválások és pórusok. D/. kép: zöldesszürke darabos üstkemence salak felszínén gheleit, mervinit kristályok és eutektikumaik (apró fehér foltok).

karbidok, szulfidok, nitrdek, foszfidek disszociálnak, kis mennyiségben acetilén, metán, ammónia, hidrogén szulfid és foszfin képződik, de egészségügyileg nem kockázatosak.

A kalciumaluminátok közül nagyobb tömege miatt a mayenit a legjobban kimutatható, főként a bomlott fehér szekunder salakokban fordul elő. E kb.10% -on belül számos járulékos ásvány dikalcium aluminát és trikálcium aluminát is megjelenhet, de többségük nagyon kis mennyiségben lehet jelen, ezért nehéz kimutatni őket (10/14. ábra). A másik probléma ezek szerkezete, mert kolloid méretű kristálycsírák, melyek a kristályos és amorf állapot határán vannak. SEM/EDS-sel (10/15, 16. ábrák) sikerült néhány ilyen járulékos elegyrészt kimutatni (pl. alabandit, perovszkit). A szintén  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  olyan eskolait lehet, amelynek króm tartalma a tűzálló bélés kopásából származhat.



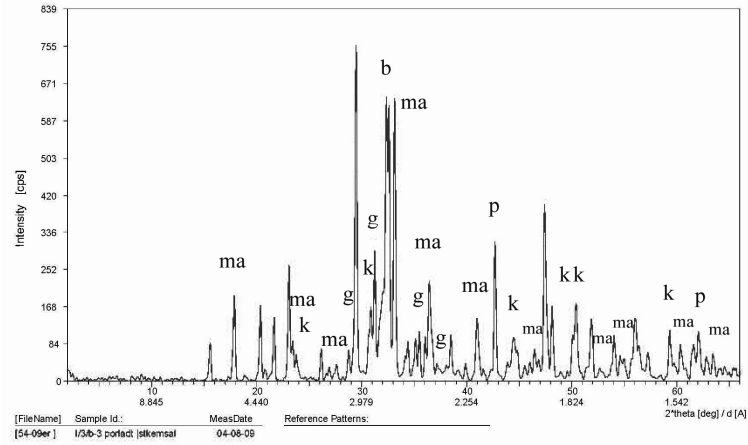
10/14. ábra Egy egy éves, kötött LF salak (OAM Kft.) derivatogramja

Úgy gondoljuk, hogy a járulékos ásványi elegyrészek valamilyen módszer, például HF-os szelektív oldással feldúsíthatók. Az általunk vizsgált esetekben erre nem volt szükség, mert a három salak tulajdonságai a mellit és larnit fázisok, illetve a Ca-aluminátok részarányától függenek. A SEM/EDS vizsgálataink alapján valószínű, hogy a nagyobb MgO és kalcium aluminát tartalom közrejátszhat a salakok önporlódásában.

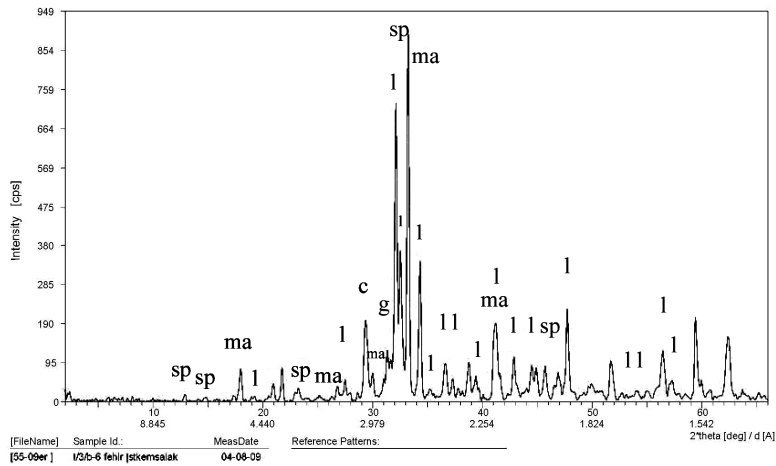
A légnedvesség és a locsolás hatására a salakkéreg megköt. A kezdetben kézzel törhető anyag a kalcium aluminát és szabad mész tartalom hatására néhány hónap alatt megszilárdul. Végül ez a folyamat karbonátok képződését eredményezi (pl. kalcit, aragonit). A kalcium aluminát szilikátokból különféle Ca-aluminát – hidrátok, tobermorit, spurrit, stb. (UKRAINCZKY et al 2007) képződnek. Igazoltuk a kalcit és a Mg kutnahorit jelenlétét, valamint a már említett spurritét, ami egy szilikát karbonát komplex. A magnézium kutnahorit bizonyítja, hogy a jelen lévő periklász a szabad fémoxidokkal ( $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$ ,) és a CaO-dal reakcióba lép, mivel ezek szilárd oldatot képeznek egymással.

Tehát a kimutatott Mg-kutnahorit az említett oxidok szilárd oldatának karbonizációjával képződött. A kéntartalom nagyrésze kioldódik és a kiindulási kéntartalom 100-ad részére is lecsökkenhet. Gyakran képezhet különféle szulfátokat, például gipszet és baritot, az általunk végzett vizsgálatok ezt valószínűsítik. Általában az el nem porladt salak a kiindulási anyag kb. 5-10%-a szokott lenni, mivel ezek a fázisok kovasavban, timföldben telítettek, illetve túltelítettek (pl. barnásszürke, darabos salakok).

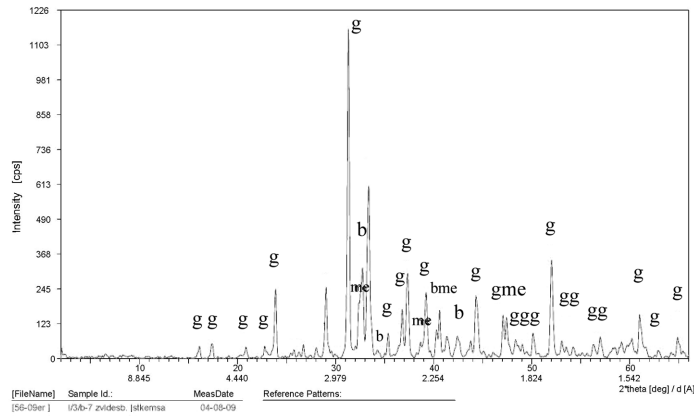
A ferritek helyett itt különféle aluminátok jelennek meg, legszámottevőbb közöttük a mayenit. A szilikátok és aluminátok mállása során a már említett CSH vegyületek (HONG & GASSLER 2004) éppen a szekunder salakok mállása során képződnek legnagyobb mennyiségben. Ezek legjobban termoanalitikai módszerekkel vizsgálhatók, mivel



10/11. ábra A szétesett LF salak XRD görbéje (készítette Kónya Péter, MFGI)  
(jelmagyarázat: b: bredigit; g: gehlenit; k: kutnahorit; ma: mayenit; sp: spurrit)

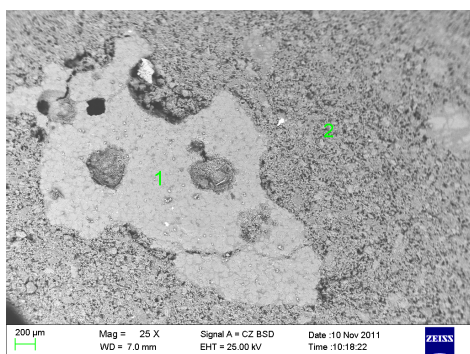


10/12. ábra A fehér, darabos LF salak XRD görbéje (készítette Kónya Péter, MFGI)  
(jelmagyarázat: c: calcit; g: gehlenit; l: larnit; ma: mayenit; p: periklász)



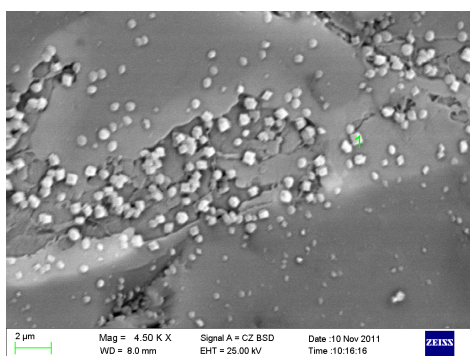
10/13. ábra A zöldesbarna darabos LF salak XRD görbéje (készítette Kónya Péter, MFGI)  
(jelmagyarázat: b: bredigit; g: gehlenit; l: larnit; ma: mayenit; me: merwinit)

többnyire röntgenamorfozok, de termikusan azonosíthatók. A hőmérséklet emelkedés hatására jellegzetes endoterm csúcsokat és tömegváltozást mutatnak, jól elkülönülő hőmérsékleti tartományokban.



ÖSSZETÉTEL%	1.	2
MgO	1,25	9,39
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,57	7,65
SiO <sub>2</sub>	31,19	29,64
CaO	62,47	51,5
MnO	0,52	1,02
FE	-	0,77

10/15. ábra Porladt szekunder salak SEM/EDS felvétele egy el nem bomlott salak szemcsével, és a Két fázis összetétele EDS- vizsgálattal.



KOMPONENS	1 fázis%
Na <sub>2</sub> O	0,89
MgO	2,34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,08
SiO <sub>2</sub>	22,19
CaO	54,81
BaO	1,07
TiO <sub>2</sub>	0,31
MnO	2,29
SO <sub>3</sub>	2,5

10/16. ábra Zöldesszürke üstkemence salak felületének SEM/EDS felvétele a megjelenő másodlagos kiválásokkal és azok EDS-vizsgálattal meghatározott összetétele.

### 10.3. FAM salakok anyagvizsgálata

#### 10.3.1. Az ózdi FAM salakok fizikai adottságai

E salakok a Folyamatos Acélöntőmű (FAM) közbenső üstjében képződnek. Megjelenésükre jellemző, hogy színük zöld, sötétzöld, ritkán zöldesfekete. Többnyire kristályosak, de gyakoriak az üveges megjelenésű tömegeik. Általában üvegfényűek. Vékony szilánkjukban áttetszők. Mivel mennyiségük alárendelt, ezért környezetvédelmi szempontból elhanyagolható hatásúak, viszont a salakosodás genetikájában fontosak. E mellett a közbenső üstök kopóbélésének tartósságánál jutnak szerephez.

#### 10.3.2. A FAM salakok kémiai- és ásványos összetétele

A FAM közbenső üstből származó salakját csak a főelem tartalom szempontjából vizsgáltuk (10/6. táblázat). Ezt a salakot elsősorban genetikai célból érdemes elemezni. Gyakorlatilag ilyen lehet egy enyhén oxidatív közegben képződött beolvadási ívkemence salak, mindenféle salakképző adagolása nélkül. Ez egy erősen savanyú, 52% SiO<sub>2</sub> tartalmú savanyú salak, 10% körüli MnO, CaO és MgO tartalommal. Az alkáliákat külön nem vizsgáltuk, de a nagy hőmérséklet okozta párolgás miatt és az alkáli szegény

adalékanyagoknak köszönhetően 0,05% körül ingadozhatnak. A tűzálló bélés szempontjából eléggé agresszív közeg, viszont környezetvédelmi szempontból veszélytelen, inert anyag.

Összetétele a bazaltos andezitre (WALLACHER 1991) emlékeztető, tehát emiatt is indokolt a petrográfiában alkalmazott elemző és értékelő módszerekkel történő vizsgálata.

E salakokból nem nyílt lehetőségünk XRD-vizsgálatot végezni. Ásványai közül sokszor már szabad szemmel is felismerhetők a piroxének, valószínűleg előfordulhat benne johannsenit és diopszid. Bizonyos esetekben – például oxigénes tisztítás esetén – számolni kell hedenbergit és ferroszilit megjelenésével is. Képződésekor valószínű, hogy olivinnek is létrejöhetnek, például tephroit és glaukochroit formájában.

Az oxigénes tisztítás esetén forszterit-fayalit elegy sor megjelenésével is lehet számolni. Ezen kívül Mn-tartalmú plagioklász és a fel nem oldódott záróporból származó kvarc (krisztobalit?) is előfordulhat nyomokban.

Tudományos szempontból e salaktípus érdekes vizsgálati téma, de a gyakorlatban inkább üzemgazdasági jelentősége van a szekvensöntések számának üzembiztos növelése miatt. Ez az irány már nagyon eltér a választott témától, bár ez egy perspektivikus terület, mind költség, mind hulladékgyártás szempontjából.

#### **10.4. A primer- és szekunder salakok radiológiai elemzése**

A primer salak, mint a legnagyobb mennyiségben termelődő kohászati hulladék radioizotóp tartalmának meghatározó szerepe van a hasznosíthatóság megítélésében. Jelen kutatásban csak tájékoztató jellegű dózisteljesítmény mérésre volt lehetőségünk (**10/7. táblázat**). Ennek során összehasonlítottuk a primer salak dózisteljesítményét a másik fő melléktermék, a szekunder salak és az Ózd környékét felépítő üledékes kőzetek dózisteljesítményével, valamint az átlagos háttér értékekkel. A mérési eredményekből kirajzolódik, hogy a primer salak dózisteljesítménye az egyik legkisebb a többi anyagéhoz képest. A dózisteljesítmény a kokszzhamu izotóptartalmából (U, Th, K stb.) eredhet (NAGY & NAGYNÉ 1997, KISS 2003). A bázikus salakban e hatás a hígulás miatt mérséklődik.

Valószínű, hogy a kokszzhamuban már eredetileg is kevés radioizotóp lehetett. Ez abból következtethető ki, hogy a kokszzolásra alkalmas exportképes fekete szenek csekély kén- és sugárzó anyag tartalmúak, s ezek egy része a kokszzolás során eltávozik. A salakok dózisteljesítménye a háttérsugárzás megengedett intervallumának alsó felén lehet. Nem képezte vizsgálatunk tárgyát, de szakirodalmi források szerint a beolvadás során a K-40 és a Cs-137 a szállóporban dúsulnak leginkább, tehát valószínűleg ez sem káros mértékű, mivel ezt a port veszélyes hulladékként kivonják az anyagforgalomból. Összegezve tehát megállapítható, hogy az ívkemence salak nem jelent radioaktív szennyező forrást a környezetében, amit szakirodalmi adatok is alátámasztanak (BIALUCHA 2000).

A szekunder salakok dózisteljesítménye kicsit nagyobb a többi kőzethez képest, de a különbség nem jelentős, nagyságrendileg megegyezik a primer salakéval.

### **11. A LEVÁLASZTÁSRA KERÜLŐ ACÉLMŰI SZÁLLÓPOROK**

#### **11.1. Az OAM Kft üzemének füstgáz rendszere, mint szállópor forrás**

Az acélgyártásnak a salak mellett másik jelentős mellékterméke az acélműi szállópor, ami a füstgázokkal távozik. Ebben dúsul a Zn, Pb, Cd, illetve a Na, K, F, Cl, SO<sub>4</sub> stb. Ezek

a porok a nagy nehézfém tartalmuk miatt jelenleg veszélyes hulladékoknak minősülnek. A vállalat ezeket a gyártás során környezetvédelmi céllal leválasztja. A füstgáz rendszerbe két helyen jut be a tisztítandó porral szennyezett füstgáz (**11/1. ábra**).

Az füstgázok fő tömege az ivkemencéből egy vízhűtéses csőkönyökön keresztül jut a primer elszívó rendszerbe, ahol a belépő füstgáz egy utóégető kamrába kerül. A primer füstgáz portartalma itt elérheti a  $20\text{g/m}^3$  mennyiséget (PAPP et al. 2010). A kamra elején a durva, cm-dm-es méretű salakdarabok kirakódnak és a kamra alján lévő rekeszben halmozódnak fel. Ezt a durva, darabos hulladékot időnként leengedik egy konténerbe, majd a kihűlt üledéket zsákolják és veszélyes hulladékként kezelik. A nehezebb szemcséktől megszabadult füstgáz utóégetésen megy keresztül. A kamra belépő oldalán átlagosan  $1367^\circ\text{C}$  uralkodik, a kilépő gáz pedig már csupán  $850^\circ\text{C}$ -os.

A füstgáz utóégetésére (KOLESZÁR 2013) azért kerül sor, mert jelentős a CO tartalma ( $20\text{-}60\text{ m}^3/\text{tonna}$  acél), valamint a már említett szerves szennyezők jelenléte (PCB-k, PAH, dioxinok) miatt és szükség van ezek tökéletes megsemmisítésére. Az utóégető kamrából kilépő füstgáz egy háromhuzamos, csököteges hőcserélőbe kerül, ahol három fokozaton átáramolva tovább tisztul. E közben itt három féle méretű frakció válik ki belőle, amit egységesen kezelnek. Az innen tovább jutó, már csak  $200^\circ\text{C}$ -os füstgáz egy keverődobba áramlik, ahol hűtőlevegőt fúvatnak rá, illetve a csarnok szekunder elszívásból származó poros levegőjét vezetik a porleválasztó berendezésbe. Itt már a füstgáznak  $120^\circ\text{C}$ -osnak kell lennie, hogy a zsákos leválasztóba jutva ne égessen ki a műanyag szűrőzsákokat. A tisztított füstgázban a porkoncentráció már csak  $120\text{mg/m}^3$ , ez  $99,994\%$ -os leválasztási határfokot jelent, ami kielégítő megoldás a porszennyezés megelőzésére.

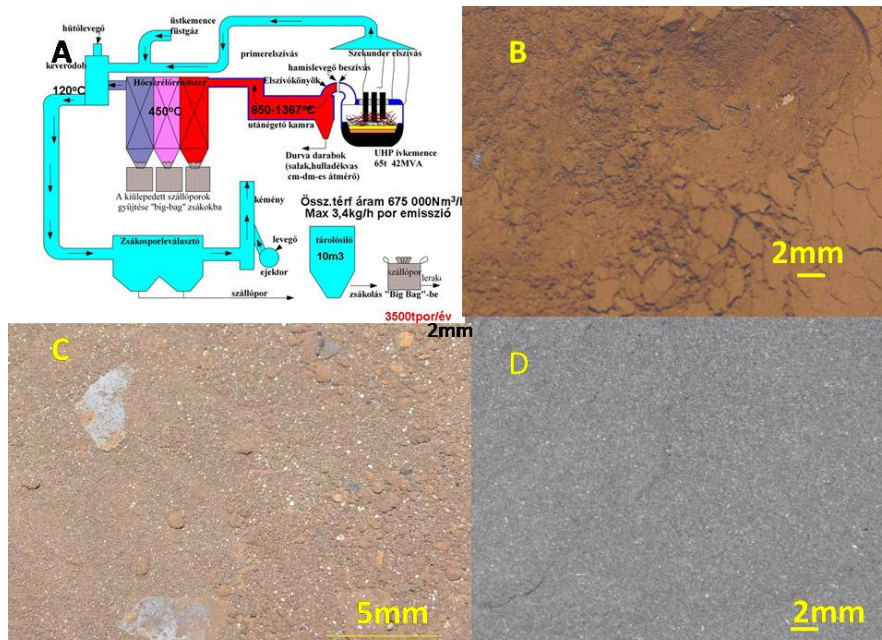
A leválasztott por egy  $10\text{m}^3$ -es silóba kerül, ahonnan big-bag zsákokba gyűjtik. A jelentős nehézfém és vízoldható só (**11/2. ábra**) tartalmú port veszélyes hulladékként kezelik. A porleválasztás során termelődött mind az ötféle port zsákolják. A zsákokat végül Sajókazára, a veszélyes hulladéklerakóba szállítják. Az üzemen belül képződő porok közül mennyiségileg a zsákos leválasztói por a legtömegesebb, mert ennek aránya az összes mennyiség  $90\text{-}95\%$ -a. Ez indokolja a továbbiakban a téma mélyebb megismerését.

## 11.2. A leválasztott acélműi szállóporok analízise

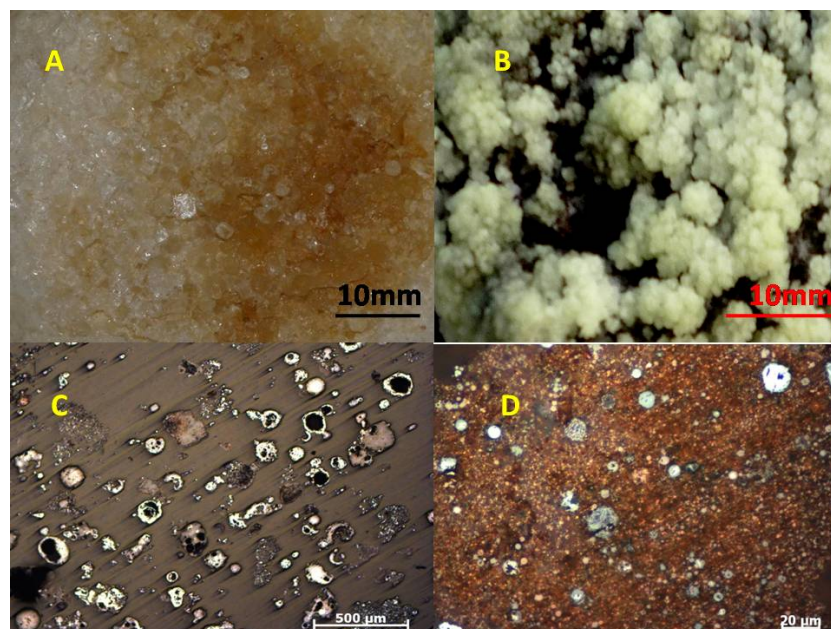
### 11.2.1. A leválasztott acélműi szállóporok fizikai- és ércmikroszkópi jellemzői.

A szállóporok megjelenésére jellemző, hogy a füstgázrendszerből kinyert porok vörösesbarna színűek, míg a kemence kilángolásából eredők többnyire szürkék (**11/1. ábra**). A szürke por a csarnok elszívó berendezésén át jut a füstgázrendszerbe. A szekunder rendszer szűkös elszívó kapacitása miatt nem tökéletes az elszívás, ezért ennek kb.  $0,5\text{-}0,1\%$ -a bejut a csarnok légterébe. E porok túlnyomó része a kemence környezetében kihullik, illetve bekerül a szekunder füstgáz rendszerbe. Ennek a pormennyiségnek maximum néhány tizedszázaléka juthat ki a környezetbe.

E kutatásunk egy másik probléma megoldására is kiterjedt. A hőcserélős porleválasztón különféle barnás-vörös kondenzátumok jelentek meg, amelyek a hőcserélő csövekre lerakódva erősen csökkentették a füstgáz hűtését. Vizsgálataink szerint – mint gyanítható volt – cinkit lerakódással álltunk szemben. Ezek azok a  $1\text{-}2\text{cm}^2$ -es felületű,  $1,0\text{-}1,5\text{cm}$  hosszú,  $1\text{-}2\text{mm}$  vastag, pikkelyszerű képletek, amelyek a hőcserélős porleválasztóból kijövő por durva frakciójában figyelhetőek meg (**11/1. ábra**). Ezek annak bizonyítékai, hogy az utánégetőből kijövő füstgázok Zn gőzt tartalmazhatnak, ami kondenzálódik, majd oxidálódik. Hasonló kondenzátumok fordulnak elő a vízhűtéses kemenceajtó külső oldalán is, ahol a kilángolásból erednek. Ezek bizonyíthatják, hogy a



11/1. ábra Az OAM Kft. füstgázrendszerének jellegrajza (A) és a leválasztott porok megjelenése (B, C, D).



11/2. ábra A szállóporok vízoldható ásványai (A, B), valamint a durva- és finomleválasztói porok ércmikroszkópi felvételei (C, D). A/. kép: szállópor eluátum bepárlási kérgének felvétele (kőso, kálisó és aphtitalit). B/. kép: durva szemű szállópor eluátum bepárlási kérgének felvétele rosenitté alakuló melanterit kivirágzás. C/. kép: leválasztott durva szállópor csiszolata salak szferulákkal. D/. kép: leválasztott finom szállópor csiszolata, finomszemű cinkoxid dús mátrixba (vörös) ágyazott salak szferulák láthatók

kemencetérben a gázatmoszféra időnként enyhén redukáló, ezért atomos cinkgőzt is tartalmazhat, ami kilépve és azonnal oxidálódva néhány mm-es vastagságban lerakódik a kemence salakoló ajtajára. A leggyakrabban ezek cinkoxid szublimátumok, amelyek az oxidáló füstgázban szállítódnak diszpergálódva és hideg felületeken kicsapódnak.

E lerakódás részleges lehámlásából eredhet a salak nyomnyi mennyiségű ólom- és cinktartalma, ami jelentéktelen, de forrásának ismerete fontos a folyamat modellezéséhez. Ez a kirakódási folyamat -normál körülmények között- a hőcserélőnél nem jelentős, mert a ZnO-ban dús lerakódások egy idő után leválva lehullanak a porgyűjtő zsákba.

A környezetbe kijutó por indokolatlanul kelt aggodalmat a lakosság körében, mivel nagyon kicsi a szóródási udvara, továbbá a leválasztott és a zártrendszerben kezelt portartalomnak ez csupán egy igen kis töredéke.

A leválasztott szállóporok e célra előkészített preparátumain fém-mikroszkópi és SEM/EDS elemzéseket, felvételeket készítettünk (*11/3. ábra*). A felületi csiszolaton kirajzolódnak a kémiai jellemzésnél már említett, durvább frakciót képező salakszemcsék. Ezek miatt a szállóporok a salakokhoz is sorolhatók, illetve nem lehet éles vonalat húzni a szállóporok és a salakok között. A csiszolaton a salakszemcséknek jellegzetes gömbszerű külalakjuk van, mely belül üreges. Ezek a szferulák a habzásban lévő salak felületéből, a gázbuborékok szétrobbanása által képződnek (GUÉZENNE et al. 2005). A kialakulásukkor a gázhólyagok szétrobbanásával mikronos nagyságrendű olvadék lepénykék szakadnak ki a salakból, majd az áramló közegben lebegve, még meleg állapotban, apró szferulákká tapadnak össze. A kifelé áramló füstgázok magukkal ragadják és a füstgázrendszerbe juttatják őket. A csiszolatokon megjelenik az ultrafinom vörösesbarna cinkitben-franklinitben dús mátrix, ami részben még a kolloid mérettartományban van ( $d < 0,5\mu\text{m}$ ).

#### *11.2.2. A szállóporok kémiai jellemzői ásványfázisai*

Az említett szállópor minták fő- és nyomelem tartalmát megvizsgáltuk. Az eredményekből látható, hogy alkotói között sok a vas és meglepő a Zn kiugróan nagy részvételi hányada. A közel 2%-os ólom tartalom is jelzi, hogy itt egy egészségre erősen káros hatású szállópor képződik, de a jelenleg működő leválasztás ennek kockázatait elenyészővé redukálja. Jelentős a kloridion és a kadmium jelenléte, amiknek vízzoldékonysága miatt akkor lehetne környezetre veszélyes hatásuk, ha a por természetes élővizekbe kerülne. Az összetétel a szemcsemérettel változik, mivel a  $63\mu\text{m}$  szemcseméret feletti rész összetétele a kemencesalakéhoz áll közel (*11/1., 11/2. táblázatok*).

A másik szállópor az említett szürke típus, ami döntően a kemence kilángolásából származik. A csapoláskor fejlődő dezoxidációs kohászati füst is hozzá keveredhet elenyésző mennyiségben. A szürke szállópornak igen nagy a karbon tartalma, ami részben a karbonátokból ered, de többségében az el nem égett, kemencébe injektált koksportból, illetve a kilángolásakor kijutó koromból származik.

E por nehézfém (Zn, Pb, Cd), valamint Cl, S tartalma a primer elszívással kapott porokhoz képest csupán töredéke azokénak. Ennek a pornak az előzőnél jóval kisebb a toxikus anyag tartalma, de számos elem, köztük az ólom és a kadmium is jóval a megengedett szint felett van, ezért ezt az anyagot is veszélyes hulladékként kell kezelni.

A vizsgált szállóporok elemtartalmuktól függően, változó mértékben korrozívak a fémekre nézve. A vízzoldható szulfát az esetlegesen mobilizálódó ólmot és báriumot kicsapja. A Cd nagyobb problémát jelent, mert vizsgálataink szerint a vízzoldható fázisban dúsul. Mivel azonban ez a néhány százaléknyi por is leválasztásra és begyűjtésre kerül, ezért környezeti kockázat itt sem jelentkezik.

Az elszívó rendszer tökéletlensége miatt kisebb pormennyiség (~0,01%) kiszabadulhat, de a levegőben felhígul, szűk térben kiülepszik, s e közben a jelen lévő kevés mészpór mérsékli a kadmium kioldódását. E miatt a kadmium emisszió azonos nagyságrendű a dízel üzemű járművek kipufogó gázaival kijutó értékkel. A nagyforgalmú autópályák mentén, főként a közúti árufuvarozás miatt, viszonylag sok kadmium és dízelkorom szállópor juthat a környezetbe. Ez a hatás sokkal károsabb (diffúz forrás) mint a kohászati szállóporok szűk térre emittált (pontforrás) csekély hányadának hatása. A cégnél jelenleg zajlik az elszívó rendszer rekonstrukciója, ami még tovább javítja majd az egyébként is megbízható környezeti védelmet jelentő szállópor kezelési technológiát.

Az OAM Kft 7 éve megvizsgáltatta velünk (DE, Ásvány- és Földtani Tsz.), hogy a szállóporok nehézfém-tartalma az adagidő függvényében változik-e jelentősen. E részutatás során 23-mintát gyűjtöttünk be, egy adag gyártása során 3 percenként. A vizsgálatokból kiderült, hogy nincs markáns különbség az összetételekben (**11/3. táblázat**), de jól kivehetők a hulladékadagolás után megjelenő kisebb csúcsok a vizsgált elemek időbeli koncentráció ingadozásában (PAPP et al. 2010).

A nagy Zn tartalmú betétnek van még egy káros hatása, lecsökkenti a kemenceszív tartósságát, a szív repedéseibe beszívódó Zn-gőz a kemence atmoszféra oxidatívává válásával a CO<sub>2</sub> által oxidálódik, ami térfogatnövekedéssel jár és szétrepeszti a szívet.

Vizsgálataink szerint a szállópor két fő Zn ásványa a cinkit és a franklinit. Ez a két ásvány az újrahasznosítás hatékonyságának szempontjából jelentős, mivel a ZnO lúgban jól oldódik, míg a franklinit egy igen stabilis, kizárólag tömény kénsavban oldódó ásvány. A szállópor összetétel és a cinkit/franklinit arány ingadozása az adagidőben változik.

A kísérlet során a szállóporok Zn tartalmának ~65%-át ammónium karbonáttal tudtuk kioldani. Ezzel a módszerrel pontosan, költséges XRD vizsgálat nélkül meg lehet határozni a szállópor ZnO / ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> tartalmát (PAPP et al. 2010). Adaggyártáskor a redox viszonyok ingadozását a szállópor franklinit részarányának változásai tükrözik leginkább.

A szállóporok utólagos iztitása megfigyeléseink szerint növeli a franklinit részarányát, míg az anyag jelentős, 5%-nyi Cl<sup>-</sup> ion tartalma illósítja az ólmot. Az ilyen porok feldolgozása során első lépésben legcélszerűbb a hidrometallurgiai technológiát alkalmazni, míg a második lépésben kerülhet sor valamelyik pirometallurgiai eljárásra. A szállópornak átlagosan ~10 %-a vízzel oldható. Ez a vízzel oldható hányad főként NaCl, KCl, NaKSO<sub>4</sub> és a CaO. A halogén elemek eltávolítására többfelé az anyag termikus kezelését javasolják (ZABETTA & LU. 2008)Az összegyűjtött porból tehát vizes mosással a fázisokat el lehet távolítani. A por környezeti veszélyessége ezzel a kimosási művelettel már nagyságrendileg csökken, illetve a maradék komponensek 10% -kal dúsulnak. Az így nyert iszap a levegőn a benne maradt mészpór miatt megköt, tömörödik és javul a térkitöltése, ami a szállításnál előnyös, mivel az összterfogat így a felére csökken. Ezek a vízzel oldható fázisok kisebb koncentrációban feltehetően még a tisztított füstgázban is megvannak. Tartósan kiülepedve és a párás levegővel érintkezve erősen korrozív közeget tudnak létrehozni az üzem környezetében. Ez a korrozív hatás a tengeri sósvízi környezetéhez hasonló jellegű és mértékű lehet. Ezzel a vízzel oldható fázissal kapcsolatos másik probléma a benne megjelenő oldott kadmium. Az említett vizes mosással a probléma megszüntethető.

A leválasztott porminták SEM/EDS vizsgálatának eredményei (**11/3. ábra**) alapján elmondható, hogy a hőcserélőből származó durva porok szennyező Zn tartalma kicsi, az Pb pedig itt még ki sem válik. Feltűnő e porok kiugróan nagy vastartalma, ami a nagy sűrűségnek és a nagyobb szemcseméretnek köszönhető. A bennük lévő elemi ferrum jól érzékelte a mérsékelt oxidatív viszonyokat, de mellettük jelen van a wüstit, cinkit, magnetit és franklinit is. Itt még jól felismerhetően megjelenik az égetett mészpór, de a S és

Cl még csak alárendelt mennyiségű. A zsákos leválasztói finom porban viszont már számos elem kondenzálódik és nagyobb koncentrációban van jelen (S, Cl, Pb és a Zn).

Az eredmények bizonyítják, hogy a hőcserélőből kilépő füstgáz finom por frakciójában dúsul a cink és az ólom mennyiségének döntő része. A zsákos porban is jól látható a salakfázis és a szállópor keveredése, ami még a kemencében mehet végbe, amikor a fűrdőből kiszakadt salakcseppek a füstgáz Zn és Pb tartalmának egy részét abszorbeálják. E fázisok vizsgálata még lezáratlan, eddig csak részlegesen tudtuk megvizsgálni őket a nagy mintaszám, valamint a specifikus módszer- és műszerigény miatt. Érdemes lenne további szemeloszlás és fajlagos felületelemzéseket is végezni.

A téma összetettsége miatt a leválasztott porok két fő típusát, a zsákos leválasztói szállóport, a kilángolásból származó szürke szállóport és az említett hőcserélői kondenzátumot vizsgáltuk.

A zsákos leválasztói szállóporok anyagának jelentős részét a várakozásnak megfelelően a cinkit és franklinit alkotta (**11/4. ábra**). E mellett jól kivehetően megjelentek különféle foszfát tartalmú fázisok (pl. kálim–alumínium-foszfát hidrát, vas-hidrogén foszfát hidrát), valamint kalcium-vas-mangán oxid, perovszkit, amelyek jelenlétére szintén számítottunk. Az oxidok megjelenése a salakból való származást valószínűsíti.

A kilángolásból eredő szürke szállópor összetételében (**11/5. ábra**) is a fő alkotó a cinkit és franklinit, itt is előfordul a kalcit, de mellette megjelenik a magnetit, a kvarc és a mutinait is. Ez utóbbi két ásvány savanyú (szilikátos) közezből, feltehetően a kocszhamuból származhat. A mutinait zeolit ásvány, melynek itteni képződésében szerepe lehet az eltávozó alkáliáknak, a betét nedvességtartalmának és a földgáz égése során fejlődő vízgőznek. A willemit jelenléte a ZnO és a kvarc reakciójának eredménye lehet. A leválasztott porban a mutinait és a karbon eltűnik, mert az utánégetés átalakítja őket.

Az ME Anyagtudományi Intézet Co röntgen csöves XRD készülékével készült hőcserélői kondenzátum felvételén (**11/6. ábra**) alapvetően csak a cinkit és franklinit fázisok voltak kimutathatók, kevés kalcit kíséretében. Valószínű, hogy ez az összetétel nem reprezentálja kellő pontossággal ezeket a porokat, mivel lehetnek bennük változások, és feltehetően mellettük kisebb mennyiségben egyéb alkotók is megjelenhetnek.

A zsákos leválasztói szállóporból készített desztillált vizes eluátum bepárlásával nyert sókiválást megelemeztek, belőle három vízoldható ásványt mutattunk ki (halit, szilvin, aphtitalit), s közvetetten egy negyediket is, a portlanditot (oltott mész). Ez utóbbit a karbonát jelenlétéből lehetett kikövetkeztetni. Valószínű, hogy eredetileg oldott  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  formában lehetett jelen, ami a levegőn később karbonizálódott.

A bepárolt eluátumban a S és a Cl nedvesség hatására különféle vízoldható sók formájában jelenik meg (**11/7. ábra**), mint kősó, kálisó valamint aphtitalit ( $\text{KNaSO}_4$ ). A szállóporba került égetett mészporból képződik oltott mész (portlandit), ebből a mész karbonizációjával kalcit lesz, ami a kiülepedő port megszilárdítja. Az eluátum bepárlásával nyert sóbevonatban az XRD vizsgálat szerint jelen van a kalcit.

Ezzel a kísérlettel, vagyis az eluátum bepárlásával lehet közelítőleg modellezni, hogy a porból kioldódó anionok-kationok nagy valószínűséggel milyen vegyületként kristályosodnak ki, ha a vizes oldat bepárlódik.

Meghatározható, hogy potenciálisan mely korrozív ásványok jelenhetnek meg egy ilyen poranyag kilúgása és az oldat bepárlása folyamán. A valóságban a porszemcsék felületén kolloid méretekben zajlik le ez a sókivirágzás, de egy ilyen oldással-kristályosítással jól mérhető és vizsgálható anyagmennyiséget lehet előállítani.

### 11.2.3. A leválasztott acélműi szállóporok hasznosításának lehetőségei

Az ebben az alfejezetben bemutatandó kísérleti vizsgálatunk új, saját kutatási eredményt is tartalmaz, amely gazdaságosabbá teheti az acélglyártást és kiküszöbölheti a szállópor által okozható környezeti ártalmak jelentős részét.

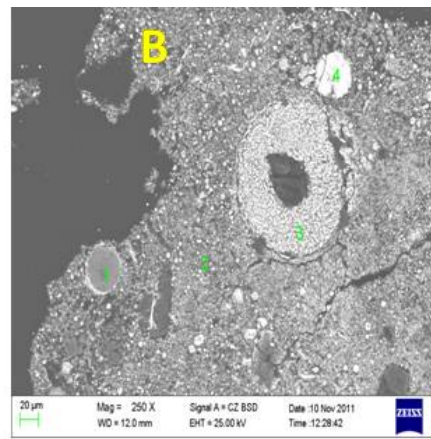
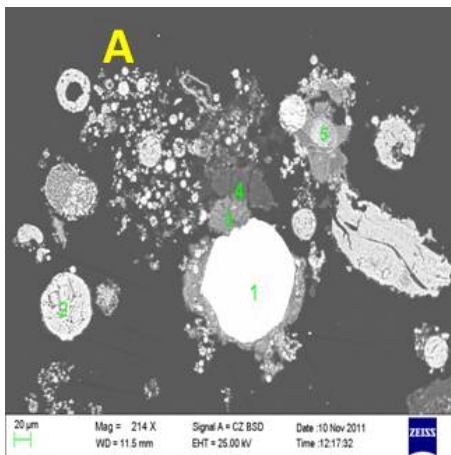
A salakok mellett az acélglyártás másik jelentős mellékterméke az ún. acélműi szállópor, ami a füstgázokkal távozik. Ebben dúsul a Zn, Pb, Cd, illetve Na, K, F, Cl, SO<sub>4</sub> stb. Ezek a porok a nagy nehézfém tartalmuk miatt jelenleg veszélyes hulladékoknak minősülnek, ezért porleválasztással kötik meg őket. A leválasztott anyagot jelenleg veszélyes hulladéklerakóba szállítják. Ezen anyagok deponálása a fokozatosan szigorodó környezetvédelmi előírások miatt egyre költségesebb. Ugyanakkor a jelentős nehézfém-tartalom sokszor nagyobb (Zn 10-35% Pb 3-4%) mint a cink és ólomércnek műveleti határa (Zn 5% Pb 2%). E két nehézfém mellett számos más mérgező vagy ritka, de gazdaságilag fontos nehézfém is kinyerhető pl. Cd, In, Ag, V, stb. Az ilyen leválasztott szállóporoknak a nagyobb hasznosítási koncentrációján túl még számos előnyük van. Nem kell bányászni, aprítani, örleni, ami nagy beruházási költséggel és energiárfordítással jár. Elmarad a bányászat környezetkárosító hatása és a ma már ennek felszámolását, mérséklését célzó rekultivációs tevékenység költsége is. Az anyag feldolgozhatósága szempontjából nagy előny, hogy hidrometallurgiai eljárásokkal, kis energia felhasználással, kisebb léptékben is gazdaságosan, hatékonyan dolgozhatóak fel. Ennek eredményeként széles, jól értékesíthető termékpaletta hozható létre, ami a különféle cink- és vasvegyületektől (ZnO, ZnSO<sub>4</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeSO<sub>4</sub>) a színelemekig (Pb, Zn, Cd, In, Ag stb.) terjedhet. Nem mellékesen új munkahelyek jöhetnek létre ez által.

Azért vizsgáltuk meg a leválasztott porok kémiai-ásványtani tulajdonságait, mert ezek pontos ismerete nélkül nem lehet megfelelő léptékű és hatékonyságú technológiát kidolgozni. Az előbbi vizsgálataink szerint a technológia alapja mindenféleképpen az anyag vizes mosása, a vízzeloldható halogénidek eltávolítása céljából. Utána következhet az anyag ammóniás lúgzása, a ZnO-ként jelenlévő cink kinyerése céljából.

Az oldásból visszamaradt anyag hasznosítása ma még nem teljesen megoldott. Gyakran még jelentős mennyiségű cink van az anyagban, ami hidrometallurgiai úton nehezen dolgozható fel. Jelenleg ezt a problémát az anyag kénsavas lúgzásával próbálják megoldani, ami részben működik is (pl. jározitos- goethites eljárás) (PÁSZTOR et al. 1990), de nagymennyiségű a visszamaradt jározit és goethit összetételű, iszapos állagú csapadékok, amelyekről az eljárások a neveiket kapták. Ebben a visszamaradt anyagban gyakran még több %-nyi nehézfém található, ami miatt ez az anyag veszélyeshulladékként kerül lerakásra, így csökkentve a cink kinyerésének hasznát.

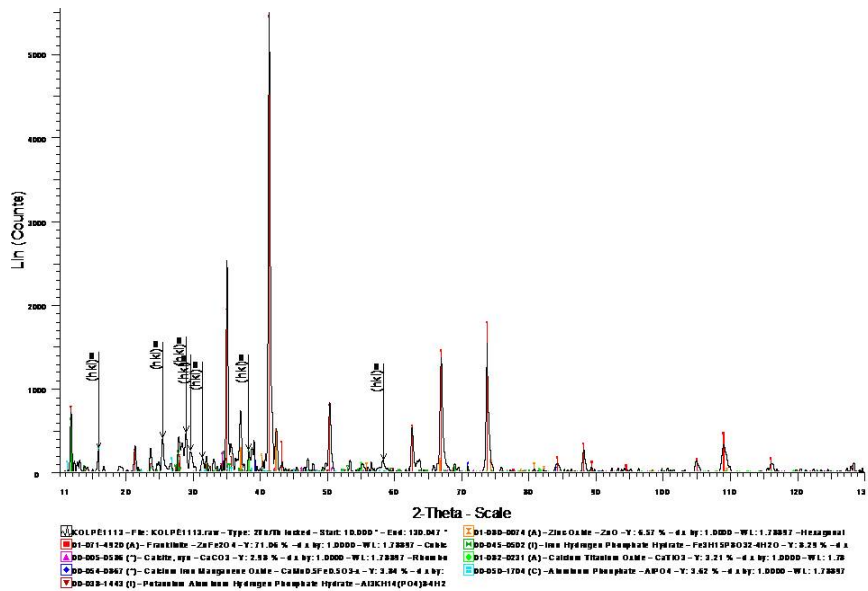
Ezt a problémát a cinkben szegényített szállópor ivkemencébe adagolásával lehet orvosolni, mert az adaggyártás közben felszabaduló cink a szállóporban dúsítható. Ennek határt szabhat a por foszfor és ólom tartalma. Közülük az ólom az igazán veszélyes mert, az el nem párolgó része az acélfürdő alján, önálló olvadáspontként összegyűlhet és a kemence üzem közbeni kilyukadását okozhatja. Az ólomoxid (massicot) oldódása ammóniás oldatban, hasonló a cinkéhez, így az ólom tartalom jelentős része kinyerhető, az ammóniás lúgzással kapott oldat viszont így erősen szennyezett lesz. Ezt az oldatot hidrometallurgiai úton meg lehet tisztítani. Az előbbi lúgzási technológiánál van egy másik felmerülő kérdés, hogy az ólom tartalomnak mennyi a franklinitehez kötött oldhatatlan része? Ezt külön nem vizsgáltuk, de ennek pontos ismerete elengedhetetlen lenne a visszajáratandó porok pontos mennyiségének meghatározásához.

Az acélműi szállóporok kemencébe történő injektálása egyébként nem új ötlet, ezt régóta alkalmazták már kísérleti jelleggel világszerte (DRISSEN 2003), de valószínűleg az

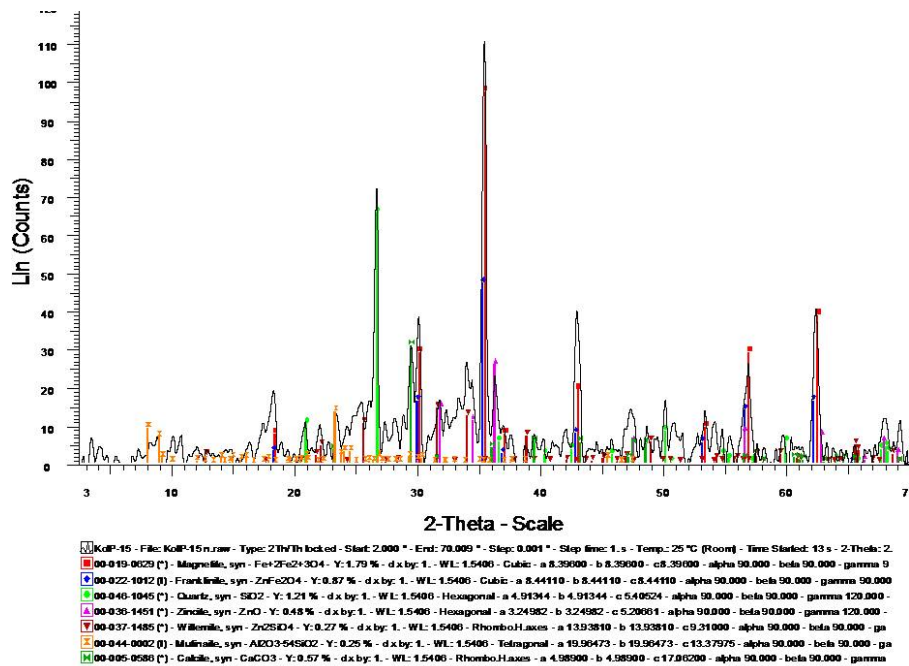


%	A/1	A/2	A/3	A/4	A/5	B/1	B/2	B/3	B/4
<b>O</b>	0,6	10,71	23,31	36,8	8,81	27,72	14,54	16,39	16,48
<b>Na</b>	0	0,24	2,93	1,33	1,12	1,24	0	0,13	0,44
<b>Mg</b>	0,17	0,08	0,83	0,93	0,14	5,43	1,63	2,24	2,7
<b>Al</b>	0,18	0,21	0,67	0,92	0,25	12,36	0,76	2,41	0,72
<b>Si</b>	0,21	0,14	0,85	2,6	0,67	8,98	2,51	1,31	5,62
<b>S</b>	-	-	-	-	0,94	3,32	0,77	0,46	1,82
<b>Cl</b>	-	-	-	-	0,55	1,65	0,34	0,23	1,66
<b>K</b>	0,09	0,17	1,43	1,43	0,82	1,8	0,48	0,16	0,7
<b>Ca</b>	0,23	0,29	13,36	53,59	1,79	20,48	3,04	6,43	7,98
<b>Cr</b>	0,23	0,39	0,76	0,19	0,49	0,61	0,52	1,26	0,5
<b>Mn</b>	0,26	0,53	0,27	0,18	0,33	1,1	2,51	3,38	0,9
<b>Fe</b>	97,71	84,01	55,06	1,47	83,52	13,47	32,73	47,92	23,68
<b>Zn</b>	0,3	3,22	0,53	0,55	0,56	3,84	36,66	17,22	11,97
<b>Pb</b>	-	-	-	-	-	-	3,5	-	24,8

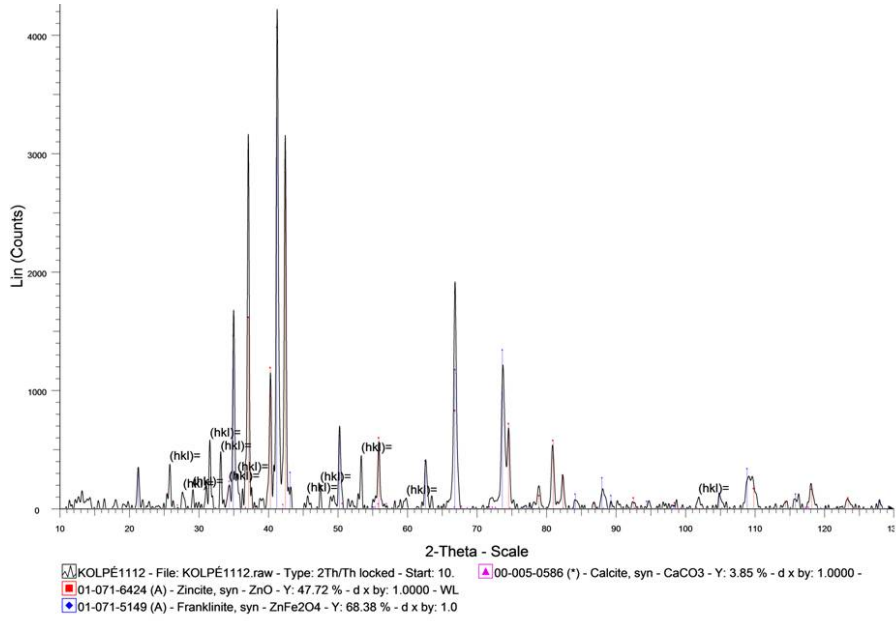
11/3. ábra A durva- és finomszemű szállópor SEM/EDS vizsgálata (készítette: Kovács Árpád, ME)



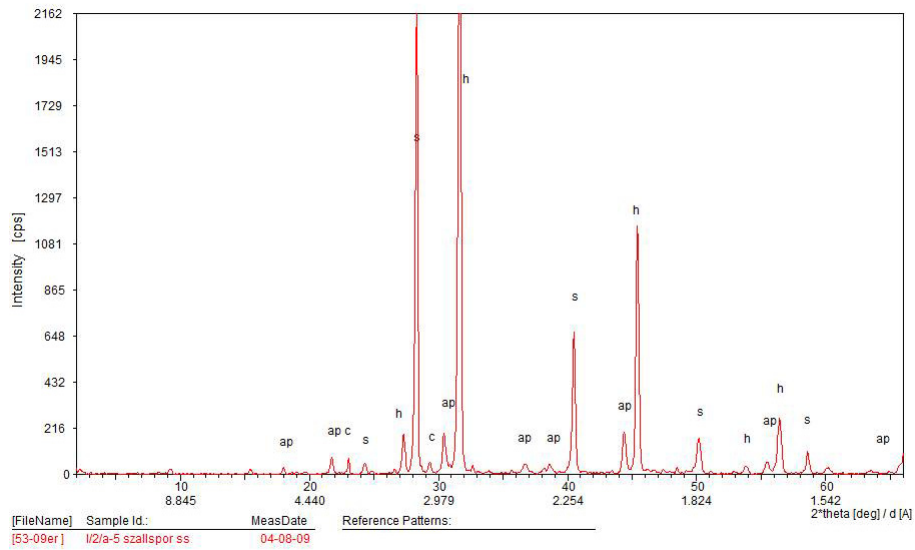
11/4. ábra Zsákos porleválasztói szállópor XRD felvétele (készítette: Kristály Ferenc, ME)



11/5. ábra Kílángolásból származó szürke szállópor XRD felvétele (készítette: Kristály Ferenc, ME)



11/6. ábra Hőcserélői kondenzátum XRD felvétele (készítette: Sólyom Jenő, ME)



11/7. ábra A szállópor eluátumból kioldott sótartalma (készítette: Kónya Péter, MFGI) jelmagyarázat: ap: aphtithalit, c: kalcit, h: halit, s: szilvin

előbb említett problémák nem tették lehetővé az üzemszerű alkalmazását. Ezt a problémát csak bonyolítja, hogy a leválasztott porok összetétele az olvasztásra kerülő betétanyagok összetételi ingadozásai miatt azokkal párhuzamosan szintén ingadozik. A hulladéknélküli ún. „Zero Waste technology” irányzat szemléletébe egyedül a visszajáratás férhet be.

Az említett problémák mellett ennek előnyei is vannak, a nagyobb vasoxid tartalom miatt kevesebb oxigént kell adagolni a kemencébe, ami költségcsökkentő tényező. E mellett optimalizálni lehetne a termelődő szállóporok cinktartalmát, így a cinkkinyerés költségeit is. Végül megszabadulnánk egy nagy kiadást jelentő veszélyes hulladéktól.

## 12. ÖSSZEFOGLALÁS

A disszertációban a történelmi ózdi kohászatnak és a ma működő Ózdi Acélművek Kft-nek élő és élettelen környezetét, technológiáit, továbbá melléktermékeit vizsgáltuk meg a környezeti hatások szempontjából. Vizsgálataink kiterjedtek az alapanyagok, a gyártás során képződő acéolvadék, a salakok és szállóporok, mint melléktermékek anyagvizsgálatára, a régi és új kohászati műveleti területekre, a salakhányók és salakfeldolgozó térségére, a salakos völgyfeltöltésekre. Mindezt a tágabb és szűkebb földtani környezetbe ágyazottan igyekeztünk hatásaiban elemezni. A múltba visszanyúló kutatások pontossága az idő növekedésének függvényében csökken, számos tekintetben hiányos, részben hipotetikus, mivel a régi gyár létesítményeit, az ezredforduló előtt lebontották, a fennmaradt dokumentációk hiányosak. Az alábbiakban pontokba rendezve foglaljuk össze a kutatási eredményeinket, ezek egy része köré épülnek a tézisek.

- A vizsgált területünk felszínalkotó kőzetei környezetföldtani szempontból kedvező adottságúak. A meszes homokkő, a márga, a slír, a lösz és a vörösayag, valamint a piroklasztitok málladékaiból áthalmozott péltites üledékek és üledékes kőzetek többnyire vízrekesztők vagy szigetelők, tehát gátolják a fluidumokkal mozgó szerves és szervetlen szennyezők terjedését, felszín alá szivárgását. Agyagásvány tartalmuk változó, elérheti a 10-50 %-ot, jellemző képviselőjük a domináns mennyiségben jelenlévő duzzadóképes montmorillonit és illit-montmorillonit kevert szerkezet, amelyek különböző kristályossági fokúak lehetnek, a képződési körülményeik változatossága miatt. Mindez a Bükkháton másutt is megfigyelhető a miocén kori és a negyedidőszaki üledékekben (KOZÁK & PÜSPÖKI 2003). Izotópgeokémiai vizsgálatok igazolják, hogy ezeknek az agyagos üledékeknek igen jó az ioncsere kapacitása, ezért képesek megkötni toxikus elemeket, köztük nehézfémeket, ami kihasználható, így ipari nyersanyagként kezelhetők.

A felszíni képződményekben megjelenő kisebb nagyobb karbonát tartalom e kőzetek és a rajtuk kialakult talajok pufferkapacitását növeli, ami szintén a káros anyagok kiszűrése és megkötése szempontjából fontos és hasznos adottság.

Ennek köszönhető, hogy az e felszínekre 170 év alatt deponált, nagy mennyiségű kohászati salak kioldható elemtartalma nem tudta elszennyezni az alatta húzódó talajokat, üledékeket, talaj- és rétegvíz szinteket. A helyi, felszíni geológiai háttér szennyezésérzékenysége kicsi, miközben a jelentős vízkészletet tartalmazó közeli bükki nyíltkarszt- és a Sajó-Hernád egyesített hordalékkúpja hazánk legérzékenyebb területei közé tartozik. A Sajó, mint az ózdi ipartelepek egykori befogadója, hosszú időn át hazánk és Európa egyik legszennyezettebb folyóvize volt, de az elmúlt két évtized ipari, bányászati recessziója, és a bevezetett szigorú környezetvédelmi szabályoknak következtében a folyóvizek állapota hatalmas javulást mutat.

- A régi, 100 éves kohászati salakoknál tapasztalt mineralizációs és mállási folyamatok során semmilyen károsanyag kioldódását nem észleltük. E vizsgálatokkal sikerült bizonyítanunk, hogy a jelenlegi recens salakokban kimutatható ásványok e régi salakokban már nagyrészt nincsenek jelen, mivel többségük elbomlott és/vagy kimosódott, illetve már csak nyomokban mutatható ki. A mállásuk során képződő másodlagos ásványok viszont többnyire azonosíthatók. A másodlagos kiválások nem jelentenek veszélyt a környezetre (KOLESZÁR 2005), illetve jellegükből adódóan még bizonyos mennyiségű nehézfémeket is képesek megkötni, s így hatástalanítani. A Tekerős-völgyet kitöltő salakok rátelepednek a völgyfőből eredő forrás lefutó vizére, ami így hosszán érintkezik a salakdepóniákkal, összegyűjtve azok csurgalékvizeit is. A település szélső házainál felszínre lépő vízfolyás vízmintáinak elemzésekor nem lehetett bennük semmilyen oldott, környezetre káros, vagy toxikus anyagot kimutatni. A vas és kalcium-hidrogénkarbonát mutat nagy koncentrációt, ami a salakok maradvány fémtartalmával és a málláskor kicsapódó karbonátokkal hozható kapcsolatba.

A ma termelődő olvadt acélműi salakot az Aicher Beton Kft. centeri salakárkába öntik, amit vízagyúkkal hűtenek. E salakok kezelése során a hűtésére használt víz egy része elpárolog, a maradék csurgalékvizet a salakárok drénezett ágyazati rétegén keresztül összegyűjtik és visszaforgatják a vízagyúkhöz. Időnként az elpárolgott vizet friss ipari vízzel pótolják. A salakok hűtése során nem kerül csurgalékvíz a környezetbe. A lehűtött és visszatermelt salakok pihentetése során azok szabad mész tartalma lassan megkötődik, beindulnak a korábban említett mállási folyamatok, amelyek nem jelentenek veszélyt a földtani és egyéb környezetre.

- A kohászati salakoknak laza törmelékes szerkezetük és nagy porozitásuk van, ezért a velük feltöltött térszíneken (pl. a Hangony árterének egy részén), a talajvízszint közelsége miatt felváltva érintkeznek csapadékvízzel, az ingadozó szintű talajvízzel és levegővel. E miatt fokozottan ki voltak és vannak téve az oxihidratációs hatásoknak. Ez a laza szerkezetű, salakfeltöltéses térszín minden, a fluidumokkal potenciálisan mozogni és beszívárogni képes szennyezésre a nagy áteresztőképességük miatt érzékenyek, tehát ezek környezetében különösen kerülendő minden olyan tevékenység, ami szennyező hatású (pl. benzinkút, autómosó, szerelő műhely, gépállomás). Példa van rá, hogy ahol ilyen létesítettek nem megfelelő szigetelésekkel, ott a gyorsan jelentkező káros hatások miatt e tevékenységeket fel kellett számolni. Mindebből az következik, hogy a kohosalakokkal és szénsalakokkal feltöltött völgytalpi területeken csakis szigorúan ellenőrzött, jól behatárolt építmények telepíthetők és kontrollált tevékenységek folytathatók. Fontos, hogy e területek kiterjedéséről, szerkezetéről, anyagáról, feltöltési vastagságáról, megfelelő térképek, szelvények, anyagvizsgálatok álljanak rendelkezésre, s e területeket a környezetföldtanilag fokozottan szennyezésérzékeny kategóriába soroljuk. Itt kell megemlítenünk, hogy az MFGI gondozásában megjelent országos szennyezésérzékenységi térkép három kategóriájához képest az ilyen ipari környezeteket jóval részletesebb bontású, több minősítési osztályt tartalmazó szennyezésérzékenységi térképekkel kell ellátni, amelynek érzékenységi fokozatai a települési környezet adottságaihoz vannak igazítva. Ebben egyrészt szerepelnie kell a természetes földtani adottságoknak, a képződmények jellemző érzékenységi tulajdonságainak, másrészt figyelembe kell venni az ott korábban történt antropogén beavatkozásokat, ha azok a természetes állapotokat felülbélyegezték, amint ez a salakfeltöltések esetében Ózd több területén tapasztalható.

- Az előző pontban leírt salakfeltöltéseket a település természetes és mesterséges vízkörforgalma szempontjából is vizsgálni kell, mivel e téren is megváltoztak a körülmények. Ilyen például a Hangony ártere, amelynek kiterjedését a feltöltés erősen

lecsökkentette, megnövelve ezzel a beszűkült artéri szelvényben az árvízveszélyt. Ugyanakkor nagyobb vízcsere lehetőséget biztosít a mederbeli nyíltvíz és az alluviális terület talajvize között. Ezt a kedvezőtlen hatást fokozta a Hangony-vízgyűjtőjén az erdőterület csökkenése, amely fokozta a lefolyási hányadot. A folyamatban lévő éghajlatváltozás miatt várható szélsőségesen csapadékos időjárási helyzetek nagyobb gyakorisága (BARTHOLY 2004) tovább súlyosbíthatja ezt a problémát, jelentősen megnövelve a település területén az árvízveszély kockázatát.

- Az elmúlt 170 év ózdi kohászata a légszennyezés miatt közvetett hatással volt a települési környezetre, bár ennek pontos mértéke és időbeli alakulása – néhány szórvány adattól eltekintve – ma már követhetetlen. Vizsgálatunk alapján a mai acélmű környezetében nem mutatható ki egyértelműen olyan por és légszennyezés, amely a kohászati tevékenységre vezethető vissza, mivel az eljárások igyekeznek megfelelni a mai szigorú környezetvédelmi követelményeknek. Hullópor próbaméréseink csupán a természetes eolikus finom közetliszt szemcsék kismértékű mozgását és csekély lakossági tüzelésből származó fűtési idénybeli pernyét tudtak kimutatni.

Az OAM létrejötte előtti kohászati tevékenység viszont technológiától függően különböző kiterjedésű körzetekben szennyezte a területet, elsősorban olyan porokkal, amelyben jelen voltak a nehézfémek is. Idősebb visszaemlékezők szerint az 1950-es éveket követő 30 évben a gyár füstgázokkal együtt érzékelhető szaghatással (pl.  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) és kiporzással szennyezte a mainál nagyobb kiterjedésű belterét és a külső környezetét egyaránt. Ezek mértékéről és távolhatásáról azonban egzakt vizsgálatok nem készültek.

Az általunk vizsgált terület az egykori kohászat immissziós zónájában fekszik, ezért az itteni talajmintákban nem lehet egyértelműen eldönteni, hogy a benne megjelenő fémpor szennyezésnek lehet oka mai tevékenység is vagy az csupán a korábbi működés következménye. Megismerve a technológia részleteit, szinte bizonyos, hogy ezek a régi gyár egykori működésének nyomai.

A minden tekintetben megnyugtató megoldást egy olyan monitoring rendszer kiépítése jelentené, amely a mai potenciális szennyezőforrásoktól logaritmikus léptékben távolodva viszonylagos rendszerességgel mérné a levegő gázainak összetételét és a hulló por mennyiségét és minőségét. Utóbbinál megjegyzendő azonban, hogy a környező területek homokos, löszös üledékeiből az erősebb szelek ma is elmozgatják a közetliszt és homokliszt méretű üledékszemcsék egy részét, amely természetes eolikus üledékképződésnek tekinthető, ez azonban – a tapasztalatok szerint – jól megkülönböztethető az ipari poroktól, pernyéktől, koromtól, és egyéb aeroszoloktól.

Jelenleg a közlekedésből és a lakosság fűtéséből származó károsanyag emisszió nagyobb mértékű, mint az ipari eredetű kibocsájtás. A közlekedésből származó légszennyezettséget a területen átmenő nagy teherforgalom okozza. A dízelüzemű tehergépkocsik kipufogógázai nem elhanyagolható források.

Az emissziós források elkülönítése során a szerves szennyezőkön kívül a nehézfémek Zn, Pb, Cd, Ba stb. esetében is gondot jelenthet a lakossági hulladékkal történő tüzelés és a közlekedés. A rendelkezésünkre állt adatok és megfigyeléseink azt sugallják, hogy ezek a hatások metodikai problémákat vetnek fel, az eredetük és hatásuk átfedései miatt.

- A légszennyezettség esetében a környező településrész lakosságának szilárd tüzelésből eredő diffúz szennyezése károsítja a városrész levegőjét. A lakossági tüzelőberendezések – az ívkemencével szemben – nem rendelkeznek semmilyen füstgáz utánégető és porleválasztó rendszerrel, ezért gyaníthatóan a szerves mikroszennyezők (pl. PCB, PAH, dioxinok) jelentékeny hányada ilyen eredetű lehet. A térség medence jellegű időjárásának köszönhető gyakori inverziós légállapot miatt nagy a London típusú szmog

(MOSER & PÁLMAI 1999) kialakulásának esélye és gyakorisága, ami főként télen jellemző (általában ilyenkor szünetel az acélmű termelése).

- A felszíni vizek vízminőségére, így a Hangony patakra is – a múltbeli helyzettől eltérően – a jelenlegi kohászatnak alig van érzékelhető hatása. A legjelentősebb szennyező forrás a szomszéd telephelyen üzemelő ózd városi szennyvíztisztítómű, ami a technológiájának elavultsága miatt folyamatosan szennyezi a patak vizét. Emiatt a Hangonyból vett vízminutákkal nem lehet jellemezni az OAM Kft tisztított ipari szennyvizének tulajdonságait, mivel attól gyakorlatilag független.

- Az eddigiekben a természeti adottságokkal és a tágabb külső és belső terekben jelentkező környezeti hatásokkal foglalkoztunk, ezután a jelenlegi acélműi tevékenységhez közvetlenül kapcsolódó folyamatok környezeti hatásait tesszük vizsgálat tárgyává.

Az acélhulladékok fémes mátrixa maradó ötvözőelemekben általában szegényebb, mint a terméként kapott nyersacél. A leégési veszteség a várható trendnek megfelelően dúsitólag hat az acélban maradt ötvözőkre. Az acélban a kén tartalom jelentős része a korróziós termékekből, illetve a salakhabosítóból és a felhasznált öntöttvas/automata acél hulladékból ered. A P túlnyomóan a szürkeöntvényekből és a festett bevonatokból származik. A Cr, Mn, V stb. ötvözők nagyrészt a hulladék mátrix anyagából jutnak a rendszerbe. A Ba, Pb, Zn, Cd a fémek festett és horganyzott bevonataiból származhat. Ezt vizsgálatunk alátámasztotta, de észleléseink az arányok megítélésére alkalmatlanok.

A fenti elemek részben a salakokban jelennek meg, másrészt a füstgázokban és szállóporokban koncentrálnak. A salakok zárt rendszerben kerülnek feldolgozásra, a gáz- és porelszívás pedig jó hatásfokú ahhoz, hogy ilyen szennyeződések a mai üzem területéről ne jussanak ki. Egy ilyen üzem esetében még akkor sem következne be tragikus környezeti hatás (havária), ha az üzemet természeti katasztrófa (földrengés) lerombolná.

- A maradó ötvözők közül bekerülő Cu és Sn növeli a hengerlésre kerülő acéloknál a melegtörékenységet, a kén és a réz pedig a vörös törékenységi hajlamot. A Ni betonacélban maradék ausztenitet képezve fokozhatja a maradó feszültséget. A sok króm erősen lerontja a hegeszthetőséget. Általában ezek a kedvezőtlen hatások elhanyagolhatóak az Ózdi Acélművek Kft-nél, tehát egyenletesen jó minőségű termékeket tudnak előállítani. A problémák elkerülése érdekében törekednek a betétanyagok összetételének minél pontosabb ismeretére. Vizsgálataink szerint az acél maradó szennyezői illetve a S és P tartalma a különféle bevonatokból származik. A fémes mátrix jó minőségű acélhulladék. Az egyenletesen jó minőség biztosítása környezetvédelmi és gazdasági érdek, mivel ez által minimumon tartható a salak és selejt képződése.

- A primersalakok potenciálisan veszélyesnek tartott nehézfémek a Cr és a Ba, a vizsgálataink szerint stabil ásványokba vannak beépülve. A króm döntő részben kromitot képez, kisebb részben  $Cr^{3+}$ -ként a melilit ásványba épül be az Al-ot helyettesítve. A Ba is hasonló módon kerül a melilitbe, ahol valószínűleg a Ca-ot és a Mg-ot helyettesíti.

- Mivel Ózdon a salakok mérsékelt-közepesen bázikusak, így ezeknél főként a larnit és a Ca-ferritek jelenthetnek hasznosíthatósági problémát, ami közvetve meghatározza a környezetbe jutó melléktermék hányadot. A larnitba a Ca-helyére beépülő idegen atomok (Mg, Fe, Mn) lelassíthatják ezt a folyamatot. A Ca-ferritek nedves környezetben szétmállanak. Összességében ezek a salakok nem térfogatállóak. A salakolvadék alapvetően kétfázisú eutektikum. Környezetvédelmi szempontból ennek az állapotnak a megőrzése előnyös, ami a salak granulálásával valósítható meg. A króm egy része beépül a gehlenit szerkezetébe, az Al helyére. A foszfor jelentős részben a larnitos fázisba épül be, valószínűleg nagelschmidtit képezve. A bárium tartalom a mállás során a

salak felszínén baritként csapódik ki, ami környezetileg inert. Ezt a baritot – mérete és eloszlása miatt – XRD és SEM/EDS vizsgálattal mutattuk ki.

- Az üstkemencénél képződő salakok erősen bázikusak, nagy szabad mésztartalommal. Ezek fő ásványai XRD és SEM/EDS felvételeink alapján: larnit, bredigit, monticellit, merwinit, mayenit és a CaO, de nyomokban megjelenhet az alabandit (MnS) is. Az FeO tartalmuk gyakorlatilag elhanyagolható, hűlés közbeni módosulátváltozás miatt porrá hullik szét, amelynek a hasznosítása nem megoldott. Ez a porladt anyag nedvesség hatására előbb tixotróp masszává válik, majd idővel a betonhoz hasonlóan megköt, különféle kalcium-szilikát–aluminát-hidrátokat képezve: tobermorit, xonotlit, jasmundit spurrit stb. formájában, amelyek azonosítása nehezebb és bizonytalanabb a gyenge kristályosodottságuk miatt, ezért termikusan sikerült jelenlétüket valószínűsíteni. A barit jelenlétét itt is kimutattuk.

A betonacélok zárványtartalmában vizsgálataink szerint jelentős részt tesz ki a periklász, illetve más olyan MgO tartalmú ásvány, amilyen például a spinell. Tapasztalataink szerint a magnéziumoxid tartalom gyakran kétszerese az alumínium-oxid mennyiségének. Ez növelheti a kagylószükülés kockázatát, ami közrejátszhat a selejt képződésében, tehát ez minden szempontból – így környezetvédelmileg is – káros.

- A leválasztásra kerülő szállóporok két fő fázisa a cinkit és a franklinit, ezekben dúsul a cink. Vizsgálataink szerint a Zn átlagosan 65 %-a cinkitként van jelen, ami hidrometallurgiai módszerekkel könnyen kinyerhető. Jellegzetessége még ennek a szállópornak a 9-10% vízzeloldható ásványtartalom, ami főként kősó, kálisó és aphtitalit. Ezek az ásványok korrozívak. Pirometallurgiai előkészítés (zsugorítás) során a halogenid sók illósítják a Pb-ot. A leválasztott szállóporok vizes mosásával azonban azok veszélyessége nagyban csökkenthető. A szállóporok foszfortartalma jóval nagyobb, mint az ívkenence salakokban. Ennek forrásai bevonatok és műanyag hulladékok lehetnek.

- A jövőben érdemes lenne a vállalatnál termelődő hulladékhőt hasznosítani, akár házon belül fűtésre, használati melegvíz ellátásra, vagy házon kívül, a városi távhő és melegvíz hálózatba bekapcsolva. E hőtermeléssel növelhető az üzem nyereségessége is.

A fémhulladékok szakszerű előkészítésével az ötvöző szennyezettség mérsékelhető. Az eddigi vizsgálatainkból megállapítható, hogy sem a salakok, sem a szállóporok nem jelentenek környezeti veszélyt. Ennek egyik oka, hogy a korábbi vas- és acélgyártási technológiákhoz képest lényegesen kisebb a felhasznált nyersanyagok, a képződő salakok és szállóporok mennyisége, másrészt ezek már olyan korszerű, zárt, illetve félig zárt folyamatok, ahol kontrollálva és kezelve van a kikerülő melléktermékek csaknem teljes mennyisége. E mellett folyamatosan történnek kísérletek a költséghatékonyság és a környezeti biztonság növelésére, valamint a hulladékok és melléktermékek minél teljesebb és gazdaságosabb újrahasznosítására. Ennek eredményeként máris látható, hogy az Ózd határában a jelenlegi gyártásból kikerülő, helyben felhalmozott salakok mennyisége csupán töredéke a korábbiaknak, s ezek is megfelelő kezeléssel közömbösíthetők.

Míg az elmúlt 150 év vas- és acélgyártási technológiai tetemes mennyiségű kohászati- és szénsalakot állítottak elő, amivel a Hangony-patak völgyének egy jelentős részét, a már beépített területek alatt is feltöltötték, a hosszan elnyúló Hétes völgyet pedig 10-50m vastagságban kitöltötték. A korábban működő újrahasznosítási programok, például az építőanyagként történő salakhasznosítás, a salakdepóniáknak csak egy kis hányadát tüntették el, viszont nem ismervén e salakok hosszú távú viselkedését, számos újabb problémát generáltak a felhasználási helyszíneken (pl. kiporlás, víz- és fagyérzékenység, káros gázkibocsátás, néhol egzakt módon nem bizonyított sugárzó hatás).

Kutatómunkánk nem volt minden területen lezárható a menetközben felmerülő elágazások nagy száma, illetve műszerigény, költség- és időigény miatt, de átláthatóvá tette a kohászati tevékenység egyes részeinek környezetvédelmi jelentőségét. Ennek alapján több irányban is tovább folytathatók a kutatási célú vizsgálatok. Ilyen lenne például a salakok esetében egy hosszú időtartamú oldási vizsgálat, ahol folyamatos oldatkeringetés mellett naponta lehetne az eluátumból mintát venni és azt megelemezni. Ettől várható, hogy választ kapunk egyes salakfajták hosszú távú viselkedésének és környezeti hatásának mértékére, milyenségére, változásaira. Hasonló vizsgálatokat kívánna az igényesebb módon újrahasznosított salakok anyagának kontroll vizsgálata (pl. építőanyagok). E témacsoport részeként vizsgálni kellene bomlásra, mállásra, oldásra készített salakfajták anyagának további viselkedését.

A szállóporok esetében komplex környezetvédelmi elemzésre lenne szükséges. Ennek részeként elemezni kellene a vastartalom és egyéb elemtartalom mennyiségének változásait, valamint egyes elemeknek a gazdaságos dúsítását, kivonását elősegítő eljárástechnikai módszereket lehetőségeit és irányait.

A Tekerős-völgyben (Hétes) korábban lerakott salaktömeg esetében néhány ponton át kellene fúrni a már beállt, sok évtizedes depóniát és az annak bázisát alkotó földtani képződményeket legalább a talajfelszín alatti 20-30 m-es mélységhatárig. Néhány ilyen magfúrás lehetővé tenné a cementálódott salak állapotának függőleges és vízszintes irányú minőségváltozásainak, újrafeldolgozhatóságának és utóhasznosíthatóságának vizsgálatát. A földtani képződmények esetében érzékelhetővé válna a salaktömegnek az aljzatra gyakorolt hatása statikai és környezetvédelmi szempontból. Ezek az elemzések tisztázhatnák a völgykitöltés vastagságát, szigetelő képességét, valamint a póruszvizek és a talajvíztartó rétegek vízének nyomásállapotát és hidrokekémiai adottságait.

Nagy lehetőséget látunk egy önellátó energetikai rendszer kiépítésében, amely jelentős részben fedezné a település és az acélmű elektromos áram és fűtőanyag igényét. Ezt részben a helyi szénbázisra építendő zártrendszerű szénerőműben, valamint a szél- és napenergia hasznosításban, s főleg a geotermikus adottságok kiaknázásában látjuk. A részletek mellőzésével, a medence aljzat közelsége, az átlagosnál kisebb kéregvastagság miatt igen kedvező a földhőpotenciál, ami lehetővé tenné a GEOHILL technológia telepítését (KOZÁK 2011) és lehetőséget látunk számos vertikális hőszonda kiépítésére.

Ezek eredményeiből lehet következtetni az elektroacél gyártási folyamatában fellépő jelentősebb fázisátalakulásokra. Ez a rendszer messzemenően meghatározza az acélmű további technológiai lépéseit mind minőségi, mind mennyiségi oldalról. Ez a technológia egyben az OAM Kft legnagyobb hulladéktermelője is. Az ívkemence optimális működésének biztosítása tehát egyidejűleg üzemgazdasági- és környezetvédelmi érdek. E vizsgálatok során a technológia optimalizálásához ismerni kell a kemencében zajló fizikai és kémiai folyamatokat, hogy szükség esetén, az indokolt változtatások érdekében közbe lehessen avatkozni, megelőzendő a gazdaságtalan működést és/ vagy a környezeti károkat. A hatékony termelés és a környezeti szempontok egyidejű alkalmazásának szemlélete már szerepel az ISO:9001 és az ISO:14001-es minőség- és környezetirányítási rendszerek alapelveiben. Ma ezt az Integrált Minőségirányítási Rendszert használják a vállalatok.

Munkánk egyik lépéseként azt vizsgáltuk, hogy az alapanyagok milyen hatással vannak a nyersacél és a melléktermékek (salakok és szállóporok) minőségére, és ezek hogyan befolyásolják a gyártás körülményeit, valamint a kihatalt. A kapott adatokból próbáltunk következtetni a melléktermékek potenciális környezeti viselkedésére és a lehetséges hasznosíthatóságukra, hogy az újrafelhasználással minél több környezetre veszélyes anyag vonódjon ki a kohászati anyagforgalomból.

## 12. SUMMARY

The biotic and abiotic environment, technologies and by-products of the historical smelting industry at Ózd and that of the still operating Ózd Steelworks Ltd. were studied considering environmental effects. This study involved the analysis of base material, steel melts in the course of production, slags and dust as by-products, the study of the former and recent areas of metallurgical operation, slag heaps and slag processing areas and the slag valley fillings. These and their effects were analysed in relation to the immediate and the broader geological environment. Studying older processes becomes more and more inaccurate and hypothetical with time as the constructions of the former factory were demolished before the turn of the millennium and the available documentations are incomplete. Results of the research are presented in bullet points in the following and the theses are based on these results.

- Rocks found on the surface of the study area have advantageous characteristics regarding environmental geology. Pelitic sediments and sedimentary rocks formed from redeposited detritus of calcareous sandstone, marl, schlieren, loess, red clay and pyroclasts are impervious impeding the filtration and spreading of organic or inorganic pollutants moving with fluids underground. Clay mineral content of the rocks is variable reaching 10-50% with expansive montmorillonite and illite-montmorillonite mixed structure being the dominant. They may have various crystallinity degree due to their variable forming environments. These can be observed elsewhere in the Bükkhát in Miocene and Pleistocene sediments (KOZAK – PÜSPÖKI 2003). Isotope geochemical analyses prove that the ion exchange capacity of the clayey sediments is very good and thus they can bind toxic elements including heavy metals. This characteristic could be utilised in other fields as well.
- Variable carbonate content of the surface forming sediments increase the buffer capacity of the rocks and the soils formed on them. This again helps to filter and bin the pollutants.
- As a result there is no significant contamination in the soils, sediments and groundwater of the area from the significant amount of smelting slags disposed over 170 years. Pollution sensitivity of the local geological formations is small while the open karst area of the nearby Bükk and the alluvial fan of the Sajó and the Hernád belong to the most sensitive areas of Hungary. The Sajó Rives as the receiver of contamination from the Ózd industrial area was the most contaminated river in Europe for decades in the past. Its conditions are improving significantly, however, as a result of the industrial and mining recession in the last two decades and of strict environmental regulations.
- Release of any pollutant was not observed in the course of mineralization and weathering processes of the slags of the 100 years old smelting industry. Our investigation proved that minerals detected in recent slags are not present or only in traces in the old slags because most of them have been dissolved and/or leached. Most of the secondary minerals, however, formed by the decay of these minerals can be detected. These secondary precipitates present no harm to the environment (KOLESZÁR 2005) and capable of binding and thus neutralizing a certain amount of heavy metals. Slags filling the Tekerős Valley are disposed on the water of the spring in the valley head and thus the water collects the leachate of the slag depository. No dissolved elements harmful to the environment or toxic have been detected in the water samples of the stream taken at the marginal houses of the settlement. High concentration of iron

and calcium hydrogen carbonate was observed associated with the residual iron content of the slags and the carbonate precipitated via weathering.

Fluid slag from the Minimill produced nowadays is poured into the slag ditch of the Aicher Beton Ltd. at Center. This slag is cooled using water-bed. Small part of the cooling water evaporates while the remaining leachate is collected via a drained insulation layer and then returned to the water-bed. Evaporated water is replaced by fresh industrial water. No leachate is released into the environment in the process of cooling slags. The free lime content of the cooled slags is bound during the resting of the slag and weathering processes mentioned above start. These processes present no danger to the geological and other environment.

- Ladle furnace slags have loose clastic structure and high porosity therefore in areas with high groundwater table level (some parts of the Hangony floodplain) they become connected with precipitation water, the undulating groundwater and air as well. In this way these slags have been exposed to oxihydration processes. Areas filled with this loose and porous slag are sensitive to any kind of pollution that can filter and move into the slag with fluids due to its high filtration capacity. Therefore any activity with high potential of pollution has to be avoided in these areas (e.g. petrol station, car wash, garage, machine storage). According to experience, such activities established with inappropriate insulation closed down shortly due to the damaging effects of contamination. As a result in alluvial areas filled with ladle slags and coal slags only limited types of buildings can be built and only well defined activities can be carried out. It is highly important to have appropriate maps, sections and measurements regarding the extent, structure, material and thickness of the fills of such areas and to categorize these areas into the increasingly pollution sensitive category. It has to be noted that much more detailed maps with more categories than in the case of the pollution sensitivity map of Hungary published by the Geological and Geophysical Institute of Hungary are needed the sensitivity grades of which are adjusted to the conditions of the environment of the settlements. These have to be based on the natural geological conditions, the characteristic sensitivity properties of the formations but also on the previous anthropogenic measures if these altered significantly the natural conditions like in the case of slag fillings in and around Ózd.
- Slag fillings described above have to be studied from the aspect of the natural and artificial water cycle of the town because natural conditions were altered significantly. For example the floodplain of Hangony Stream was highly confined by slag filling and flood risk became higher in the confined and limited floodplain area. On the other hand water exchange is greater between the water in the stream bed and the groundwater of the alluvial areas. This effect was further intensified by the decrease of forest areas in the catchment of the Hangony because the rate of run-off increased. This problem will be probably more severe due to the expected higher frequency of extreme precipitation cause by the climate change (BARTHOLY 2004). As a result the risk of floods will increase in Ózd.
- Metallurgy at Ózd in the past 170 years had direct effects on the urban environment via air pollution. The exact grade of this, however, cannot be reconstructed today – except for a few scattered data. According to our investigation no dust and air pollution in the vicinity of the present steelworks can be doubtless related to the smelting activity as the processes today meet the strict environmental regulations. Settling dust test

measurements could show the slight movement of natural Aeolian fine silt grains and the presence of a small amount of flying ash originated from residential heating in the heating season.

Smelting activity prior to the establishment of the OAM Ltd. polluted the area in districts of variable extent depending on the applied technology with dust including heavy metals as well. According to the memories of elderly people, the steelworks polluted both its inner area and more distant environment both with combustion gases (SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S) with characteristic odour and with dust as well. However, no accurate measurements or studies were performed on the grade and effects of these.

Our study area is located in the immission zone of the former steelworks therefore it is not possible to decide whether the source of the iron dust pollution of the soil samples is the old or the recent activity. Knowing the details of the technology, however, it is almost certain that the pollution is the trace of the operation of the former factory.

Solution to the problem would be the establishment of a monitoring system that would measure the gas composition of the atmosphere and the quantity and quality of settling dust regularly in logarithmic distances from the potential pollution sources. Although stronger winds move silt and fine sand grains from the sand and loess formations of the surrounding areas even today the natural aeolian sediment grains can be separated from the dust and flying ash of industrial origin and other aerosols relatively simply.

Currently pollutant emission from traffic and residential heating is greater than the industrial release. Air pollution from traffic is mostly from transit lorries with diesel engine.

In the course of identifying emission sources heating with household waste and traffic presents problems in the case of organic pollutants and heavy metals as well like Zn, Pb, Cd, Ba, etc. Available data and observations suggest that these effects raise methodical problems.

- Considering air pollution the diffusive pollution from the residential heating of the surrounding urban areas pollute the air of the district of the town. Residential heaters – in contrast to the electric arc furnace – have no combustion gas reheat gutter and dust filter system therefore a significant portion of the organic micro-pollutants (e.g. PCB, PAH, dioxins) originate from these. Due to frequent inversion in the atmosphere in the basing like area the development of London type smog has high probability especially in winter (MOSER & PÁLMAI 1999). In such cases the operation of the steelworks is suspended.
- Current steelworking has very limited effects on the quality of waters including the Hangony Stream compared to the effects of the former steel industry. Most significant pollution source is the municipal sewage treatment plant of Ózd operated in the neighbouring area. This pollutes the stream water continuously due to out-of-date technologies. Water samples taken from the Hangony cannot give the basis for describing the conditions of the industrial sewage water of the OAM Ltd. because it is practically independent from the Hangony.
- Environmental effects in the broader region together with the natural conditions were described so far. Environmental effects associated directly to the current steelwork processes are discussed in the following.

Metallic matrix of steel scrap is generally poorer in alloy elements than the produced raw steel. Burning loss enriches alloy elements retained in the steel in accordance with the expected trends. Majority of the sulphur content in the steel originates from the corrosion products, the slag foaming agent and the applied cast iron / automatic steel scrap. Phosphorous originates mostly from grey castings and painted coatings. Most Cr, Mn, V alloys enter the system from the matrix material of the scrap. Ba, Pb, Zn, Cd could be originated from the painted, galvanized coating of metals. These were supported by our observations, however, these detections cannot be used for quantitative ratio estimation.

The elements mentioned above appear partly in the slag and partly in the combustion gas and settling dust. Slags are processed in a closed system and the gas and dust filtering has high enough efficiency not to release such pollutants from the area of the factory. In the case of a factory like this no tragic environmental effects would occur even if the building of the factory was demolished by a natural disaster (e.g. earthquake).

- Hot-shortness in the case of steel used for rolling is increased by Cu and Sn among residual alloys while sulphur and copper increase red-shortness. Ni in the reinforcing steel forming residual austenite may increase residual stress. High amount of chromium deteriorates the weldability of the steel. In general, these unwanted characteristics are subordinate in the Ózd Steelworks Ltd. and the factory produces standard high quality products. In order to avoid these problems knowing the composition of the added material in detail is highly important. According to our investigations the residual contaminants and the S and P content of the steel are originated from various coatings while the metallic matrix is steel scrap of good quality. Maintenance of constantly high quality products is the environmental and economic interest of the factory as in this way slag and rubbish production can be kept at a minimum level.
- Potentially dangerous heavy metals of primary slags, Cr and Ba are incorporated into stable minerals according to our investigation. Chromium forms mostly chromite and in a smaller ratio it is incorporated into the mineral melilite as  $Cr^{3+}$  replacing Al. Ba is found in melilite for similar reasons replacing probably Ca and Mg.
- Since slags at Ózd are slightly-moderately basic mostly larnite and Ca ferrites can present utilization problems. This process could be slowed by alien atoms (Mg, Fe, Mn) replacing Ca. Ca ferrites are weathered in wet conditions. The slag melt is basically a double phased eutectic. This state is beneficial considering environmental protection. Retaining this state can be realized by granulating the slag. Some parts of the chromium content is incorporated into the structure of ghelenite replacing Al. Phosphorous incorporates mostly into the larnitic phase forming probably nagelschmidtitet. Ba content precipitates on the surface as barite. Their distribution and size can be mentioned with XRD and SEM (EDS).
- Slags forming at the ladle furnace are strongly basic with high free lime content. Their major mineral constituents based on our XRD and SEM/EDS analyses are: larnite, bredigite, monticellite, merwinite, mayenite and CaO, however, alabandine may also occur in traces. FeO content of the slags can be neglected, however, they disintegrate into powder while cooling due to the modification changes of their minerals.

Utilization of these slags has not been solved yet. With moisture this powder material turns into a thixotropic mass and then solidifies like concrete forming various calcium-silicate-aluminate-hydrates: tobermorite, xonolite, jasmundite, spurrite, etc. Identification of these minerals is difficult and uncertain due to their poor crystallinity. However, based on thermal analyses their presence is probable. The presence of barite was also shown.

- According to our analyses, periclase and other MgO containing minerals like spinell give a significant portion of the inclusion content of reinforcement steels. According to our experience, the magnesium oxide content is frequently the double of the aluminium oxide content. This may increase the risk of nozzle clogging that can increase the amount of deficient products therefore it is unwanted from every aspect including environmental protection.
- Two major phases of the filtered settling dust are zincite and franklinite in which zinc is enriched. According to our measurements, Zn is present in zincite in 65% on average and this can be simply recovered using hydrometallurgical methods. Another characteristic of this settling dust is its 9-10% of dissolvable mineral content, mostly rock salt, potassium salt and aphtithalite. These minerals are corrosive minerals. In the course of pyrometallurgical preparation (compaction) halid salts make Pb into gas. The risk of gas Pb can be reduced significantly by washing the filtered dust. Phosphorous content of the dust is much higher than that of the ladle furnace slags. The source of this include various coatings and plastic waste.
- Utilization of the waste heat produced in the factory would be beneficial in the future. This could be utilized for heating and sanitary hot water production within the factory and also in the district heating and hot water network of the town. Utilization of this heat would further increase the profit of the factory as well.

With the appropriate preparation of the metal scrap the contamination of the steel with alloying elements can be reduced. Based on the analyses presented in the work we can state that neither the slag nor the settling dust present environmental risk. One reason for this is that the amount of the applied raw material and that of the forming slag and settling dust are much smaller than in the former steelwork technologies. On the other hand, the processes in the Minimill are modern, closed and semi-closed procedures where even the by-products are controlled and treated. Besides all these, efforts are made continuously to increase cost efficiency and environmental safety and also to re-use by-products as much and as economically as possible. As a result, the amount of the slag of the steelworks accumulated in the edge of Ózd is much less than that of the former technology and these slags can be neutralized with appropriate treatment.

Iron and steel production in the past 150 years produced significant amount of ladle furnace and coal slags filling the valley of the Hangony Stream even under the already built-up areas and filling the long Hétes Valley in a thickness of 10-50m. Former re-use programmes like building material utilization used only a small portion of the disposed slag. Not knowing the long-term behaviour of the slag, however, this utilization generated further problems at the site of utilization (disintegration, sensitivity to water and frost, release of harmful gases, radiation that has not been proved by exact methods).

The research has not been completed and finished in every field and aspect due to the still arising new ways and fields of possible research in the future and to cost, time and device demands. It made understandable, however, the environmental importance of certain parts of the steelworking activity. Based on the results, the research can be carried on in various directions including a long-term dissolution analysis of the slags where daily samples could be taken and analysed with continuous dissolution circulation. This could explain the long-term environmental behaviour and effects of the certain slag types. Similar research would be required to study the material of the re-utilized slag (e.g. as building material). This research would include the studying of the behaviour of disintegrated, weathered and partly dissolved slag types.

In the case of settling dust complex environmental protectional analysis would be necessary. This would include the analysis of the change in iron and other element content and the possible ways and technologies of economical enrichment and extraction of certain elements.

In the Tekerős Valley (Hétes) the slag filling should be drilled at several sites in order to study the already stable, several decades old depository and the geological formations at least until 20-30m under the soil of the filling. Such drillings would enable the study of the vertical and horizontal changes in the conditions of the slag and the estimation of its possible re-utilization. Regarding the geological formations, the effects of the slag on its basement considering static and environmental aspects could be studied. Such analyses would clear the thickness of impervious valley filling, its clay content together with the pressure and hydrogeochemical conditions of the groundwater.

A great potential could be recovered with the establishment of an independent energy system that could mostly cover the electricity and heating demand of the steelworks and the town. This could be based on a closed system coal power plant based on local coal resources and on wind and solar energy utilization and primarily on geothermal utilization. Not going into detail it is worth mentioning that the closeness of the geological basement, crust thickness smaller than the average and thus beneficial geothermal potential could enable the establishment of a GEOHILL technology and even the establishment of a high number of vertical borehole heat exchangers is also possible (KOZÁK 2011).

The results imply conclusions on the major phase changes of electric arc furnace steel production. This system greatly determines the subsequent steps of the technology from the aspect of both quality and quantity. This technology is also the greatest waste producer at Ózd Steelworks. Optimal operation of the electric arc furnace is therefore in the economical and environmental interest of the company. For this optimisation the physical and chemical processes in the electric arc furnace have to be known in order to be able to intervene if necessary to avoid uneconomical operation and / or environmental hazard. Effective production and environmental aspects have already included in quality management systems ISO:9001 and ISO:14001. Recently the Integrated Quality Control System is applied by most of the companies.

As part of the research the effects of the base material on the quality of the raw steel and the by-products (slag, settling dust) and their influence of the production conditions and quantity. Based on the obtained data the potential environmental behaviour of the by-products is evaluated in order to remove as much dangerous material as possible from the metallurgical material flow by re-utilization.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozom konzulenseimnek, az Ózdi Acélművek Kft Póczos József műszaki igazgatónak, valamint Dr Grega Oszkár címzetes egyetemi tanárnak a kohászati témakörben nyújtott sokoldalú útmutatásaiért tanácsaikért. Hálával tartozom a Debreceni Egyetem TTK Ásvány- és Földtani Tanszékén témavezetőmnek Dr. Kozák Miklós. egyetemi docensnek, kollégámnak McIntosh Richard William-nek a dolgozat írásában és szerkesztésében nyújtott önzetlen segítségükért, valamint Papp István tudományos segédmunkatársnak a kémiai elemzések nagyobbik részének kivitelezésében. E dolgozat elkészítésében több intézmény és az Ózdi Acélművek Kft több szervezeti egységének támogató segítségére volt szükségem. A tőlük kapott lehetőség, vagy mérések megvalósításában történő segítség nélkül nem állhatott volna össze ez a dolgozat. Külön köszönet a ME Anyagtudományi Intézete dolgozóinak támogatásáért, különösen Dr. Mertinger Valéria egyetemi tanárnak, hogy lehetővé tette számos speciális műszeres anyagvizsgálati módszer alkalmazását, fémmikroszkópia, XRD, SEM, stb. Köszönet illeti meg Dr Török Tamás tanár urat és Dr. Márkus Róbert egyetemi tanársegédet, hogy lehetővé tették néhány mintám felületének elemzését a ME-MAK Metallurgiai és Öntészeti Tanszék GD-OES Laboratóriumában. A szállóporok kémiai összetételének meghatározásában nyújtott segítségéért hálás köszönettel tartozom a FUROL Analitika Kft-nél Tóthné Hangonyi Gréta laboratóriumi főmunkatársnak, ezen kívül az OAM Kft Minőség Biztosítási Osztályon főnökeimnek Tóth József MBO osztályvezető- és Kovács Miklós laborvezető uraknak, hogy számomra lehetővé tették, hogy diplomamunkám elkészítésekor az acél próbáim összetételének vizsgálatához használhattam a vállalat Színkép-analitikai Laboratóriumát. Köszönettel tartozom Rónai Tamás üzemvezető mérnöknek, a tűzálló bélésekkel kapcsolatos sok hasznos technológiai információért. Végül, de nem utolsó sorban köszönet illeti meg az acélmű fizikai dolgozóit a kemencés salakpróbák mintavételének kivitelezésében nyújtott segítségükért és évtizedes üzemi tapasztalataik megosztásáért.

Végül, de elsők között köszönettel tartozom családomnak az éveken keresztül nyújtott lelki, anyagi támogatásukért, türelmükért, nélkülük nem tudtam volna véghez vinni munkámat.

## Irodalom

- ALBERT P.P. 1975: Tüzzománcozás – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 340 p.
- AKAR G. – SEN S. – YILMAZ H. – ARSLAN V. – IPEKOGLU U. 2013: Characterization of ash deposits from the boiler of Yenikoy coal-fired power plant, Turkey – International Journal of Coal Geology, 105, 85–90.
- ALFÖLDI L. – BALOGH K. – RADÓCZ GY. – RÓNAI A. 1975: Magyarázó Magyarország 200000-es térképsorozatához M-34-XXXIII, Miskolc – Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest
- ALVES S.M. – DE OLIVEIRA J.F.G. 2006: Development of new cutting fluid for grinding process adjusting mechanical performance and environmental impact – The Journal of Material Processing, 179/1, 185–189.
- ARH B. – TEHOVNIK F. 2007: The oxidation and reduction of chromium during the elaboration of stainless steel – Materiali i Tehnologije, 41/5, 203–211.
- BALÁZS GY. 1994: Beton és vasbeton I. – Alapismeretek története – Akadémiai Kiadó, Budapest, 445 p.
- BÁLDI T. 1983: Magyarországi oligocén és alsómiocén formációk – Akadémiai Kiadó, Budapest, 291 p.
- BÁLDI T. – SZTANÓ O. 2000: Gravitációs tömegmozgásos fáciesek és a vízmélység változásainak jelei a Bükk tengeri oligocén rétegeiben – Földtani Közönlöny, 130/3, 451–496.
- BALOGH K. 1964: A Bükk hegység földtani képződményei – MÁFI Évkönyve, 48/2, 245–719.
- BALOGH K. 1992: Szedimentológia III. – Akadémiai Kiadó, Budapest, 200 p.
- BARCZI M. – HAMMER F. – FARKAS S. – PERES S. 1966: Tűzálló anyagok és falazatok – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 425 p.
- BARÁZ CS. (szerk.) 2002: A Bükki Nemzeti Park – Hegyek, erdők, emberek – BNP Igazgatóság kiadványa, Eger, 621 p.
- BARTHA D. 1995: Ökológiai és természetvédelmi jelzőszámok az ökológiai értékelésben – Tilia, 1, 170–184.
- BARTOLY J. 2004: Az éghajlat változása – bizonyosságok és bizonytalanságok – Mindentudás Egyeteme, V. szemeszter, [mindentudas.hu](http://mindentudas.hu)
- BECKER C. 2007: Effective use of residual elements in steels produced from scrap – Master Thesis, Jernkontret Forsking, Stockholm, 52 p.
- BENKE I. – REMÉNYI V. 1996: A magyar bányászat évezredes története – OMBKE kiadása, Budapest, 752 p.
- BERÁNEK Á. 2007: Adatok a Heves-Borsodi-dombság és az Upponyi-hegyhát flórájához I. – Kitaibelia, 12/1, 66–72.
- BERÁNEK Á. 2008: Adatok a Heves-Borsodi-dombság és az Upponyi-hegyhát flórájához II. – Kitaibelia, 13/1, 35–45.
- BEREND T.I. 1980: Az Ózdi Kohászati Üzemek története – Ózdi Kohászati Üzemek, Ózd, 545 p.
- BERÉNYI J. – GÁL E. 1956: Szénvizsgálati adatok 1952-1953 – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 342 p.
- BERG VOM W – FEURBORN H.J. 2000: Residues from combustion of coal for energy production – ECOBA European Coal Combustion Products Association, Essen 1-12.
- BIALUCHA R. 2000: Radioaktivität von eisenhütten- und metallhüttenschlacken – Report des Forschungsinstituts, Forschung Gemeinschaft Eisenhütten schlacken E. V. (FEhs), Duisburg 7. Jahrgang Nr 2, 2-4.
- BIRAT J.P. 2000: Sustainable Steelmaking Paradigms for Growth and Development in the Early 21st Century – IRSID-USINOR-Maizères-lès-Metz, France 23 p.

- BODA J. 1971: A magyarországi szarmata emelet taglalása a gerinctelen fauna alapján – Földtani Közlöny, 101, 107–113.
- BODONYI GY. – PITTEK GY. 1992: Kémiai összefoglaló – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 400 p.
- BORHIDI A. 1993: A magyar flóra szociális magatartás típusai, természetességi és relatív ökológiai értékszámai – A Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium Természetvédelmi Hivatala és a Janus Pannonius Tudományegyetem kiadványa, Pécs, 93 p.
- BORHIDI A. 1995: Social behaviour types, the naturalness and relative ecological indicator values of the higher plants in the Hungarian Flora – Acta Botanica Hungarica, 39, 97–181.
- BORHIDI A. 1996: An annotated checklist of the Hungarian plant communities, I. The non-forest vegetation – in: BORHIDI, A. (ed.): Critical revision of the Hungarian plant communities – Janus Pannonius University, Pécs, 43–94.
- BOTHE H. 2011: Plants in Heavy Metal Soils – in: SEHRAMETI I. – VARMA A. (szerk.): Detoxification of Heavy Metals, Springer, 448 p.
- BOTTA-DUKÁT Z. – MIHÁLY B. (szerk.) 2006: Biológiai inváziók Magyarországon. Özönnövények II. – KvVM természetvédelmi Hivatalának Tanulmánykötetei 10., Line & More Kft., Budapest, 414 p.
- BRADŠKAJA B. – TRIPLAT J. – DOBNIKAR M. – MIRTIC B. 2004: A mineral characterisation of steelmaking slags – Materiali in Technologije, 38, 203–208.
- BRELOWSKI R. – WOLFE L. 2005: Overview of current flux practice and challenges for the Oxygen steelmaking process – Carmeuse Lime, USA, 12 p.
- BROECKER W.S. 1997: Will our ride into the greenhouse future be a smooth one – In a Better Future for the planet Earth, GSA Today, 7, 1–6.
- BUDINSZKYNÉ SZENTPÉTERY I. – KOZÁK M. – LESS Gy. – MÜLLER P. – PELIKÁN P. – PENTELENYI L. – PEREGI Zs. – PRAKFAI P. – PÜSPÖKI Z. – RADÓCZ Gy. – TÓTHNÉ MAKK Á. – FÖLDESSY J. – ZELENKA T. 1999: Az Északi Középhegységi terület fedetlen földtani térképe (negyedidőszaki képződményektől mentes földtani térkép) 1:100 000 – MÁFI kiadvány
- BUDÓ Á. 1978: Kísérleti fizika III. – Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest 500 p.
- BUL'KO B. – KIJAC J. – DOMOVEC M. 2009: Optimalization slag composition in ladle furnace considering to effective steel desulfurization – Metallurgica Slovaca, 15/2 93–99.
- BUNT R.J. – WAANDERS B.F. 2008: Trace element behaviour in the Sasol-Lurgi MK IV FBDB Gasifier. Part 1. The volatile elements: Hg, As, Se, Cd and Pb – Fuel, 87/12, 2374–2387.
- BURÓ B. – TASZNER Z. – TÖRÖK T. 2006: Experimental Results tackling the tramp element problem in steelmaking – Acta Metallurgica Slovaca, 12, 51–59.
- CAVALOTTI P.L. – MAPELLI C. – MEMDI F. – PUSTORINO F. 2007: Recycling of LF-white slag – AIM-Federacciai-VDEh joint meeting Seminar on Metallurgical Fundamentals, Dalmine 15 September 2007 (konf. kiadv.), 41–48.
- CULTRONE G. – SEBASTIÁN E. – ELERT K. – TORRE DE LA J.M. – CAZALLA O. – NAVARRO R. 2004: Influence of mineralogy and firing temperature on the porosity of bricks – Journal of the European Ceramic Society, 24, 547–564.
- CSABALIK GY. – SZARKA GY. 1987a: Vaskohászattan I. – Tankönyvkiadó, Budapest, 243 p.
- CSABALIK GY. – SZARKA GY. 1987b: Vaskohászattan II. – Tankönyvkiadó, Budapest, 243 p.
- CSÁMER Á. 2007: Az ÉK-i Bükk neogén intermedier képződményeinek petrológiai és vulkanológiai vizsgálata – PhD értekezés, Debreceni Egyetem, Ásvány- és Földtani Tanszék Adattára, 129 p.
- CSÁMER Á. – KOZÁK M. 2009: A magma és a nedves üledék kölcsönhatásának fáciesjelenségei késő-miocén andezit benyomulások kontaktusán Tardona ÉK-i előterében – Földtani Közlöny, 139, 151–165.

- CSÁSZÁR G. (szerk.) 1997: Magyarország litosztratigráfiai alapegységei. Táblázatok és rövid leírások – Magyar Állami Földtani Intézet kiadványa, Budapest, 114 p.
- CSATHÓ B. – PÜSPÖKI Z. – KOZÁK M. – SZALAI K. – PETŐ A. 1998: Szarmata-pannon rétegsor az upponyi Szilas-tetőn – ACTA Geographica ac Geologica et Meteorologica Debrecina, 34, 305–326.
- CSIFFÁRY G. 1987: Egerből kezdeményezett szénkutatók a Bükk vidékén a 18. és 19. században – Bányászati, Kohászati Lapok, 120/3, 197–230.
- CSISZÁR Á. (szerk.) 2012: Inváziós növényfajok Magyarországon – Sopron, 366 p.
- DEBUSK A.T. – LAUGHLIN B.R. – SWARTZ N.L. 1996: Retention and compartmentalization of lead and cadmium in wetland microcosms – Water Resource 30/11, 2707–2716.
- DÉVAI J. 1979: Fémek korróziója és korrózió védelme – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 171 p.
- DIPPENAAR R. 2004: The industrial uses of slag – The use and re-use of iron and steelmaking slags – VII. International Conference on molten slags, fluxes and salts, The South African Institute of Mining and Metallurgy, 57–69.
- DÖVÉNYI Z. (szerk.) 2010: Magyarország kistájainak katasztere – MTA Földrajztudományi Kutatóintézet kiadványa, Budapest, 859 p.
- DRISSEN P. 2000: Entstehung feinkörniger Pfannen schlacken – Report des Forschungsinstituts FEhS, Duisburg, 2, 12–16.
- DRISSEN P. 2003: Staubrecycling in der Elektrostahlerzeugung – Report des Forschungsinstituts FEhS, Duisburg, 1, 2–4.
- DRISSEN P. – SCHREY H. 2004: Verbesserung der Raumbeständigkeit von Stahlwerkschlacken – Report des Forschungsinstituts FEhS, Duisburg, 1, 2–4.
- DRISSEN P. 2004: Eisenhüttenschlacken – industriell Gestein – Report des Forschungsinstituts FEhS, Duisburg, 1, 4–9.
- DRISSEN P. 2006: Mineralische Bindung von Spurelementen in Stahlwerkschlacken – Report des Forschungsinstituts FEhS, Duisburg, 1, 6–9.
- DURELL G. 1989: Practical guide to the Amateur naturalist – Knopf, 320 p.
- EHRENBERG A. 2001: 140 Jahre Hüttensand – Report des Forschungsinstituts FEhS, Duisburg, 1, 1–2.
- ÉLES L. – SZÓKE L. 1981: Minőségi és nemesacélok – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 391 p.
- ELINSON M.P. 1962: Salakok mint a könnyűbetonok adalékanyagai – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 229 p.
- FARKAS F. 2000: A műanyagok és a környezet – Akadémiai Kiadó, Budapest, 344 p.
- FARKAS O. 1989: Nyersvas metallurgia – Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 491 p.
- FARKAS O-né 1985: Kohászati Kemencék – Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 511 p.
- FEKETE J. 2010: Magyarországi vörösgyagok, vöröstalajok – Tájékológiai Lapok, 8/2, 223–388.
- FODOR T-né – KLEB B. 1986: Magyarország mérnökgeológiai áttekintése – MÁFI alkalmi kiadvány, Budapest, 199 p.
- FÖLDVÁRINÉ VOGL M. 1975: A területi geokémiai kutatás elméleti és gyakorlati módszerei – MÁFI kiadvány, Budapest, 240 p.
- FRANKOWSKA A. – ZIOLKOWAKA J. – BIELAWSKI L. – FLANDYSZ J 2010: Profile and bioconcentration of minerals by king bolete (*Boletus edulis*) from Płocka Dale in Poland – Food additives and contaminants: Part B, Surveillance, 03/2010, 3(1), 1–6.
- FRANYÓ F. 1966: A Sajó–Hernád hordalékkúpja a negyedkori földtani események tükrében – Földrajzi Értesítő, 15, 153–156.
- GÁL SZ. 2007: Üledékvizsgáló módszerek összehasonlítása a Hajdú-hát D-i pereméről származó minták példáján – diplomamunka, DE Ásvány- és Földtani Tanszék, 49 p.
- GARA S. – SCHRIMPF 1998: Behandlung von reststoffen und abfällen in der Eisen und Stahlindustrie – Umweltbundesamt, Wien, 114 p.

- GONZÁLEZ I. – GALÁN E. – MIRAS A. 2006: Fluorine, chlorine and sulphur emissions from the Andalusian ceramic industry (Spain) – Proposal for their reduction and estimation of threshold emission values, *Applied Clay Science*, 32, 153–171.
- GOODARZI F. – HUGGINS E.F. – SANEI H. 2008: Assessment of elements speciation of As, Cr, Ni and emitted power plant burning bituminous coal – *International Journal of Coal Geology*, 74, 1–12.
- GORNOSTAYEV S.S. – HÄRKKI J.J. 2007: Grafit crystals in blast furnace coke – *Carbon*, 45, 1145–1151.
- GARMS H. 1982: *Handbuch der Natur* – Zweburgen Verlag Weinheim, 316 p.
- GRIME PH.J. 1979: *Növényi stratégiák és a növénytakaróban zajló folyamatok* – Wiley, 456 p.
- GRASSELLY GY. 1993: *A geokémia alapjai* – Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 288 p.
- GREENWOOD E.L. – EARNSHAW A. 1997: *Chemistry of Elements III.* – Butterworth-Heinemann, 1600 p.
- GUÉZENNEC A.G. – HUBER J.C. – PATISSON F. – SESSIECQ P. – BIRAT J.P. – ABLITZER D. 2005: Dust formation in Electric Arc Furnace: Birth of the particles – *Powder Technology*, 157, 2–11.
- GÜRDAL G. 2008: Geochemistry of trace elements in Can coal (Miocene), Canakkale, Turkey – *International Journal of Coal Geology*, 74, 28–40.
- GYALOG L. 2005: *Magyarország földtani atlasza, 1:100000* – MÁFI kiadvány
- GYULAI GY. 1966: *Kazántelepek üzeme* – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 352 p.
- HÁMOR G. 1997: Salgótarjáni Barnaköszén Formáció (rövid leírás) – in: CSÁSZÁR G. (szerk.): *Magyarország Litosztratigráfiai Alapegységei* – MÁFI, Budapest
- HÁMOR G. 1998: A magyarországi miocén rétegtana – in: BÉRCZI I. – JÁMBOR Á. (szerk.): *Magyarország geológiai képződményeinek rétegtana* – MOL Rt. – MÁFI, Budapest, 403–417.
- HARCSIK B. 2011: Hidegen hengerelhető acélok folyamatos öntésénél a kagylószűkülés befolyásolása hevítést nem biztosító üstmetallurgiai művelettel – PhD értekezés, Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, Miskolci Egyetem Adattár, 126 p.
- HARTLEY W. – LEPP W.N. 2008: Remediation of arsenic contaminated soils by iron oxide application, evaluated in terms plant productivity.arsenic and phytotoxic metal uptake – *Science of the total environment*, 390, 35–44.
- HAVLIK T. – TURZAKOVA M. – STOPIC S. – FRIEDRICH B. 2004: Atmospheric leaching of EAF dust with sulphuric acid – *Acta Metallurgica Slovaca*, 10, Special Issue 2, 96–106.
- HEGEDŰS A. 2008: Felszínalaktani vizsgálatok az Ózd-Pétervásárai-dombságon – PhD értekezés, ME Műszaki Földtudományi Kar, Természetföldrajzi- és Környezettani Tanszék, Miskolc, 109 p.
- HONG S.Y. – GLASSER F.P. 2004: Phase relations in the CaO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O system to 200°C at saturated steam pressure – *Cement and concrete research*, Pergamon Press, 34, 1529–1534.
- HORIBA JOBIN YVON LTD. 2011: Ultra fast elemental depth profiling – RF Glow Discharge Optical Emission Spectrometers, [www.jobinyvon.com](http://www.jobinyvon.com)
- IFFLAND H. – MOTZ H. 2001: Sulfatauslaugung aus Hochofenschlacken – Report des Forschungsinstituts FEhS, Duisburg, 1, 5–7.
- IVÓCS L. – FILEP GY. 1974: Acélműi csapoló üstök tűzállóanyagbélés fejlesztésének lehetőségei – *Építőanyag*, XXVI/9, 336–344.
- JÁMBOR Á. 1971: A magyarországi szarmata – *Földtani Közöny*, 101, 103–106.
- JASKÓ S. 1989: A Darnó-vonal környékének felső-miocén tektonikája – *MÁFI Évi Jelentése 1987-ről*, 395–409.

- JEGEDEESAN G. – SOUHL R. – AL-ABED R.S. – PINTO P. 2008: Influence of trace metal distribution on its leachability from coal fly ash – *Environmental Protection*, 87, 1887–1893.
- JUHÁSZ GY. 1994: Magyarországi neogén medencéreszek pannóniai s.l. üledéksorának összehasonlító elemzése – *Földtani Közlöny*, 124, 341–364.
- JUHÁSZ J. 2002: Hidrogeológia – Akadémiai Kiadó, Budapest, 1176 p.
- KARCAG L. – PÓCZOS J. 2000: A-1/2000 Villamos Ívfényes Kemence Általános Technológiai Leírása – OAM Kft., Ózd, 51 p.
- KISS Á.Z. (szerk.) 2003: Fejezetek a környezetfizikából – Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen, 325 p.
- KISS D. 1986: A borsodi szénbányászat múltja, jelene és jövője – *Bányászati, Kohászati Lapok*, 119/8, 505–510.
- KOCH S. 1966: Magyarország ásványai – Akadémiai Kiadó, Budapest, 562
- KOCH S. – SZTRÓKAY K. 1994: Ásványtan II. – Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 935 p.
- KOLESZÁR P. 2005: Az ózdi salakhányó környezetföldtani vizsgálata – kézirat, OTDK DE-TTK Ásvány- és Földtani Tanszék adattár, Debrecen, 49 p.
- KOLESZÁR P. 2007: A garadnai kohászati salakképződés technológiai és anyagösszetételi elővizsgálata – EMT kiadvány, Buziásfürdő, 214–218.
- KOLESZÁR P. 2013: Az Ózdi Acélművek Kft. UHP acélgártásába bekerülő vas- és acélhulladék, és a belőle képződött nyersacél salakok és szállóporok vizsgálata, technológiai környezeti hatásainak elemzése – kézirat, diplomamunka, ME Műszaki Anyagtudományi Kar adattár, Miskolc, 100 p.
- KOLESZÁR P. – PAPP I. – KOZÁK M. – KÓNYA P. – MCINTOSH R.W. – GREGA O. 2015a: Mineral transformation and environmental effects of secondary steelmaking slags – *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, megjelenés alatt
- KOLESZÁR P. – PAPP I. – SÁRI K. – KÓNYA P. 2015b: Mineral transformations in the process of brickmaking on an example from N Hungary (Putnok Brickyard) – *Acta Montanistica Slovaca*, megjelenés alatt
- KÓNYA P. 2009: A Bakony-Balaton Felvidék vulkáni terület bazaltjaiban található üregkitöltő ásványok és üledékes eredetű közetzárványok ásványtani és genetikai vizsgálata – PhD értekezés, Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskola, Miskolc, 303 p.
- KORKUSUSZ A.E. – BEKLIOĞLU M. – DEMIRER N.G. 2007: Use of Blast furnace granulated slag as substrate in vertical flow reed field application – *Bioresource Technology*, 98, 2089–2101.
- KOVÁCS M. – PENKSZA K. – TURCSÁNYI G. – KASZAB L. – SZÖKE P. 1993a: Multielement-Analyse der Arten eines Waldsteppen-Waldes in Ungarn. – *Phytocoenologia*, 23, 257–267.
- KOVÁCS M. – TURCSÁNYI G. – SZÖKE P. – PENKSZA K. – KASZAB L. – KOLTAY A. 1993b: Heavy metal content in cereals in industrial regions – *Acta Agr. Hung.*, 42, 171–183.
- KOVÁCS M. –TURCSÁNYI G. – KASZAB L. – KOLTAY A. – PENKSZA K. – NAGY L. 1992: Element content of ruderal weeds used as accumulating indicators in some industrial districts of Hungary – International symposium on ecological approaches of environmental chemicals. Internat. Symp., Debrecen, Hungary, GSF-Bericht 4: 249–253. München – Neuherberg
- KOVÁCS M. –TURCSÁNYI G. – KASZAB L. – KOLTAY A. – PENKSZA K. – NAGY L. 1992: Element content of ruderal weeds used as accumulating indicators in some industrial districts of Hungary – International symposium on ecological approaches of environmental chemicals. Internat. Symp., Debrecen, Hungary, GSF-Bericht 4:249–253. München – Neuherberg
- KOVÁCS J. (szerk.) 2007: Cement-Beton, Zsebkönyv – Duna-Dráva Cement Kft., Vác, 296 p.

- KOVLER K. 2009: Radiological constraints of using building materials and industrial by-products in construction – *Construction and Building Materials*, 23/1, 246–253.
- KOZÁK M. – MCINTOSH R.W. – BUDAY T. (szerk.) 2011: Geotermikus rendszerek fenntarthatóságának integrált modellezése. Vol.3., Hidrogeotermikus rendszerek és földtani vetületeik – TÁMOP-4.2.2-08/1-2008-0017 sz. projekt, 140 p.
- KOZÁK M. – MCINTOSH R.W. – PLÁSZTÁN J. – VINCZE L. – MOCSÁR-VAMOS M. (szerk.) 2013: Térképkészítés és kapcsolódó stabilitási vizsgálatok, geofizikai munkák – Földtani, mérnökgeológiai-geotechnikai és geofizikai előkutatások eredményei – A Miskolc MJV Önkormányzata által meghirdetett Avas rekonstrukciós program első pályázati szakaszának zárójelentése, kézirat, 197 p. + 14 melléklet
- KOZÁK M. – PÜSPÖKI Z. 1996: Geológiai Kislexikon I-II. – kézirat, DE TTK Ásvány- és Földtani Tanszék adattára, 940 és 836 p.
- KOZÁK M. – PÜSPÖKI Z. 2002: A Bükkhát (Upponyi-hegység, Tardonai-dombság) – in: Baráz Cs. (szerk.): A Bükki Nemzeti Park – Hegyek, erdők, emberek, a BNP Igazgatóság kiadványa, Eger, 229–234.
- KOZÁK M. – PÜSPÖKI Z. 2003: Összefoglaló földtani kutatási zárójelentés a “Sajóbáony-Sajókeresztúr” elnevezésű nyílt területen engedélyezett bentonitkutatásról – DE Ásvány- és Földtani Tanszék, Magyar Geológiai Szolgálat Salgótarján adattár, 80 p.
- KOZÁK M. – PÜSPÖKI Z. – MCINTOSH R.W. 2001: Structural development outline of the Bükk mountains reflecting recent regional studies – *Acta Geographica ac Geologica et Meteorologica Debrecina*, 35, 135–174.
- KOZÁK M. – PÜSPÖKI Z. – MCINTOSH R.W. – FARAGÓ E. – GAÁL K. 2014: Sajóbáony földtani adottságai – in: Rémiás T. (szerk.): Sajóbáony az őskortól napjainkig (monográfia), Dominium Könyvkiadó, Miskolc-Sajóbáony, 5–51.
- KOZÁK M. – PÜSPÖKI Z. – PIROS O. – LÁSZLÓ A. 1998: The Structural Position of the Bükk Mountains Based on Tectono- and Pebble Stratigraphic Analyses – Resume CBGA XVI Conference, Wien, 303 p.
- KOZÁK M. – VINCZE L. – PÜSPÖKI Z. – KOVÁCS-PÁLFFY P. 2002a: Miskolc környéki vörösgyag előfordulások települése, ipari jelentősége, építésföldtani jellemzői – Bányászat, Kohászat, Földtan Konferencia, EMT, Menyháza, 64–69.
- KOZÁK M. – VINCZE L. – PÜSPÖKI Z. – MCINTOSH R.W. 2002b: Adalékok a Sajó mellékvízi völgyfejlődésének szerkezeti morfogeneziséhez és mérnökgeológiájához – Bányászat, Kohászat, Földtan Konferencia, EMT, Menyháza, 70–74.
- KÖHL R. – PAUKER E. – LOSER R. – PFYL A. 2000: Experiences with INTERSTOP Mettring Nozzle Changer type MNC ont he four strand billet caster at Lech-Stahlwerke GmbH Meitingen, Germany – prospektus Stopnic Aktiengesellschaft, Hünenberg, 6 p.
- KUBOVICS I. 1992: Kőzetmikroszkópia II. – Akadémiai Kiadó, Budapest, 596 p.
- KÜTTNER GMBH & CO KG 2010: Schaft furnace technology - for scrap and waste route – [www.kuettner.de](http://www.kuettner.de) (2012.01.18.)
- LECO CORPORATION 2007a: Oxygen and Nitrogen Determination Inert Gas fusion Instruments – St. Joseph, Michigan, [www.leco.com](http://www.leco.com)
- LECO CORPORATION 2007b: Carbon and Sulphur Determination LECO Induction furnace Instruments – St. Joseph, Michigan, [www.leco.com](http://www.leco.com)
- LITERÁTHY P. 1982: Felszíni vizek nehézfém szennyezései – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 223 p.
- LOCH J. – NOSTICZIUS Á. 1992: Agrokémia és növényvédelmi kémia – Mezőgazda Kiadó, Budapest, 399 p.
- MAHURA A.K. – KUMARA R. – MISHRA M. – SENGUPTA D. – PRASAD R. 2008: An investigation of radon exhalation rate and estimation of radiation doses in coal and fly ash samples – *Applied Radiation and Isotopes*, 66, 401–406.

- MARINCEA S. – BILAL E. 2001: Superposed paragenesis in the spurrite, tilleyite and gehlenite – bearing skarns from Cornet Hill, Apuseni Mountains, Romania – *The Canadian Mineralogist*, 39, 1435–1453.
- MÁRKUS R. – GREGA O. 2006: Arc Furnace Slag utilization in the construction Industry – microCAD International Scientific Conference, Miskolc, Konferencia kiadvány, 71–76.
- MÁRKUS R. 2009: Acélgégyártási salakok környezetbarát hasznosítási lehetőségének elméleti alapjai, és megvalósíthatósága, egyes részeinek kidolgozása – PhD értekezés, Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, Miskolci Egyetem Adattár, 108 p.
- MÁRKUS R. 2011: Salakgranuláló technológia kialakítása az acélgégyártási salak építőipari hasznosítás elősegítésére – *Anyagok Világa*, 9/1, 1–21.
- MENDYLAEV R.A. – RICHTER F.M. – DAVIS A.M. 2006: Reevaluation of the Akermanite-Gehlenite binary system – *Lunar and Planetary Science*, 37, 1–2.
- MATSCEI T. – LOTENBACH B. – GLASSER P.F. 2007: The AFm phase in portland cement – *Cement and Concrete Research*, 37, 118–130.
- MATSCHULLAT T. – RIEGER D. – KRÜGER K. – DÖBBELER A. 2008: – A new and very precise detection method with automatic carbon control – *Archives of metallurgy and materials*, Kraków, 53, 399–403
- MERKEL T. – ADAM J. – HARP G. – TRABANI H. – WEINBERG M. 2006: Luftgranulation von LD-Schlacke – *Report des FEhS-Institutes*, 2, 1–3.
- MCINTOSH R.W. 2014: A Bükkium morfológiája – PhD értekezés, DE Ásvány- és Földtani Tanszék, 234 p.
- MIKA J. – TÖRÖK T. 1974: Emissziós szinképelemzés – Gyakorlati rész – Akadémiai Kiadó, Budapest, 400 p.
- MIKE K. 1991: Magyarország ösvízrajza és felszíni vizeinek története (17. A Sajó-Hernád vízrendszer kialakulása és változása) – AQUA, Budapest, 698 p.
- MILLS K. 2011: Estimation of slag properties – Department of Materials, Imperial Collage, London, 56 p.
- MIRICZ Á. 2013: Egzotikus aljzatárványok a Tardonai-dombság miocén andezittufájában I. – A keleti Bükkhát szarmata vulkanizmusa és termékei – kézirat, szakdolgozat, Debreceni Egyetem Ásvány- és Földtani Tanszék, 44 p.
- MISKOLCZI L. 1972: Kéregmozgások vizsgálata szabatos szintezésekkel – Akadémiai Kiadó, Budapest, 183 p.
- MÉSZÁROS E. 2001: A környezettudomány alapjai – Akadémiai Kiadó, Budapest, 210 p.
- MOLNÁR L. – MARCZIS G-né 1988: Betonacélgégyártás – Fejlesztés az Ózdi Kohászati Üzemekben – in: Siklós T. (szerk.): A szilárdtestkutatás újabb eredményei 19. A vas- és acélgégyártás helyzete, várható fejlődése és kutatási-fejlesztési irányai I., Akadémiai Kiadó, Budapest, 162–177.
- MOOGUEI R. – BORGHEI M. – ARJMANDI R. 2011: Phytoremediation of stable Cs from solutions by *Calendula alata*, *Amaranthus chlorostachys* and *Chenopodium album*. – *Ecotoxicity and Environmental Safety*, 74/4, 2036–2039
- MOSER M. – PÁLMAI GY. 1999: A környezetvédelem alapjai – Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 494 p.
- MOSÓCZI F. (szerk.) 1952: Szénelemzési módszerek – Népszava SZOT. Lap- és Könyvkiadó Vállalata, Budapest, 95 p.
- MOXON P. – ABEL M. – KNAPP H. – COOKE R. 2005: Application of Oxygen injection technology using the RCB System, especially for the production of Stainless steelmaking – *La Metallurgia Italiana*, 11-12, 66–68.
- MSZ 2592:2003J 2003: Acélhulladék és vasöntvény töredék szabvány – Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 17 p.

- MUDERSBACH D. – GEISELER J. – KÜHM M. 1999: Optimierung mathematischer Modelle zur Viskositätberichtigung von Schlacken – Report des Forschungsinstituts FEhS, Duisburg, 2, 2–9.
- MUNKÁCSY B. (szerk.) 2011: Erre van előre! Egy fenntartható energiarendszer keretei Magyarországon – Környezeti Nevelési Hálózat Orsz. Egy., Szigetszentmiklós, 155 p.
- NAGY L.GY. – NAGYNÉ L.K. 1997: Radiokémia- és Izotóptechnika – Műegyetemi Kiadó, Budapest, 591 p.
- NEHRENHEIM E. – GUSTAFSSON P.J. 2008: Kinetic Sorpcion modelling of Cu, Ni, Zn, Pb and Cr ions to pine bark and blast furnace slag by using batch experiments – Bioresource Technology, 99, 1571–1577.
- NICOLAE M. – VILCIU L. – STOICA E.D. 2011: Research on the Mechanism of damage line bricks in the slag LF – Annals of Faculty Engineering Hunadoara, International Journal of Engineering, IX/2, 117–120.
- ÓDOR L. – HORVÁTH I. – FÜGEDI U. 1995: Magyarország Geokémia Térképsorozta – MÁFI Kiadvány, Budapest
- O’ROURKE B. – MCNALLY C. – RICHARDSON G.M. 2008: Development of calcium sulfate-ggbs-portland cement binders – Construction and Building Materials, 23/1, 340–346.
- PAPP I. – KOLESZÁR P. – KOZÁK M. 2010: Chemical composition and zinc leaching test of dust from electric arc furnace emissions from the steelworks of Ózd, Hungary – ACTA GGM Debrecina Geology, Geomorphology, Physical Geography Series, Debrecen, 4-5, 7–11.
- PAPP L. 2002: Környezeti minták analitikai kémiai vizsgálata – DE Egyetemi Kiadó, Debrecen, 200 p.
- PÁSZTOR G. – SZEPESSY A.-NÉ – KÉKESI T. 1990: Színesfémek metallurgiája – Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 480 p.
- PÉCZELY GY. 1997: Éghajlatlan – Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 336 p.
- PELIKÁN P. 2005: A Bükk hegység földtana – Magyarázó a Bükk-hegység földtani térképéhez (1:50000) – MÁFI kiadvány, 284 p.
- PELLEGRINO C. – GADDO V. 2009: Mechanical and durability characteristics of concrete containing EAF slag as aggregate – Cement and Concrete Composites, 31, 669–671.
- PÓCZOS J. 2000a: Füstgáztisztító rendszer általános technológiai leírása A-5/2000 – OAM Kft., Ózd, 35 p.
- PÓCZOS J. 2000b: Hozaganyag rendszer általános technológiai leírása A-4/2000 – OAM Kft., Ózd, 36 35 p.
- PÓCZOS J. 2000c: Üstkemence általános technológiai leírása A-2/2000 – OAM Kft., Ózd, 40 p.
- POJJÁK T. 1957: Sajóvelezd, Uppony, Nagybarca vulkáni tufák ásvány-közzettani vizsgálata – Műszaki Egyetemi Évkönyv, Miskolc, 1, 25–36.
- POSGAY K. – TAKÁCS E. – SZALAY I. – BODOKY T. – HEGEDŰS E. – JÁNVÁRINÉ K.I. – TÍMÁR Z. – VARGA G. – BÉRCZY I. – NAGY Z. – PÁPA A. – HAJNAL Z. – REIKOFF B. – MUELLER ST. – ANSORGE J. – DEJACO R. – ASUDEH T. 1996: International deep reflection survey along the Hungarian Geotraverse – Geophysical Transactions, 40/1-2, 1–44.
- POZSGAI I. 1994: A pásztázó elektronmikroszkópia és elektronsugaras mikroanalízis alapjai – Elektronmikroszkópia II., Budapest, 153 p.
- PRASAD A.D. – SANKARANARAYANAN S.R. 2012: Thermodynamic modelling of deoxidation products and inclusion chemistry in Mn/Si killed tire cord steel – Journal of Mining and Metallurgy sect B. Metall, 48/1, 37–43.
- PROHÁSZKA J. – RÉPÁSI G. 1988: A szerkezeti acélok szilárdságnövelésének mechanizmusai – in: Siklós T. (szerk.): A szilárdtest kutatás újabb eredményei 20. A vas- és acélgéártás helyzete, várható fejlődése és kutatási-fejlesztési irányai II., Akadémiai Kiadó, Budapest, 199–228.

- PÜSPÖKI Z. 1998: Stratigraphic Characteristics and Boundary Problems of Badenian Sediments in the Northern Foreland of Uppony – *Acta Geographica ac Geologica et Meteorologica Debrecina*, 34, 281–304.
- PÜSPÖKI Z. 2002: A Tardnai-dombság miocén medencefejlődése az üledékes szekvenciák fácies- és rétegtani adatainak tükrében – PhD értekezés, DE Ásvány- és Földtani Tanszék adattára, 138 p.
- PÜSPÖKI Z. – KOZÁK M. – KOVÁCS-PÁLFFY P. – FÖLDVÁRI M. – MCINTOSH R.W. – VINCZE L. 2005: Eustatic and tectonic/volcanic control in sedimentary bentonite formation – a case study of Miocene bentonite deposits from the Pannonian Basin – *Clays and Clay Minerals*, 53/1, 73–93.
- PÜSPÖKI Z. – KOZÁK M. – KOVÁCS-PÁLFFY P. – SZEPESI J. – MCINTOSH R.W. – KÓNYA P. – VINCZE L. – GYULA G. 2008: Geochemical records of a bentonitic acid-tuff succession related to transgressive system tract – indication of changes in the vulcanic sedimentation rate – *Clays and Clay Minerals*, 56/1, 23–38.
- PÜSPÖKI Z. – PIROS O. – KOZÁK M. 1995: Mikrofaciás vizsgálatok szarmata mészkőkvacsokon a K-i Bükkalján – *ACTA Geografica ac Geologica et Meteorologica Debrecina*, 33, 219–238.
- RADEX AG. 2004: Refractories for Electric arc Furnaces – RHI AG Radenthein, Österreich, 20 p.
- RADÓCZ Gy. 1973: A borsodi paleogén és alsómiocén rétegtani kérdései – *Földtani Közlöny*, 103, 189–195.
- RAHM C. 2005: Twenty-five years of direct purging in electric arc furnace – *RHI Bulletin*, 1, 22–25.
- ROBERTI R. 2009: The SLAG-REC® project for an innovative direct dry granulation of EAF slag [www.slagrec.eu](http://www.slagrec.eu)
- SAFRANKA L. 2000: Folyamatos acélöntőmű általános technológiai előírásai A-3/2000 – OAM Kft., Ózd, 53 p.
- SAKUROVS R. – FRENCH D. – GRIGORE M. 2007: Quantification of mineral matter in commercial cokes and their parent coals – *International Journal of Coal Geology*, 72, 81–88.
- SÁRI K – KOLESZÁR P. – BUDAY T. – PAPP I. 2014: Sedimentological and technological study of the clay mine of Putnok Brickyard – *ACTA GGM Debrecina Geology, Geomorphology, Physical Geography Series*, 8-9
- SCHOTTNER L. 1988a: Az oxigén szerepe és hatékonysága a különféle acélgyártó eljárásokban – in: Siklós T. (szerk.): *A szilárdtestkutatás újabb eredményei 19. A vas- és acélgyártás helyzete, várható fejlődése és kutatási-fejlesztési irányai I.*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 34–55.
- SCHOTTNER P. 1988b: A svédlándsás üstmetallurgia kifejlesztése az Ózd Kohászati Üzemekben – in: Siklós T. (szerk.): *A szilárdtestkutatás újabb eredményei 19. A vas- és acélgyártás helyzete, várható fejlődése és kutatási-fejlesztési irányai I.*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 56–69.
- SCHRÉTER Z. 1945: Uppony, Dédes és Nekézseny, továbbá Putnok vidékének földtani viszonyai – *MÁFI Évi Jel. 1941-42-ről*, 220 p.
- SEILEROVÁ K. – MIHOK L. – DOMOVEC M. – BALKO K. 2004: Influenceing of steelcleaness in ladle furnace – *Acta Montanistica Slovaca, AMS-HF-TU Kosice*, 10/2, 102–110.
- SEKINE Y. – SAKARJIRI K. – KIKUCHI E. – MATSUKATA M. 2008: Release behavior of trace elements from coal during high-temperature processing – *Powder Technology*, 180, 210–215.
- SETIÉN J. – HERNÁNDEZ D. – GONZÁLEZ J.J. 2008: Characterization of ladle furnace basic slag for use as construction material – *Construction and Building Materials* 23/5, 1788–1794.

- SHRIVASTAVA O.P. – SHRIVASTAVA R. 2000: Cation exchange applications of synthetic tobermorite for the immobilization and solidification of cesium and strontium in cement matrix – *Bull. Mater. Sci.*, 23/6, 515–520.
- SIMON S. – SZIKLAVÁRI J. – SZŐKE L. 1980: Újabb technológiai megoldások az acélgyártásban – *Műszaki Könyvkiadó, Budapest*, 401 p.
- SIMON T. 1988: A hazai edényes flóra természetvédelmi érték besorolása – *Abstracta Botanica*, 12, 1–23.
- SIMON T. 1992: A magyarországi edényes flóra határozója (Harasztok – Virágos növények) – *Tankönyvkiadó, Budapest*, 892 p.
- SIMON T. 2000: A magyarországi edényes flóra határozója. – *Tankönyvkiadó, Budapest*, 976 p.
- SIVEK M. – CÁSLAVSKÝ M. – JIRÁSEK J. 2008: Applicability of Hilt's law to the Czech part of the Upper Silesian Coal Basin (Czech Republic) – *International Journal of Coal Geology*, 73, 185–195.
- SOMLAI J. – JOBBÁGY V. – SOMLAI K. – KOVÁCS J. – NÉMETH Cs. – KOVÁCS T. 2008: Connection between radon emanation and some structural properties of coal slag as building material – *Radiation Measurement*, 43, 72–76.
- SOÓ R. 1973: A magyar flóra és vegetáció rendszertani-növényföldrajzi kézikönyve V. – *Akadémiai Kiadó, Budapest*, 723 p.
- SÖVEGJÁRTÓ J. 1960: A vaskohászat tűzálló építőanyagai III/2 – *Akadémiai Kiadó, Budapest*, 247 p.
- SÜTŐ L. 2013: A szénbányászat felszínfejlődésre és területhasználatra gyakorolt hatásai a Kelet-borsodi-szénmedencében – *Gprint Iroda Kiadó*, 156 p.
- SÜTŐ L. – KOZÁK M. – MCINTOSH R.W. – PÜSPÖKI Z. – BESZEDA I. 2007: Secondary mineralization process in coal pit heap and their impact on the environment in NE Hungary – *ACTA GGM Debrecina Geology, Geomorphology, Physical Geography Series*, 2, 41–45.
- STEELUNIVERSITY.ORG.2006: Electric arc furnace simulation user guide Version1 – *University of Liverpool*, 23 p.
- STEFANOVITS P. – FILEP GY. – FÜLEKY GY. 1999: *Talajtan – Mezőgazda Kiadó, Budapest*, 470 p.
- STERGAŠEK A. – HORVAT M. – KOTNIK J. – TRATNIK J. – FRAKL P. – KOCMAN D. – JAČMOVIČ R. – FAJON V. – PONIKVAR M. – HRASTEL I. – LENART J. – DEBELJAK B. – ČUJEŽ M. 2008: The role of flue gas desulfurisation in Mercury speciation and distribution in lignite burning power plant – *Fuel*, 87, 3504–3512.
- STUBBLES J. 2006: The minimill history – *AIST Keith Brimacombe memorial lecture at AISTech Iron&Steel technology Conference and Exposition, Cleveland, Ohio, conference brochure*, 25–34.
- SZABÓ Z. – PÁNCSICS Z. 1999a: Bouguer anomaly map of Hungary corrected using variable density – *Geophysical Transactions*, 42, 29–40.
- SZABÓ Z. – PÁNCSICS Z. 1999b: Gravity map of Hungary corrected for basin effect – *Geophysical Transactions*, 42, 41–54.
- SZAKÁLL S. 2005: *Ásványrendszertan – Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc*, 335 p.
- SZEGVÁRI I. 2005: *Króm – PhD értekezés, Debreceni Egyetem TTK adattára, Debrecen*, 125 p.
- SZÉKYNÉ FUX V. – KOZÁK M. 1984: A Nyírség mélyszerinti neogén vulkanizmusa – *Földtani Közlöny*, 114/2, 147–159.
- SZÉKY-FUX V. – KOZÁK M. – PÜSPÖK Z. 2007: Converged Neogene volcanism of East Hungary – *ACTA GGM Debrecina Geology, Geomorphology, Physical Geography Series*, 2, 79–104.
- SZIKLAVÁRI J. (szerk.) 1985: *A vaskohászati technológiák káros környezeti hatásai – Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság, Budapest*, 126 p.

- SZIKLAVÁRI J. 2000: Vaskohászat és környezetgazdálkodás – Környezetünk magazin, Budapest, 30 p.
- SZIKLAVÁRI J. 2002: Vaskohászat és környezetgazdálkodás – Magyar Tudomány, Budapest, 7
- SZŐÖR Gy. 1978: Talajok derivatográfiás vizsgálata talajmechanikai, építésföldtani felhasználásra – Földtani Közlöny, 108, 577–581.
- SZŐKE L. 1990: Elektro-acélgártás – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 250 p.
- SZTERÉNYI J. – LADÁNYI J. 1933: A magyar ipar a világháborúban – Franklin Társulat, Budapest, 396 p.
- TAJTHY K. 1991: Lakkok és festékek – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 277 p.
- TAKÁCS J. 2001: A nyomelemek nyomában – Medicina Kiadó, Budapest, 265 p.
- TALABÉR J. (szerk.) 1966: Cementipari kézikönyv – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 500 p.
- TAMÁS F. (szerk.) 1970: Szilikátipari laboratóriumi vizsgálatok – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 660 p.
- TAYLOR H.F.W. 1997: Cement Chemistry – Academic Press, London, 480 p.
- TÖRÖKNÉ HORVÁTH É. – GAÁLNÉ LOCHMAYER R. – KIRÁLY P. 2009: Tervezési segédlet martinsalag adalékanyagú betonnal készített épületek megerősítési megoldásaira – ÉMI Nonprofit Kft, Budapest, 51 p.
- UKRAINCZYK N. – MATUSINOVIC T. – KURAJICA S. – ZIMMERMANN B. – SIPUSIC J. 2007: Dehydration of a layered double hydroxide –  $C_2AH_8$  – *Thermochimica Acta*, 464, 7–15.
- VARGA J. – POLINSZKY K. 1961: Kémiai technológia – Tankönyvkiadó, Budapest, 560 p.
- VASSILEV V.S. – VASSILEVA G.C. – KARAYIGIT I.A. – BULUT Y. – ALASTUEY A. – QUEROL X. 2005: Phase-mineral and chemical composition of composite samples from feed coals, bottom ashes and fly ashes at the Soma power station, Turkey – *International Journal of Coal Geology*, 61, 35–63.
- VASS T. 2001: Az ózdi acélgártás története – Ózdi Acélművek Kft., Ózd, 223 p.
- VASS T. 2003: Az ózdi nyersvasgyártás története – Ózdi Önkormányzat, Ózd, 220 p.
- VEITSCHER MAGNEZITWERKE A.G. 2004: Feurfest für Stahlphanen – RHI AG Veitsch Österreich, 25 p.
- VERŐ M. – KÁLDOR M. 1996: Fémtan – Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 640 p.
- VICZIÁN I. – BARNÁ Zs. – FÖLDVÁRI M. 1997: A meddő kőzetek ásványtani összetétele a Borsodi-medence egyes alsó miocén barnakőszéntelepeiben – *Földtani Közlöny*, 127/1-2, 127–144.
- VINCZE L. – KOZÁK M. – KOVÁCS-PÁLFFY P. – PAPP I. – PÜSPÖKI Z. 2005: Origin of red clays around Miskolc (northern Hungary) – *ACTA Mineralogica-Petrographica*, 46, 15–27.
- VITÁLIS I. 1934: A Salgótarján-Egercsehi szénmedence, tekintettel az alsó miocén szén és a „schlier” földtani viszonyaira – *Mat. és Term. tud. Ért.* 52.
- VUTHALURUA B.H. – FRENCH D. 2008a: Ash chemistry of an Indonesian coal during Combustion: Part I. – Drop-tube observation, *Fuel Processing Technology*, 89/6 595–607.
- VUTHALURUA B.H. – FRENCH D. 2008b: Ash chemistry of an Indonesian coal during Combustion: Part II. – Pilot scale observation, *Fuel Processing Technology*, 89/6, 608–621.
- WAGNER J.N. – HLATSHWAYO T.B. – GINSTER M. 2008: A source apportioned mercury mass balance across a coal-based petrochemical complex – *Fuel Processing Technology*, 89, 1351–1357.
- WALLACHER L. 1991: Magmás és metamorf kőzetek II. – Tankönyvkiadó, Budapest, 235 p.
- WANG Z. – XU X. – CHEN J. – YANG F. 2013: Treatment of Lurgi coal gasification wastewater in pre denitrification anaerobic and aerobic biofilm process – *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1/4, 895–905.

- ZABETT A. – LU K.W. 2008: Thermodynamical computations for removal of alkali halides and lead compounds from electric arc furnace dust – *Computer Coupling of Phase Diagrams and Thermochemistry*, 32, 535–542.
- ZHAO Y. – ZHANG J. – CHOU L.C. – LI Y. – WANG Z. – GE Y. – ZHENG C. 2008: Trace element emissions from spontaneous combustion of gob piles in coal mines, Shanxi, China – *International Journal of Coal Geology*, 73, 52–62.
- ZHAO Y. – REN H. – DAI H. – JIN W. 2011: Composition and expansion coefficient of rust based on X-ray diffraction and thermal analysis – *Corrosion Science*, 53/5, 1646–1658.
- ZÖLDÖVEZET KÖRNYEZETVÉDELMI ÉS MUNKABIZTONSÁGI VÁLLALKOZÁS 2013: Ózd város környezetvédelmi programja – Ózd Város Önkormányzat kiadványa, 160 p.
- ZULFIQAR S. – WAHID A. – FAROOQ M. – MAQBOOL N. – ARFAN M. 2012: Phytoremediation of soil cadmium using *Chenopodium* species – *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 49/4, 435–445.

## MELLÉKLET

Az anyagvizsgálati eredményeket összefoglaló **táblázatok** a tanulmány fejezetei szerint vannak sorba rendezve, a második szám jelzi a fejezeten belüli sorrendjüket. A szövegben, a megfelelő helyeken hivatkozás történik rájuk. Mellékletbe helyezésüket technikai szempontok indokolták.

### 3. fejezet

paraméterek [mg/dm <sup>3</sup> ]	hűtőtorony	FAM-ülepítő	retúr lágyvíz	Kajla-patakba kiengedett víz	Sajó vize (friss víz)
pH	8,37	-	8,56	8,39	8,22
összkeménység (mval/dm <sup>3</sup> )	6,58	-	0,71	-	5,19
Ca-keménység (mval/dm <sup>3</sup> )	3,92	-	0,54	-	3,03
lebegő anyag	10	160	12	20	10
Cl <sup>-</sup>	50	-	18	-	30
KOI <sub>Cr</sub>	20	-	30	30	10
olajtartalom	-	5,7	-	1,8	-
vezetőképesség μS/cm	572	-	662	449	419
p-lúgosság (mval/dm <sup>3</sup> )	0,2	-	0,1	-	0
m-lúgosság (mval/dm <sup>3</sup> )	2,4	-	3,2	-	0,2
Fe	2,18	10,98	5,11	4,91	0,30
Pb	0	0	0	0	0
Cd	0	0	0	0	0
Mn	-	-	-	0,11	0,05
Cr	0	0	0	0	0
Mo	0	0	31	0	0

3/1. táblázat Az Ózdi Acélművek Kft. által használt vizek összetétele és néhány jellemzője (OAM mérés, a cég engedélyével felhasználva).

### 4. fejezet

frakció mm	vízart. %	hamu %	illó %	C <sub>fix</sub> %	C%	H%	bomba- kén %	fűtőérték KJ/kg
0-40	16,5	37,5	22,4	23,6	30,9	2,3	2,6	11453
20-40	20,1	26,2	23,4	30,3	39,5	2,7	1,6	14333
40-80	19,2	18,9	28,4	33,5	43,3	3,1	1,3	16060
0-80	16,9	34,2	22,6	26,3	32,3	2,5	2,1	12323
80<	21,9	9,4	32,1	36,6	47,8	3,6	1,8	17815
<b>átlag</b>	<b>18,9</b>	<b>25,3</b>	<b>25,8</b>	<b>30,1</b>	<b>38,7</b>	<b>2,8</b>	<b>1,9</b>	<b>14397</b>

4/1. táblázat A farkaslyuki szén frakciónkénti összetétele (BERÉNYI & GÁL 1956) nyomán.

frakció- mm	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Si	egyéb	ragadósági-p. °C	folyási-p. °C
0-40	57,5	12,5	12	8,4	3,8	2,6		1091	1203
20-40	53,8	7,2	13,2	11,8	4,1	3,0		1132	1235
40-80	48,6	10,7	9,3	14,4	4,0	4,76		1089	1199
0-80	47,3	8,9	21,9	10,5	4,3	2,9		1096	1224
80<	24,2	10,1	12,4	25,0	5,0	9,6	12,7	1114	1244
átlag	46,3	9,9	13,8	14	4,2	4,6	8	1104	1221

4/2. táblázat A farkaslyuki szénhamu frakciónkénti összetétele és olvadáspontja (BERÉNYI & GÁL 1956) nyomán.

Főelem alkotók	kohósalak	tükróvassalak	SM-salak	kazán salak	termokontakt kazán salak
SiO <sub>2</sub>	33,43%	34,31%	16,76%	32,13%	38,95%
FeO	1,54 %	1,67%	41,29%	4,86%	9,52%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0%	0%	0%	4,40%	0%
CaO	43,10%	33,20%	25,69%	17,89%	17,03%
MgO	7,23%	5,84%	3,53%	5,21%	4,89%
MnO	0,62%	13,57%	5,07%	1,02%	0,89%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,92%	9,84%	6,27%	33,58%	27,72%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,12%	0,11%	0,10%	0,10%	0,12%
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,007%	0,010%	0,029%	0,012%	0,009%
TiO <sub>2</sub>	0,08%	0,16%	0,20%	0,18%	0,25%
C	2%	0,66%	0,19%	0,23%	0,11%
S	0,040%	1,29%	0,040%	0,15%	0,017%

4/3. táblázat A régi ózdi vasgyártási salakok főelem összetétele (Koleszár 2005).

c	Illit	Gipsz	Kvarc	Kalcit	Aragonit	Piroxén	Hidro- magnezit	Aker- manit
bekéregzés az alsóhányói kazán salak sziklákról	0%	93%	3%	0%	0%	4%	0%	0%
bekéregzés magnezit téglán alsóhányó	0%	nyomok	0%	0%	0%	0%	100%	0%
matt cseppkő kohósalakon felsóhányó északi végéről	0%	2%	0%	26%	25%	0%	0%	47%
Fényes cseppkő kohósalakon felsóhányó északi végéről	4%	1%	nyomok	95%	0%	0%	0%	0%

4/4. táblázat A hipergén kiválások XRD vizsgálatának eredményei (KOLESZÁR 2005).

Nyomelemek	kohósalak	tükróvassalak	SM-salak	kazán salak	termokontakt kazánsalak
Pb (mg/kg)	k. h. alatt	k.h alatt	k.h.alatt	k. h. alatt	k. h alatt
Co (mg/kg)	21,95	12,20	14,63	14,63	8,62
Cd (mg/kg)	k. h. alatt	k. h. alatt	k.h alatt	k.h alatt	k.h. alatt
Ni (mg/kg)	24,59	259,60	143,44	288,25	133,88
Na (mg/kg)	90,21	110,45	162,5	255,3	152%
Sn (mg/kg)	0,17	0,19	11,2	2,08	0,20
Cu (mg/kg)	6,00	13,34	72,72	29,35	28,71
As (mg/kg)	10,01	17,14	37,89	14,73	16,66
K (mg/kg)	4297	9610	3213	14854	16078

A Tekerős-völgyi hányóból vett salak fajták nyomelem tartalma (elemezte Tóthné Hangonyi Gréta Ózdi Foglalkoztatást Elősegítő KHT Minőségbiztosítási Laboratórium)

4/5. táblázat A Héteszi salakhányót alkotó salakfajták nyomelem összetétele (KOLESZÁR 2005).

Komponensek (mg /dm <sup>3</sup> )	határ értékek	Lugos forrás	Alsó hányóból kifolyó patak forrása
PH	9.6	11.64	8.23
Össz keménység (mval /l)	nincs	16,39	16.17
Összes oldott só	nincs	1480	1467
Klorid	nincs	10	10
Szulfát	700mg /liter	5	0.02
Nitrát	120mg/l	25	5
Nitrit	120mg/l	5	0,02
Ammónium	3 mg/l	0.23	0.08
KOI <sub>Cr</sub>	125 mg/l	30	30
Zn	500µg/l	0	
Cu	10µg/l	0	
Pb	75µg/l	0	
Cr	150µg/l	0	
Mn	nincs	0	
Cd	8µg/l	0	
Fe	nincs	0.51	0.46
Ca	nincs	233.8	185.4
Mg	nincs	1.46	42.17
Ni	75µg/l	0	0
Co	75µg/l	0	0

4/6. táblázat A hétesi salakhányó csurgalékvizeinek vegyvizsgálati eredménye (KOLESZÁR 2005).

%	C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr	Ni	Al	Sn	V	Pb	Zn	Nb	Mo	W	Ti	As
1.	5,7	0,99	0,40	0,112	0,025	0,04	0,03	0,01	0,001	0,006	0,008	0,006	0,030	0,003	0,004	0,002	0,017	0,008
2.	3,9	0,15	0,56	0,075	0,095	0,07	0,05	0,02	0,001	0,002	0,005	0,014	0,034	0,001	0,001	0,004	0,006	0,007
3	7,8	1,7	1,3	0,132	0,009	0,13	0,06	0,03	0,023	0,003	0,027	0,004	0,007	0,002	0,026	0,018	0,006	0,113
4	4,5	2,4	0,9	0,239	0,017	0,14	0,04	0,02	0,001	0,008	0,021	0,000	0,004	0,002	0,011	0,015	0,005	0,016
5	3,9	1,2	0,5	0,121	0,008	0,14	0,07	0,01	0,003	Kh.	0,032	0,063	0,014	0,009	0,007	0,018	0,015	0,027
6	4,9	0,94	0,81	0,075	0,015	0,12	0,06	0,03	0,002	0,009	0,0090	0,003	0,004	0,001	0,006	0,015	0,011	0,003

4/7. táblázat Régi nyersvas minták Ózdról.

1. Hidegszeles faszéntüzelésű kohóból származó feles nyersvascipó a századfordulóról. Pontos származása nem ismert valószínűleg valamelyik egykori gömöri kohóműből.
  2. Fehérnyersvas "rókavas\*", 1950-es évekből Tekerős-völgy felsőhányó
  3. Öntészeti szürkenyersvas "rókavas\* 1960-as évekből Tekerős-völgy felsőhányó
  4. Tarka vaszárványsalakban, Sárli-telep 1950-es évekből
  5. Fehér nyersvascipó Sárli –telep
  6. Mn-szegény szürke acélnyersvas "rókava\*s" 1970-es évekből, Tekerős-völgy felsőhányó
- \*rókavas: csapolócsatornában visszamaradt nyersvaslerakódás.

%	C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr	Ni	Al	Sn	V	Pb	Zn	Nb	Mo	W	Ti	As
1.	0,14	0,49	0,01	0,014	0,024	0,19	0,01	0,03	0,002	0,005	0,001	0,001	0,000	0,001	0,03	Kh.	0,001	0,025
2.	0,06	0,03	0,00	0,001	0,032	0,06	0,00	0,03	0,000	0,005	0,000	0,008	0,011	0,000	0,06	Kh.	0,001	0,017
3	0,15	1,19	0,40	0,030	0,021	0,18	0,04	0,05	0,002	0,008	0,002	0,001	0,001	0,001	0,005	Kh	0,001	0,017

4/8. táblázat Régi ózdi acélminták vegyelemzése.

1. csillapítatlan szerkezeti acél (elbontott vasúti felüljáró anyaga)
2. nyers Martinacél a századfordulóról (csapolócsatorna tapadvány)
3. szilíciummalcsillapított régi B50-36 –os betonacél (alsóöntésű kokillaöntésből-beöntécső tapadvány)

komponensek	kohószállópor	ELEX-por(iszap)	Lurgi-por(acélmű)
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	37,03	30,70	61,6
FeO	11,45	16,00	1,03
SiO <sub>2</sub>	11,55	10,10	0,77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,48	2,50	1,64
CaO	12,63	14,60	1,15
MgO	1,89	5,20	1,64
MnO	0,93	0,40	1,04
CuO	0,01	-	0,50
PbO <sub>2</sub>	-	-	4,12
ZnO	-	-	12,12
S <sub>total</sub>	0,53	0,40	2,13
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,09	0,01	0,58
C	14,35	12,50	0,15
BaO	0,16	-	-
LOI	7,57	10,80	6,14

4/9. táblázat A vizsgált területünkön egykor kiüledett kohászati szállóporok összetétele (SZIKLAVÁRI 1985).

## 6. fejezet

tulajdonság	C	Mn	Si	S	P	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Nb	Al	Sn	Pb	Zn	Sb
melegtörékenység	-	-		+	+	+							+	+	+	+
elláll.hid.alakítás.						+	+	+	+	+	+					
elláll.mel.alakítás						+	+	+	+	+	+					
szilárdság	+	+	+	-	+		+	+	+	+	+					
keményység	+	+	+		+			+	+	+	+	+	-	-	-	-
alakíthatóság	+	+	+		+		+	+	+							
kopásállóság	+		-				+	+	+	+						
forgácsolhatóság	+			+	+									+		
szívósság		+		-	-		+	+	+	+	+	+				
kifáradás				-	-		+		+							
hegeszthetőség	-	-		-	-		+									
elekt. tulajdonság			+													
korrosziós tul.					+	+	+	+	+							
felületi minőség				-		-							-	-	-	

színelőírás: fekete:maradóelemek, kék: elsalakítható ,piros:füstgázzal eltávozik

6/1. táblázat A leggyakoribb ötvöző elemek hatása az acél tulajdonságaira. (Böhler 2009) [www.boehler.hu/.../files/.../bohler\\_szerszamacel\\_nemesacel\\_katalogus.pdf](http://www.boehler.hu/.../files/.../bohler_szerszamacel_nemesacel_katalogus.pdf) alapján saját kiegészítésekkel).

## 7. fejezet

hull. osztály	C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr		
E2	0,1324	0,75	0,20744	0,01371	0,01578	0,14845	0,07617		
E8	0,08246	0,4177	0,0441	0,01413	0,01526	0,05351	0,03714		
E3	0,1004	0,44053	0,07738	0,0127	0,01513	0,08172	0,03964		
EHRM	0,55158	0,70231	<u>0,77828</u>	<u>0,04651</u>	<u>0,05243</u>	0,13405	0,8017		
EHRB	0,12399	0,66528	0,19878	0,01362	0,03177	0,35372	0,08464		
E5M	0,35368	0,84833	0,25221	0,01516	0,01025	0,11861	0,78474		
átlag	0,224085	0,637358	0,259698	0,019305	0,023437	0,148343	<u>0,304005</u>		
	Ni	Al	Sn	V	Mo	Pb	Zn		
E2	0,06921	0,01929	0,00979	0,00138	0,01506	0,0156	0,00258		
E8	0,02543	0,02253	0,00414	0,00109	0,00451	0,00075	0,00093		
E3	0,02826	0,01831	0,0044	0,0009	0,00433	0,00054	0,00045		
EHRM	0,4412	0,01294	0,00931	0,01971	0,09234	0,0207	0,00285		
EHRB	0,12719	0,00192	0,03094	0,00091	0,02391	0,00146	0,00532		
E5M	0,64901	0,0367	0,00841	0,02645	<u>0,14557</u>	0,0129	0,01902		
átlag	0,223383	0,018615	0,011165	0,008407	0,04762	0,008658	0,005192		
	Nb	W	Ti	As	B	Zr	Ca	Fe	
E2	0,00374	0,00058	0,00095	0,00556	0,00022	0,00181	0,00149	98,52571	
E8	0,0008	0,00001	0,0011	0,00279	0,00031	0,00205	0,00105	99,27321	
E3	0,0015	0,00338	0,0034	0,00928	0,00047	0,00518	0,00075	96,26834	
EHRM	0,00159	0,00324	0,00387	0,00941	0,00049	0,00484	0,00076	96,19389	
EHRB	0,00124	0,00156	0,00133	0,01018	0,00034	0,00154	0,00091	98,31991	
E5M	0,00741	0,01597	0,00312	0,0116	0,0005	0,00544	0,00182	96,67688	
átlag	0,002713	0,004123	0,002295	0,008137	0,000388	0,003477	0,001128	97,54299	

7./1. táblázat Az OAM Kft –nél használt vas- és acélhulladékok kémiai összetétele (KOLESZÁR 2013).

%	rozsdá 1	rozsdá 2	rozsdá 3
C	4,35	0,45	0,089
S	1,99	0,054	0,062

7./2 táblázat Korróziós termékek kén és karbon (karbonát) tartalma.

%	égetett mész 1	égetett mész 2	égetett mész 3
CO <sub>2</sub>	2,85	0,064	0,082
S	0,021	0,033	0,095
CaO	92,98	91,56	85,1
MgO	5,04	4,22	9,3

7./3. táblázat darabos égetett meszek összetétele.

%	mészke 1	mészke 2	mészke 3
totCO <sub>2</sub>	43,2	43,96	44,23
S	0,022	0,023	0,024
CaO+MgO	56,05	55,91	55,88
egyéb	0,53	0,09	0,10

7/4. táblázat Szalonnai darabos mészke összetétele (OAM).

%	kokszipor 1	kokszipor 2	kokszipor 3
C	86,41	87,95	85,26
S	0,89	0,85	0,59
hamu	10,65	8,98	10,86
nedvesség	2,06	2,24	2,14
O+N+H	2,92	2,84	3,16

7/5 táblázat A salakhabosító kokszipor összetétele (saját mérés kivéve hamu).

C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr	Ni
0,0781	0,0651	0,0132	0,0116	0,0443	0,3742	0,1198	0,1277
Al	Sn	V	Pb	Zn	Nb	Mo	W
0,6891	0,0242	0,0011	0,0025	0,0084	0,001	0,0326	0,0078
Ti	As	B	Zr	Ca	Fe		
0,0011	0,0116	0,0002	0,0022	0,0011	98,3387		

7/6. táblázat. A gyártott nyersacél kémiai összetétele (%) (KOLESZÁR 2013).

	C	Mn	Si	$P_{max}$	$S_{max}$	$N_{max}$	$Cu_{max}$	Sn	Cr	Ni
A	0,1-0,11	0,45-0,60	0,15-0,20	<b>0,035</b>	0,035	0,012	<b>0,43</b>	<b>0,050</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>
B1	0,11-0,15	0,55-0,65	0,15-0,20	<b>0,045</b>	0,045	0,012	<b>0,50</b>	<b>0,050</b>	<b>0,30</b>	<b>0,30</b>
B2	0,15-0,19	0,65-0,75	0,15-0,20	<b>0,050</b>	0,050	0,012	<b>0,80</b>	<b>0,050</b>	<b>0,30</b>	<b>0,30</b>
C1	0,19-0,21	1,20-1,30	0,15-0,20	<b>0,050</b>	0,050	0,012	<b>0,80</b>	<b>0,050</b>	<b>0,30</b>	<b>0,30</b>
C2	0,19-0,21	1,10-1,30	0,15-0,20	<b>0,050</b>	0,050	0,012	<b>0,50</b>	<b>0,050</b>	<b>0,30</b>	<b>0,30</b>

7/7. táblázat Az OAM Kft-nél gyártott acéltermékek házi minőségi előírása.

%	Beolv 132668	Vég 132668	L1	L2	L3	K1	K2	K3	Kor.1	Kor2	Kor3
SiO <sub>2</sub>	16,25	14,24	21,71	21,64	22,75	21,84	19,89	21,90	10,11	10,67	11,25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,35	5,44	10,63	11,72	8,33	7,99	9,890	10,27	3,71	3,81	3,94
FeO	37,95	30,68	31,25	22,94	40,60	38,98	31,47	29,61	28,39	19,64	33,97
Fe <sub>s</sub>	7,2	17,06	0,12	0,07	0	3,98	5,24	2,97	42,98	51,97	35,96
Na <sub>2</sub> O	0,09	0,08	0,14	0,11	0,22	0,21	0,14	0,15	0,08	0,09	0,08
K <sub>2</sub> O	0,04	0,03	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,03	0,02	0,03
CaO	23,74	25,65	28,49	36,33	22,18	21,29	24,67	25,10	11,34	11,10	12,11
MgO	2,58	2,91	4,21	4,06	3,23	3,1	4,67	4,70	1,71	1,58	1,84
TiO <sub>2</sub>	0,34	0,32	0,49	0,49	0,44	0,42	0,45	0,47	0,22	0,23	0,21
MnO	4,51	4,20	3,44	3,84	3,59	3,44	3,77	3,59	1,42	1,38	1,83
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,16	0,13	0,25	0,26	0,23	0,22	0,14	0,13	0,07	0,09	0,08
S	0,09	0,09	0,13	0,15	0,10	0,06	0	0	0,05	0,04	0,05

10/1. táblázat A primer salakok főelem összetétele  
(132668 1E/2E; L=salakláva, K=salakkéreg, Kor=salakkorall).

minta/mg/kg	Ba	B	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	Se	Sn	Sr	Zn
I/1/a-1	1933	503	Kh.	17	2	6782	224	23	Kh.	252	28	9	226	127
I/1/a-2	2125	548	Kh.	16	0	6669	185	Kh.	Kh.	377	30	10	258	853
I/1/a-3aL1	2223	608	Kh.	11	5	2814	218	4	Kh.	235	0	16	310	210
I/1/a-3bL2	2732	688	Kh.	9	4	3913	163	Kh.	Kh.	188	14	11	362	104
I/1/a-3cL3	2990	649	Kh.	7	6	3932	154	15	Kh.	168	21	8	331	152
I/1/a-3ak1	2187	625	Kh.	12	7	3992	248	Kh.	Kh.	247	5	16	360	210
I/1/a-3bk2	2655	605	Kh.	9	4	3986	172	13	Kh.	208	13	10	332	112
I/1/a-3ck3	2649	612	Kh.	9	1	3920	173	Kh.	Kh.	203	13	11	352	116
I/1/a-3akr1	1686	494	Kh.	15	20	5829	575	14	142	321	6	30	211	335
I/1/a-3bkr2	2150	633	Kh.	12	18	1747	631	15	111	233	?	21	319	108
I/1/a-3ckr3	1611	475	9	15	25	6061	751	51	314	313	3	31	212	236
átlag	2267	586	9	12	9	4513	318	19	189	249	13	16	298	233

10/2. táblázat A különféle primer salakok nyomelem összetétele.

A vizsgálati minta											
iktató szám	Azonosítója	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Al	Ca	Mg	Mn	Fe
vizes kioldás 1g minta +100 ml desztillált víz eluátum koncentrációja mg/liter											
138	I/1 /a3aL	<0,001	0,019	<0,001	0,020	<0,001	0,083	23,82	0,426	0,001	0,018
139	I/1 /a3bL	0,005	0,010	<0,001	0,019	0,030	9,869	46,83	0,184	0,001	0,045
140	I/1 /a3cL	0,009	0,003	<0,001	0,026	0,011	10,776	46,54	0,261	<0,001	0,003
141	I/1 /a4aK	0,005	0,014	<0,001	0,019	0,015	1,327	37,10	0,318	0,052	0,552
142	I/1 /a4bK	<0,001	0,011	<0,001	0,020	<0,001	7,428	43,88	0,354	<0,001	0,014
143	I/1 /a4cK	<0,001	0,006	<0,001	0,017	<0,001	6,629	42,35	0,221	<0,001	<0,001
citromsavas kioldás 1g minta +100 ml 2%-os citromsav oldat eluátum koncentrációja mg/liter											
128	I/1 /a3aL	0,485	0,047	0,006	0,039	0,253	36,48	1038	34,01	26,61	125,18
129	I/1 /a3bL	0,870	0,028	0,003	0,025	0,205	12,21	1049	15,80	12,34	83,39
130	I/1 /a3cL	1,282	0,016	0,004	0,031	0,250	12,83	1098	18,49	21,16	97,72
131	I/1 /a4aK	0,746	0,042	0,015	0,042	0,225	17,92	1045	20,42	18,88	120,24
132	I/1 /a4bK	0,812	0,024	0,011	0,032	0,217	11,45	1091	24,13	17,60	109,58
133	I/1 /a4cK	0,464	0,027	0,020	0,023	0,172	9,81	1039	17,18	11,52	65,84

10/3. táblázat Az OAM primer salakok oldási vizsgálatának eredményei

%	-H <sub>2</sub> O	+H <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	FeO	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
1.	0.27	-1.03	20.55	1.30	0.05	17.56	48.34	7.27	0.03	0.35	0.32	0.67	0.15
2.	0.64	-0.49	16.07	0.67	0.03	16.92	55.10	5.83	0.06	0.35	0.00	1.89	0.14
3.	0.36	-0.34	25.74	1.11	0.02	20.98	37.97	8.31	0.10	0.34	1.19	0.09	0.09

10/4. táblázat A 3 fő üstkemence salak típus (1. porladt salak, 2. fehér, darabos, 3. barnászürke darabos) főelem összetétele.

salakok / g/t	As	Ba	B	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	<b>Pb</b>	Se	Sn	Sr	Zn
porladt	0	882	116	0	1	39	66	0	0	<b>91</b>	2	1	403	64
fehér darabos	3	434	54	0	0	5	70	0	0	<b>90</b>	1	0	260	117
barnászürke darabos	0	922	169	0	0	89	30	0	0	<b>67</b>	5	0	262	155

10/5. táblázat A 3 fő üstkemence salaktípus nyomelem tartalma.

alkotók	1.%	2.%
SiO <sub>2</sub>	49,8	52,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,5	20,6
CaO	0,1	6,8
MgO	0,05	9,6
MnO	11,0	15
FeO	26,3	3,2
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,4

10/6. táblázat Acélzárvány (1.) és közbelső üst salak (2.) főelem összetétele nyitott öntésnél

átlagos dózis teljesítmény	μGy/h
<b>primer salak</b>	<b>0,11</b>
szekundersalak	0,18
Pétevársári Homokkő Formáció homokköve	0,17
Pétevársári Fm. litifikálódott homokja	0,13
Szécsényi Slír formáció slírje	0,10
Pleisztocén lejtőagyag	0,16
Magyarországon épületen belül	0,057-0,384
Magyarországon szabadban	0,048-0,27

10/7. táblázat Az OAM salakok és az ózdi kőzetek átlagos dózis teljesítménye.

## 11. fejezet

Minták jellege:	Átlag minta	Finom frakció Ø<63μm	Durva frakció Ø>63μm		Átlag minta	Finom frakció Ø<63μm	Durva frakció Ø>63μm
Alkotók:	[m/m %]			Alkotók:	[m/m %]		
Izzítási veszteség	14,09	14,19	14,45	<b>Zn</b>	<b>14,52</b>	<b>15,43</b>	<b>3,92</b>
SiO <sub>2</sub>	4,80	4,20	5,80	<b>Pb</b>	<b>3,58</b>	<b>3,94</b>	<b>1,23</b>
FeO	5,14	4,63	12,86	Co	0,007	0,008	0,012
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,86	13,75	21,15	Cd	0,041	0,044	0,015
MnO	0,84	0,89	0,75	Ni	0,085	0,181	0,162
MgO	2,23	2,38	2,85	Cr	0,086	0,086	0,101
CaO	5,42	4,98	16,13	Cu	0,059	0,063	0,041
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,53	0,49	2,12	<b>Cl</b>	<b>4,84</b>	<b>5,14</b>	<b>4,13</b>
C	2,61	2,23	9,71	Összes:	71,737	72,640	95,436

11/1. táblázat A zsákos porleválasztói szállópor szemcse frakció összetétele

Iktatószám:111	m/m%	komponens	m/m%
Izzítási veszteség	14,80	Co	<0,002
SiO <sub>2</sub>	32,0	Cr	0,083
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35,69	Cu	0,148
FeO	1,05	Mo	<0,003
MnO	1,45	Ni	0,009
MgO	2,42	Sn	0,024
CaO	18,79	V	<0,010
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,02	Cl <sup>-</sup>	0,80
P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,14	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,52
C <sub>total</sub>	13,51		
S <sub>total</sub>	0,42		
Zn	4,94		
Pb	0,50		
Cd	0,021		

11/2. táblázat Az OAM szürke szállópor fő- és nyomelem tartalma

idő	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe	Pb	Cd	Zn <sub>össz</sub>	Zn <sub>oldható</sub>	cinkit	franklinit
átlag	2,63	2,26	2,46	25,28	3,45	705,32	25,49	16,64	20,71	32,66
RSD %	11,48	6,13	3,88	3,03	3,81	6,56	4,93	5,81	5,81	16,92

11/3. táblázat A szállópor összetételének ingadozása az adagidő során