



**Magyar Tudományos Akadémia
Debreceni Területi Bizottsága –
Debreceni Akadémiai Bizottság
Műszaki Szakbizottsága**

elektronikus

MŰSZAKI FÜZETEK V.

Debrecen 2008

**MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ
ÉSZAK-ALFÖLDI RÉGIÓBAN
2008**

**KONFERENCIA
ELŐADÁSAI**

elektronikus
**MŰSZAKI FÜZETEK
V.**

**Kiadja: Debreceni Akadémiai Bizottság
Műszaki Szakbizottsága**

ISBN 978-963-7064-19-7

Sorozatot szerkeszti: Pokorádi László

Debrecen 2008

TARTALOMJEGYZÉK

Dudás I. – Péter L. – Dezső G. : CSIGAHAJTÁS ÉRINTKEZÉSI VISZONYAINAK FIZIKAI MODELLEZÉSE	5.
Jolánkai Géza A „TISZA PROJEKT”	11.
Szabolcsi Róbert PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐGÉPEKKEL SZEMBEN TÁMASZTOTT KÖVETELMÉNYEK VIZSGÁLATA – AZ „ALPHA-CSOPORT”	23.
Szabó L - Békési L - Varga B - Miskolczi I: A HAJTÓMŰVEK TERMIKUS SZÁMÍTÁSÁNÁL, VALAMINT AZ ADATBÁZISOK KEZELÉSÉNÉL ALKALMAZOTT ELEKTRONIKUS TANSEGÉDLETEK, SZOFTVEREK ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI A ZMNE RLI-BEN	35.
Gindert-Kele Ágnes – Hagymássy Zoltán RÖPÍTŐTÁRCSÁS MŰTRÁGYASZÓRÓ MODELL	49.
Hagymássy Zoltán – Gindert Kele Ágnes PARCELLA MŰTRÁGYASZÓRÓ GÉPEK SZÓRÓ SZERKEZETEI ÉS VIZSGÁLATUK	59.
Oláh Béla, Bányai Tamás HÁLÓZATSZERŰEN MŰKÖDŐ SZERELŐRENDSZEREK TERVEZÉSI ÉS IRÁNYÍTÁSI MÓDSZEREI	65.
Ludányi Lajos AUTOMATIKUS MIKROHULLÁMÚ DIELEKTROMÉTER KIFEJLESZTÉSE	81.
Korody Endre PILÓTÁK FIZIKAI TERHELÉSÉNEK VIZSGÁLATA REPÜLÉSSZIMULÁTORON	93.
Bera József HÁTTÉRZAJ ÉRTÉKELÉSE ELTÉRŐ KÖRNYEZETI ADOTTSÁGOK FÜGGVÉNYÉBEN	99.
Gulyás Lajos A MŰSZAKI RENDSZEREK ÁRAMLÁSTANI FOLYAMATAINAK EGYSÉGES ÉRTELMEZÉSE	109.
Kalmár Ferenc ÉPÜLETEK FŰTÉSI HATÁRHŐMÉRSÉKLETE	115.
Szigeti F. – Dezső G. – Péter L. – Százvai A. – Hajdu A. KÖRNYEZETBARÁT MEGMUNKÁLÁSOK TAPASZTALATAI A NYÍREGYHÁZI FŐISKOLA MŰSZAKI ALAPOZÓ ÉS GÉPGYÁRTÁSTECHNOLÓGIA TANSZÉKÉN	123.
Halász Györgyné, Kalmár Tünde KÖZPONTI FŰTÉSI RENDSZEREK EXERGETIKAI HATÁSFOKA	137.
Bodnár Ildikó – Hancz Gabriella A KÖSELY VÍZFOLYÁS ÉS MELLÉKÁGAINAK SÓTERHELÉSE	147.

Dudás Illés¹-Péter László²-Dezső Gergely³:

CSIGAHAJTÁS ÉRINTKEZÉSI VISZONYAINAK FIZIKAI MODELLEZÉSE

BEVEZETÉS

A különleges csigahajtások közé sorolható spiroid hajtások több, mint fél évszázada jelentek meg az iparban. A spiroid hajtások kiemelkedően magas kapcsolószáma, amely elérheti az ötöt is, a fő oka a nagy érdeklődésnek, amely mind a tudományos kutatás, mind az alkalmazások terén megmutatkozik irántuk. A nagy kapcsolószám nagy fajlagos teljesítményátvivő képességet eredményez, vagyis a spiroid hajtások más kapcsolásokhoz viszonyítva kisebb önsúllyal képesek megvalósítani ugyanazt a teljesítményátvitelt. Fontos megjegyezni, hogy a spiroid hajtások összetett geometriájuk ellenére viszonylag egyszerűen gyárthatók.

Jelenleg élénken kutatott kérdéskör a csigahajtások tagjainak érintkezése, az érintkező felületek kölcsönhatása, feszültség- és deformációs állapota. Ezt kísérletekkel és modellezéssel egyaránt vizsgáljuk.

Célul tűztük ki egy spiroid hajtópár fogfelületeinek érintkezésének modellezését, egy fogpárra vonatkozóan. A hajtópár testmodelljét elkészítettük, ehhez felhasználtuk a korábbi kutatások eredményeit is. A feszültségállapotot és az alakváltozást kiszámítottuk közelítő módszerrel. Meggondolásainkban feltételezzük, hogy a hajtópár kölcsönhatása kvázisztatikusan közelíthető. A numerikus számításokat végelelem módszerrel végeztük el.

Az általunk vizsgált hajtópár egyik tagja egyenes alkotójú, kúpos csiga. A másik tag a tányérkerék, a tagok forgástengelye egymásra merőleges.

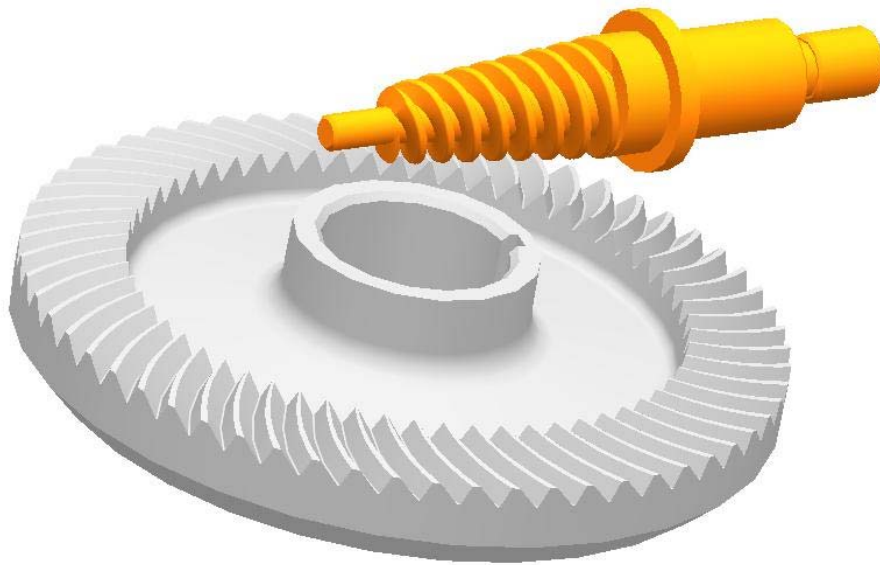
A GEOMETRIAI MODELL FELÉPÍTÉSE

A korábbi kutatások eredményeként kifejlesztett spiroid csiga [1] és ellenkerék három dimenziós reprezentációja rendelkezésre állt a fizikai modellezéshez. Ez alkalmas volt arra, hogy szemléltesse az elrendezést, és elkezdjük segítségével számításainkat.

¹ Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Gépgyártástechnológiai Tanszék,
ggytdi@gold.uni.miskolc.hu

² Nyíregyházi Főiskola, Műszaki és Mezőgazdasági Főiskolai Kar, Gépgyártástechnológiai Tanszék,
peterl@nyf.hu

³ Nyíregyházi Főiskola, Műszaki és Mezőgazdasági Főiskolai Kar, Gépgyártástechnológiai Tanszék,
dezsog@nyf.hu



1. ábra A vizsgált hajtópár 3D reprezentációja

A csiga 3D modellje a rendelkezésünkre álló műszaki rajz alapján közvetlenül és pontosan generálható. Ez azt jelenti, hogy a modellező szoftver utasításaival egzaktul le lehet írni a csiga alakját. A hajtott tag esetében nem ez a helyzet. Az ellenkerék fogfelületét számított pontokra illesztett felülettel közelítettük. [2,3]

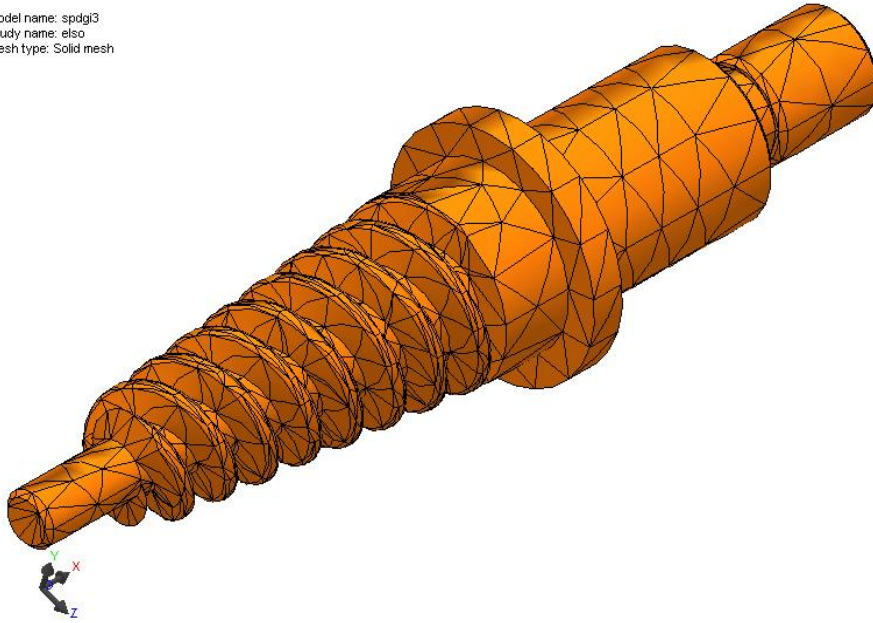
A VÉGESELEM MODELL, A TERHELÉSEK ÉS BEFOGÁSOK

A csiga anyagi tulajdonságait az acél, a tányérkerék tulajdonságait pedig a bronz jellemzőivel tettük egyenlővé.

Egy-egy fog érintkezését vizsgáltuk. A hajtópár egymáshoz viszonyított helyzetét az üzemi körülményeknek megfelelően állítottuk be.

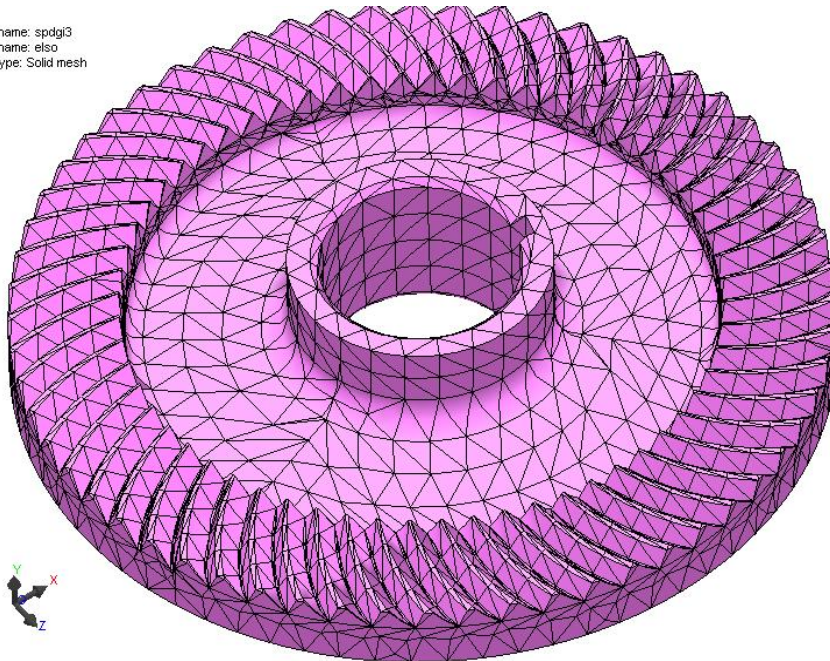
A csiga mindkét végén egy-egy hengeres felületre alkalmaztunk „befogást”. Ez pontosan azt jelenti, hogy a felületek radiális elmozdulását tiltottuk meg, illetve az egyik felület axiális elmozdulását is.

Model name: spdg3
Study name: elso
Mesh type: Solid mesh



2. ábra A csiga végelem felosztása

Model name: spdg3
Study name: elso
Mesh type: Solid mesh



3. ábra A tányérkerék végelem felosztása

A tányérkerék esetén a középső furat hengeres felületén minden pont szabadsági fokát nullára választottuk, azaz teljesen rögzítettük a hengert e felületnél fogva.

A terhelés, amit alkalmaztunk geometriai előírás volt. A csiga hajtott végére a csiga tengelye körüli elfordulást írtunk elő. Ennek eredménye, hogy a csiga és a tányérkerék fogai egymásnak feszülnek, és kis mértékben deformálódnak.

A végeselem modell felépítése során kitüntetett figyelmet fordítottunk az érintkezési probléma kezelésére. A csiga dolgozó felülete és a hajtott tag fogfelülete között kontakt elemeket használtunk, amelyek nem engedik meg, hogy interferencia lépjen fel, de lehetővé teszik, hogy a felületek eltávolodjanak egymástól.

Az érintkező felületek között súrlódást tételeztünk fel, a súrlódási együtthatót a kenés nélküli állapotnak megfelelően 0.2-nek vettük.

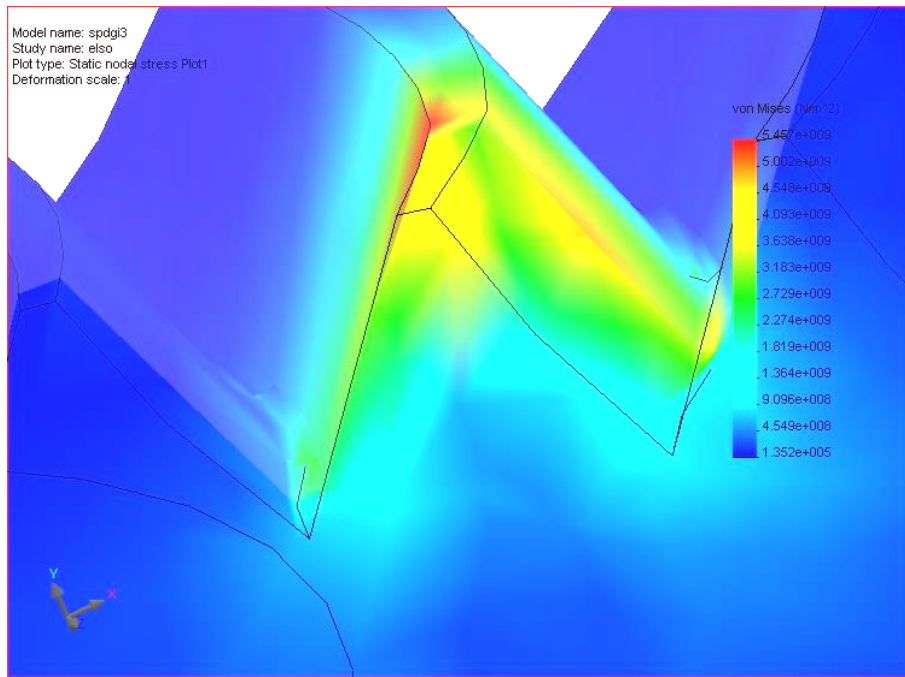
A csiga hajtópár érintkező felületeinek jelentős elmozdulása van tangenciális irányban. A nagy elmozdulások konvergencia problémákat vetnek fel, ezért a számításaink során használt szoftver által felkínált speciális algoritmust alkalmaztuk ennek kezelésére. Ez a módszer a számítás kezdetén nem alkalmazza azonnal a teljes terhelést a modellre, hanem annak csak töredékét, majd a részeredmények megtartásával fokozatosan növeli a terhelést az általunk definiált mértékig. Ezzel lecsökkenti annak veszélyét, hogy a konfigurációs térben túl nagyot lépve eltávolodjon a célfüggvény keresett minimumhelyétől, és így divergencsé váljon az iteráció.

A FESZÜLTSGÁLLAPOT VIZSGÁLATA

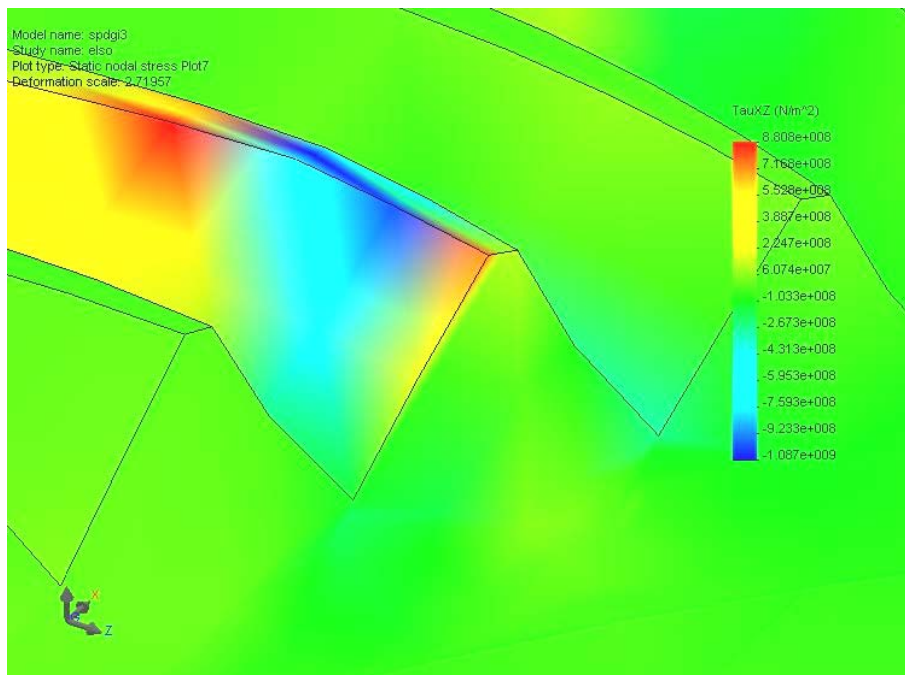
A feszültségállapotot olyan helyzetben vizsgáltuk, amelyben egy-egy fog érintkezik. A valóságban legalább 4 fog kapcsolódik egyidejűleg. A geometriai kényszer a csiga hajtott végének 0.1 radiánnal való elforgatása volt. Az érintkező felületek környezetében kialakuló feszültségállapotot külön-külön vizsgáljuk a két testben.

A tányérkerék megterhelt fogában a Miseses szerinti feszültséget (3. ábra) egy síkmetszetekben ábrázoltuk. Ez a sík párhuzamos a csiga tengelyével, és a tányérkerék tengelyével is.

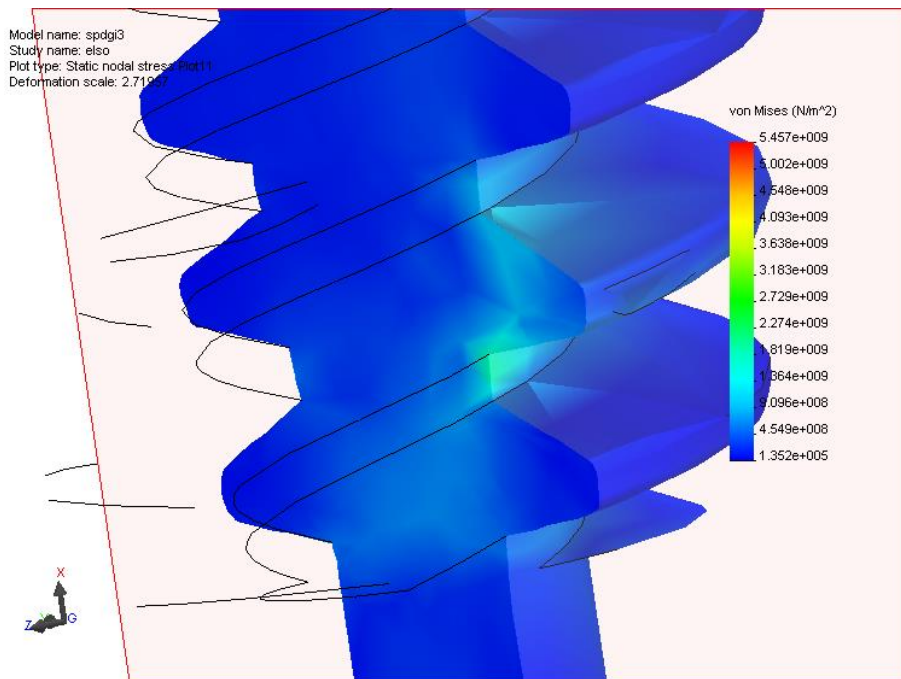
Az elsősorban a súrlódás miatt ébredő z irányú csúsztató feszültség (4. ábra a következő oldalon, a z irány az ábrázolt fog esetén a tányérkerék sugarával esik egybe) az érintkezési vonal mentén előjelet vált, amint azt várhatjuk is.



4. ábra A Miseses szerinti feszültség a tányérkerék egy fogának metszetében



5. ábra Csúsztatófeszültség az yz síkon z irányban



6. ábra A csiga fogában ébredő Miseses szerinti egyenértékű feszültség

ÖSSZEFOGLALÁS

A spiroid csigahajtás két tagjának geometriai modelljét elkészítettük.

Felépítettük a hajtópár végelem modelljét, különös tekintettel a kontakt problémára.

Kiszámítottuk a hajtópár feszültségállapotát egy egyszerű elrendezésben.

Szükségessé vált pontosabb geometriai modell elkészítése, ami folyamatban van.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Munkánk támogatást kapott a Magyar Tudományos Akadémiától az „A gyártásgeometria és a kapcsolódás jellemzőinek komplex vizsgálata korszerű csigahajtások esetében” (OTKA K 63377, témavezető: Prof. Dudás Illés) című pályázat keretében.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BÁNYAI K., FELHŐ CS., DUDÁS I.: Spiroid hajtások geometriai méretezése és végelelemes analízise *Fiatalkorú Műszaki Tudományos Ülésszaka*, Kolozsvár, 2004 pp 112-119.
- [2] DUDÁS, I.: *The theory and practice of worm gear drives*, London, Penton Press, 2000 pp 124-148.
- [3] DUDÁS, I.: *Csigahajtások elmélete és gyártása*, Budapest, Műszaki Kiadó, 2007 pp 34-76.

A “Tisza Projekt”

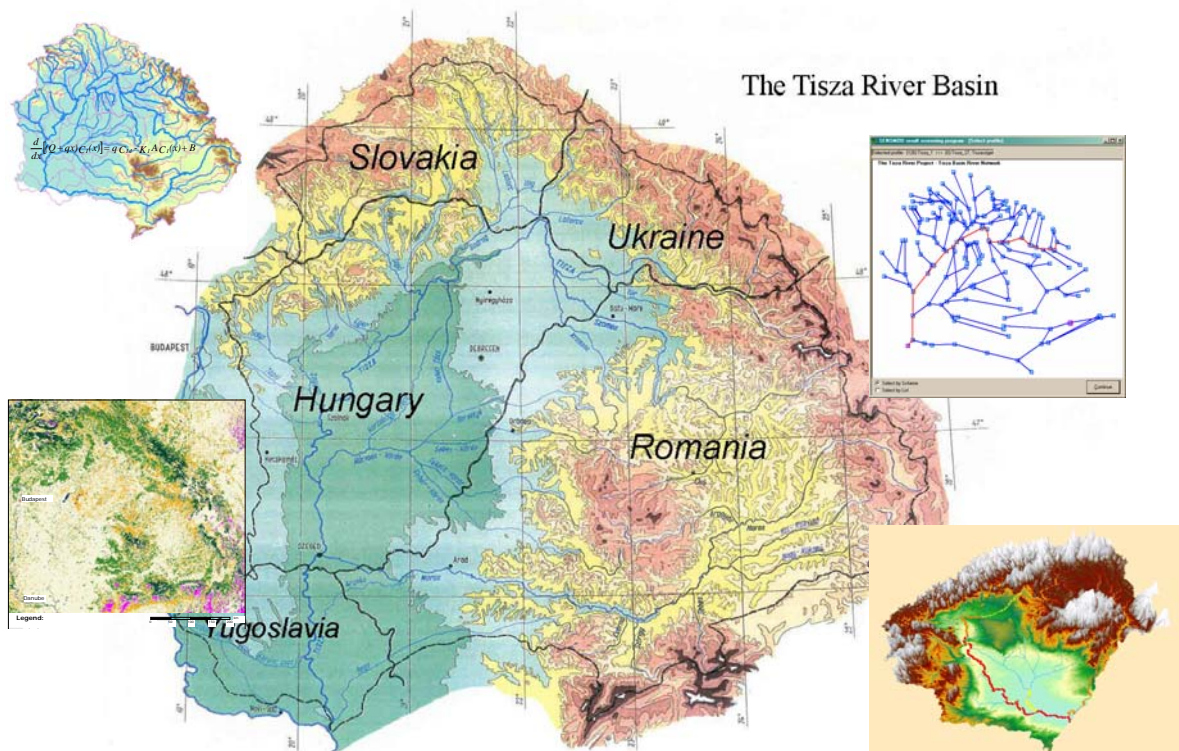
Valós-léptékű integrált vízgyűjtő modellek a víz- és környezet-gazdálkodási döntések alátámasztásához

EU szerződés szám: EVK1-CT-2001-00099

(A Projekt időtartama: 2002. január 1. - 2004. december 31.)

A végeredmények rövid összefoglalása széleskörű terjesztéshez

A Tisza vízgyűjtő és annak térinformatikai valamint modell változatai



A Közép-Tisza (Dobánál)



Az egyik tiszai holtág mintaterület

Célkitűzések

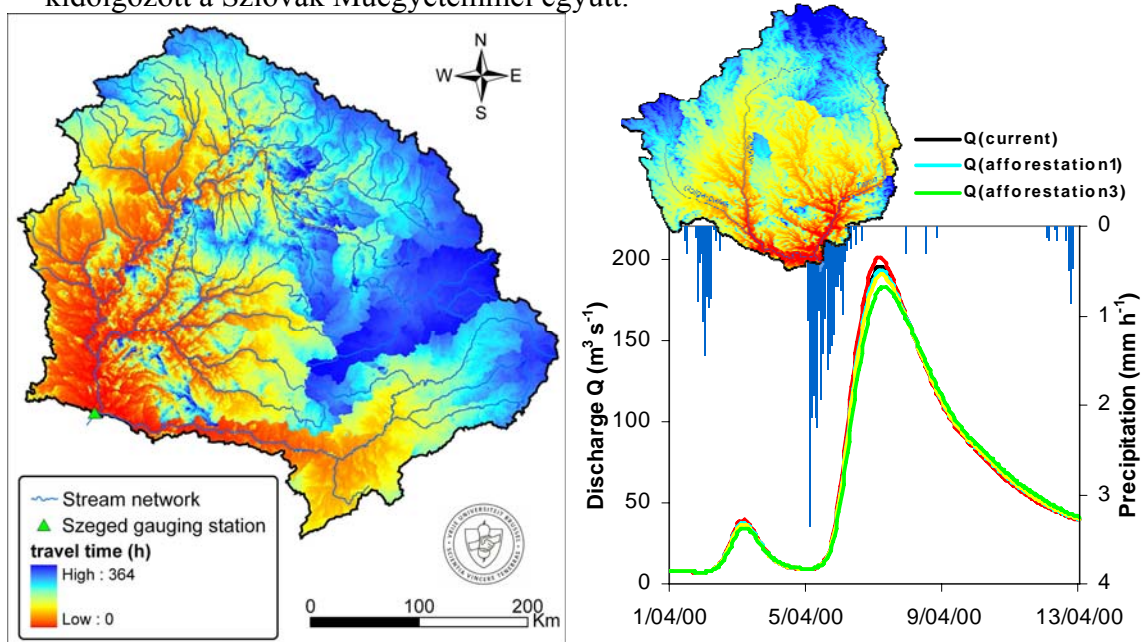
A projekt célkitűzése összefoglalóan az volt, hogy „valós léptékű” integrált vízgyűjtő modellek kidolgozásával segítse a vízkészletek, a vízi-környezet és az ökológiai értékek megőrzését és fenntartható használatát a Tisza vízgyűjtőn belül. A „valós lépték” ebben az esetben azt jelenti, hogy a gyakorlati alkalmazhatóság és a rendelkezésre álló adatok függvényében fejlesztettünk (vagy választottunk) olyan eszközöket (számítógépes modell szoftvereket), amelyek a lehető legjobban illenek a megoldandó vízmennyiségi, vízminőségi és ökológiai-természetvédelmi feladatokhoz. A Tisza vízgyűjtő nemzetközi adatbázisának létrehozása is egyike volt a főbb célkitűzéseknek. A projekt javaslat értékelésekor különös hangsúlyt kapott az az ökohidrológiai módszer együttes, ami a Tisza és mellékfolyói igen nagyszámú különleges vízjárta területinek, holtágainak, revitalizációjára irányul.

Gyakorlati fontosságú tudományos eredmények

A gyakorlati fontosságú tudományos eredmények különböző termékek formájában jelennek meg, amelyeket némileg önkényesen az alábbi módon csoportosítottunk:

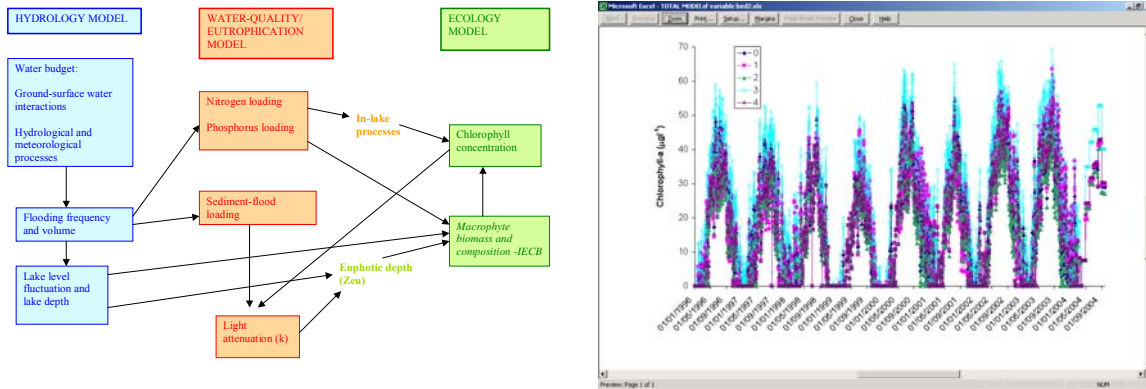
1/ modellek, amelyeket a Tisza Projekt számára dolgoztunk ki, illetve adaptáltunk. Ezek az alábbiakat tartalmazzák: Hidrológiai és hidraulikai modellek; vízminőségi modellek; vízi-ökoszisztéma modellek és egyéb modellszerű számítási eszközök, amelyek az előbbieik használatát segítették. Viszonylag nagyobb számú ilyen modellt dolgoztunk ki és alkalmaztunk a Tisza vízgyűjtőre, annak részvízgyűjtőire, bizonyos folyó szakaszokra illetve kiválasztott vízjárta területekre (holdágakra). Mindezek a modellek együtt képezik a „valós-léptékű vízgyűjtő modell rendszert”, amelyet számos beavatkozási stratégia várható hatásának elemzésére használtunk, különös tekintettel az **Európai Unió Víz-Keret Irányelvének** követelményeire és a vonatkozó nemzeti fejlesztési stratégiákra. Ezeket a modelleket a Projekt különböző partnerei dolgozták ki és alkalmazták az alábbiak szerint:

- a) A WetSpa modell, egy osztott paraméterű hidrológiai modell, amely a 8. Partner (Vrije Universiteit Brussel, VUB.LH, Belgium) fejlesztése és amelyet, a Tisza Vízgyűjtőre valamint annak három rész-vízgyűjtőjére alkalmaztak. Ez utóbbiak a Zagya (H), a Hornad (SK), és a Lopus (RO). a/1) Az 5. Partner (a Szlovák Hidrometeorológiai Intézet, SLHI, Szlovákia) egy konceptuális hidrológiai modellt is kidolgozott a Szlovák Műegyetemmel együtt.



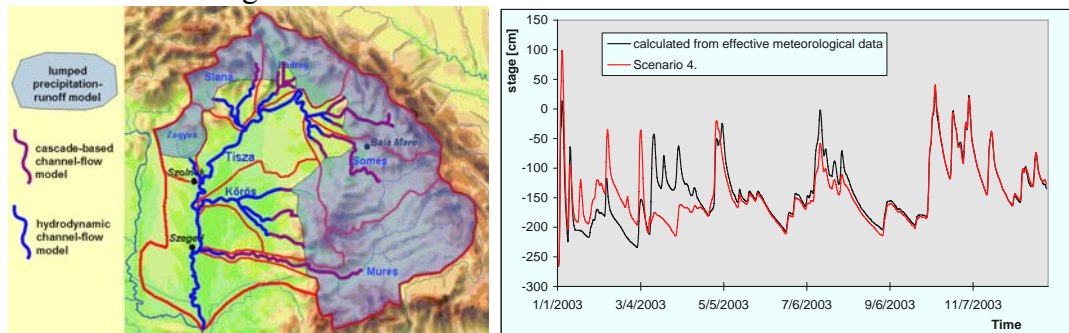
A VUB (Belgium) WetSpa modellje eredményeinek szemléltetése (A Tisza vízgyűjtő lefolyás modelljének egy részeredménye és a Zagya vízgyűjtő szcenárió elemzésének eredményei)

b) A 11. Partner (Centre of Ecology and Hydrology, NERC.IH, Egyesült Királyság) hidrológiai és ökoszisztéma modellje, amit a Tisza menti holtágakra alkalmaztak.

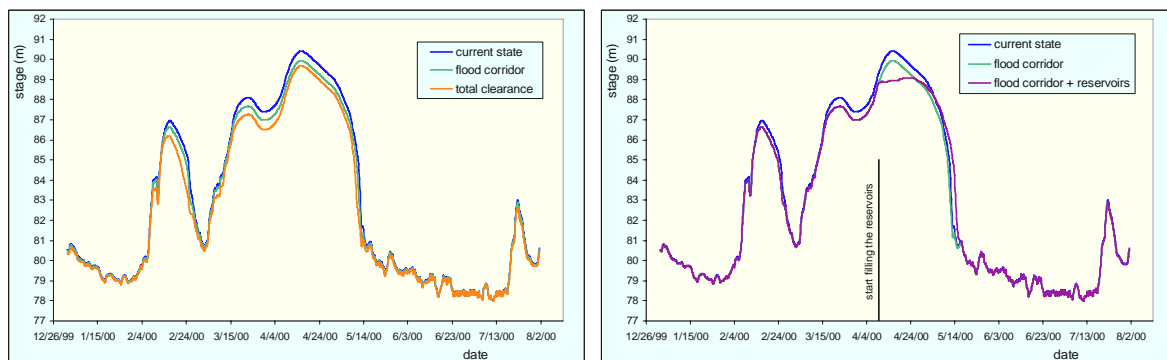


A NERC.IH (UK) OxbowSim nevű modelljének szemléltetése. A modell folyamatábrája és különböző beavatkozási szcenáriók hatása a klorofill-a változásaira.

c) Az 1. Partner (VITUKI Kht. H) által kifejlesztett és alkalmazott különböző hidrológiai és hidraulikai modellek rendszere. A VITUKI árvízi előrejelző modelljét alkalmazták különböző éghajlati és csapadék eloszlási szcenáriók vizsgálatára az egész Tisza Vízugyűjtő vonatkozásában, majd a VITUKI hidrodinamikai modelljét (amelyet Dr. Bakonyi Péter fejlesztett) alkalmazták a Tisza síkföldi szakaszain a különböző árvédelmi stratégiák elemzésére.

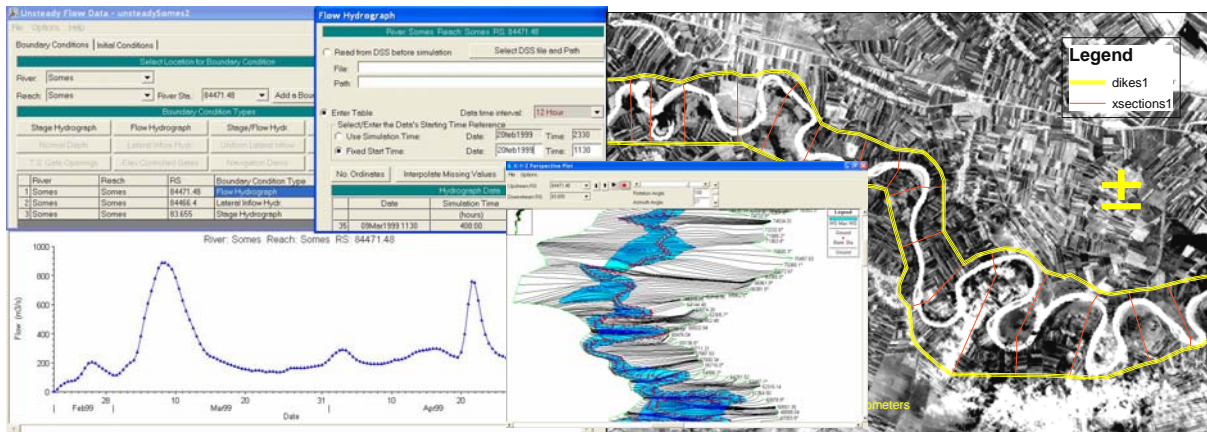


A Tisza különböző hidrológiai és hidraulikai modelljeinek kapcsolódása és egy éghajlati szcenárióra vonatkozó idősorok ábrája, amelyet a VITUKI árvízi előrejelző modelljével számítottak

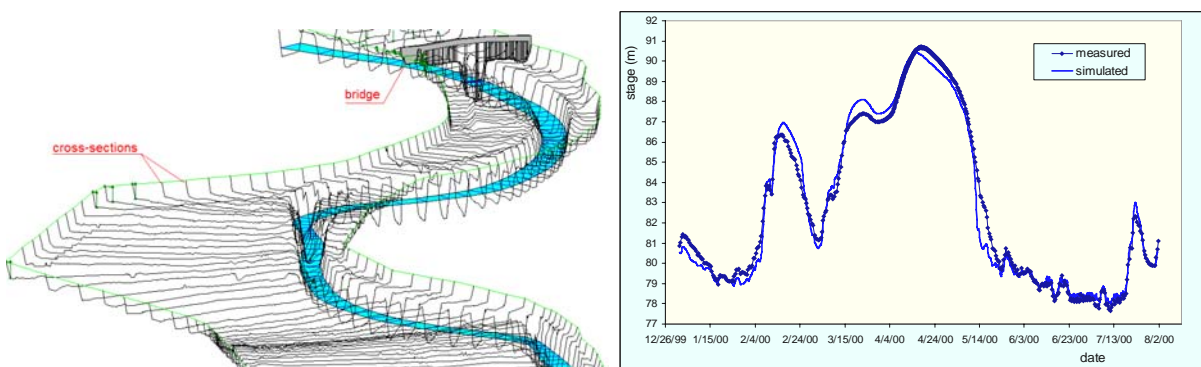


Különböző árvédelmi stratégiák hatásainak modellezése a 2000 évi nagy árvíz esetére (az árvízi meder kitisztításának stratégiái a bal oldalon + vész-tárók hatása a jobb oldalon)

d) Egy HecRas nevű szabad hozzáférésű amerikai modell, amelyet felvízi részvízugyűjtőkre (Hornad SK, Lapus RO) alkalmaztak a külföldi partnerek, illetve a Közép-Tiszára alkalmazott a VITUKI Kht.



A "Hec-Ras modell" alkalmazásának szemléltetése a Szamos (Somes) alsó (romániai) részére, a Nagybányai Egyetem (NUBM.MRSD, RO) és a VITUKI által végzett munka eredményei. (árvízi idősor illesztése, az ártér terep modellje és a modellezett szakasz térhatású szemléltetése).



A "HEC-RAS" modell alkalmazása a Kisköre alatti Tisza szakaszra és a kalibráció eredményei a 2000 évi árvíz tiszabői idősorára

- e) A "GEOENVIRON" nevű kockázat elemző szoftver alkalmazása a szlovákiai Tisza vízgyűjtőre a Szlovák Hidrometeorológiai Intézet, SLHI és a Szlovák Vízgazdálkodási Intézet, VUVH (WRI) által

Figure 2: Map of Vulnerability classes

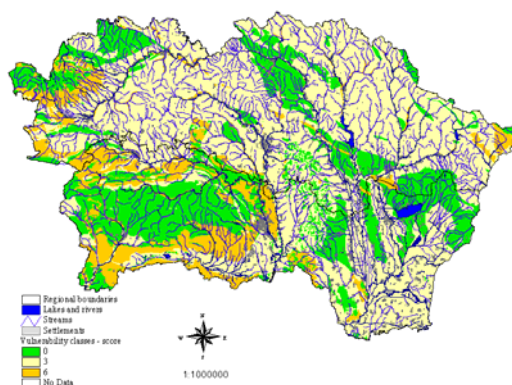
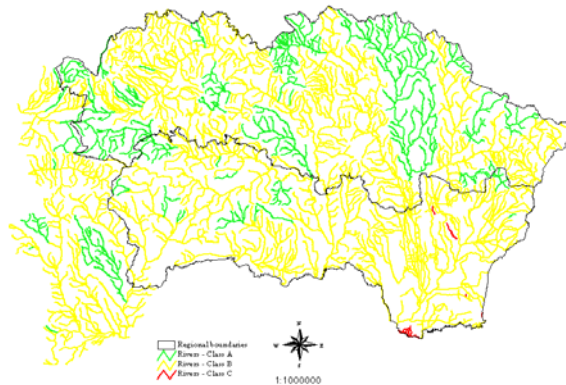


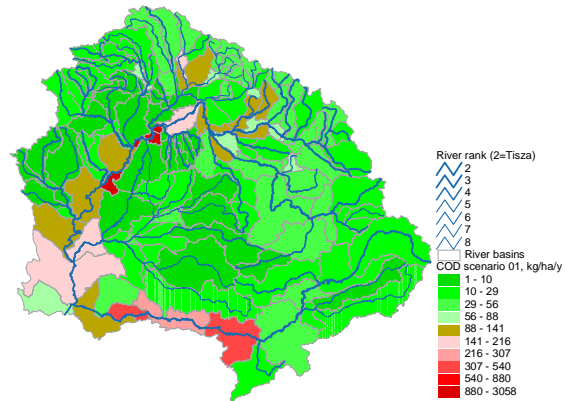
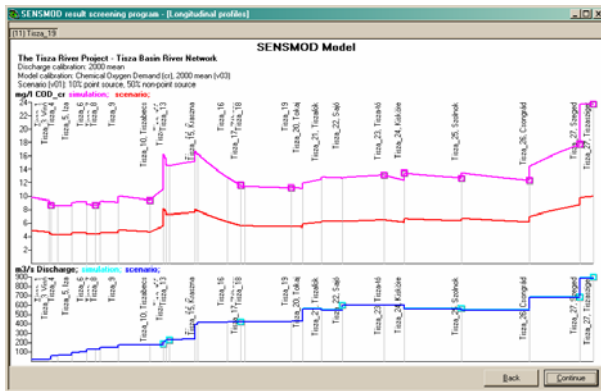
Figure 3: Map of Surface Water Classes



A Geoenviron modell alkalmazása a Tisza szlovákiai részvízgyűjtőjére

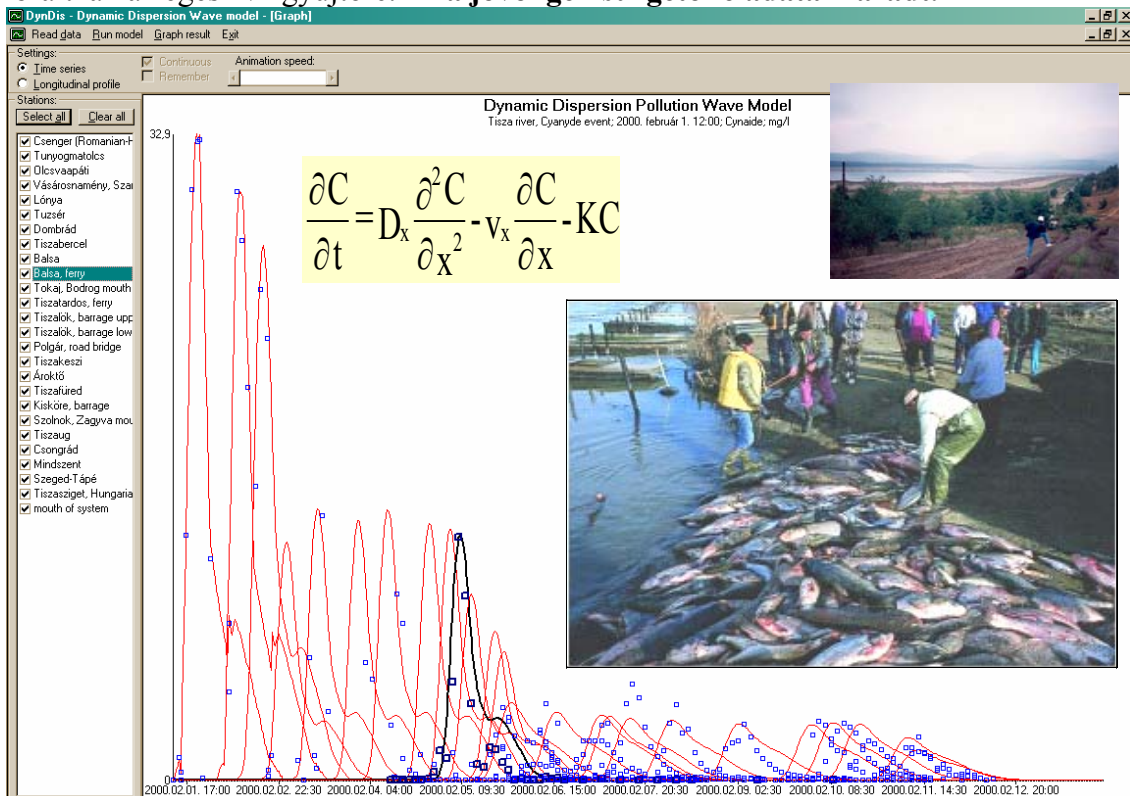
- f) A VITUKI vízminőségi modelljei: A SENSMOD nevű modell alkalmazása az egész Tisza vízgyűjtőre. A SESMOD modellt, (Simple Experimental Non-point Source Model), a VITUKI-ban fejlesztettük ki a szennyezés pontszerű és nem-pontszerű forrásainak terhelése és a befogadó vizekben mért terhelés közötti kapcsolat leírására nagy vízgyűjtők esetében. Ez lehetővé teszi a kalibrációt, és így eszköze lehet a vízgyűjtő-gazdálkodás vízminőségi tervezésének. A Projekthez

a modellt teljesen újra programoztuk a hiányzó (azonosítatlan) terhelés összetevő meghatározása érdekében



A legoptimistább KOI eltávolítási stratégia eredményei (90%-os pontszerű tisztítás és 50%-os diffúz terhelés eltávolítás) a VITUKI SENSMOD modelljének alkalmazásával. KOI hossz-szelvény az egész Tisza mentén és a maradék (azonosítatlan) diffúz fajlagos terhelés térképe

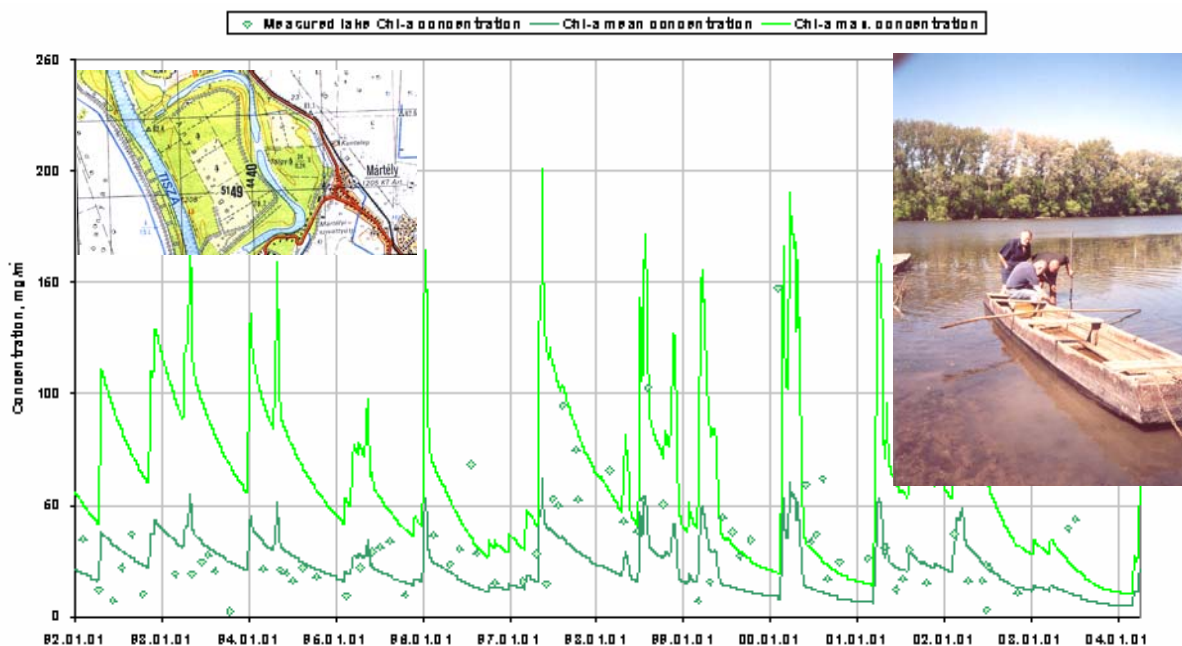
A VITUKI „DYNDIS” nevű modelljét balesetszerű szennyezések leírására (előrejelzésére) fejlesztettük ki és teszteltük már korábbi események során. Ebben a Projektben az egész Tisza vízgyűjtőre kiterjesztettük. Bár nagyon jó szimulációs eredményeket értünk el vele, de a megfelelő adatok és hidraulikai modellek hiányában mégsem tekinthető ez a modell kalibráltnak az egész vízgyűjtőre. Ez a jövő igen sürgető feladata maradt.



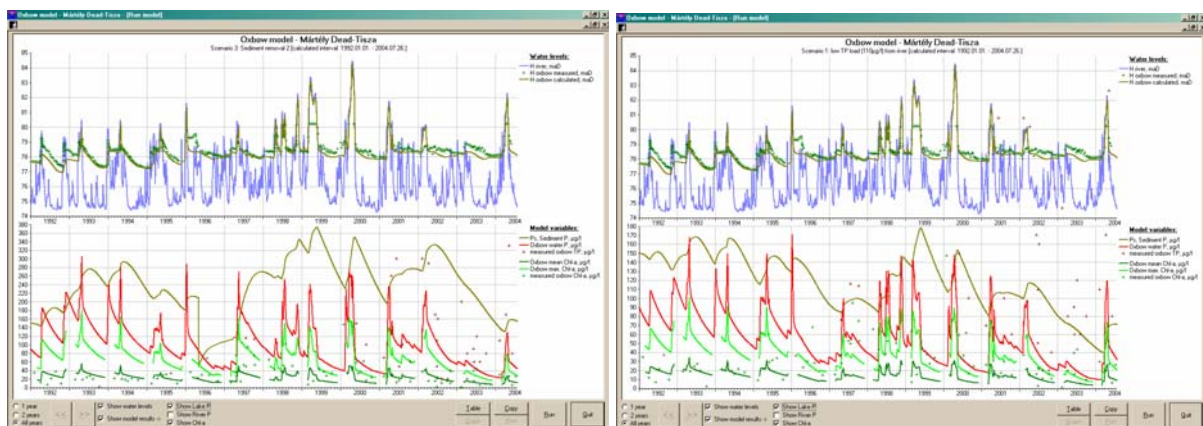
A 2000 évi katasztrófális Szamos-Tisza-i cianid szennyezés szimulációja a DYNDIS modellel

A VITUKI „EcohydSim” nevű modellje. Ez a modell egyike a VITUKI-ban kidolgozott tó-modelleknek, amelyeket korábban már viszonylag nagyszámú hazai tanulmány során alkalmaztunk. Ebben a Projektben a modellt egy viszonylag összetett hidrológiai al-moddellel egészítettük ki, amely alkalmas a tiszai holtágak vízforgalmának (Pl. árvízi elárasztásának) szimulálására. Az alább bemutatott eredmények csak jelzik a modell képességeit olyan

jövőbeli esetek számára, amikor már elegendő mérési adat áll rendelkezésre a sikeres kalibrációhoz.

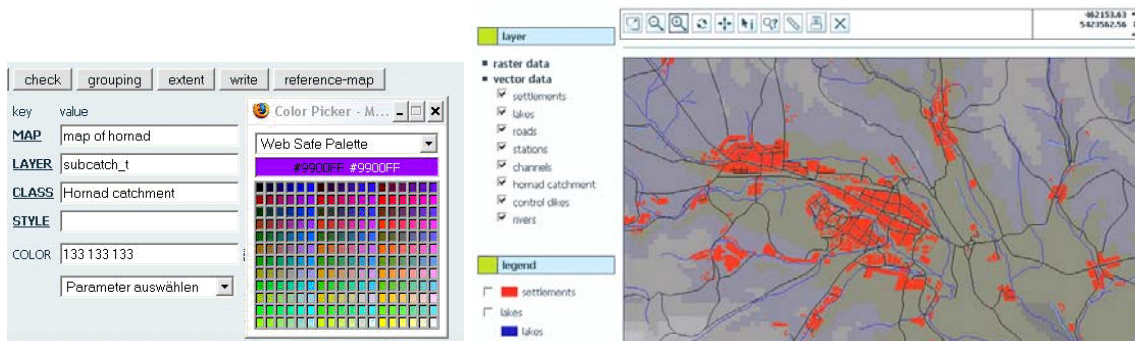


A Mártélyi Holt-Tisza Klorofill-a idősorainak mért és az EcohydSim modellel szimulált adatai

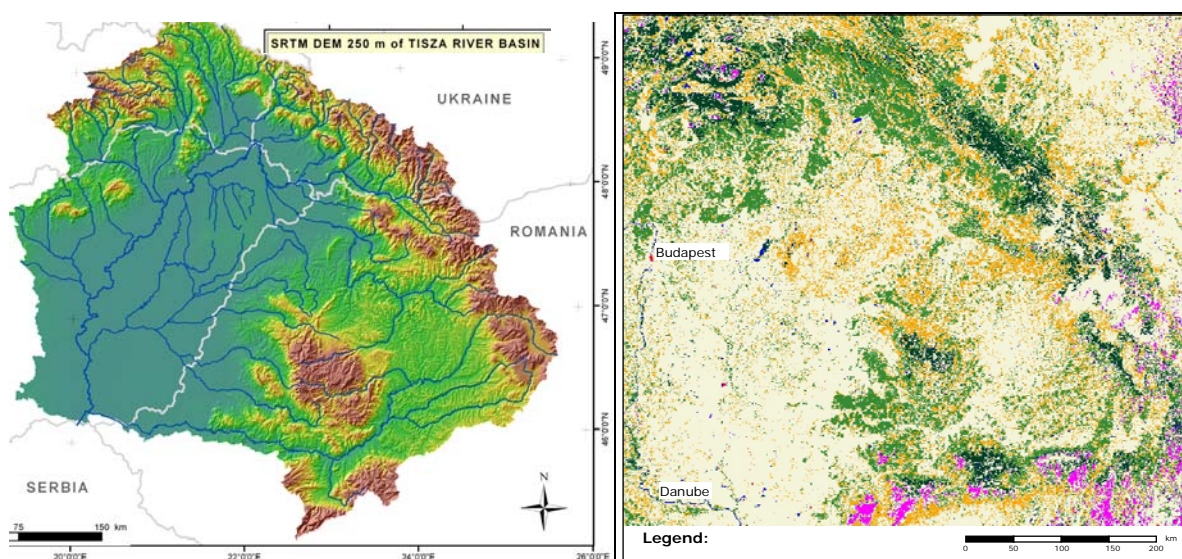


A Mártélyi Holt-Tisza két revitalizációs stratégiájának szimulációja az EcohydSim modellel; Fenék kotrás és csökkentett foszfor terhelés hatásainak vizsgálata

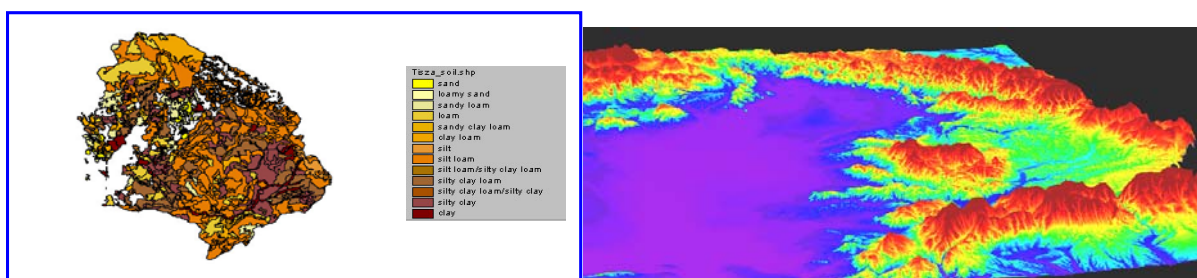
2/ A Tisza Vízyűjtő nemzetközi adatbázisa, amely a 9. Partner (UJENA.GEO, D), által összeállított internet alapú Tiszai Információs Rendszerben (TRIS) található. Ezt a rendszert a Tisza Vízyűjtő jelen projektben résztvevő országainak (H, RO, SK) partner intézményei töltötték fel a vízgyűjtő rendelkezésükre álló térinformatikai (GIS), monitoring és egyéb adataival. A rendszer a jelen tájékoztató írásakor még mindig üzemel és a partnerek erőfeszítéseket tesznek az adatbázis fennmaradása, naprakésszé tétele érdekében. A Projekt térinformatikai fejlesztésében még két hazai partner, a Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI) és a GEONARDO Kft. működött közre.



A „TRIS” térkép-definiációs párbeszéd és „MapServer” képernyőképei, amelyek a Hernád vízgyűjtő szlovákiai részének egy részletét mutatja a raszteres adatokkal (DEM) és a vektoros adatokkal (folyók, tavak, medrek, gátak, utak, települések, és mérőállomások).



A Tisza vízgyűjtő hidrológiailag korrigált Digitális Terep Modelle és területhasználati térképe (a TRIS adatbázisban)

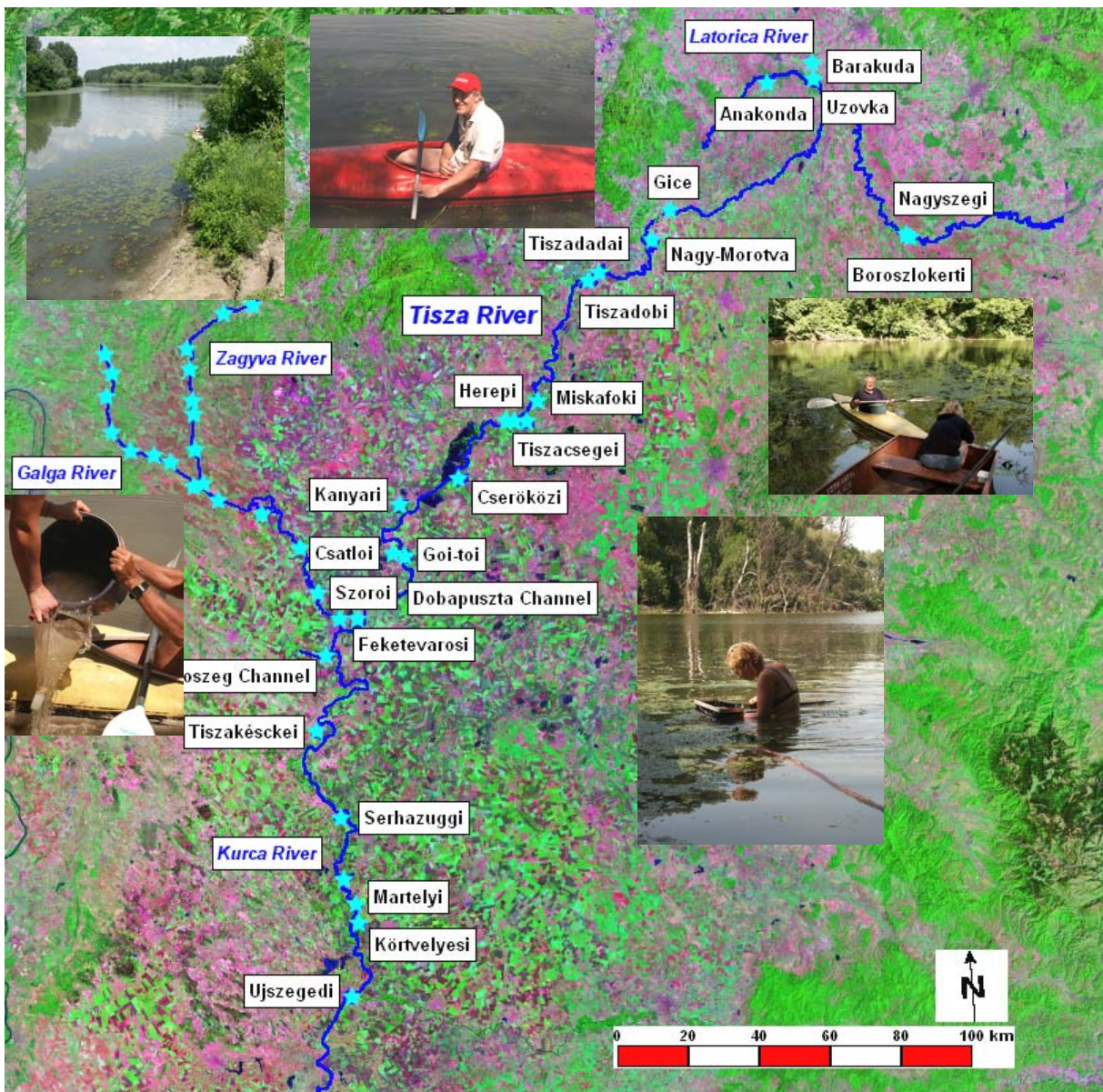


Az MTA-TAKI talaj adatbázisának talajfizikai paraméterek szerinti osztályozása (a MÁFI feldolgozása) és a digitális terep modell térhatású ábrája (a MÁFI és a Geonardo korrigáló munkája nyomán).

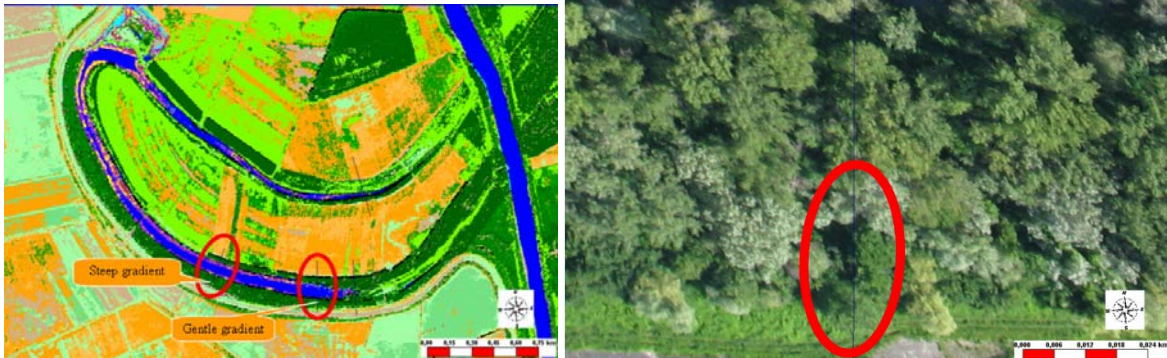
3/ **Nagyon összetett ökológiai, kémiai és hidrológiai (ökohidrológiai) vizsgálatok**, amelyeket az angol, magyar, osztrák és szlovák partnerek végeztek a Tisza és mellékfolyói ártereinek nagyszámú holtágán, intenzív mérési programok keretében. A tudományos eredmények kiterjedtek e holtágak eddignél jobb és részletesebb állapot értékelésére (internet alapú nemzetközi módszer bevonásával is), valamint az újszerű ökohidrológiai revitalizációs lehetőségeknek (modellekkel is alátámasztott) vizsgálatára.



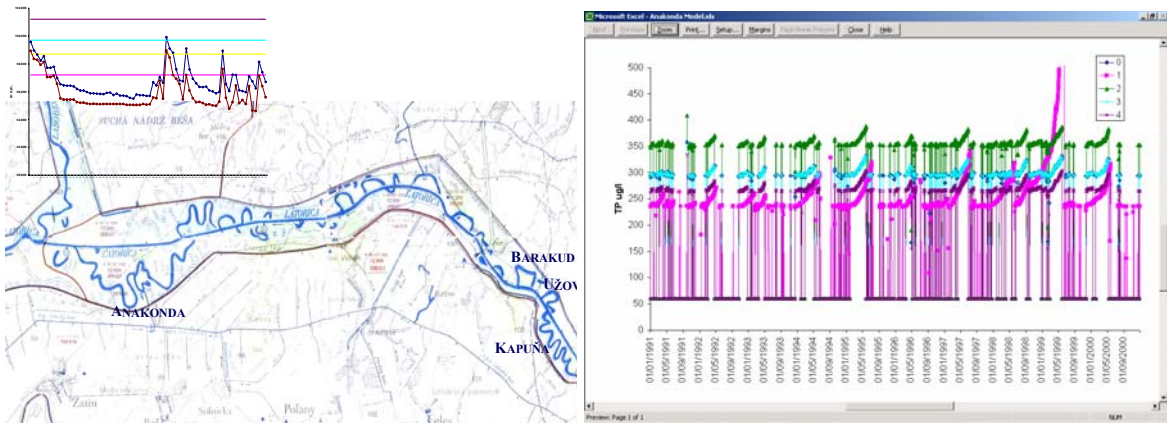
Ökohidrológiai vizsgálatok helyszínei a szlovákiai Latorica folyó holtágain



Ökohidrológiai vizsgálatok helyszínei (a bécsi partner, UWIEN-IECB válogatása szerint) munkaközben mutatva a nemzetközi csapatot a „környezetbarát” kutató-vízijárműben

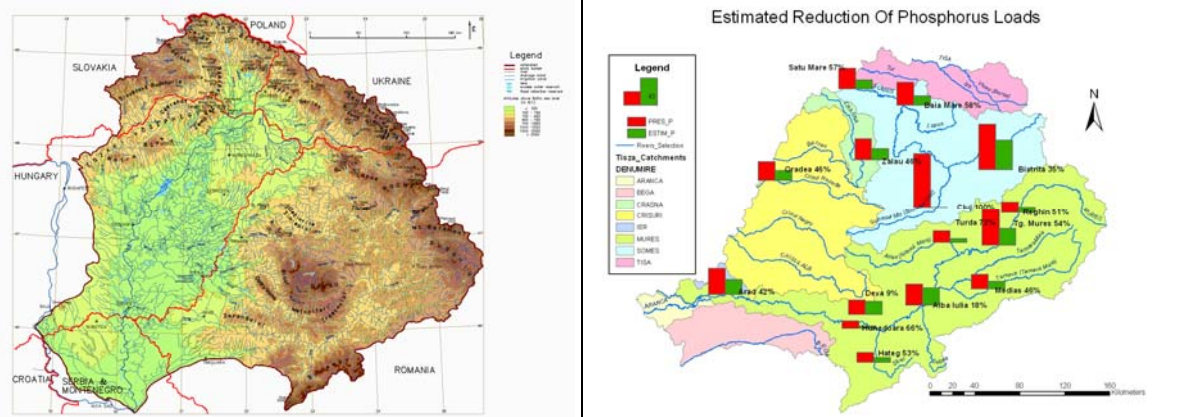


A bécsi partner UWIEN.IECB (A) ökon vizsgálatainak szemléltetése a Csatlói Holt-Tisza átkódolt űrfelvétele, illetve egy enyhe ökonon-gradiens szemléltetése légifelvétel alapján



A szlovákiai Latorica folyó holtág vizsgálatainak helyszínei a monitoring adatok és modell vizsgálati eredmények szemléltetésével

4/ Az eredmények utolsó csoportjába soroltuk a nagyszámú egyéb írott anyagokat (a 16 db tematikus függelék, az egyes partnerek zárójelentéseit és az alvállalkozók jelentéseit) Ezek között az egyik legjelentősebb az 5. Partner (SLHI, SK) által a többi Tisza vízgyűjtőbéli partner munkája alapján készített összeállítás (100 oldal + 57 db Melléklet) a vízgyűjtő víz- és környezet gazdálkodási problémáiról.



Tisza vízgyűjtő térkép, ami a Tiszasziget alatti nem modellezett vízgyűjtő részt is mutatja a szlovákiai 5. Partner (SLHI) összeállításában készült „víz- és környezetgazdálkodási problémák”c. anyagból; A romániai rész-vízgyűjtő térképe a foszfor terhelési scénáriók feltüntetésével, amelyet a 6. Partner (NIRDEP. RO) munkája alapján a modellezési munkához is felhasználtunk.

E helyen ki kell még emelni a 3. Partner (Geonardo Kft. H) munkáját, amely felelős volt az egész projekt köz-tájékoztatási és terjesztési feladatainak végrehajtásáért, készítette és karban tartotta a projekt honlapját, szórólapokat és kiadványokat készített, úti-bemutatókat (road-

show) és on-line konferenciákat, stb., szervezett. Hasonlóképpen említeni kell a 2. Partner (MÁFI, H) munkáját, amely a közmeghallgatást (end-user participation) szervezte az erre irányuló nagy értekezletek formájában, és kidolgozta az ezt segítő meta-információs rendszert.

Végül de nem utolsósorban ejtsünk néhány szót a **MoRes elnevezésű demonstrációs szoftverről**, amelyet ennek a tájékoztató anyagnak nyomtatott változatához csatolunk CD-n. A MoRes a modellezési eredmények, főként a vízminőségi és anyagáram modellezés bemutatására szolgál a Tisza vízrendszer és vízgyűjtők térképszerű modell-ábrájából kiindulva. A CD tartalmazza a projekt partnerek egyéb szemléltető anyagait (előadási prezentációit) is. Ezzel az információs anyaggal és a csatolt demonstrációs szoftverrel a koordináló intézet (VITUKI Kht.) és a Konzorcium egésze arra kívánja felhívni az összes érdekeltet és e magyar nyelvű változattal elsősorban a **Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium és az OKTVF illetékeseit, hogy támogassák e projekt eredményeinek hasznosulását, hiszen a tényleges döntéstámogató munkának most kell elkezdődnie.**

Következtetések és társadalmi-gazdasági valamint gazdálkodás-politikai vonatkozások:

A Projekt főbb modellekkel is alátámasztott eredményei az alábbiak:

1. A Projekt **ökohidrológiai eredményei** nagy mértékben hozzájárulhatnak minden vízi környezeti gazdálkodás-politikai (policy) intézkedéshez, különös tekintettel a holtágakra. **Különösen arra hívnánk fel a figyelmet, hogy a holtágak monitoringját és állapotfelmérését nagy mértékben javítani szükséges (figyelembe véve a Víz-Keret Irányelv ezirányú követelményeit is).** A jelenleg hozzáférhető hidrológiai, vízkémiai és ökológiai adatok ugyanis nem teszik lehetővé a tudományosan megalapozott revitalizációs beavatkozások megtervezését.
2. Az éghajlat-változási és csapadékeloszlási scenáriók hidraulikai és hidrológiai modellvizsgálati eredményei arra engednek következtetni, hogy **még az eddig megfigyeltnél nagyobb árvizek is bekövetkezhetnek, ami az árvízvédelmi stratégiák feljavítását teszi szükségessé. Ez azt jelenti, hogy a VTT jelenleg eltervezett stratégiáinak megvalósulása sem lesz talán elegendő az árvízi kockázat megfelelő szintű csökkentéséhez.** Tehát egyre sürgetőbb az egész Tisza vízgyűjtő nemzetközi árvízvédelmi stratégiáinak kidolgozása és kivitelezése.
3. A vízminőség védelem és szabályozás területén az egyik legfontosabb eredményünk annak megállapítása volt, hogy **a vízfolyásokban mért szennyezőanyag-áramokat és koncentrációkat nem-pontszerű (azaz adatbázisban nem azonosított) szennyező források terhelései uralják.** Ebből a tényből egyenesen az következik, hogy alapjaiban kellene megváltoztatni a vízszennyezés-csökkentés stratégiáit. Ez utóbbinak jelentős és talán **az egész Európai Uniót érintő következtetése a Víz-Keret Irányelv stratégiáinak és azok végrehajtásának átgondolása.**
4. Rámutattunk a **balesetszerű vízszennyezések hatásainak előre-jelezéséhez szükséges hitelesített és igazolt modellek kidolgozásának sürgető szükségére,** és modellszámításokkal bizonyítottuk ezt. Ehhez, egyebek között, arra is szükség van, hogy az egész vízgyűjtőre kalibrált hidraulikai modellek álljanak rendelkezésre.
5. Úgy találtuk, hogy a **hagyományos terület- és vízgazdálkodási módszerekhez (az artéri fok gazdálkodáshoz)** való megújított visszatérés igen hatékony gazdálkodási, árvízvédelmi, ökológiai, vízminőségi, halgazdálkodási, természetvédelmi és munkahelyvédelmi (ökoturisztikai) eredményekre vezetne és ezzel nagy mértékben hozzájárulna az élet-minőség javításához (ha az összes erre kínálkozó lehetőséget kihasználjuk).

Összefoglalva: a Projekt eredményeinek nagyon fontos hatása lehet a Tisza Vízyűjtő nemzeti társadalmi és gazdasági céljainak elérésében és érintheti az egész Európai Közösséget is. Ezt azért gondoljuk így, mert a három legfőbb témakör amit lefedni igyekeztünk (árvízi scenáriók és védelmi stratégiák vizsgálata; vízminőség védelem és vízszennyezés védelmi stratégiák vizsgálata, beleértve a balesetszerű víz szennyezést; a Tisza vízrendszer holtágai hidrológiai és ökológiai állapotának vizsgálata kitekintve a revitalizáció lehetőségeire) igen mélyen érinti, vagy akár meg is határozza az egész vízgyűjtő (és egész Európa) gazdasági helyzetét és élet-minőségi állapotát, hiszen ez utóbbi talán legnagyobb mértékben a víztől függ. Az eredmények legfőbb gazdálkodás-politikai (policy) vonzata pedig az, hogy **a projekt eredményei (az adatbázis és a modellek) alapvető fontosságúak lehetnek a Víz-Keret Irányelv Vízyűjtő Gazdálkodás Tervezési (RBMP) eszközeként (különösen akkor, ha azokat tovább fejlesztik a későbbi felhasználás céljaira).**



A “Tisza River Project” résztvevőinek listája

N°	Intézmény / szervezet	Postacím	Jelen projekt munkáinak vezetője	Telefon N°, Fax N°. E-mail
1	VITUKI Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Kutató Intézet Kht. Water Resources Research Centre Plc., (“VITUKI”*)	H-1095 Budapest, Kvassay J. u 1 Hungary,	Prof. Dr Jolánkai; Géza	+36 1 2155360; +361 2161514 jolankai@vituki.hu
2	Magyar Állami Földtani Intézet (Hungarian Geological Institute, “HGI”*)	Stefánia út 14 H-1143 Budapest Hungary	Dr. Kardeván; Péter	+36-1251 1768 +36-12510703 kardevan@mafi.hu
3	TERRA (GEONARDO) Environmental Technologies, “TERRAET”*)	H-1037 Budapest Kunigunda u 28 Hungary	Bodó; Balázs	+36-12506703 +36-14369038 balazs.bodo@geonardo.hu
4	Vyskumny Ustav Vodneho Hospodarstva (Water Research Institute), VUVH, (“WRI.WMD”*)	nabr.arm.gen.L.Svobodu 5 81249 Bratislava Slovakia	Ms Kunikova; Emilia	+ 421 2 59343 383 + 421 2 5441 8479 emilia_kunikova@vuvh.sk
5	Slovenský Hydrometeorologický Ústav, (Slovak Hydrometeorological Service, SHMU), (“SLHI”*)	Jeseniova 17 833.15 Bratislava Slovakia	Ms Poórova; Jana	+(421) (2) 59415203 + (421) (2) 59415393 jana.poorova@shmu.sk
6	National Institute for Research and Development for Environment Protection, ICIM, (“NIRDEP”*)	Splaiul Independentei No 294 , sector 6 77703 Bucharest Romania	Mr Popescu; Liviu Nicolae	+40.1221.9226 +40.1.221.5770 lipopesc@icim.ro
7	North University of Baia Mare, NUBM, (“UBM.MRSEED”*)	Dr. Victor Babes Str. No. 4800 Baia Mare Romania	Dr. Oros; Vasile	+40-62-421343 +40-62-276153 orosv@ubm.ro
8	Vrije Universiteit Brussel (Free University Brussels) VUB, (“VUB.LH”*)	Pleinlaan 2 1050 Brussel Belgium	Prof. Dr. De Smedt; Florimond	+32-2-629 35 47 +32-2-629 30 22 fdesmedt@vub.ac.be
9	Friedrich-Schiller- Universitaet (FSU) Jena, (“UJENA.GEO”*)	Fürstengraben 32 07743 Jena Germany	1. Dr. Hochschild; Volker; 2. Prof. Dr. Flügel; Wolfgang	+49-3641-948855 +49-3641-948852 c5wafl@uni-jena.de
10	Institute of Ecology and Conservation Biology (IECB), University of Vienna, (“UWIEN.IECB”*)	Althahnstrasse 14 1090 Wien Austria	Prof.Dr. Janauer; Georg	+43 1 42 77 543 60 + 43 1 42 77 9 542 Georg.janauer@univie.ac.at
11	National Environmental Research Council, Centre for Ecology and Hydrology (CEH), (“NERC.IH”*)	McLean Building, Crowmarsh Gifford OX10 8BB Wallingford, Oxfordshire UK	1/ Mr. Hudson; James 2. Dr. Fisher; Jane	+44 1491 692499 +44 1491 692424 jafi@ceh.ac.uk

* A Partner megnevezése az EVK1-CT-2001-00099 számú Projekt szerződésben

PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐGÉPEKKEL SZEMBEN TÁMASZTOTT KÖVETELMÉNYEK VIZSGÁLATA – AZ „ALPHA-CSOPORT”

A pilóta nélküli repülőgépekkel szemben az alkalmazók által támasztott követelmények vizsgálata elsődleges fontosságú e légi járművek képességeinek vizsgálata területén. Az elmúlt évben elvégzett, és a „Műszaki tudomány az Észak-Alföldi régióban 2007” tudományos konferencián közölt első eredmények alapján a szerző az egyik válaszadó csoport, az ALPHA-csoport válaszait veszi górcső alá, és mutatja be a csoport pilóta nélküli repülőgépekkel szemben támasztott alkalmazói elvárásait.

I. BEVEZETÉS, PROBLÉMAFELVETÉS, AKTUALITÁS

A pilóta nélküli repülőgépek egyre szélesebb körben nyernek alkalmazást az élet különféle területein. A lehetséges alkalmazásokat két nagy csoportba oszthatjuk, amelyek a katonai-, illetve a polgári alkalmazások. Tekintettel arra, hogy az alkalmazók jelentős köre a polgári szférából kerül ki, ily módon e cikkben egy olyan, polgári tevékenységet folytató válaszadói csoportra koncentrálunk, amely, tekintettel a klímaváltozás hatásaira, valamint az Európai Unió klímaváltozással kapcsolatos irányelveire, és határozataira, elsődleges fontosságúnak tekinthető.

II. AZ ALPHA-CSOPORT FONTOSABB JELLEMZŐI

2.1. Az Alpha-csoport kérdőíveinek értékelése

Az „ALPHA-csoport” összesen 10 elemű halmaz. A kiküldött kérdőívek alapján a csoport tevékenységének statisztikai adatait az 1. táblázat foglalja össze.

Az ALPHA-csoport statisztikai adatai

1. táblázat

Postázott kérdőívek száma		Kézbesített kérdőívek száma		Nem kézbesített kérdőívek száma		Megválaszolt felkérések száma		Kitöltött kérdőívek száma	
darab	%	darab	%	darab	%	darab	%	darab	%
10	100	10	100	0	0	7	70	6	≅ 85,71

Az 1. táblázat alapján elmondható, hogy:

- ☺ a postázott kérdőívek (10 darab) mind kézbesítésre kerültek (100 %). A csoport tevékenysége kiértékelhető.
- ☺ A kézbesített 10 felkérésre 7 válasz érkezett (70 %), a csoport adatszolgáltató tevékenysége tehát kiértékelhető.
- ☺ A kérdőívet 6 fő töltötte ki, ami a megválaszolt felkérések 85,71 %-a.

¹ egyetemi docens, mb. igazgató
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Bolyai János Katonai Műszaki Kar
Katonai Gépész-, Műszaki és Biztonságtechnikai Mérnöki Intézet
1581 Budapest. Pf. 15., Email: szabolcsi.robort@zmne.hu

Az „ALPHA-csoport” tevékenységéről összességében elmondható: a csoport reprezentatív, a csoport összes (10) hazai szervezete felkérést kapott a kérdőív kitöltésére. A csoport szakemberei az UAV-k alkalmazási területeiről széleskörű ismeretekkel rendelkeznek. A csoport szakmai elméleti-gyakorlati ismereteiben a téma beágyazott, az UAVk alkalmazásáról pozitívan nyilatkoznak. A csoport aktívan vett részt a kérdőív kitöltésében.

III. A FELMÉRÉS FONTOSABB EREDMÉNYEI, ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

A továbbiakban a 6 válaszadót, mint önállóan véleményt formáló szakmai véleményt vesszük figyelembe. Tekintsük át az egyes kérdésekre adott válaszokat, és értékeljük azokat. A 2007-ben kiküldött kérdőívek releváns kérdései, és az azokra adott válaszok az alábbiak voltak:

1. Adja meg, hogy milyen jellegű információ szolgáltatását várja el a pilóta nélküli repülőgépektől?!

- | | |
|--|---------------------------------------|
| 1 fő – fekete-fehér video jel | 3 fő – színes PAL-szabványú video jel |
| 2 fő – infra kamera jel | |
| 3 fő – egyéb jel | |
| 1 fő: hőkép, megfelelő részletgazdagság; | |
| 1 fő: bármilyen jel, ami megfelel az adott alkalmazási célnak; | |
| 1 fő: digitális fotó. | |

Következtetések: a kérdésre adott válaszokból kiderül, hogy a válaszadók többsége a színes video jel, valamint az infra kamera jelre tart igényt. Megemlíteni szükséges, hogy a válaszadók a megfelelő részletgazdagságú digitális fotókat is előnyben részesítik.

2. Adja meg, hogy Ön szakterületén mely évszak(ok)ban véli lehetségesnek, és szükségesnek a pilóta nélküli repülőgépek alkalmazását!

- | | |
|----------------------|-------------|
| 3 fő – tavasz | 2 fő – nyár |
| 1 fő – ősz | 2 fő – tél |
| 4 fő – minden évszak | |

Következtetések: a kérdésre adott válaszokból megállapítható, hogy az UAV esetleges alkalmazásai nem korlátozottak évszakok szerint – az UAV és fedélzeti rendszerei képesnek kell lennie minden évszakban a repülésre.

3. Adja meg, hogy az Ön szakterületén milyen időjárási feltételek mellett véli lehetségesnek és szükségesnek a pilóta nélküli repülőgépek alkalmazását!

- | |
|-----------------------------------|
| 6 fő – száraz, csapadékmentes idő |
| 1 fő – csapadékos idő |
| 1 fő – eső |
| 1 fő – hó |
| 0 fő – köd |
| 0 fő – zúzmara |
| 4 fő – szélcsendes idő |
| 3 fő – szeles idő |

*a szél iránya a repülés irányára**

ellenszél erőssége

0 fő – (0,5 m/s ÷ 1 m/s)

1 fő – (1 m/s ÷ 3 m/s)

0 fő – (3 m/s ÷ 10 m/s)

0 fő – ≥ 10 m/s

oldalszél erőssége

0 fő – (0,5 m/s ÷ 1 m/s)

1 fő – (1 m/s ÷ 3 m/s)

0 fő – (3 m/s ÷ 10 m/s)

0 fő – ≥ 10 m/s

hátszél erőssége

0 fő – (0,5 m/s ÷ 1 m/s)

1 fő – (1 m/s ÷ 3 m/s)

0 fő – (3 m/s ÷ 10 m/s)

0 fő – ≥ 10 m/s

*hőmérsékleti tartomány***

1 fő – (-50 °C ÷ -30 °C)

2 fő – (-30 °C ÷ 0 °C)

2 fő – (0 °C ÷ +20 °C)

1 fő – (+20 °C ÷ +60 °C)

Más időjárási feltételek

1 fő – éjszaka és nappal egyaránt

* **1 fő** – Real-time, vagy GPR trek esetén a szél majdnem mindegy, amennyiben lehetővé tesz a repülést;

** **1 fő** – ez is az alkalmazás, illetve a hordozott érzékelők függvénye.

1 fő – felhőtlen égbolt.

Következtetések:

- 1) A válaszadók jelentős része úgy száraz-, mint csapadékos időben is szeretné alkalmazni a pilóta nélküli repülőgépet – a csapadék formája gyakorlatilag az esőre, és a hóra korlátozódik.
- 2) A repülésnek úgy szélsőséges, mint szeles időben meg kell történnie. Tekintettel a megjelölt szél-sebességi értékekre a repülés gyenge szélben kell, hogy megtörténjen.
- 3) A környezeti hőmérsékletre adott válaszokból kiderül, hogy a válaszadók egy része fagyponon feletti hőmérsékleti tartományban alkalmazná az UAV-kat, egy másik részük viszont nagyon alacsony környezeti hőmérsékletet is megjelölt. Tekintettel eme szélsőséges értékekre elmondhatjuk, hogy hazánkban reálisan elegendő számolni a -30 °C alsó hőmérsékleti tartománnyal, míg a környezeti hőmérséklet felső értéke – gyakorlatilag – nem korlátozott.
- 4) Fontos követelmény, hogy a válaszadók szerint úgy nappal, mint éjszaka egyaránt szükséges az UAVk repülése.

4. Adja meg, hogy az Ön szakterületén milyen repülési tartományban véli lehetségesnek és szükségesnek a pilóta nélküli repülőgépek alkalmazását!

Repülési magasság

2 fő – (10 m ÷ 50 m)

3 fő – (50 m ÷ 100 m)

3 fő – (100 m ÷ 200 m)

4 fő – (200 m ÷ 500 m)

2 fő – (500 m ÷ 1000 m)

- 0 fő – ≥ 1000 m
- 1 fő – ≤ 2000 m
- 0 fő – Más magasság:m

Repülési sebesség

- 4 fő – (40 km/h ÷ 60 km/h)
- 3 fő – (60 km/h ÷ 80 km/h)
- 0 fő – (80 km/h ÷ 100 km/h)
- 0 fő – (100 km/h ÷ 150 km/h)
- 0 fő – ≥ 150 km/h
- 1 fő – Más sebesség: (10÷40) km/h

Következtetések:

- 1) Az UAV-k elvárt repülési magassága tipikusan a $H = (10 \div 500) m$ tartományban helyezkedik el. A repülési magasság maximális értéke a $H_{\max} = 1000 m$ tartományba esik.
- 2) Az UAV-k elvárt repülési sebessége a $v = (40 \div 80) km/h$ tartományba esik. Egy válaszadó azonban olyan repülési sebességtartományt jelölt meg ($v_{\min} = (10 \div 40) km/h$), amely előre vetíti, hogy az UAV helikopter, vagy quadrotor elrendezésű légitűrmű kell, hogy legyen.

5. Adja meg, hogy az Ön szakterületén milyen repülési hatótávolságban véli lehetségesnek és szükségesnek a pilóta nélküli repülőgépek alkalmazását!

- 1 fő – (100 m ÷ 200 m)
- 1 fő – (200 m ÷ 500 m)
- 1 fő – (500 m ÷ 1000 m)
- 2 fő – (1 km ÷ 5 km)
- 2 fő – (5 km ÷ 10 km)
- 4 fő – (10 km ÷ 20 km)
- 1 fő – (20 km ÷ 50 km)
- 0 fő – ≥ 50 km
- 0 fő – Más hatótávolság: km.

Következtetések:

- 1) Az UAV-k elvárt repülési hatótávolsága a válaszadók többsége számára a $L = (100 \div 20000) m$ tartományba esik. Ez azt jelenti, hogy a repülés, jó időjárási viszonyok között is a vizuális látóhatáron túlra történik.
- 2) A válaszadók közül azonban egy fő az $L = (20 \div 50) km$ hatótávolságot jelölte meg elvárt követelményként.

6. Adja meg, hogy az Ön szakterületén a pilóta nélküli repülőgépek milyen repülési idővel kell rendelkezzenek!

- 1 fő – (5 ÷ 10) perc
- 1 fő – (10 ÷ 15) perc
- 1 fő – (15 ÷ 20) perc
- 1 fő – (20 ÷ 30) perc
- 3 fő – (30 ÷ 60) perc
- 2 fő – (1 ÷ 1,5) óra
- 3 fő – (1,5 ÷ 2) óra
- 1 fő – Más idő: (3÷4) óra

Következtetések:

A válaszadók által megadott értékek alapján elmondható, hogy a repülési idő tipikusan a $t_{rep} = (5 \div 120)$ perc tartományba esik, maximális értéke pedig – egy válaszadó szerint – $(3 \div 4)$ óra.

7. Adja meg, hogy az Ön szakterületén az esetleges felszíni mozgó objektumok, és személyek milyen sebességgel mozognak!

- 3 fő – (1 km/h ÷ 5 km/h)
- 4 fő – (5 km/h ÷ 10 km/h)
- 2 fő – (10 km/h ÷ 20 km/h)
- 2 fő – (20 km/h ÷ 50 km/h)
- 0 fő – (50 km/h ÷ 100 km/h)
- 0 fő – ≥ 100 km/h

Következtetések:

- 1) A megfigyelés tárgyát képező tárgyak, objektumok a válaszadók egy jelentős csoportja esetében $v = (1 \div 10)$ km/h sebességgel, azaz lassan mozognak.
- 2) A válaszadók másik csoportja megjelölt egy meglehetősen nagy sebességet is, amely a $v = (10 \div 50)$ km/h tartományba esik. Elmondhatjuk tehát, hogy a megfigyelni kívánt objektumok maximális sebessége $v_{max} \leq 50$ km/h.

8. Adja meg, hogy az Ön szakterületén milyen látási viszonyok mellett, és mely repülési távolságon véli lehetségesnek, és szükségesnek a pilóta nélküli repülőgépek alkalmazását!

VFR (Visual Flight Rules) repülés — kézi repülés vizuális látótávolságon belüli távolságra

- 3 fő – (100 m ÷ 500 m)
- 2 fő – (500 m ÷ 1000 m)
- 1 fő – (1 km ÷ 1,5 km)
- 1 fő – 1,5 km ÷ 2 km)
- 1 fő – ≥ 2 km
- 0 fő – Más távolság

IFR (Instrument Flight Rules) repülés — műszeres kézi, vagy automatizált repülés a vizuális látóhatáron túl

- 3 fő – < 1 km
- 2 fő – (1 km ÷ 2 km)
- 2 fő – (2 km ÷ 3 km)
- 2 fő – (3 km ÷ 5 km)
- 2 fő – (5 km ÷ 10 km)
- 1 fő – (10 km ÷ 20 km)
- 0 fő – ≥ 20 km
- 0 fő – Más távolság

Következtetések:

- 1) A válaszadók az UAV kézi irányítását az $L_{VFR} = (500 \div 2000)$ m tartományban tartják szükségesnek.
- 2) A válaszadók az UAV műszeres kézi-, vagy automatizált irányítását – tipikusan – az $L_{IFR} = (1 \div 20)$ km tartományban tartják szükségesnek.

9. Szükségnek tartja-e a pilóta nélküli repülőgép védelmét?

1 fő – igen

4 fő – nem

Következtetések:

Tekintettel az APLHA-csoport tevékenységének jellegére, az UAVk védelme ebben a szektorban nem szükséges.

10. Adja meg a pilóta nélküli repülőgép védelmének lehetséges módszereit!

0 fő – minimális méretű sárkányszerkezet;

1 fő – kompozit anyagok alkalmazása az építésben;

0 fő – speciális törzs-, és szárnyprofilok alkalmazása;

1 fő – speciális színű festés;

4 fő – csendes motor;

1 fő – egyéb módszerek és eljárások

Gyenge minőségű terepről történő üzemeltetés lehetősége

Következtetések:

A válaszadók a speciális színű, kompozit építésű UAV alkalmazását jelölték meg, illetve a csendes motor alkalmazását (4 fő, ≈66%) várják el. Mindezek mellett, a rossz terepviszonyok mellett történő üzemeltetés lehetőségét is elvárják az alkalmazók.

11. Milyen hajtás alkalmazását javasolja?

4 fő – villamos motor

0 fő – dugattyús, belsőégésű motor

1 fő – egyéb meghajtás

Csendes, dugattyús motor

Következtetések:

A válaszadók egyértelműen a villamos motort jelölték meg a repüléshez szükséges vonó/toló erő előállításához. Tekintettel azonban a válaszadóknak a repülési sebesség, a repülési idő, a repülés hatótávolságra adott válaszaikra, e válasz a megfelelő kritikával vehető figyelembe.

12. Milyen kormányvezérlés alkalmazását javasolja?!

2 fő – hagyományos (csűrőlap+oldalkormány+magassági kormány)

0 fő – pillangó vezérlések

0 fő – egyéb vezérlések

Következtetések:

A válaszadók meglehetősen passzívak voltak e kérdés megválaszolásában. Mindazonáltal, a hagyományos kormányvezérlés mellett tették le legtöbben a voksukat.

13. Adja meg, hogy az Ön szakterületén milyen rendelkezésre állási idő² mellett véli lehetségesnek a pilóta nélküli repülőgépek alkalmazását?

0 fő – < 5 perc

0 fő – (5 perc ÷ 10 perc)

0 fő – (10 perc ÷ 20 perc)

0 fő – (20 perc ÷ 30 perc)

² A megbízó repülésre vonatkozó döntéshozatalától a repülési feladattal megbízott felszállás helyére történő kiérkezéséig eltelt idő.

- 2 fő – (30 perc ÷ 60 perc)
- 2 fő – (1 óra ÷ 2 óra)
- 3 fő – (2 óra ÷ 5 óra)

Más idő:

- 2 fő – 24 óra.
- 1 fő – előzetes egyeztetés alapján.

Következtetések:

- 1) A válaszadók döntő többsége a $t_{rend} = (30 \div 300)$ perc készenléti idő tartományát tartják szükségesnek. Megemlíteni szükséges, hogy a készenléti idő maximális értékére a $t_{rend_{max}} \leq 24$ óra időt jelölték meg.
- 2) Tekintettel az ALPHA-csoport felelősségi területének nagyságára, a domborzati-, és a klimatikus viszonyokra, valamint a készenléti idő tartományára, és annak maximális értékére – a csoport minden egyes szervezetének rendelkezni kellene egy mobil egységgel, amely magába foglalja az UAVt, a földi üzemeltetési rendszer szükséges elemeit, és a megfelelően kiképzett földi irányító-kezelő személyzetet is.

14. Adja meg, hogy az Ön szakterületén milyen készségi idő³ mellett véli lehetségesnek a pilóta nélküli repülőgépek alkalmazását?

- 0 fő – < 3 perc
- 0 fő – (3 perc ÷ 5 perc)
- 0 fő – (5 perc ÷ 10 perc)
- 0 fő – (10 perc ÷ 20 perc)
- 2 fő – (20 perc ÷ 30 perc)
- 4 fő – (30 perc ÷ 60 perc)
- 3 fő – ≥ 60 perc
- 0 fő – Más idő: óra.

Következtetések:

A válaszadók többsége által megadott készségi idő értéke $t_{készült} = (20 \div 60)$ perc. Megemlíteni szükséges azonban, hogy 3 fő $t_{készült} \geq 60$ perc készségi időt is megadott.

15. Adja meg, hogy az Ön szakterületén a pilóta nélküli repülőgépek földi és légi üzemeltetése mely fázisainak automatizálását látja szükségesnek?!

- | | |
|--|---|
| 2 fő – automatizált felszállás | 1 fő – automatikus bejövétel leszálláshoz |
| 4 fő – térbeli szöghelyzet stabilizálása | 2 fő – automatikus leszállás (flare) |
| 3 fő – repülési sebesség stabilizálása | 1 fő – oldalkoordináta stabilizálás |
| 2 fő – kismagasságú repülés | 4 fő – repülési magasság stabilizálás |
| 5 fő – programozott útvonalrepülések | |
| 1 fő – egyéb üzemmódok | |
| Digitális ortofotó készítése | |

Következtetések:

A válaszadók az alábbi automatizálási feladatok megoldását tartották szükségesnek:

- 1) automatikus fel-, és leszállás;
- 2) térbeli szöghelyzet (dőlés, bólintás, irány) stabilizálás;

³ A repülési feladattal megbízott felszállásra kiadott utasítása és az UAV felszállása között eltelt idő.

- 3) repülési sebesség stabilizálása;
- 4) kismagasságú repülések automatizálása (repülési magasság stabilizálása, emelkedés, süllyedés, egyéb más, magasság változtatással járó manőverek);
- 5) programozott útvonalrepülések (a felszállás és a leszállás helye között).

16. Adja meg, hogy az Ön szakterületén a pilóta nélküli repülőgépek automatizált repülési fázisaiban milyen statikus stabilizálási pontatlansággal rendelkezen az UAV?

- 0 fő – bólintási szög stabilizálásának hibája
- 0 fő – bedöntési szög stabilizálásának hibája
- 0 fő – irányszög stabilizálásának hibája
- 0 fő – állásszög
- 0 fő – csúszásszög
- 1 fő – megtett út stabilizálásának hibája: 500 m
- 1 fő – repülési magasság stabilizálásának hibája: 50 m
- 0 fő – oldalkoordináta stabilizálásának hibája
- 1 fő – repülési sebesség stabilizálásának hibája: 10 km/h
- 0 fő – függőleges sebesség stabilizálásának hibája
- 0 fő – oldalirányú sebesség
- 0 fő – egyéb repülési paraméter statikus hibája

Következtetések:

A válaszadók e kérdést túlságosan is specifikusnak tartották, mindösszesen egy fő adott részlegesen választ e kérdésre. Tekintettel azonban a korábban adott válaszokra, az itt megadott statikus hibaértékek túlságosan is nagy értékűnek tűnnek, így javasolt, hogy a statikus hiba értékei a szabályozástechnikában általánosan elfogadott (2÷5) tartományba essenek.

17. Adja meg, hogy az Ön szakterületén a pilóta nélküli repülőgépek repülése, illetve az egyes automatikus repülési üzemmódokon javasolt-e repülésbiztonsági korlátozások alkalmazása?

- 3 fő – korlátozás javasolt
- 1 fő – korlátozás nem javasolt

Következtetések:

A válaszadók többsége szükségesnek tartotta az egyes repülési üzemmódokon a korlátozások alkalmazását.

18. Adja meg, hogy az Ön szakterületén, vagy Ön szerint a pilóta nélküli repülőgépek repülési paramétereit milyen légi üzemeltetési korlátozással bírnak?

- 0 fő – bólintási szög maximális értéke
- 0 fő – bedöntési szög maximális értéke
- 1 fő – az irányszög változás maximális értéke: (1÷3) fok
- 0 fő – az állásszög maximális értéke
- 0 fő – a csúszásszög maximális értéke
- 0 fő – repülési magasság maximális értéke
- 0 fő – az oldalkoordináta maximális értéke
- 0 fő – a repülési sebesség maximális értéke
- 0 fő – a függőleges sebesség maximális értéke
- 0 fő – az oldalirányú sebesség maximális értéke
- 2 fő – egyéb repülési paraméter korlátozása
 - Repülési magasság minimuma: (150÷200) m;
 - Minimális repülési magasság

Következtetések:

A válaszadók a kérdést túlságosan is specifikusnak tartották, csak kevesen adtak értékelhető választ a kérdésre. Az egyik javasolt korlátozás az irányszög változásának maximális értékére vonatkozik, míg másik válaszadó a $H_{\min} = (150 \div 200) m$ repülési magasságot jelölte meg a minimális repülési magasság értékéként.

19. Adja meg, hogy az Ön szakterületén, vagy véleménye szerint a pilóta nélküli repülőgépek milyen veszélyes repülési üzemmódjainak automatizálást tartja szükségesnek!

- | | |
|--|---------------------------------|
| 0 fő – kivezetés vízszintes repülési helyzetbe | 2 fő – tereptárgyak átrepülése |
| 0 fő – átstartolás | 4 fő – tereptárgyak megkerülése |
| 2 fő – kényszerleszállás | |
| 0 fő – egyéb veszélyes repülési üzemmód | |

Következtetések:

A kérdés megválaszolása során a válaszadók az alábbi veszélyes üzemmódok automatizálásának szükségessége mellett döntöttek:

- 1) kényszerleszállás (az elérni kívánt cél egyértelmű megfogalmazása után a földfelszín megközelítéséhez szükséges pályaszakasz megtervezése, és a megközelítési algoritmus felállítása mindenképpen szükséges);
- 2) tereptárgyak átrepülése (veszélyes, forszírozott üzemi emelkedés, amely vízszintes, egyenes-vonalú repülési fázissal fejeződik be. Az átrepülni kívánt tereptárgyak lehetséges körét, és azok geometriai jellemzőit pontosítani szükséges, és ehhez a manőverhez algoritmust kell kidolgozni);
- 3) tereptárgyak megkerülése (kitérő manőverek definiálása, és a repülési pálya megtervezése elengedhetetlenül szükséges).

20. Ön a szakterületén milyen gyakorisággal használná a pilóta nélküli repülőgépet?!

- 0 fő – naponta
 - 0 fő – egy alkalommal
 - 0 fő – több alkalommal
- 0 fő – hetente
 - 0 fő – egy napon
 - 0 fő – több napon
- 5 fő – havonta
 - 2 fő – egy héten
 - 3 fő – több héten
 - 1 fő – esetleg évente, (2÷3) évente;
 - 1 fő – alkalmanként
 - 1 fő – csak tesztelés volt

Következtetések:

A kérdés megválaszolásakor az UAV alkalmazásának gyakoriságára a válaszadók többsége a havonként, főleg heti rendszerességgel, és több héten keresztül javasolja alkalmazni a pilóta nélküli repülőgépeket

IV. ÖSSZEFOGLALÁS, EREDMÉNYEK, KÖVETKEZTETÉSEK

A pilóta nélküli repülőgépek lehetséges alkalmazási területeit, illetve a repülőgépekkel szemben támasztott műszaki követelményeit, és képességeit – az ALPHA-csoport válaszai alapján – a 2. Táblázatban foglaltuk össze.

Az ALPHA-csoport által megfogalmazott műszaki követelményeik

2. táblázat

Az ALPHA-csoport pilóta nélküli repülőgépekkel szemben támasztott követelményei			
Fsz.	Az elvárt képesség (műszaki követelmény) megnevezése	A követelmény leírása, értéke	
1.	Függesztmény	Infra kamera, színes video kamera, digitális fotó	
2.	A repülések időjárási feltételei	Minden évszak, csapadékos (esős, hóeséses) idő, szélcsendes, gyenge-, és közepesen erős szél, ($-30\text{ °C} \div +60\text{ °C}$) hőmérsékleti tartomány.	
3.	Repülési magasság tartománya	$H = (10 \div 1000)\text{ m}$ ($H_{\max} \geq 2000\text{ m}$)	
4.	Repülési sebesség tartománya	$v = (40 \div 80)\text{ km/h}$, ($v = (10 \div 40)\text{ km/h}$)	
5.	Hatótávolság	$L_1 = (100 \div 20000)\text{ m}$, ($20\text{ km} \leq L_{\max} \leq 50\text{ km}$)	
6.	Repülési idő	$t_{rep} = (5 \div 120)\text{ perc}$, $3\text{ óra} \leq t_{rep_{\max}} \leq 4\text{ óra}$	
7.	Megfigyelt objektum, személyek sebessége	$v_1 = (1 \div 10)\text{ km/h}$, ($v_{\max} \leq 50\text{ km/h}$)	
8.	Repülési távolság	$L_{VFR} = (100 \div 2000)\text{ m}$, $L_{IFR} = (1 \div 20)\text{ km}$	
9.	Rendelkezésre állási idő	$t_{rend} = (30 \div 300)\text{ perc}$, $t_{rend_{\max}} = 24\text{ óra}$	
10.	Készültségi idő	$t_{készült} = (20 \div 60)\text{ perc}$	
11.	Automatizált repülési üzemmódok	Automatikus fel-, és leszállás Térbeli szöghelyzet stabilizálása Repülési sebesség stabilizálása Kismagasságú repülések automatizálása Programozott útvonalrepülés Repülési magasság stabilizálása	
12.	Repülési paraméterek stabilizálásának statikus hibája	Megtett út	500 m
		Repülési magasság	50 m
		Repülési sebesség	10 km/h
13.	A légi üzemeltetés korlátozásai	$H_{\min} = 150 \div 200)\text{ m}$, $\Delta\psi \leq (1 \div 3)^\circ$	
14.	Veszélyes repülési üzemmódok automatizálása	Kényszerleszállás Tereptárgyak átrepülése Tereptárgyak megkerülése	
15.	A repülés gyakorisága	Havonta, több héten keresztül Napi-, vagy heti rendszerességgel Szükség esetén, alkalmanként	

A 2. Táblázat nagyban segítheti az UAV földi, és légi üzemeltetésének megbízhatóságát, és a repülésbiztonságot. A cikkben a szerző bemutatták egy válaszadó célcsoport által szolgáltatott adatok kiértékelését, a válaszok kritikai elemzését, és elvégezték a pilóta nélküli repülőgépekkel szemben

támasztott követelmények egységes rendszerbe foglalását. Az eredmények alapjául szolgálhatnak valós UAV-rendszerek előzetes-, illetve prototípus-tervezésekor. A szerző még számos hasonló tartalmú válaszadói csoport tevékenységét értékeli ki, amíg egy olyan követelményrendszert állít fel, amit az UAV polgári alkalmazásai területén általánosan elfogadhatónak mondhatunk.

V. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] DR. HABIL. SZABOLCSI Róbert: *Pilóta nélküli repülőgépek polgári alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata*. Elektronikus Műszaki Füzetek IV, MTA Debreceni Területi Bizottság, Debreceni Akadémiai Bizottság, Műszaki Szakbizottsága, pp (59–65), Debrecen, 2007.

HAJTÓMŰVEK TERMIKUS SZÁMÍTÁSÁNÁL, VALAMINT AZ ADATBÁZISOK KEZELÉSÉNÉL ALKALMAZOTT ELEKTRONIKUS TANSEGÉDLETEK, SZOFTVEREK ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A ZMNE LRI-BEN

A szükséges tudás elérésének módja nem vagy nem minden esetben szabályozott. Vannak élethelyzetek, amikor a tanuló kényszerítve van az önálló tanulásra, az ismeretek önálló elsajátítására és csupán a tanultak számonkérése történik központilag. Az önálló tanulás nagyon nehéz folyamat, és nem is mindenki alkalmas rá. Bármilyen témában tananyagot önállóan elsajátítani, igényli a tanuló alkalmasságán kívül a nagyfokú türelmet, önfegyelmet, szervezési képességek, készségek együttes alkalmazását is. Az önálló tanulás nem a tankönyv szövegének elsajátítását jelenti, hiszen szöveget olvasni bárki képes. Az értő olvasás már mást jelent, és szintén egy magasabb folyamat az ismeretszerzés olyan eszközökkel támogatott folyamata, amely kiegészíti, sőt akár teljes egészében helyettesíti a tanár, oktató magyarázatát, szemléltetését.

Ennek a tanulási módnak egy alternatíváját kínálja a távtanulás, és/vagy a multimédiás oktatóanyagok alkalmazása a tanítás-tanulás folyamatában. Ezeket a tananyagokat nagyon sok típusba sorolhatjuk, az egyszerű online anyagoktól kezdve, az elektronikus könyveken át, az interaktivitást és ellenőrzést is magukba építő tananyagokon keresztül a szimulációs, modellezési képességekkel rendelkező szoftvercsomagokig.

A konferencián egy olyan saját készítésű multimédiás tananyagot mutatunk most be, amely reményeink szerint alkalmas a helikopter hajtóművek fejlődését bemutatni a termikus számítások elvégzése alapján, valamint az adatbázis kezelés ACCESS ismereteinek alapfokú elsajátítására és az SQL lekérdezési nyelv elsajátítására, avagy a tanult de már elfelejtett tudásanyag átismétlésére gyakorlati példákon keresztül. Természetesen az elméleti alapok sem hiányozhatnak az elsajátítandó ismeretek közül, bár praktikus okokból igyekeztünk ezeket a lehető legkisebb mértékre szorítani.

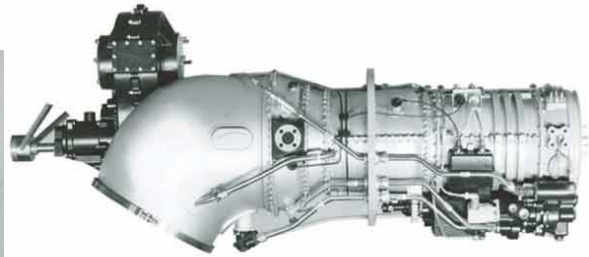
A tananyag elkészítésénél a *NEOBOOK 5.5.4 Professional*, *GASTUB 10*, *Microsoft PowerPoint* programot használtuk.

Az **első tansegédlet** készítésének célja az volt, hogy összehasonlítsuk a 60 - 70-es évek, a 80-as évek és a 90-es évek konstrukciós fejlesztésének eredményeit a helikopterhajtóművek termikus

számítási értékeinek vonatkozásában. Az összehasonlítást a TV2-117A, T58-GE-100, TV3-117, valamint a RTM-322-01/9 hajtóműveknél végeztük.



1. ábra. Az Izotov TV2-117A hajtómű volt az első orosz helikopterbe tervezett hajtómű



2. ábra. Az XT-58-as, mely kialakításában a mai hajtóműveket idézi.



3. ábra. TV3-117 hajtómű, amely megtalálható a Magyar Légierő helikopterein is



4. ábra. Az RTM-322 hajtómű, amely a helikopter hajtóművek új generációjának képviselője

Az 1950-es évek elején a General Electric egy 3 millió dolláros szerződést kapott az USA kormányától egy új, könnyű és megbízható helikoptereken alkalmazható tengelyteljesítményt szolgáltató gázturbinára kifejlesztésére. A titkos program XT-58 elnevezéssel indult és a végeredmény egy 800 Le (596 kW) tengelyteljesítményű gázturbina lett, amely mindössze 181 kg-ot nyomott.

Továbbfejlesztve ezt a hajtóművet 1957-re a teljesítménye 1050 Le-re (783 kW) növekedett, súlya pedig 114 kg-ra csökkent. Ebben az évben két T58 hajtóművel helyettesítették egy Sikorsky HSS-1F helikopter dugattyús erőforrását és ezzel először emelkedett levegőbe az USA-ban gázturbinás helikopter. Felismerve az új fejlesztés gyakorlati jelentőségét egy sor helikopter gyártó (Sikorsky, Kaman) kezdte el alkalmazni az újonnan kifejlesztett T58 gázturbinát a helikoptereikben.

Az első szovjet második generációs helikopter 1957-ben jelent meg. Ez a MI-6 nehéz szállító és csapatszállító helikopter volt. Az 50-es évek második felében Mikhail Leontyevich Mil, a Mil tervezőiroda vezetője elhatározta egy forradalmian új helikopter tervezését a közepes szállító kategóriában is leváltandó az akkorra már elavuló MI-4-es helikoptereket.

1958. február 20-án a Szovjetunió Minisztertanácsa magáévá tette ezt a gondolatot és elrendelte egy 1,5-2 tonna hasznos teher szállítására alkalmas helikopter kifejlesztését V-8 típusjelzéssel, amelynek az erőforrását egy darab Ivchenko AI-24V helikopteres alkalmazáshoz igazított turbólégcsavaros hajtómű biztosította. Az egy-hajtóműves V-8 helikopter először 1961. június 24-én emelkedett levegőbe.

Felismerve a hátrányait az AI-24V hajtóműnek, az Izotov Hajtómű-tervező Iroda utasítást kapott, egy, valóban helikopteres alkalmazásra optimalizált hajtómű kifejlesztésére (a TV-2VM és a D-25V hajtóművek, amelyeket a MI-6-os esetben alkalmaztak, eredetileg merevszárnyú repülőgépek számára tervezték). Az Izotov Iroda által tervezett új TV2-117A hajtómű és a VR-8 reduktor 1962

nyarán került leszállításra. A hajtómű felszálló üzemmódon 1500 Le (1118 kW) teljesítményt produkált, viszonylag jó fajlagos mutatók mellett. Már a 70-es években felmerült az igény egy erősebb hajtómű kifejlesztésére, amit a 80-as években sikerült több változatban kifejleszteni. Az új hajtómű a TV3-117 nevet kapta, amely hajtómű a TV2-117A-hez képest több mint 700 Le-vel tudott több teljesítményt produkálni. A hajtómű főleg a MI-17 és MI-24 helikoptereknél kerültek beépítésre, ahol gépenként két hajtóművet alkalmaznak.

A helikopter hajtóművek azóta jelentős fejlődésen mentek keresztül. Kompaktabbá váltak, súlyuk csökkent, teljesítmény és hatásfok mutatóik pedig javultak. Az új generációs helikopter hajtóművek képviselője az RTM-322 hajtóműcsalád is, amely a Turbomeca Ltd., a Rolls-Royce és a Turbomeca közös vállalkozásának terméke. A hajtóműcsalád tagjai széles körben kerültek beépítésre különböző katonai és polgári helikopterekbe, így az EH101, NH90, Apache, H-92/S-92, H-60, S-70-es helikopterekbe.

Figyelembe véve, hogy az első két korai helikopter hajtómű az amerikai és a szovjet oldalról nagyjából egy időből származik, teljesítménymutatóik is hasonlóak, ami érdekessé teheti a két hajtómű összehasonlítását. Ugyanakkor a harmadik egy fejlettebb változat, míg a negyedik már egy gyökeresen új technológiai színvonalat testesít meg. Összehasonlítva az első kettővel az elemzés rávilágíthat az utóbbi 30-40 év eredményeire.

A TERMIKUS VIZSGÁLAT

Ha termikusan elemezni szeretnénk egy gázturbinát, legelőször minden fellelhető adatot össze kell gyűjtenünk róla. A gyártók általában egy, két üzemmódra viszonylag sok adatot megadnak. Azt az üzemmódot érdemes választanunk, amelyre a legtöbb adat áll rendelkezésre. Ez legtöbbször a felszálló üzemmód. Ilyen adatok lehetnek a kompresszor nyomásviszony, a hajtómű levegőfogyasztása, levegő elvételek, az égőtér utáni hőmérséklet, az üzemanyag-fogyasztás, vagy a fajlagos üzemanyag-fogyasztás, a hasznos tengelyteljesítmény. Természetesen minél több adatunk áll rendelkezésre, annál pontosabb lehet az elemzésünk.

Az adatokat két csoportba érdemes besorolnunk az egyik csoportot alkotják azok az adatok, amelyek feltétlenül szükségesek a számítási folyamat elvégzéséhez. A másik csoportba tartozó adatokat csak a számítási folyamat elvégzése után az eredmények ellenőrzésére használjuk.

Összegyűjtött hajtómű adatok:

1. táblázat

Fejlesztések évei →	Vizsgált hajtóművek			
	60-70 -es évek		80-as évek	90-es évek
Adatok	TV2-117A	T58-GE-100	TV3-117	RTM-322-01/9
Kompresszor nyomásviszony	6,6	8,4	9,55	15
Kompresszor tömegáram [kg/s]	6,8	6,35	8,75	5,3
Égőtér utáni hőmérséklet [K]	1123	1145	1243	1460
Fajl. üza. fogyasztás [kg/(kWh)]	0,374	0,368	0,3085	0,2702
Tüzelőanyag fűtőértéke [MJ/kg]	42,8	42,8	42,8	42,8
Tengely teljesítmény [kW]	1118	1118	1656	1799
Hajtómű súly [kg]	334	152	280	228

EGYÉB ADATOK (VESZTESÉGEK, HATÁSFOKOK, GÁZJELLEMZŐK)

Természetesen nem csak ezek az adatok szükségesek a termikus elemzéshez, hanem a hajtómű különböző részeihez, gépegységeihez tartozó veszteségek és hatásfokok is. Az előző adatokkal ellentétben ezeket a gyártók sohasem közlik. Így nem is tudhatjuk a korrekt veszteség adatokat, de

különböző szakirodalmakból tudhatjuk, hogy az adott korból származó hajtómű körülbelül milyen hatásfokokat produkálhat, ami kiinduló értékeknek megfelel.

A számítási folyamathoz ismernünk kell még a gázjellemzőket, nevezetesen c_p , κ , és R értékeit, amelyek hőmérséklet függőek. Meghatározásukhoz táblázatokat használhatunk, de egy egyszerű programot szerkesztve még egyszerűbbé válik a meghatározásuk.

Hatásfokok és veszteségek:

2. táblázat

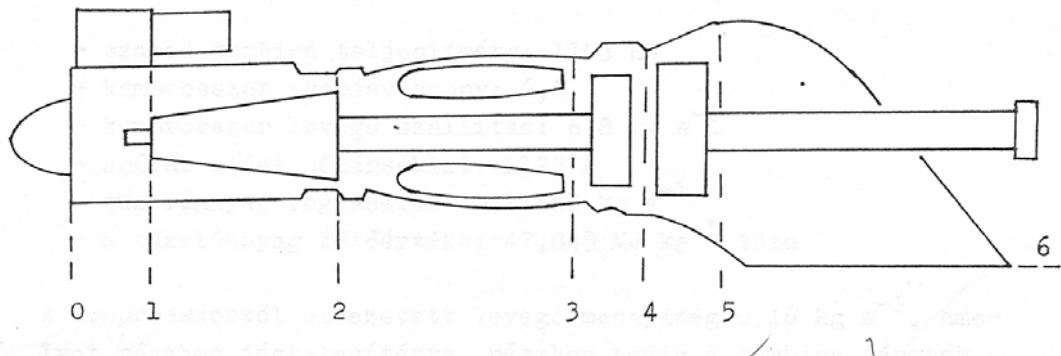
Fejlesztések évei →	60 -70 -es évek		80-as évek	90-es évek
	TV2-117A	T58-GE-100	TV3-117	RTM-322-01/9
Szívócsatorna nyomásvesztés	0,99	0,99	0,94	0,99
Kompresszor hatásfok	0,83	0,83	0,82	0,837
Égőtér nyomásvesztés	0,97	0,97	0,97	0,98
Égőtér hatásfok	0,97	0,97	0,98	0,98
Kompresszorturbina hatásfok	0,87	0,87	0,87	0,88
Szabadturbina hatásfok	0,87	0,87	0,87	0,88
Gázvezető nyomásvesztés	0,97	0,97	0,97	0,98
Teljesítmény elvétel [kW]	30	30	50	30
Gáz gen. mechanikai hatásfok	0,99	0,99	0,99	0,99
Szabad turbina mech. hatásfok	0,99	0,99	0,99	0,99

AZ ELEMZÉS MENETE

A számítási folyamatnál feltételezzük, hogy a hajtómű $H = 0$ m-en és $V = 0$ km/h repülési sebességen üzemel. A bemenő adatok tehát megfelelnek a Nemzetközi Egyezményes Légkör $H = 0$ m szerinti adatoknak. A számításokat az alapvető termodinamikai összefüggéseket felhasználva végezzük el. A számítások gyakorlati végrehajtásához a GasTurb 10 termikus számítást elvégző szoftvert használtuk fel.

A folyamat leírása:

- A hajtóműbe belépő közeg jellemzői megfelelnek a NEL $H = 0$ m szerinti adatoknak: ($p = 101325$ Pa, $T = 288$ K).
- A szívócsatornában lejátszódó folyamat izotermikus, mérsékelt nyomásvesztéssel (kb. 0,99).
- A kompresszor kilépő keresztmetszetében a nyomást a kompresszor nyomásviszonnyal számíthatjuk. A hőmérséklet a Poisson egyenlettel (valós adiabatikus folyamat) számítható, figyelembe véve a kompresszor izentrópus hatásfokát.
- Az égőtér kilépési keresztmetszetére a hőmérséklet általában adott. Az égőtérben a folyamat izobár némi nyomásvesztéssel (0,97-0,98).
- A kompresszorturbina utáni paramétereket a kompresszor és a kompresszorturbina munkájának egyenlőségéből határozhatjuk meg, figyelembe véve a segédberendezések meghajtására levett teljesítményeket és a gázgenerátor egység mechanikai hatásfokát.
- A szabadturbina utáni nyomás jó közelítéssel meghatározható abból a feltételből, hogy a gázáram nyomása a kilépő keresztmetszetben a környezeti nyomással lesz egyenlő. Figyelembe véve a gázvezető nyomásvesztési tényezőjét (0,97-0,98) ebből meghatározhatjuk a szabadturbina utáni nyomást. Hőmérsékletet itt is a Poisson egyenlettel, a szabadturbina izentrópus hatásfokát, figyelembe véve határozhatjuk meg.
- Ahogy a fenti pontban megállapítottuk a kilépő keresztmetszetben a nyomás jó közelítéssel a környezeti nyomásnak felel meg és az állapotváltozás a gázvezetőben izotermikus lesz.



5. ábra. A hajtómű vizsgált keresztmetszetei

Hőmérsékletek és nyomások a különböző keresztmetszetekben.

3. táblázat

Fejlesztések évei →		60 -70 -es évek		80-as évek	90-es évek
		TV2-117A	T58-GE-100	TV3-117	RTM-322-01/9
0	Szívócsatorna előtti hőmérséklet (T_0) [K]	288	288	2,88	288
	Szívócsatorna előtti nyomás (p_0) [Pa]	101325	101325	101325	101325
1	Kompresszor előtti hőmérséklet (T_1) [K]	288	288	288	288
	Kompresszor előtti nyomás (p_1) [Pa]	100312	100312	95245	100312
2	Égőtér előtti hőmérséklet (T_2) [K]	532	573	599	678
	Égőtér előtti nyomás (p_2) [Pa]	662058	842619	909595	1504676
3	Kompresszorturbina előtti hőm. (T_3) [K]	1123	1145	1243	1460
	kompresszorturbina előtti nyom. (p_3) [Pa]	642196	817340	882307	1474583
4	Szabadturbina előtti hőmérséklet (T_4) [K]	909	895	974	1136
	Szabadturbina előtti nyomás (p_4) [Pa]	235029	252241	269786	424957
5	Gázvezető előtti hőmérséklet (T_5) [K]	762	738	795	844
	Gázvezető előtti nyomás (p_5) [Pa]	104365	104365	104365	103351
6	Kilépő keresztmetszet hőm. (T_6) [K]	762	738	795	844
	Kilépő keresztmetszet nyomása (p_6) [Pa]	101325	101325	101325	101325

Az előző táblázatban összegyűjtöttem a különböző keresztmetszetek számított hőmérsékleti és nyomás adatait. A táblázat előtti vázlatos hajtómű rajz (4. ábra.) segítséget nyújt abban, hogy a hőmérsékleti és nyomásadatokat hozzá lehessen kötni a hajtómű megadott pontjaihoz.

Ezen az adatokon túl, ami még talán fontosabb, általános képet kaphatunk a hajtóműről, részegységeinek hatásfokairól, veszteségeiről, vagyis, hogy mennyire jó az a hajtómű. Hogyan történik ez? Ahogyan a hatásfokok és veszteségek fejezetben említettem, első közelítésben a hatásfokokat, veszteségeket műszaki tapasztalatainkra, esetleg valamilyen szakirodalomra hagyatkozva vehetjük fel. Az első fordulóban a legkritikább eset, hogy a számítási eredményeink tökéletesen simuljanak az ellenőrzésre félretett adatokkal. Ennek megfelelően a hatásfok és veszteségi adatokat addig kell igazítani, ameddig a számításunk az elvárt hibahatáron belülre nem kerül (3-5%). Ebben az esetben már elfogadhatjuk számításaink eredményeit és az ekkor alkalmazott hatásfok és

veszteség adatok már jól tükrözik a hajtómű általános képét. A 2. táblázatba már ezek a végleges hatásfok és veszteségi adatok kerültek be.

A mellékletben bemutatjuk a TV3-117 hajtómű példáján keresztül a GasTurb 10 szoftvert által bevitt input adatokat, valamint az output termikus számításokat és függvényeket.

ÖSSZEGRZÉS

Ahogy a fentiekben említettem az első két hajtómű a 60- 70-es évekből származnak. A leadott tengelyteljesítményük is megegyezik. Elvégzett termikus számítás azt bizonyítja, hogy a gépegyeségek hatásfokai veszteségei is gyakorlatilag megegyeznek. Az amerikai hajtómű fajlagos fogyasztása (T58-GE-100) egy kicsivel jobb, amit azonban a magasabb kompresszor nyomásviszony miatti magasabb termikus hatásfok okoz. A TV3-117 hajtómű csak az égőtér hatásfokban mutat javulást a TV2-117A és a T58-GE-100 hajtóművekkel szemben, a többi hatásfokban azonos értéket mutat.

Az RTM-322 hajtóművet vizsgálva látjuk, hogy szinte valamennyi gépegyeség jobb hatásfokot, illetve kevesebb veszteséget produkál. Egy-egy gépegyeségben nem tűnik számottevőnek ez a javulás, de összegezve ezeket a javulásokat, valamint figyelembe véve a kompresszor nyomásviszony jelentős növekedéséből adódó magasabb termikus hatásfokot az RTM-322 összh hatásfoka és fajlagos fogyasztása a vártnak megfelelően szignifikánsan jobb.

FELHASZNÁLT IRODALOM

VARGA Béla: A TV2-117A hajtómű termikus matematikai modellje, Diploma munka, Budapesti Műszaki Egyetem, 1990.
<http://www.mi-helicopter.ru/eng/getarticle.php?id=275>
<http://www.aircraftenginedesign.com/TableB1.html>
http://www.rolls-royce.com/defence_aerospace/downloads/helicopters/rtm322.pdf
http://www.turbomeca.com/public/turbomeca_v2/html/en/produits/sous_famille_home.php?sfid=509&mid=615

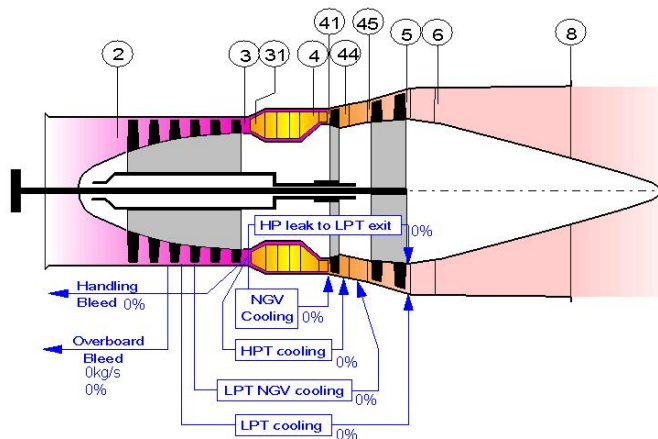
MELLÉKLET

1. GasTurb 10 szoftvert kezelői felülete

The screenshot displays the GasTurb 10 software interface. The top menu bar includes File, Edit, View, Units, Define, Nomenclature, Print, Propeller..., HPC-Map..., Load..., and Help. Below the menu is a toolbar with various icons. The main window is divided into several tabs: HPT Efficiency, PT Efficiency, Heat Exchanger, and Application. Under the HPT Efficiency tab, there are sub-tabs for Basic Data, Air System, Comp Efficiency, and Comp Design. The Basic Data sub-tab is active, showing a table of input and output parameters. To the right of the table is a schematic diagram of a gas turbine engine with numbered points (1-6) indicating measurement locations.

Total Temperature T1	R	518,67
Total Pressure P1	psia	14,6959
Ambient Pressure Pamb	psia	14,6959
Relative Humidity [%]		0
Inlet Corr. Flow W2Rstd	lb/s	18,7393
Intake Pressure Ratio		0,94
Pressure Ratio		9,55
Burner Exit Temperature	R	2237,4
Fuel Heating Value	BTU/lb	18413
Power Offtake	hp	67,0511
Burner Pressure Ratio		0,97
Nozzle Pressure Ratio		1,03
LP Spool Mechanical Efficiency		0,99

2. Hajtómű vizsgálati pontjai



3. A bevitt adatok az SI mértékegységrendszerben

Flight		
Total Temperature T1	K	288,15
Total Pressure P1	kPa	101,325
Ambient Pressure Pamb	kPa	101,325
Relative Humidity [%]		0
Ground		
Inlet Corr. Flow W2Rstd	kg/s	8,5
Intake Pressure Ratio		0,94
Pressure Ratio		9,55
Burner Exit Temperature	K	1243
Fuel Heating Value	MJ/kg	42,8
Power Offtake	kW	50
Burner Pressure Ratio		0,97
Nozzle Pressure Ratio		1,03
LP Spool Mechanical Efficiency		0,99

4. Eredmények

Station	W	T	P	WRstd			
amb		288,15	101,325		PWSD =	1663,30	
1		288,15	101,325		BSFC =	0,3092	
2	7,990	288,15	95,245	8,500	Heat Rate =	13235,5	
3	7,990	600,18	909,595	1,285	V0 =	0,00	
31	7,990	600,18	909,595		FN res =	0,94	
4	8,133	1243,00	882,307	1,940	WF =	0,14288	
41	8,133	1243,00	882,307	1,940	s NOx =	0,21929	
43	8,133	975,29	270,614		Therm Eff =	0,27200	
44	8,133	975,29	270,614		P45/P44 =	1,00000	
45	8,133	975,29	270,614	5,602			
49	8,133	795,37	104,365		Incidence =	0,00000	
5	8,133	795,37	104,365	13,118	P6/P5 =	1,00000	
6	8,133	795,37	104,365		PWX =	50	
8	8,133	795,37	104,365	13,118	P8/Pamb =	1,03000	
					A8 =	0,15680	
P2/P1 =	0,9400				TRQ [%] =	100,0	
Efficiencies:		isent	polytr	RNI	P/P	eta t-s =	0,84685
Compressor		0,8200	0,8659	0,940	9,550	Loading % =	100,00
Burner		1,0000			0,970	e444 th =	0,87000
HP Turbine		0,8700	0,8526	0,757	3,260	WLcl/W2 =	0,00000
LP Turbine		0,8700	0,8556	0,346	2,593	WLcl/W2 =	0,00000
HP Spool Eff		1,0000	Nominal Spd		38000	WBld/W2 =	0,00000
PT Spool Eff		0,9900	Nominal Spd		10000	WBld/W2 =	0,00000
Generator		0,9800				PW_gen =	1630,0
Bleed Air:	PBld =	909,59	TBld =	600,2	ZWBld =	0,00000	
hum [%]	war0	FHV	Fuel				
0,0	0,00000	42,800	Generic				

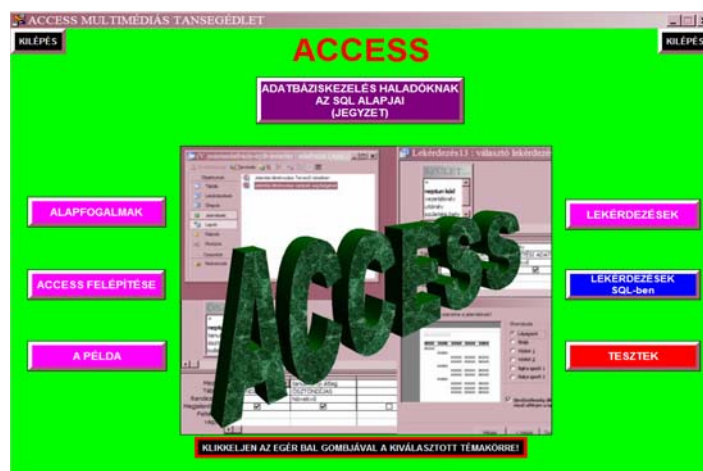
A **második tansegédlet** az ACCESS és az SQL adatbázis lekérdező nyelv alapjai elsajátításának a hatékonyabb módját célozta meg. Az elkészült multimédiás tananyag kezdőképe:



6. ábra

Az elkészült multimédiás tananyag nyitóoldala

A címlap után a tartalomjegyzékhez jutunk, melyek navigációs gombokként segítenek tájékozódni a tananyagban.



7. ábra

A tananyag tartalomjegyzéke

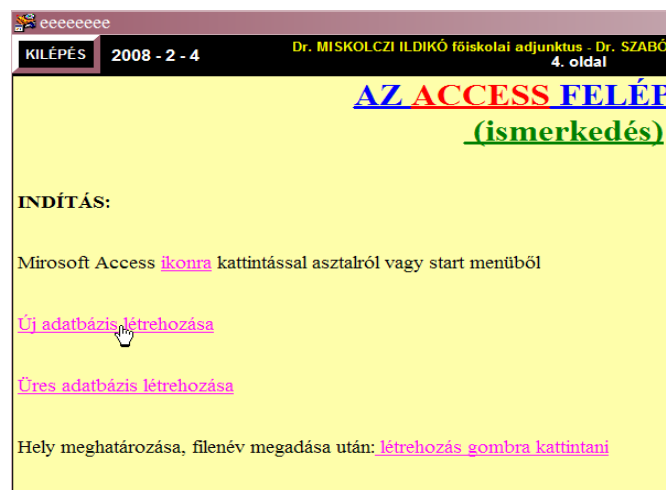
Az elkészült tananyag tankönyvszerűen lapozható, abban előre-hátra lehet mozogni a tartalomjegyzékben szereplő megfelelő navigációs gombokra való kattintással. Egy oldalról

visszalépni a jobb felső sarokban elhelyezett gombra kattintással, a programból pedig a bal felső sarokban lévő navigációs „kilépés” gombra kattintással lehet.

Magában a tananyagban (úgy az elméleti, mint pedig a gyakorlati részben) egyes fogalmak linkként is működnek, azokra kattintva további segédanyagok, magyarázatok nyílnak meg. Minden feladat kidolgozott megoldásának képe (annak szerkesztő- és eredményképe is) rákattintással megtekinthető. Így ellenőrizhető a saját munka helyessége.

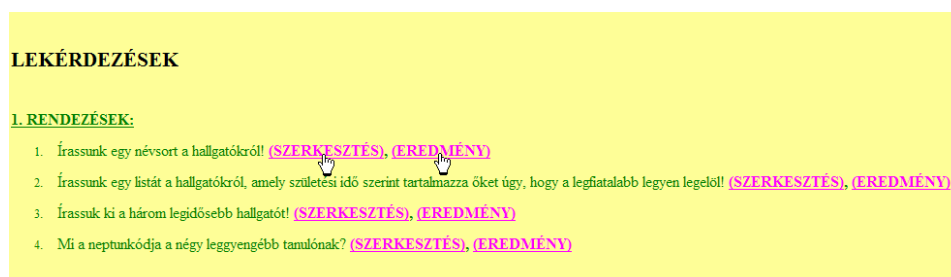
A tartalomjegyzék alapján látható, hogy a kezdeti lépések elsajátításának első eleme egy rövid fogalmi útmutató, illetve az ACCESS-hez szükséges alapismeretek rövid, tömör bemutatása. Ezen ismeretek összefoglaló áttekintését segíti egy csatolt prezentáció, amely az adatok kezelésének technológiáját szemlélteti.

Az ACCESS felépítése részben már nem csak egyszerű magyarázatokkal találkozunk, hanem a hivatkozott fogalmak linkként való beépítése következtében lehetőség van a magyarázatban leírtak eredményének megtekintésére is. Újabb kattintásra a segédablak eltűnik. (a szoftver lehetőséget ad arra, hogy ne csak kattintásra, hanem esetlegesen más gombok lenyomására, vagy akciógombok használatával, vagy egyszerű időkapcsoló használatával oldjuk meg az eredményablak eltűnését)



7. ábra

Egyes szövegrészek hivatkozásként működnek, melyekre kattintva megoldás új ablakban nyílik meg



8. ábra

A feladat után a megoldás lépéseit és megoldását is megtekinthetjük

Ugyanezeket a lépéseket az SQL rész létrehozásánál is megtartottuk és ott is ellenőrizheti a tanuló a megoldását helyben. Akár magát az SQL szerkesztőablakot, akár a konkrét eredményt. Az SQL ismeretek alapfokú elsajátításában pedig segítséget nyújt az egyik szerző egy korábbi SQL jegyzete, amely felkerült a tananyagra.

A tananyag jelentős részét képezi az önellenőrző tesztek egysége.

Ebben az első verzióban, csupán egy kérdéstípust alkalmaztunk, konkrétan a négy lehetséges válasz közül az egy helyes kiválasztását. A későbbiekben a tananyag hallgatói verziójának elkészítésénél természetesen jóval több feladattípus közül válogatunk majd.

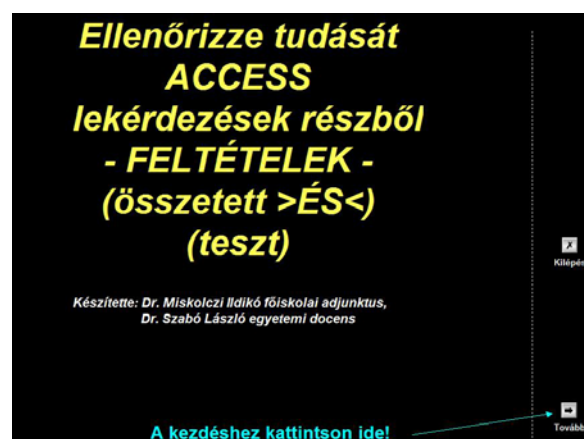
Az önellenőrző tesztek is egységenként csoportosítva találhatók, így létrehoztunk kérdéseket:

- ❖ az általános bevezető részhez
- ❖ az adatkezelés gyakorlatához
- ❖ az adatbázis létrehozásához
- ❖ a lekérdezésekhez
- ❖ rendezésekhez
- ❖ egyszerű feltételmegadáshoz
- ❖ összetett feltételekhez (külön ÉS-hez és külön VAGY-hoz)
- ❖ számolásokhoz
- ❖ akciólekérdezésekhez
- ❖ űrlapokhoz
- ❖ jelentésekhez

Ezt a részét a tananyagnak programozással kellett megoldanunk.

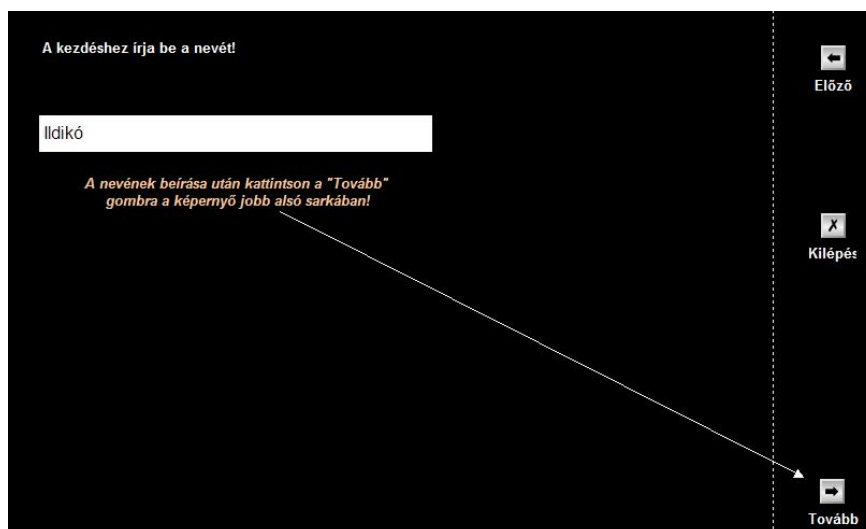
A megoldások hallgatók általi könnyebb ellenőrizhetősége végett a lehetséges megoldásokhoz rádiógombként az ABC betűit rendeltük hozzá. Így a megoldások ellenőrzésekor a tanuló majd ezeket a betűket kapja vissza eredményül.

Az indító oldal után, a program kéri a tesztet kitöltő nevét:



9. ábra

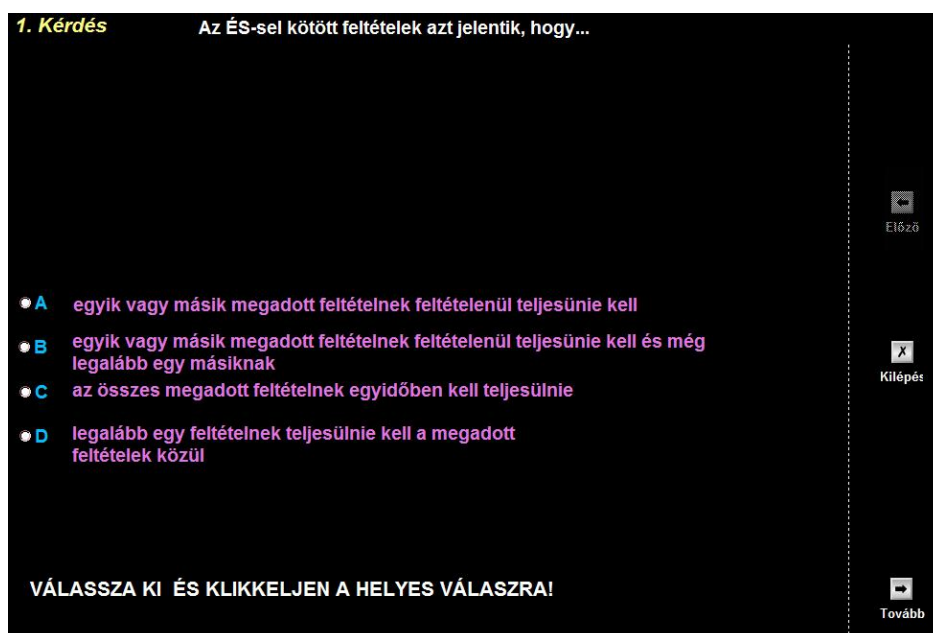
Az önellenőrző tesztek nyitó oldala



10. ábra

A felhasználó nevének beírásával indíthatja a kérdéseket az adott témakörben

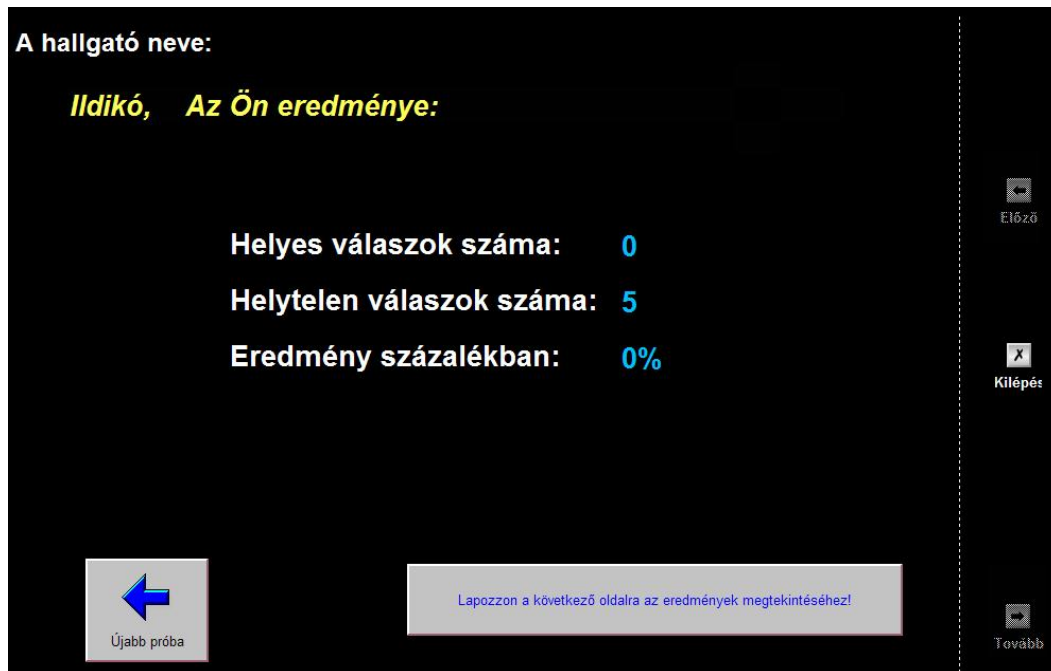
Ennek kitöltése után a tovább gombra kattintva indul az első kérdés, ahol a már említett négy lehetséges megoldásból az egyetlen helyes megoldást kell kiválasztani.



11. ábra

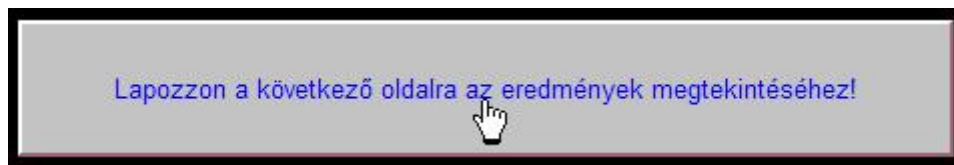
A kérdésekre adott választ a rádiógombra kattintással jelölheti meg a tanuló

Így végighaladva a kérdéssoron, az utolsó lépésben a kiértékelés gombra kell kattintanunk a megoldásaink helyességének ellenőrzéséhez. Itt nem csupán a helyes megoldások számát kapjuk meg, de a program kiszámolja a %-ban elért teljesítményünket is.



12. ábra

Az utolsó kérdés megválaszolása után megjelenik a kiértékelő ablak



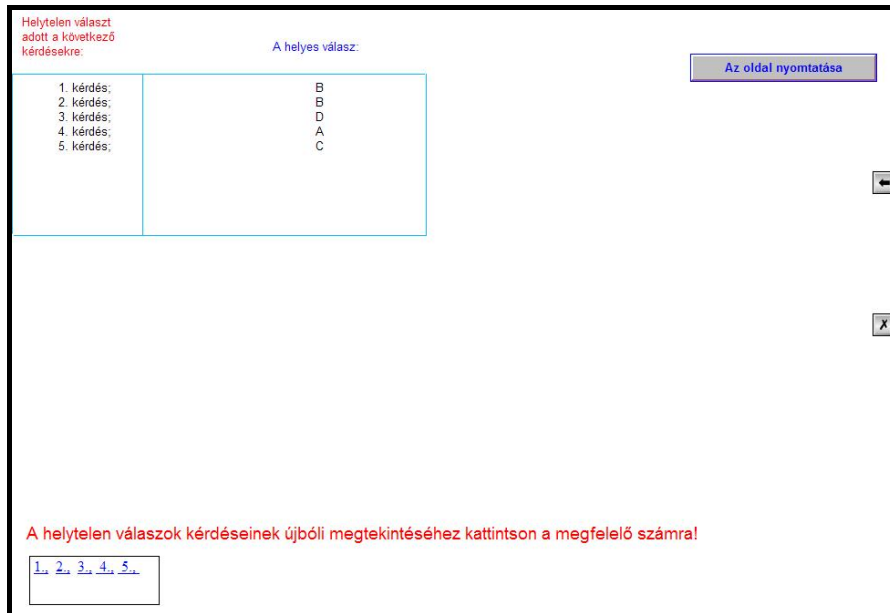
13. ábra

A gombra kattintva megtudjuk, mely kérdésekre adtunk helytelen választ

A megnyíló új ablakban a képernyő tetején láthatók a kérdésszámok mellett a helytelen megoldások helyes válaszai. Természetesen arra is van lehetőség, hogy a kérdéseket (akár helyes, akár helytelen volt a hallgató válasza) újból láthassuk. Erre, az adott oldal bal alsó sarkában található számokra klikkelve ismét fel lehet eleveníteni az aktuális kérdést!

Jelen anyag az un. oktatói verzió, de már készítjük a tanulói, hallgatói formáját is, amely jóval bővebb és formáját tekintve és másabb lesz. Még több magyarázó szöveg, kiegészítés lesz benne, formáját tekintve a hagyományos, lapozható könyv formát választottuk, és nem csupán ábrákat, hanem animációs ábrákat is használunk majd az egyes lépések szemléltetésére. Sokkal bővebb és még több

magyarázó szöveg lesz benne, megnöveljük a megértést segítő, és az önálló munka helyességét ellenőrizni segítő képek és ábrák számát. Tervezzük, hogy nem csupán állóképeket, de olyan animációkat, rövid videókat is beépítünk az anyagba, amely további lehetőségeket teremt a tananyag pontos és egyszerű elsajátításához.



14. ábra

A helytelen válaszokra adandó helyes megoldások képe

Ezen túlmenően pedig bővítjük az itteni alapismereteket, és a jelenben nem tárgyalt további ACCESS funkciókat, lehetőségeket is tervezünk bemutatni. Fontos része lesz annak a verzióknak is az önellenőrző kérdések és azok válaszaik fejezeteként, megoldásokkal, hogy az elsajátított elméleti ismertanyag azonnal és helyben ellenőrizhető legyen a tanuló számára. Lesznek benne gyakorló feladatok, amelyeket önállóan kell megoldania a tanulónak, természetesen a megoldások itt is elérhetőek lesznek számára az ellenőrzés miatt.

RÖPÍTŐTÁRCSÁS MŰTRÁGYASZÓRÓ MODELL

Egyesített elméleti modellt vezetünk be a műtrágyaszóró röpítőtarcsáján, majd a levegőben folytatódó szemcsemozgás leírására. A modell feladata a várható szórásképek előzetes kiszámítása. A modell jól írja le a kúpos tarcsán, a sugáriránnyal szöget bezáró egyenes lapáton mozgó szemcséket. Ezt követően a ballisztikus pályát állandó légellenállási tényezőt feltételezve számítja. A számítógépes szórási kísérletek bemeneti adatai közt a szemcsék mért fizikai jellemzői is szerepelnek. A szórásképek érzékenyek a röpítőtarcsás szórógép jellemzőire és a műtrágya tulajdonságaira is. Egyes paraméterek értékei – például az adagolási hely és a légellenállási tényező - tapasztalati korrekcióra szorulhatnak. Végeredményben a számított és a mért szórásképek összhangja megvalósítható. Az új “virtuális műtrágyaszóró” szoftver számszerűen és grafikusán jellemzi a szórás minőségét és stabilitását, így az eredmények összehasonlíthatók a mérőpályás kísérletekkel. Az egyesített modell használható az oktatásban, a géptervezésben és a helyspecifikus műtrágyaszórás megvalósításához.

1. BEVEZETÉS

A röpítőtarcsás műtrágyaszórók jelentőségét igazolja, hogy világviszonylatban az évi 140 millió tonnás műtrágya felhasználás közel 90%-át juttatják ki ezekkel a gépekkel. A kijuttatás számítógépes modellezése azért fontos, mert helyettesítheti a költséges mérőcsarnokos kísérleteket. A fejlesztési irányok szempontjából ígéretesek a helyspecifikus precíziós mezőgazdasági alkalmazások, például az “on-line” vezérlés alkalmazása a GPS rendszerben.

A sugáriránnyal szöget bezáró lapátokkal felszerelt kúpos tarcsán a részecske mozgásának leírására egyszemcsés modellt alkalmazunk, amelyre analitikus megoldás létezik. A szemcsék levegőben történő mozgását Kármán hodográfus módszerével követjük. A gyakorlatban elterjedt kéttarcsás műtrágyaszórót modellezünk.

2. RÉSZECSEMOZGÁS A TÁRCSÁN

Villette [13] analitikus modelljét alkalmazzuk, amiről bizonyították, hogy az ismert speciális esetekben az eredmények megegyeznek Patterson and Reece [9] eredményeivel. Az új modell pontosabb, mint a korábbi Olieslagers [8] és Dintwa [3] modellek. A Villette modell magányos részecskék csúszását írja le a hátrafelé állított lapáttal felszerelt forgó kúpos tarcsán. A gördülő mozgást és az összetapadást azonban ez sem veszi figyelembe. A tarcsa szögsebességét állandónak feltételezi. Jelen munkában a szántóföldi vonatkoztatási rendszerben nyert alapvető eredményeket ismertetjük. A modellt kiterjesztjük ismert adagolási helyű kéttarcsás műtrágyaszóróra, kiszámítjuk a leválási szögeket és koordinátákat a szántóföldi vonatkoztatási rendszerben és figyelembe vesszük a traktor sebességét is. A tarcsánként egynél több, akár eltérő hosszúságú lapátokra történő kiterjesztés könnyen lehetséges. Ugyanazokat a rövidítéseket használva mint Villette, a K és δ konstansok a következők (1. és 2. egyenlet):

$$K = \frac{\mu g \cos \Omega + g \sin \Omega - \mu r_p \dot{\theta}^2}{\dot{\theta}^2 \cos \Omega (\cos \Omega - \mu \sin \Omega)} \quad (1)$$

$$\delta = \sqrt{\cos^2 \Omega (\mu^2 + 1) - \mu \sin \Omega \cos \Omega} \quad (2)$$

Feltételezzük, hogy a lapát ott találkozik a részecskével, ahol az ráesik a tárcsára (r_1 a szemcse tárcsára érkezésének sugárirányú távolsága a tárcsa középpontjától, és ψ_L az x tengelyhez képesti szöge) és nulla sebességgel indul. A lapáton a részecske pontos helyzete és sebessége az idő függvényében leírható:

$$x_v = \frac{(x_{v0} - K)}{2\delta} \times \left((\delta - \mu \cos \Omega) e^{-(\delta + \mu \cos \Omega) \dot{\theta} t} + (\delta + \mu \cos \Omega) e^{(\delta - \mu \cos \Omega) \dot{\theta} t} \right) + K \quad (3)$$

$$\dot{x}_v = \frac{(x_{v0} - K)}{2\delta} (\delta + \mu \cos \Omega) (\delta - \mu \cos \Omega) \dot{\theta} \times (e^{(\delta - \mu \cos \Omega) \dot{\theta} t} - e^{-(\delta + \mu \cos \Omega) \dot{\theta} t}) \quad (4)$$

Jelölések:

K	a modell konstans együtthatója
μ	súrlódási tényező a részecske és a lapát között
g	nehézségi gyorsulás, ms^{-2}
Ω	a lapát és a vízszintes sík által bezárt szög, rad
r_p	belső kör sugara a tárcsán, m
$\dot{\theta}$	a tárcsa szögsebességének nagysága, rad s^{-1}
δ	a modell állandó értékű együtthatója
x_v	a szemcse lapátirányú helyzete (a középponttól OV), m
\dot{x}_v	a szemcse lapátirányú sebessége, m s^{-1}
x_{v0}	a szemcse kezdeti helyzete a lapáton (a középponttól OV), m
v	sebesség vektor nagysága, ms^{-1}
α_x	a lapát vízszintes irányú vetülete és a szemcse sugárirányú helyzete között bezárt szög, rad
α_{iv}	a lapát elállítási szöge, rad
r	szemcse sugárirányú távolsága a tárcsa O középpontjától, m
\mathbf{u}_R	sugárirányú egységvektor a vízszintes síkban forgó vonatkoztatási rendszerben (O, $\mathbf{u}_R, \mathbf{u}_T, \mathbf{k}$)
\mathbf{u}_T	érintő irányú egységvektor a vízszintes síkban forgó vonatkoztatási rendszerben (O, $\mathbf{u}_R, \mathbf{u}_T, \mathbf{k}$)
\mathbf{k}	függőleges irányú egységvektor a szántóföldi vonatkoztatási rendszerben (O, $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$)
r_{RT}	a sugárirányú és érintőleges sebességek aránya
v_R	a leválási sebesség vízszintes sugárirányú komponensének a nagysága, ms^{-1}
v_T	a leválási sebességvektor vízszintes, érintő irányú komponense, ms^{-1}
l_{vane}	lapáthossz, m
r_{vane}	a lapát végének sugárirányú távolsága a vízszintes síkban, m
θ_{out}	a szemcse kilépési szöge a v_T – hez képest, rad
θ_{out_x}	a szemcse kilépési szöge az x tengelyhez képest a szántóföldi vonatkoztatási rendszerben, rad
ψ_L	a szemcse adagolási szöge az x tengelyhez képest a szántóföldi vonatkoztatási rendszerben, rad
r_L	adagolási sugár, m
t	idő, s
Φ_{disc}	a tárcsa szögelfordulása mialatt a szemcse csúszik a lapáton, rad
Φ_1	lapát elfordulási szög, amíg a kezdeti x-irányból indulva eltalálja a szemcsét, rad

és a részecske kezdeti helyzete a lapáton az ütközés után:

$$x_{vo} = (r_L^2 - r_p^2)^{1/2} \quad (9b)$$

Amíg a szemcse csúszik a lapáton, a tárcsa Φ_{disc} elfordulása a 9c. egyenlettel adható meg:

$$\Phi_{disc} = \dot{\theta} t \quad (9c)$$

A lapát állítási szögét a 9d egyenlettel definiáljuk:

$$\alpha_{lv} = \arcsin(r_p/r_v) \quad (9d)$$

és

$$r_{vane} = (r_p^2 + (l_{vane} \cos \Omega)^2)^{1/2} \quad (9e)$$

A leválási sebesség abszolút értékének ismerete lehetővé teszi a sebesség x és y komponensének (10. és 11. egyenlet) kiszámítását a vízszintes síkban: (A traktor v_{tr} sebességét levonjuk az y irányban):

$$v_x = v \cos(\Omega) \cos(\theta_{out_x}) \quad (10)$$

$$v_y = v \cos(\Omega) \sin(\theta_{out_x}) - v_{tr} \quad (11)$$

Ebből a leváló szemcse sebességének abszolút értéke a vízszintes síkban (12. egyenlet):

$$v_{hor} = [(v_x)^2 + (v_y)^2]^{1/2} \quad (12)$$

A leválási szög a traktor haladására merőleges x tengelyre vonatkoztatva:

$$\theta_{out_x_tr} = \arcsin(v_x / v_{hor}) \quad (13)$$

A szemcsék tárcsán történő mozgásának leírására nem kell használni a részecskékre jellemző egyedi paramétereket (pl. tömeget); csak a súrlódási együtthatónak van szerepe. A valóság hű modellezés érdekében azonban mesterségesen figyelembe vesszük a szemcsénkénti bizonytalanságot úgy, hogy az adagolási helyeket kis mértékben randomizáljuk. Ezután minden szükséges kezdeti paraméter rendelkezésre áll a részecske sokaság levegőben történő mozgásának a számításához.

3. BALLISZTIKA KÁRMÁN HODOGRÁFOS MÓDSZERÉVEL

Repülő részecskék esetén a légellenállási erő a sebesség négyzetével arányos:

$$F = k_{air} v^2 \quad (14)$$

ahol „ k_{air} ” a légellenállási tényező

A fenti egyenlet szerint a függőleges légcatornában (elutriátor) mért v_t lebegési sebességből a k_{air} légellenállási tényező (16. egyenlet) meghatározható.

$$F = mg = k_{air} v_t^2 \quad (15)$$

ahol „ m ” a szemcse tömege, és „ g ” a gravitációs állandó.

$$k_{\text{air}} = m g / v_t^2 \quad (16)$$

k_{air} [kg/m] kifejezhető a „ C_D ”ellenállástényezővel (17. egyenlet):

$$k_{\text{air}} = C_D A \rho_{\text{air}} / 2 \quad (17)$$

ahol „ A ” a részecske legnagyobb keresztmetszete és „ ρ_{air} ” a levegő sűrűsége.

Kis fajsúlyú részecskénél szükség lehet a levegő felhajtó erejének figyelembe vételére. Ehhez Archimedes törvényét használhatjuk, ha az „ m ”-et az „ m_c ”-vel helyettesítjük (18. egyenlet).

$$m_c = m(\rho - \rho_{\text{air}}) / \rho \quad (18)$$

A szemcsék átlagos sűrűségét megmértük illetve szemcsénként a három mérőleges méretből is megbecsültük. A felhajtóerő korrekció mindössze 0.9992-0.9994 értékű, ami gyakorlatilag elhanyagolható. Az általánosság kedvéért azonban a számításokban a szemcsénkénti felhajtóerő korrekció is szerepel. Ismert tömegű és légellenállású részecskék repülési pályája számítható Kármán, Biot [6] szerint. Ha a szemcséket a sebességük \mathbf{v} vektorával és annak a vízszintes tengellyel bezárt β szögével jellemezzük a pálya mentén, akkor a mozgásegyenlet a következő:

$$m \, dv/dt = mg \sin \beta - k_{\text{air}} v^2 \quad \text{érintőleges irányú} \quad (19)$$

$$m v \, d\beta/dt = mg \cos \beta \quad \text{sugárirányú a pályához képest} \quad (20)$$

ezután

$$dv/d\beta = v \, \text{tg} \beta - k_{\text{air}} v^3 / (mg \cos \beta) \quad (21)$$

A 21. elsőrendű differenciál egyenletet v -re nézve numerikusan oldottuk meg, a MATLAB's 'ode23' programmal. A sebesség nagyságát a β szög függvényében kapjuk, amit velográfának nevezünk.

Vízszintes kezdeti sebesség esetén:

$$v_x = v_o, \quad \beta = 0, \quad (t=0 \text{ az indulás pillanatában})$$

a pálya parametrikus egyenlete:

$$x = v_o^2 / g \int f(\beta)^2 / \cos^2 \beta \, d\beta \quad (22)$$

$$y = v_o^2 / g \int f(\beta)^2 / \cos^3 \beta \sin \beta \, d\beta \quad (23)$$

ahol

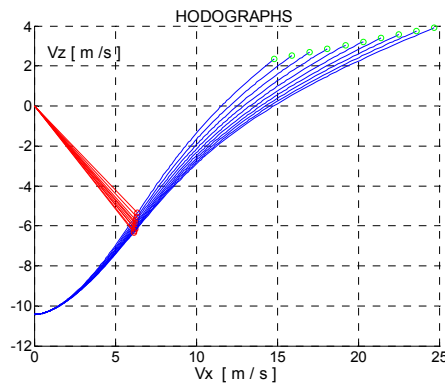
$$f(\beta) = \{1 + k_{\text{air}} v_o^2 / (mg) [\ln((1 + \sin \beta) / \cos \beta) + \sin \beta / \cos^2 \beta]\}^{-1/2} \quad (24)$$

Ha a kezdeti sebesség nem vízszintes, (a ferde hajításnál a felfelé hajítás szögét negatívnak feltételezzük) akkor általánosabb kifejezést kell használnunk. Az x -re és y -ra vonatkozó egyenletek nem változnak, azonban ekkor $f(\beta)$ -t az alábbiak szerint kell megadni:

$$f(\beta) = \{1 + k_{\text{air}} (v_o \cos \alpha)^2 / (mg) [\ln(\cos \alpha (1 + \sin \beta) / (\cos \beta (1 + \sin \alpha))) + \sin \beta / \cos^2 \beta - \sin \alpha / \cos^2 \alpha]\}^{-1/2} \quad (25)$$

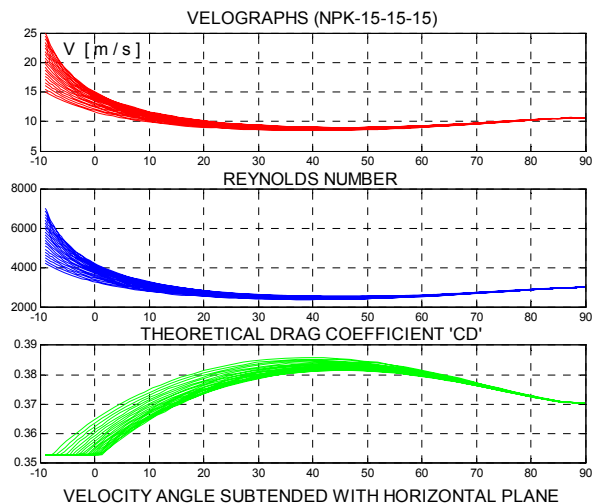
3.1. A c_d alakénevező közelítőleg állandó a repítési pályán

A hodográfós módszerre [6] példaként bemutatjuk egy átlagos NPK 15-15-15 szemcse vízszintes és függőleges sebesség komponenseit. (2. ábra). A hajtási sebességet a 15 - 25 m/s tartományban változtattuk (a kezdeti fölfelé hajtás szöge $\alpha = -9^\circ$ a vízszintes síkhoz képest).



2. ábra: Az átlagos NPK 15-15-15 szemcse sebesség hodográfjai az x-z síkban A pályán felvett maximális és minimális sebességeket pontok jelzik. A számításokhoz a kísérletileg mért átlagos részecskejellemzőket használtuk ($m = 6.26 \cdot 10^{-5}$ kg, $k_{air} = 5.4 \cdot 10^{-6}$ kg/m)

A hodográfok sorozatát a (2. ábra) a 21. egyenlet megoldásából kaptuk. A velográfokat -ami a β szög függvényében a sebességet mutatja - ugyanebből az egyenletből nyerjük. A C_D - t elméletileg egy tökéletes gömbre becsülhetjük, ha a Reynolds számra és C_D -re vonatkozó, Grift által megadott formulákat felhasználjuk Grift et al. [4]. Az átlagos szemcsetömeget és sűrűséget alkalmazva, az NPK-15-15-15 műtrágya esetében az átlagos elméleti C_D értéke 0.37 ± 0.01 a teljes röppályára (3. ábra).



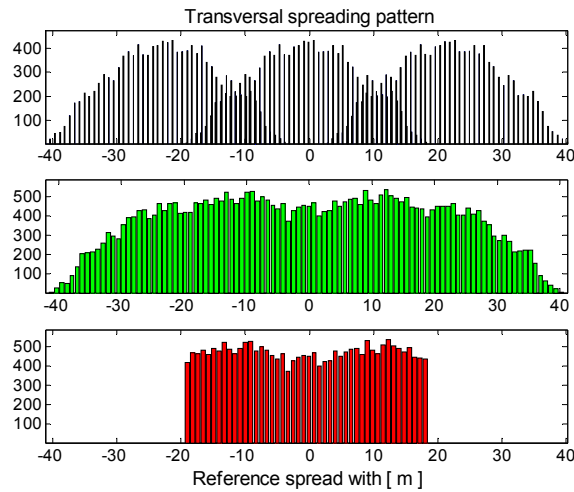
3. ábra: Az átlagos, elméleti " C_D " ellenállástényező számítása a röppályára az átlagos NPK 15-15-15 szemcse esetén. A kezdeti feltételek megegyeznek a 2. ábrával. A részecske gömbi ekvivalens átmérőjét ($4.1 \cdot 10^{-3}$ m) a szemcsék átlagos sűrűségéből (1758 kg/m^3) és tömegéből ($m = 6.26 \cdot 10^{-5}$ kg) számítottuk.

Ez az elméleti érték szöges ellentmondásban van a kísérleti $C_D = 0.69 \pm 0.08$ értékkel, melyet a k_{air} légellenállási tényezők méréséből kaptuk úgy, hogy a 17. egyenlet szerint egy gömbre számoltunk vissza. Nyilvánvaló, hogy a kísérleti C_D értéknek nagyobbaknak kell lenniük a szabálytalan alakú részecskék estén, mint az elméleti gömbi értéknek. A kérdés az, hogy mennyivel nagyobbak? Szakmai viták voltak azokról az elutriátorokról, (függőleges légszatór) amelyek hasonlóak az általunk használt berendezéshez. Nevezetesen, a lebegtetési kísérletekben mért k_{air} légellenállási tényezők általában túlbecsültek Hofstee [5]. Az elutriátorban mért végsebességek a szemcse repülése során befutott sebesség tartománynak csak egy kis sávját jelentik. Grift et al. [4] ejtőcsöves kísérleteiben az elutriátornál jóval nagyobb sebességtartományt vizsgálnak (nulla és a végsebesség között). Grifték 10 - 40% -os korrekciós faktorokat használtak, hogy kiegyenlítsék az ideális gömb és a műtrágyaszemcse közötti esési idő különbséget. Más munkákban pl. Reumers [11,12] állandó $C_D = 0.44$ értéket Lapple [7] használnak a granulált szemcsékre. Mivel a szórás számítások pontossága jó, a számított és a kísérleti szóráskepek összehasonlításával megkísérélhetjük a kísérletileg mérhető ellenállástényező és a C_D közötti faktor becslését. A korrekciós tényező értékét a jelen munkánkban $cor = 0.6$ értékűnek tekintettük.

4. VALÓS MŰTRÁGYASZEMCSÉKKEL SZIMULÁLT SZÓRÁSKÉPEK

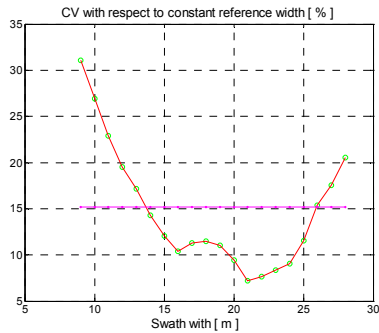
A következőkben bemutatjuk a szóráskep számítási folyamatát, amit egy kereskedelmi forgalomban kapható műtrágyaszóró szokásos paramétereivel és a kísérletileg mért műtrágyaszemcsékkel valósítunk meg. A korábbi kísérleti munkánkban 250 elemű mintákban, öt különböző műtrágyára megmértük a szemcsénkénti k_{air} légellenállási tényezőket és a szemcse tömegeket [10]. Az alábbiakban bemutatjuk a "virtuális műtrágyaszóróval" számított szóráskepeket. A következő bemenő paramétereket alkalmaztuk: a vizsgált műtrágya: NPK 15-15-15 (Agrolinz Agrochemikalien GmbH), a szemcsék sűrűlási tényezője a lapáton $\mu = 0.22$, a lapát hossza $l_{vane} = 0.40$ m, az adagolási hely minimális távolsága $r_{min} = 0.05$ m, az adagolási hely maximális távolsága $r_{max} = 0.1$ m, a tárcsa kúpszöge $\Omega = 9^\circ$, a tárcsa fordulatszáma $n = 840$ 1/min, a traktor sebessége $v_{tr} = 8$ km/h, a két tárcsa közötti távolság 0.9 m, a tárcsa magassága a talajtól 0.9 m, a kísérleti légellenállási tényezők korrekciós tényezője $cor = 0.6$. Ezeket a paramétereket állandó értéken tartva változtattuk az adagolási helyet és felületet a tárcsán, amit az adagoló nyílás Ψ_L középponti irányával és az adagolási hely Ψ_{LW} nyílásszögével jellemezzük. Azt találtuk, hogy $\Psi_L = -110^\circ$ adagolási irány esetén $\Psi_{LW} = 50-55^\circ$ nyílásszög egyenletes és stabil szórást eredményez. Kétszázötven darab NPK 15-15-15 szemcsére 55° -os nyílásszög esetén bemutatjuk a számítási eredményeket. Megjegyzendő, hogy a diszkrét adagolási helyeket a folytonos adagolás szimulálására sugár és érintő irányban is randomizáltuk a radiális és a szög inkrementumok felével (25x10 pontos felbontás a két irányban). A talajra való becsapódást követő pattogás modellezésére a becsapódási x,y koordinátákat a maximális hajítási távolság 5%-ával randomizáltuk. A randomizálás a normál eloszlás szerint történt. Ezen kívül az ismételt kísérletekben a részecskék sorrendjét is randomizáltuk azért, hogy a szisztematikus hibákat elkerüljük.

A részecske lapáton való mozgásának számítása rendkívül gyors, mivel analitikus formulákat használunk. A leválási sebesség vektoroknak a talaj síkjára számított x, y irányú vetületeit használjuk a ballisztikai számítások bemenő adataiként, amelyekből a becsapódási pontok helye a talajon minden szemcsére kiszámítható. A kéttárcsás műtrágyaszórónál az egyszerűség kedvéért a második tárcsát elhagyó szemcsék becsapódási helyeit az első tükörképeként kapjuk. Megfelelő geometriai transzformációkkal a haladási irányra merőleges szóráskep egyszerű összegzéssel kiszámítható a becsapódási pontok számából. A tömegeloszlás is kiszámítható az ismert részecske tömegekből, azonban az NPK műtrágya esetében ez nem tér el számottevően a részecskeszám eloszlástól. Szisztematikusan növelt munkaszélességgel végzett számítások sorával megadhatjuk a műtrágyaszórónk legjellemzőbb tulajdonságát: a szórás minőségét jellemző CV % értéket a munkaszélesség függvényében.

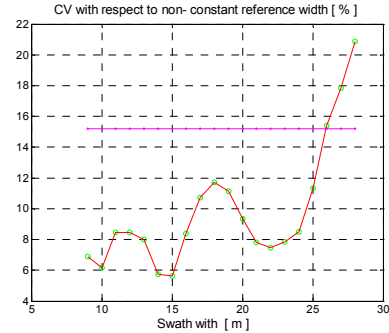


4. ábra: A haladásra merőleges, “legjobb” szóráskép, amit 21m-es munkaszélességgel, három egyirányú forduló után számítva kapunk. A szórás egyenletességére jellemző CV számításához az állandó (38m), szórásszélességre vonatkoztattunk. A függőleges tengelyen lévő számok a szemcseszámokkal arányosak.

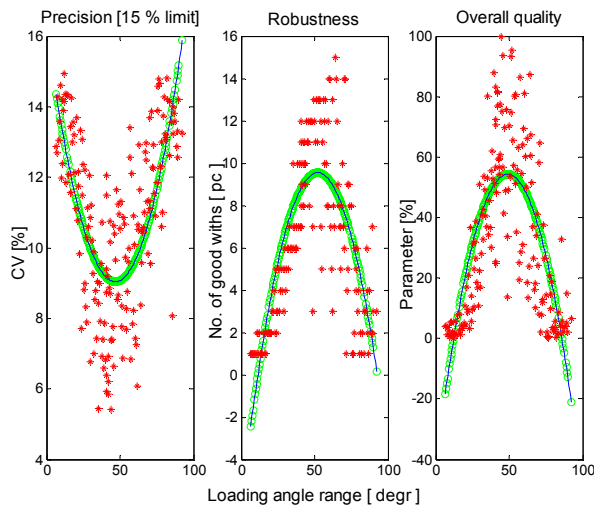
Ezek a számítások kétféle módon történtek. A hagyományos módszernél a CV számításához [1, 2] használt referencia távolság megegyezik a mindenkor munkaszélességgel. Mivel ebben az esetben a referencia sáv szélesség a munkaszélességgel szimultán csökken, a szórás minősége látszólag nem romlik kis munkaszélességeknél. A hagyományos számítás azt is feltételezi, hogy a traktor sokszor fordul a szántóföldön. A most bevezetett módszernél egyirányú körözéssel veszünk figyelembe három fordulót. Az új módszer alkalmazásánál (4. ábra) az állandó szórásszélesség sávra vonatkoztattunk, amit a hajítási távolságok különbségéből számítunk. Az új CV definíció hasznos lehet a helyspecifikus alkalmazásoknál, ahol csak néhány traktor fordulóra van szükség. Az új CV definíció szerint kapott eredményeket elemezve körülbelül 21 m-es optimális munkaszélesség jósolható (5. ábra). Ha a munkaszélességet a nulla határeset felé csökkentjük, akkor a három szórás kép egygyé olvad, ami olyan mintha csak egy forduló lett volna és rossz lesz a minőség. Az összehasonlítás kedvéért a 6. ábrán a hagyományos CV meghatározás is szerepel. Ezzel a kiértékeléssel kis munkaszélességeknél nem kerül a CV értéke a 15% határszint fölé, mivel csak az egyre csökkenő munkaszélességnek megfelelő belső sávra vizsgálja a minőséget. Azonban mindkét módszer azonosan 26 m-t ad a lehetséges munkaszélesség felső határára, mivel nagy munkaszélességek esetén kevésbé eltérő az egyenletesség kiértékeléséhez használt sáv mérete. A 7. ábrán sok (180) elméleti szórási kísérlet eredményét ábrázoljuk az adagoló hely nyílásszögének függvényében. Egyértelmű, hogy a legegyenletesebb szórás az 50°-os nyílásszög körül várható. A szórás „általános minőségét” egy új, integrált paraméterrel is jellemezhetjük. Az „általános minőség” definíciója a kapott CV görbe és a 15%-os határegyenes által határolt területet hasonlítja a tökéletes szórás határesetének megfelelő, CV = 0 -15 % vonalak által határolt téglalap területéhez. A szórás stabilitását (érzékenység a munkaszélesség változtatásra) a “jó” munkaszélességek számával is jellemezhetjük, ami szintén az 50°-os nyílásszög körül optimális. Érdekes, hogy nagyon nagy munkaszélességet (28m) is el lehet érni, ha az adagolási rés nyílásszögét 90°-ra növeljük (8. ábra). Azonban a szórási kapacitás ilyen módon történő növelése kockázatos, mert a szórás stabilitása ekkor csökken. Végezetül az NPK műtrágyára kísérletileg mért és a számított szórásminőség grafikonokat hasonlítjuk össze a 9. és 10. ábrákon a klasszikus módszer szerint. Látható, hogy a görbék menete hasonló, de a lehetséges maximális munkaszélesség tekintetében az elmélet optimistább a kísérletnél. A jobb egyezés eléréséhez meg kell találni azokat a paramétereket amelyek empirikus korrekciója kiigazítja a modell tökéletlenségét.



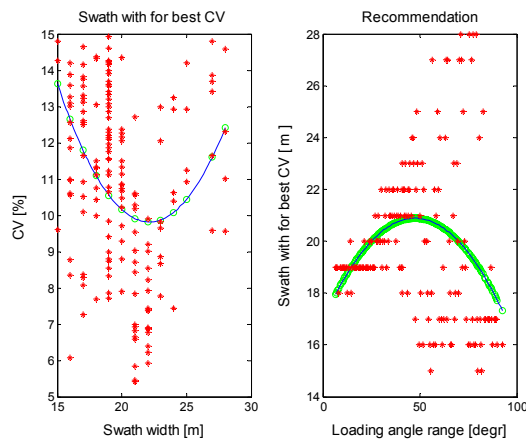
5. ábra: Új módszer a CV % érték számítására, állandó 38 m-es referencia sávra vonatkoztatva



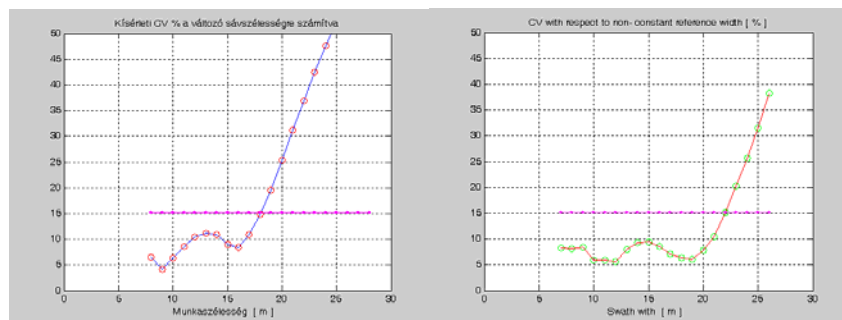
6. ábra: A CV % hagyományos számítása.



7. ábra: Száznyolcvan elméleti szórás kísérlet minőségi jellemzői az adagolási hely változó nyílásszögének függvényében. Az adagolási helyet jellemző szöget $\psi_L = -110^\circ$ állandó értéken tartottuk, miként a berendezés többi paraméterét is. A konstans referencia sáv szélesség módszerét alkalmaztuk. A csillagok a "kísérleteket" jelölik, a körökkel jelölt folytonos vonalak pedig a másodrendű illesztést.



8. ábra: A kísérleti számításokból származó ajánlások az optimális munkaszélességre és az adagoló hely nyílásszögére vonatkozóan.



9. ábra: Kísérleti szórásminőség

10. ábra: Elméleti szórásminőség

KÖVETKEZTETÉSEK

A jelen munkában bemutatott egységes modell reprodukálja a kéttárcsás centrifugális műtrágyaszóró általános tulajdonságait. Ezért a tervezett újabb munkáinkban különböző műtrágyák esetén összehasonlíthatjuk a kísérleti és az elméleti szórásképeket, ami lehetővé teszi az adott kísérleti módszerekkel mért légellenállási tényezők empirikus korrekcióját.

FELHASZNÁLT IRODALOM:

- [1] ANCZA E.: Műtrágyaszóró gép munkaminőségi vizsgálata. EU konform mezőgazdaság és élelmiszerbiztonság. Tudományos Konferencia, Debrecen, (2002) 350-354. o.
- [2] CSIZMAZIA Z.: Technical conditions of equalized fertilizer application. Hungarian Agricultural Research, (1993) No. 4. , 16-22.
- [3] DINTWA E.-VAN LIEDEKERKE P.-OLIESLAGERS R.-TIJSKENS E.-RAMON H.: Model for simulation of particle flow on a centrifugal fertiliser spreader. Biosystems Engineering (2004) 87 (4), 407-415.
- [4] GRIFT TE.-WALKER JT.-HOFSTEE JW.: Aerodynamic properties of individual fertilizer particles. Transactions of the Asae (1997) 40, 13-20.
- [5] HOFSTEE JW : Handling and Spreading of Fertilizers .2. Physical-Properties of Fertilizer, Measuring Methods and Data. Journal of Agricultural Engineering Research (1992) 53, 141-162.
- [6] KÁRMÁN T.-BIOT MA: Matematikai módszerek műszaki feladatok megoldására. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, (1967) 2. kiadás, p 172-177.
- [7] LAPPLE CF.: Fluid and Particle Mechanics. USA: University of Delaware Press,1951.
- [8] OLIESLAGERS R.-RAMON H.-DEBAERDEMAEKER J.: Calculation of fertilizer distribution patterns from a spinning disc spreader by means of a simulation model. Journal of Agricultural Engineering Research (1996) 63, 137-152.
- [9] PATTERSON DE.-REECE AR.: The theory of the centrifugal distributor I: Motion on the disc, near-centre feed. Journal of Agricultural Engineering Research (1962) 7, 232-240.
- [10] POLYÁK N.I.: Búza vetőmag fizikai jellemzői. Doktori (Ph.D) értekezés, Debrecen, 2001.
- [11] REUMERS J.-TIJSKENS E.-RAMON H.: Experimental characterisation of the tangential and cylindrical fertiliser distribution pattern from a spinning disc: A parameter study. Biosystems Engineering (2003) 86, 327-337.
- [12] REUMERS J.-TIJSKENS E.-RAMON H.: Experimental characterisation of the cylindrical distribution pattern of centrifugal fertiliser spreaders: towards an alternative for spreading hall measurements. Biosystems Engineering (2003) 86, 431-439.
- [13] VILLETTE S.-COINTAULT F.-PIRON E.-CHOPINET B.: Centrifugal Spreading: an Analytical Model for the Motion of Fertiliser Particles on a Spinning Disc. Biosystems Engineering (2005) 92, 157-164.

PARCELLA MŰTRÁGYASZÓRÓ GÉPEK SZÓRÓ SZERKEZETEI ÉS VIZSGÁLATUK

1. BEVEZETÉS, IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Kisparcellás kísérleteknél fontos az agrotechnikailag előírt pontos és egyenletes műtrágyaadag kijuttatása parcellánként. A feladat gépesítésének fejlesztéséhez megvizsgáltuk a parcella műtrágyaszóró gépek legfontosabb szóró szerkezeteit. Mérési eredményeink alapul szolgálnak egy egyenletesen szóró szakaszos működésű parcella műtrágyaszóró gép fejlesztéséhez.

1.1. A szilárd műtrágyát szóró parcella műtrágya szórók

A nemesítési és az agrotechnikai kutatások parcelláinak tápanyag visszapótlási technológiája eltér egymástól, ezért a parcella-műtrágyaszórógépek, és ezen belül kijuttató szerkezeteik is 2 fő csoportba sorolhatók.

1. Folyamatosan szóró szerkezetek
2. Parcellánként különböző mennyiséget szórók

1. Folyamatosan szóró szerkezetek

A gabonafélék nemesítésénél a tápanyag visszapótlást egységesen a teljes táblára elvégzik. A kiegészítő műtrágyát kora tavasszal juttatják ki a teljes területre. Őszi búza parcellákon ez koratavaszi, illetve téli fejtrágyázás formájában történik. Folyamatosan szóró parcella-műtrágyaszórók leggyakoribb szóró szerkezetei: résszabályzós, cellás kerekes, csigás, kettős csigás, szalagos, elasztikus forgó hengeres, tolóhengeres.

2. Parcellánként különböző mennyiséget szóró szerkezetek

A honosítás-, a növényszám-, a vegyszeres-, valamint a tápanyagkísérleteknél a parcellákat egyedileg látják el tápanyaggal. Ehhez olyan gépek szükségesek, amelyek a műtrágyát parcellánként tudják kijuttatni. A gépesítés nélküli megoldásnál az egy parcellára jutó műtrágyát vagy szerves trágyát kimérik, majd kézi úton szétszórják a parcellák felületére. Ez a megoldás nagy fizikai munkával jár, munkaminősége, szórás egyenletessége hossz és keresztirányban egyaránt kifogásolható. A parcellák tápanyag visszapótlásának problémái a műtrágyázási kísérletekben jelentkeznek legélesebben.

Szilárd parcella műtrágyaszóró gépek szóró szerkezetei: Oyjord-féle kúpos-cellás, Hege-féle kúpos-szalagos. Mindkét megoldásnál osztókúp végzi a szemcsék adagolását. A szemcsék szétosztása parcella műtrágyaszóró gépeken két lépcsőben történik. A második lépcsőben a szemcsék kijuttató csövenkénti adagolása mindig rotációs szétosztó szerkezettel történik.

1.2. Az osztókúp függőleges szimmetria tengelyének dőlésének hatása a szétosztás egyenlőtlenségére

Fleming [3] az osztókúp dőlésének hatását a szétosztás egyenlőtlenségére vetőmagokkal vizsgálta. A szerző megállapította, hogy ha a kúp szimmetria tengelye nincs függőlegesen, akkor a dőlés felé gurulnak a szemcsék, ami azt eredményezi, hogy a kúp egyik oldalán nagyobb, másik oldalán kisebb lesz a szemcse koncentráció. Egyenlőtlen magszétosztás az adagoló hengeren, egyenlőtlen mageloszlást eredményez a parcellán. Súlyosbítja a helyzetet, ha lejtős terepen történik a vetés.

Betzwar [1] is vizsgálta az osztókúp vízszinteségének és a szétosztás egyenletességének kapcsolatát. 3 fajta kiosztó szerkezettel végzett méréseket.

- Oyjord kúpos-cellás kiosztó rotációs szétosztóval.

- Kúpos-szalagos kiosztó rotációs szétosztóval.
- Kúpos-szalagos kiosztó rotációs szétosztó nélkül.

Szerinte mindegyik típus kiosztását nagyon befolyásolta az osztókúp vízszintesége. Vizsgálatai szerint, ha a vízszintestől való eltérés a 3 %-ot meghaladta, akkor okozott a kiosztásban eltérést. Tiba [5] foglalkozott a mezőgazdasági gépek rezgéseinek kérdéseivel.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A kifejlesztett parcella műtrágyaszóró gép legfontosabb szerkezeti eleme a kúpos-szalagos szétosztó melyet az 1980-as évektől alkalmaznak szélesebb körben főleg parcella vetőgépeken és néhány parcella-műtrágyaszóró gépen. Stumborg et al. [4] véleménye szerint a kúpos-szalagos szétosztó magazinos típusú parcella vetőgépeken egy bevált eszköz.

2.1. A kúpos-szalagos szétosztó

A betöltő tölcserből a szemcsék az etető hengerbe esnek. A parcella elején az etető hengert felemelve a műtrágya szétoszlik az osztókúpon, és egyenletesen elhelyezkedik a kúp és a gumiszalag közötti résen. Az osztókúp talajkerék hajtású sebességváltón át kapja a hajtást úgy, hogy egy parcellahosszon egyszer fordul körbe az osztókúp a hozzá kapcsolódó szalaggal. Az osztókúp kerületének egyik pontján lévő nyíláson át távozik a műtrágya a kiosztóból (1. ábra).



1. ábra: A kúpos-szalagos szétosztó

2.2. A rotációs szétosztó

A vetőmagok és műtrágyák szétosztása két lépésben történik. A szemcsék kijuttató csövek szerinti terítésének az eszköze a rotációs szétosztó (2. ábra). A szemcsék a kúpos-szalagos kiosztóból vezetősövény keresztül egy garatba kerülnek, mely a rotációs szétosztó szimmetria tengelyéhez vezet a műtrágyát. A forgórész lapátrendszere a ráhulló szemcséket kidobja a ház kerülete felé. A kerületen lévő kivezető rések csatlakoznak az elvezető csövekhez. A rotációs szétosztó fejrésze a kivezető résekkel és csövekkel cserélhető, attól függően hány elvezető cső juttatja ki a szemcséket. A forgórész hajtása történhet villanymotorral akkumulátorról, vagy hidromotorral.



2. ábra: A rotációs szétosztó

2.3. A vizsgálatok körülményei

A vizsgálatok a Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum Mezőgazdaságtudományi Kar Agrár-műszaki Tanszékének Oktató-kutató bázisán történtek.

Vizsgálatainkhoz a következő műtrágyákat használtuk fel:

- NPK 15-15-15 (Agrolinz Agrotechnikalien GmbH)
- Linzi só (ammonium nitrate limestone 27 % N, Agrolinz Melanin GmbH)
- Kálisó (0-0-60 %, Tiszamenti Vegyiművek, Szolnok)
- Ammónium nitrát (34 % N, Nitrogénművek Rt. Pétfürdő)

A szétosztási egyenlőtlenség meghatározására egyik legjellemzőbb összefüggés a variációs tényező. [2]

$$CV = \frac{100}{\bar{x}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Ahol:

- x_i – a háromszori mérés során egy mérőhelyen felfogott műtrágyamennyiségek átlaga
- \bar{x} – a háromszori mérés során az összes mérőhelyen felfogott műtrágyamennyiségek átlaga
- n - a mérőhelyek száma

2.4. Az osztókúp szögeltérés vizsgálatának menete

A mérésekhez egy vizsgálópadot állítottunk össze. A berendezés keretszerkezete excenter tárcsán lévő állítókarokkal két síkban mozgatható a vízszinteshez képest, mellyel a kívánt szögeltérés beállítható. A kúpos-szalagos kiosztó szalagjának külső oldalát a kerület mentén 12 részre felosztottuk (egy átlagosan 6 méter hosszú parcellát modellezve 0,5 méterenkénti osztás). A beöntő tölcserbe előre lemért műtrágya mennyiséget töltöttünk, majd az osztókúpot forgatva 12 szer (0,5 méterenként) mintát vettünk a kiadagolt műtrágyából. A négyféle műtrágyával, különböző adagmennyiségek esetén lemértük a kifolyó műtrágya tömegét 0,1 g pontossággal. A beállított szögeltérések: 1°; 2°; 3°; 4°; 5° voltak. Kijuttatott műtrágya mennyiségek: 100 kg/ha; 300 kg/ha. Egy átlagos 7,2 m²-es kisparcella méretet feltételezve a beöntő tölcserbe a következő műtrágya adagokat töltöttünk: 72 g, 216 g.

2.5. A rotációs szétosztó vizsgálatának menete

A rotációs szétosztó optimális fordulatszámának meghatározása az egyenletes kijuttatás miatt szükséges. A vizsgálathoz a rotációs szétosztót mérőpadra szereltük, majd különböző fordulatszámokon járattva a hajtó motort tálcákban összegyűjtöttem a kivezető csövekben kiadagolt

műtrágya mennyiséget. A berendezés fejrésze cserélhető, méréseinkhez 8 kivezető csővel rendelkező fejet választottunk. A mérőtálcákban összegyűjtött műtrágya mennyiséget 0,1 g pontosságú digitális mérlegen lemértük. Beállított fordulatszámok: 250 1/min; 500 1/min; 750 1/min; 1000 1/min; 1250 1/min; 1500 1/min. A szétosztás egyenletességének jellemzésére variációs tényezőket számoltunk a lemért tömegekből.



3. ábra: A rotációs szétosztó vizsgálata

3. EREDMÉNYEK

3.1. A kúpos-szalagos szétosztó munkaminősége műtrágya kijuttatása esetén

A kúpos-szalagos kiosztó tapasztalataink szerint jól használható műtrágyák szétosztására, mert a kúp és a gumiszalag között elhelyezkedő szemcsék nem sérülnek, nem tömítik el a nyílásokat, jól ürülnek ki a szerkezetből. A kúpos-szalagos szétosztó jellemzése:

Előnyök:

- pontos adagmennyiség érhető el,
- jó szórás egyenletesség biztosítható,
- a szemcse alakja, mérete nem befolyásolja a kijuttatás pontosságát,
- relatívan kis mennyiségek is egyenletesen juttathatók ki,
- előre pontosan meghatározott műtrágyamennyiséget lehet a parcellákra összeállítani.

Hátrányok:

- 15 m feletti parcellaméret nehézséget okoz a kijuttatásban,
- a szemcse mennyisége minden parcella esetén előre kimért és előkészített kell hogy legyen,
- a gépnek működés közben vízszintesen kell állnia, amit egy a berendezésre szerelt vízszintmérővel ellenőrizni és beállítani szükséges.

3.2. Az osztókúp függőleges szimmetria tengelyének dőlésének hatása a szétosztás egyenlőtlenségére

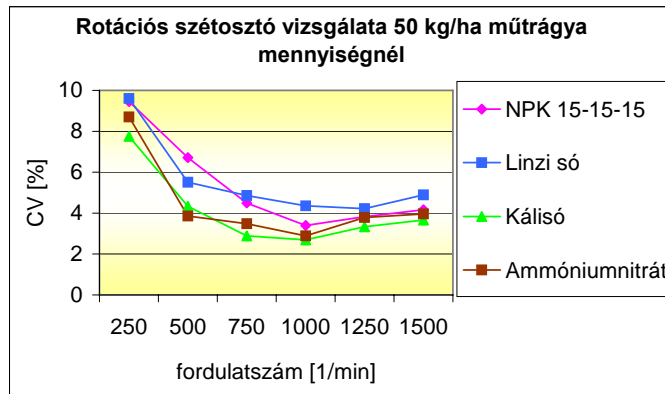
Az osztókúp alaplapjának kismértékű dőlése a vízszinteshez képest jelentősen ronthatja a szétosztás egyenletességét. Különböző műtrágyamennyiségek esetén vizsgáltuk a szétosztási egyenlőtlenségeket, aminek alapján a következő megállapításokat tettük:

- Függőleges osztókúp esetén sem egyenletesen oszlik szét a műtrágya a kijuttató csöveken. Méréseink szerint a szétosztás egyenlőtlensége $CV=2...6\%$. Az okok sokrétűek: véletlenszerű szemcseütközések, rezgések, a granulátum szemcsék alakjának és méretének változatossága stb.

- Vizsgálataink szerint 1 és 2 fokos dőlésű osztókúp esetén még nem tapasztalható lényeges különbség, azonban 3 fokos osztókúp dőlés már kimutatható változást okozott a szétosztás egyenlőtlenségében CV=6..10%.
- A különböző műtrágyák hasonlóképpen reagálnak az osztókúp szimmetria tengelyének dőlésére.
- Kisebb műtrágyamennyiségek esetén általában nagyobb egyenetlenséget észleltünk.
- Kisebb méretű műtrágyaszemcse esetén kisebb egyenetlenséget mértünk.

3.3. A rotációs szétosztó vizsgálatának eredményei

A rotációs szétosztó optimális fordulatszám meghatározásának mérési eredményei a 4. ábrán tanulmányozhatók.



4. ábra: A rotációs szétosztó vizsgálata különböző fordulatszámokon

Elemelve a diagramot a következő megállapítások tehetők:

- A fejlesztő mérnököknek az az általános véleménye, hogy a fordulatszám növelésével a rotációs szétosztó szórás egyenlőtlensége csökken, véleményünk szerint csak korlátozottan helytálló. Méréseink szerint a kiválasztott négy műtrágya esetén 1000 1/min - ig a szórás egyenlőtlensége exponenciálisan csökkent. Alacsony fordulatszám esetén (250 1/min) az egyenlőtlen szétosztás magyarázható azzal, hogy a szétosztóban szakaszosan érkező műtrágya adagokat a forgórész lassú forgása miatt a lapátok nem tudják a kerület mentén körben egyenletesen szétteríteni.
- Műtrágyák szétosztása esetén 1000 1/min felett kis mértékben újra növekedés figyelhető meg a szórás egyenlőtlenségében, amelyet véleményünk szerint a kiegyensúlyozatlan járás okozza.
- A vizsgálatokat 1500 1/min fordulatszámon elvégezve kismértékű szemcsétörést állapítottunk meg NPK 15-15-15 és linzisos műtrágyák esetén. NPK 15-15-15 összetett műtrágyánál csak néhány roncsolódott szemcsét találtunk, de a linzisos műtrágya esetén a szemcsék törése mintegy 10%-os volt. A kálisó és az ammóniumnitrát műtrágyák vizsgálatánál ilyen problémát nem észleltünk.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BETZWAR W.: A method for the evaluation of seed distribution of plot seeders and precision spaced planters. Proceedings of the Eight International Conference on Mechanisation of Field Experiments Soest, Germany. 1992. 68-82.
- [2] CSIZMAZIA Z.: Technical Conditions Of Equalized Fertilizer Applications. Hungarian Agricultural Research, 1993/12. 16-22.
- [3] FLEMING J. J.: Modifications to the Oyjord seed drill. Proceedings of the Sixth International Conference on Mechanisation of Field Experiments Dublin, Ireland. 1984. 63-70.
- [4] STUMBORG M. A. – Mc CRYSTAL G. E. – COWELL M.: Design of a Cassette Air Seeder for Breeder Plots. Proceedings of the Eight International Conference on Mechanisation of Field Experiments Soest, Germany. 1992. 56-61.
- [5] TIBA Zs.: Bestimmung der Bewegungsgleichung von Allgemeiner Antriebskette. Manufacturing Engineering University of Technology in Kosice 1. 2005. 23-26.

HÁLÓZATSZERŰEN MŰKÖDŐ SZERELŐRENDSZEREK TERVEZÉSI ÉS IRÁNYÍTÁSI MÓDSZEREI

Absztrakt: A globalizált szerelőrendszerek tervezése és irányítása a logisztikai integráció hangsúlyossága miatt olyan újszerű optimalizálási feladatokkal bővíthető, amelyek a hálózatszerűen működő szerelőrendszer folyamatainak hatékonyságát javítják. A hatékony hálózatszerű működést biztosító logisztikai feltételek figyelembevételével új felépítésű matematikai modellek és optimalizálási algoritmusok dolgozhatók ki. A módszer egységes alapelveket ad a szerelőrendszerek optimalizált tervezéséhez és hatékony informatikai alkalmazást tesz lehetővé.

BEVEZETÉS

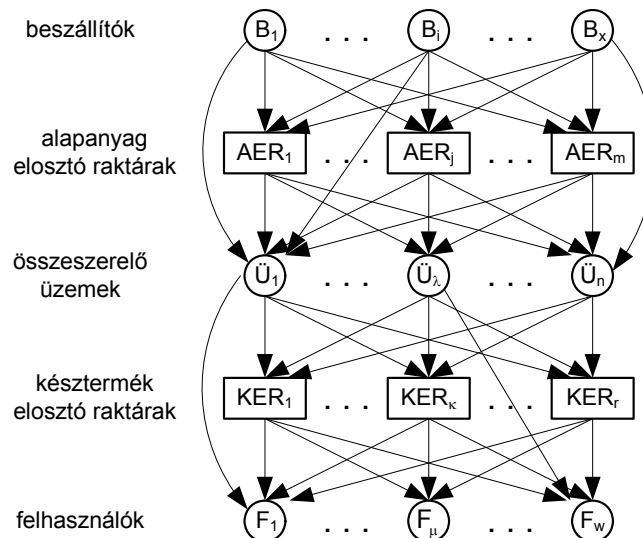
A hálózatszerűen működő logisztikával integrált összeszerelő rendszer alatt azt értjük, amikor a termelés-tervezés a beszerzési és az elosztási logisztikai rendszerrel integráltan kerül megtervezésre, vagyis nemcsak a termelési, hanem a logisztikai erőforrások és tényezők együttes optimumát keressük. A hálózatszerűség azt jelenti, hogy ugyanazt a terméket több, térben különböző helyeken lévő szerelőüzem is elő tudja állítani, a szereléshez szükséges egyes alkatrészeket több, térben különböző elhelyezkedésű beszállítótól lehet beszerezni. A hálózatszerűség továbbá azt is jelenti, hogy az alkatrész beszerzés és a késztermék elosztás lehet közvetlen és közvetett, azaz elosztóraktáron keresztül. A hálózatszerűségénél a logisztikával integrált termelés-tervezés így kitér arra is, hogy a kapacitáskorlátokat és feltételeket figyelembe véve a felhasználói igényeket kielégítve a megfogalmazott célfüggvények szerint keressük az optimális megoldást.

A hálózatszerűen működő összeszerelő rendszernek, mint a logisztikával integrált termelési rendszer matematikai modellezésével és optimalizálásával a nemzetközi szakirodalomban nem találtunk még kezdeti próbálkozást sem. Ugyan ezen rendszerek leírása számos helyen megtalálható, de matematikai modellezésére és optimalizálására legfeljebb csak utalások találhatók. A nemzetközi szakirodalomban mindössze a logisztikával integrált termelés-tervezésre találtunk jelentős eredményeket [5, 11, 12, 13]. Ezekből megállapítható, hogy a használatos célfüggvények és feltételek összhangban vannak az általunk is használatosakkal. Ugyanakkor az általunk felvázolt rendszerben a célfüggvényeket és feltételeket más formában lehet leírni, ebből következik, hogy az optimalizálásra is csak az ezekben felvázolt elveket lehetett használni. Mindezek tették azt szükségessé, hogy ezen logisztikai modellek megoldásának a Miskolci Egyetem Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszékén ezen területen elért jelentős eredményekre támaszkodjunk [1, 3, 5].

Az elmúlt években gyökeres változások mentek végbe a vállalatok környezetében: a piacok fokozatos telítődése, az egyre több versenytárs megjelenése egyre élesebb piaci versenyhez vezetett. További fontos változás volt a beszerzési és értékesítési piacok valamint a termelés globalizálódása. A vállalatok versenyképességük megőrzése és növelése érdekében a készletek és átfutási idők csökkentésére törekcsenek a vásárlói igények maximális kielégítése mellett. A termelés-tervezésnél messzemenően figyelembe kell venni, hogy az egy telephelyes termelési formák hálózatszerűen működő termelési rendszerekké (1. ábra) alakultak, ill. alakulnak át. A felvázolt modellben adottnak tekintjük az egyes felhasználók egyes késztermékekből megrendelt mennyiségét egy adott időszakban.

E bonyolult, nagyméretű, hálózatszerű logisztikai rendszer optimális működtetése, teljesen újszerű elméleti megalapozást igényelt a tervezési és irányítási módszereknél. A megoldandó feladat egy

logisztikával integrált szerelésütemezési feladat, amelybe beletartozik a késztermékek elosztása, készletezése és az alkatrészek készletezése is. Ezek megoldásánál különböző célfüggvényeket és feltételeket kell, illetve lehet figyelembe venni. Vagyis valójában a feladat egy a hagyományoshoz képest sokkal bonyolultabb szerelésprogramozási feladat, a költségfüggvény alkalmazásával a több célfüggvény egy célfüggvénnyé redukálódik. Az optimalizálás során a költségfüggvényt választottuk célfüggvényként. A vázolt, hálózatszerűen működő logisztikai rendszer költségfüggvényében szereplő nagyszámú optimalizálendő paraméter és a rendszer nagy méretei miatt az optimalizálást egy egymáshoz hierarchikusan kapcsolódó visszacsatolós, többlépcsős heurisztikus módszerrel oldjuk meg.

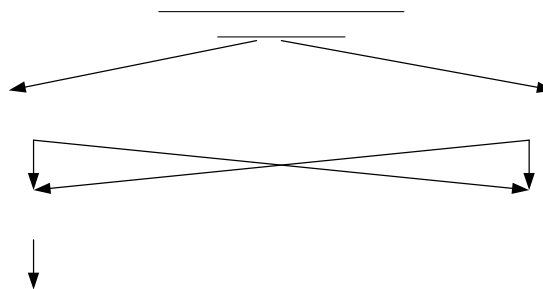


1. ábra. Hálózatszerűen működő összeszerelő rendszer

A rendszer a következő egységekből épül fel: központi szerepet töltenek be a szerelőüzemek (\ddot{U}_j), amelyeket megelőznek az alkatrész elosztó raktárak (AER_j), illetve amelyeket a készáru elosztóraktárak (KER_k) követnek. Az alkatrészeink beszállítása a fent említett szerelőüzemekbe történhet: közvetett módon, azaz elosztóraktárakon keresztül, illetve közvetlen beszállítással a beszállítók (B_i) által az elosztóraktárak elkerülése esetén. A késztermékeket hasonló módon lehet kiszállítani a felhasználókhöz (F_μ), azaz közvetlenül a szerelőüzemekből, illetve közvetett módon a készáru elosztóraktáron keresztül.

AZ ELOSZTÁSI RENDSZER FELÉPÍTÉSE

Felhasználók-szerelőüzemek hozzárendelése



2. ábra. A felhasználói igények szerelőüzemekhez történő rendelésének struktúrája

Ahogy az a következő struktúrából is látszik első lépésben két főcsoportot különböztetünk meg, azaz két esetet vizsgálunk, amikor determinisztikusan, illetve amikor sztochasztikusan jelentkeznek az egyes felhasználói igények. Determinisztikusan, vagyis a késztermékgigény előre meghatározott, meghatározható vagy kiszámítható, illetve sztochasztikusan, vagyis véletlen hatások is szerepet játszanak, így a késztermékgigény csak eloszlásfüggvényekkel adható meg.

Kezdeti vizsgálódásaink során csak az $A \rightarrow a$ ággal foglalkozunk, azaz minden esetben csak a szerelési és a szállítási költségek összege alapján határoztuk meg a felhasználók determinisztikus késztermékgigényeinek szerelőüzemekhez történő hozzárendelését, majd az $A \rightarrow b$ ágra térünk rá. Végül a sztochasztikusan jelentkező felhasználói igényekkel foglalkozunk.

Elosztási változatok



3. ábra. A késztermék elosztási változatok struktúrája

A 3. ábra az elosztási változatokat mutatja a modellstruktúrában. Különböző kiszállítási módok jelennek meg: közvetlen, illetve közvetett kiszállítás.

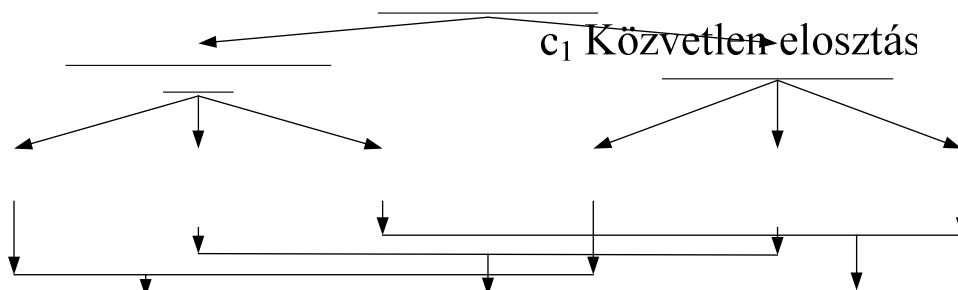
Közvetlen elosztás



4. ábra. Közvetlen elosztás struktúrája

Közvetlen kiszállítás alatt azt az esetet értjük, amikor a szerelőüzem az adott készterméket elosztóraktár, közbeiktatása nélkül a felhasználóhoz szállítja.

Közvetett elosztás



5. ábra. Közvetett elosztás struktúrája

C) Elosztás

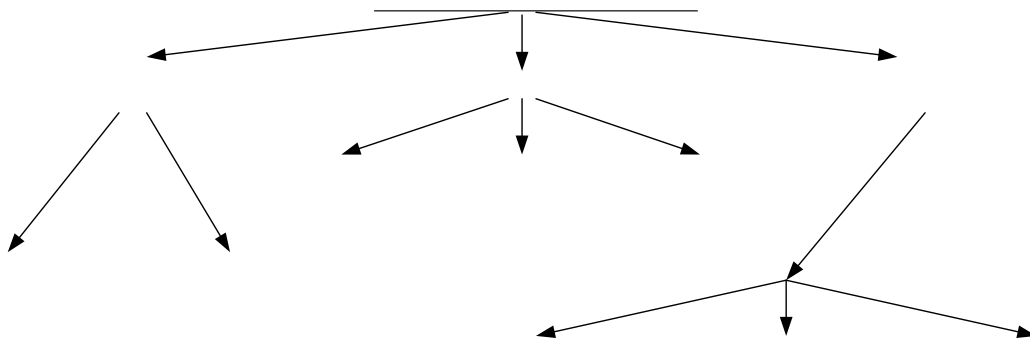
Közvetett kiszállítás alatt értjük azt az elosztási változatot, amely során a szerelőüzem elosztóraktár közbeiktatásával szállítja a rendelt készterméket a felhasználó raktárába.

Első vizsgálataink közvetlen kiszállításra vonatkoznak, azaz a szerelőüzemek direkt módon juttatták a késztermékeket a felhasználókhoz. Majd a későbbi vizsgálataink során elemezzük a közvetett kiszállítás lehetőségét is, azzal az egyszerűsítéssel, hogy csak egyetlen késztermék-elosztóraktárt veszünk bele a rendszerbe.

Elosztási logisztika járat típusai

Az elosztási járatváltozatok struktúráját mutatja a 6. ábra. A rendszer optimális működtetéséhez az alábbi járat típusok alkalmazásának feltárására van szükség. Mind a közvetlen, mind a közvetett kiszállítás esetében megjelenik a szőlójárat és a körjárat fogalma.

A D2 a D3 szinguláris esete, amikor minden egyes szerelőüzem-felhasználó hozzárendelésben a késztermékek szállításából nem adódnak szőlójáratok még inhomogén esetben sem, ugyanis a relációnkénti összmenyiség egyik esetben sem haladja meg az adott jármű kapacitáskorlátját.



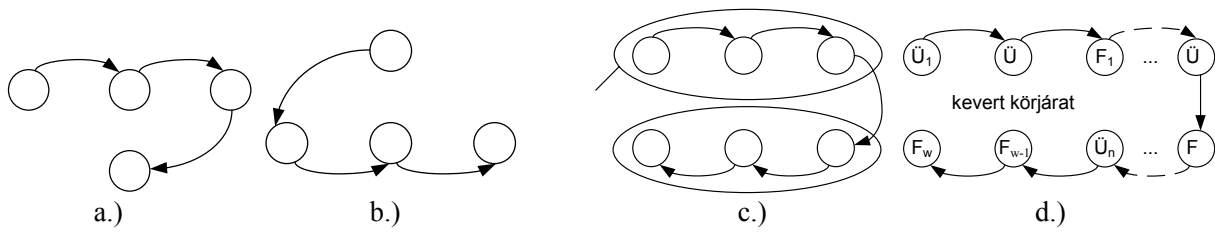
6. ábra. Az elosztási logisztika járat típusainak struktúrája

Szőlójárat (vonaljárat, vagy ingajárat)

Szőlójárat mind közvetlen, mind közvetett beszállítás esetén alkalmazható. Mindkét esetben további struktúraágot képezhet az, hogy késztermékenként (minden késztermékfajtát külön-külön szállít az adott szerelőüzem az adott felhasználóhoz – homogén eset) vagy az adott termékeket összevonva (összevonásra kerülnek az egy szerelőüzemtől egy felhasználóhoz kiszállításra kerülő különböző késztermékfajták – inhomogén eset) kívánjuk a szőlójáratot működtetni.

Körjárat

Körjárat alkalmazása esetén megkülönböztetünk gyűjtőjáratot, elosztójáratot, illetve szerelőüzemek közötti gyűjtőjáratot követő felhasználók közötti elosztójáratot, valamint kevert körjáratot. Ha egy szerelőüzemből kilépő járat keresi fel a felhasználók raktárait az optimális sorrendben, akkor elosztójáratról beszélünk (7/b. ábra). Ha egy felhasználóhoz egy járatral történik az összes szerelőüzemtől az adott késztermékek szállítása, akkor gyűjtőjáratról beszélünk (7/a. ábra). Ahhoz természetesen, hogy elosztójáratot tudjunk kialakítani több felhasználó, a gyűjtőjárathoz pedig több szerelőüzem jelenléte szükséges.



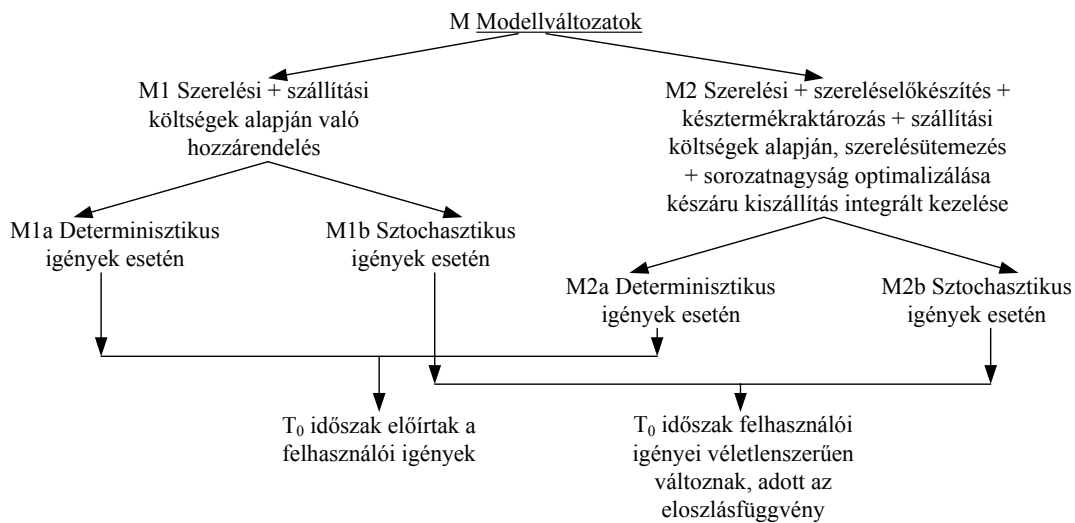
7. ábra. Körjárat típusok ismertetése

A gyűjtő- és elosztójárat egymásra épülése (7/c. ábra) alatt azt értjük, amikor a szerelőüzemek illetve a felhasználók között külön-külön egy-egy gyűjtő, illetve elosztójáratot alkalmazunk. Feltétel:

- nem ékelődik felhasználó a szerelőüzemek közé;
- illetve nem ékelődik szerelőüzem a felhasználók közé.

Ha a fenti feltételek nem teljesülnek, akkor kevert körjáratról beszélünk (7/d. ábra). A struktúrában látható három változat vizsgálatát tűztük ki célul mind közvetlen, mind közvetett kiszállítás esetén a dolgozat keretein belül. Mindkét esetben ingajáratok elemzésre került sor, először késztermékeként, majd összevonva, valamint a körjáratok alkalmazásainak pozitív és negatív hatásait vizsgálva.

Modellváltozatok



8. ábra. Modellváltozatok struktúrája

A modellváltozatoknál az M_{1b} , az M_{2a} , illetve az M_{2b} teljesen azonos, mint az M_{1a} -nál részleteztettek, ezért ezek megismétlése szükségtelen, de az M_{2a} és az M_{2b} esetekben bővül a megoldandó feladat a hozzárendeléseken kívül a szállítás ütemezésével is. A sztochasztikus igények esetén a modell elviekben csak annyiban bővül, hogy a felhasználói igényeket előzetesen az eloszlásfüggvényből elő kell állítani, és azt követheti a determinisztikus modellnél használatosak.

A modell teljes költségfüggvénye

A célfüggvények segítségével lehet a kitűzött feladat megoldásának optimális változatát előállítani. Különböző célfüggvényeket lehet, illetve kell figyelembe vennünk vizsgálataink során. Lehet csak egy, vagy akár több célfüggvényt is vizsgálni egyszerre, illetve a célfüggvények bármelyike feltétellé,

valamint korláttá is alakítható. A korábban felvázolt modellben célfüggvényként költségfüggvényt alkalmazunk, amelynek teljes alakja a következőképpen néz ki:

$$K = K^V + K^{SZ} + K^R + K^M + K^A + K^W + K^D \rightarrow \min. \quad (1)$$

ami az alkatrész vásárlási költség (K^V), a szállítási költség (K^{SZ}), a raktározási költség (K^R), a szerelési költség (K^M), a szerelősorok átállítási költség (K^A), a sorok állásából származó veszteségi költség (K^W), valamint a késztermék elosztási költség (K^D) összegeként adódik.

Kezdeti vizsgálódásaink során az (1) teljes költségfüggvényt leegyszerűsítjük és csak az elosztási- és a szerelési költségeket vesszük figyelembe egy meghatározott időszak késztermék igényeinek üzemek közötti optimális elosztásának kielégítése során. Ugyanis az első modulok nem foglalkoznak a szerelés és a kiszállítás ütemezésével, ezért nem vehetőek számításba az átállítási költségek, az alkatrész és késztermék tárolási költségei, illetve a számításba vett költségek is globálisak, egyszerűsítettek. A fent említett költségkomponenseket nem kell bevonni az optimalizálásba, mert a hozzárendelés ezen léptékénél nem ismeretesek, de a későbbi modulokban majd figyelembe vesszük és a visszacsatolás elvén hatása is megjelenik.

A hozzárendelés egyszerűsített célfüggvénye a k -edik termékénél közvetlen kiszállítás esetén

$$K_k^1 = K_k^D + K_k^M \rightarrow \min. \quad (2)$$

ahol K_k^D az elosztási költség, K_k^M a szerelési költség.

A feladat során adottnak tekintjük a Q mátrix, amely megadja a μ -edik felhasználó által a k -edik késztermékből megrendelt mennyiséget. Keressük az Y mátrixot, amely azt mutatja meg, hogy

— a k -edik terméket a μ -edik felhasználó melyik szerelőüzemből (λ) kapja (**a** eset), tehát $y_{\mu\lambda k}$ csak 0

$$\text{vagy 1 értéket vehet fel a következő feltétellel: } \sum_{\lambda=1}^n y_{\mu\lambda k} = 1, \quad (3)$$

— vagy a k -edik készterméket a μ -edik felhasználó milyen arányban kapja a λ -edik szerelőüzemből

$$\text{(b eset) az alábbi feltételekkel: } 0 \leq y_{\mu\lambda k} \leq 1 \text{ és } \sum_{\lambda=1}^n y_{\mu\lambda k} = 1. \quad (4)$$

Az előbbi esetben egy felhasználó csak egy, az utóbbinál több szerelőüzemből is kaphatja a k -edik terméket.

A közvetlen elosztás szállítási költségfüggvénye a k -edik termékénél

$$K_k^D = \sum_{\lambda=1}^n \sum_{\mu=1}^w k_k^{SZ} Q_{k\mu} y_{\mu\lambda k} s_{\mu\lambda} \quad (5)$$

k_k^{SZ} a k -edik termék fajlagos szállítási költsége, $s_{\mu\lambda}$ a szállítási úthossz a μ -edik felhasználó és a λ -edik szerelőüzem között.

A közvetlen elosztás szerelési költségfüggvénye a k -edik készterméknél

$$K_k^M = \sum_{\lambda=1}^n \sum_{\mu=1}^w Q_{k\mu} y_{\mu\lambda k} k_{k\lambda}^M, \quad (6)$$

ahol $k_{k\lambda}^M$ a fajlagos szerelési költség a k -edik termék esetén a λ -edik üzemben.

Közvetlen elosztás hozzárendelésének egyszerűsített célfüggvénye a k-adik terméknel

A számításba vett egyszerűsített költségfüggvények alapján a (2) célfüggvény a következő formában írható fel [6]:

$$K_k^1 = \sum_{\lambda=1}^n \sum_{\mu=1}^w Q_{k\mu} y_{\mu\lambda k} (k_k^{SZ} s_{\mu\lambda} + k_{k\lambda}^M) \rightarrow \min. \quad (7)$$

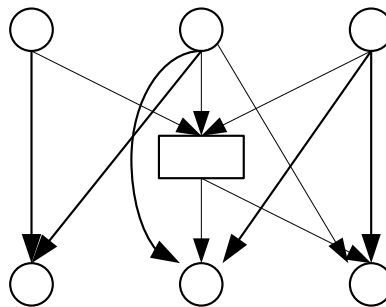
ami egy tiszta lineáris programozási (LP) feladat $n \cdot w$ mennyiségű változóval ($y_{\mu\lambda k}$) és $n+w+n \cdot w$

$$\text{darab feltétellel: } \sum_{\lambda=1}^n y_{\mu\lambda k} = 1, \sum_{\mu=1}^w Q_{k\mu} y_{\mu\lambda k} \leq c_{k\lambda}^F \text{ és } 0 \leq y_{\mu\lambda k} \leq 1. \quad (8)$$

A teljes modell összesen $n \cdot w \cdot p$ változót tartalmaz, továbbá a feltételek száma: $p \cdot (n+w+n \cdot w)$, így a feladat átlagos lépésszáma: 2^{npw} . Ebből az következik, hogy aránylag kevés szerelőüzem és felhasználó mellett is, ha a megrendelési tételek száma nagy, a feladat mérete exponenciálisan növekszik. A több ezer változóval és feltétellel rendelkező LP feladat egzakt módon a következő módszerek segítségével oldható meg: módosított szimplex módszer, inverz szorzatalakja, oszlopgenerálás technikája, Karmarkar módszere, stb. A probléma megoldására ma már számítógépek állnak rendelkezésre, melyek segítségével a feladatot nagyságrendekkel gyorsabban, és pontosabban oldhatjuk meg, mint hagyományos eszközökkel, bár még így is bizonyos feladatok megoldásai éveket vehetnek igénybe, ezért a szerzők két heurisztikus algoritmust (A és B algoritmus) dolgoztak ki a probléma megoldására a feladat nagy méretei és hatalmas számítási igénye miatt [7].

SZERELŐÜZEMEK ÉS FELHASZNÁLÓK OPTIMÁLIS HOZZÁRENDELÉSE ELOSZTÓRAKTÁRAK FIGYELEMBEVÉTELÉN

A következő lépésben megvizsgáljuk, hogy az egy elosztóraktáros modellnél az egyszerűsített költségfüggvény (vásárlási és szállítási költség) hogyan módosul a közvetlen beszállításhoz képest. Azt követően vizsgáljuk meg, hogy milyen feltételek mellett válik a közvetett beszállítás szükségesszerűvé, illetve előnyössé.



9. ábra. Egy elosztóraktáros modell

Elosztóraktár (közvetett szállítás) esetén a következőképpen alakulnak a költségek:

$$K = K^{VE} + K^{RE} + K^{DE} \rightarrow \min. \quad (9)$$

ahol K^{VE} a vásárlási költség, K^{RE} a raktározási költség és K^{DE} az elosztási költség.

A hozzárendelés célfüggvénye a k-adik terméknel közvetett beszállítás esetén

$$K_k^E = K_k^{VE} + K_k^{DE} \rightarrow \min. \quad (10)$$

A raktározási költséget azért nem kell figyelembe venni, mert az elosztóraktár azt beépíti a vásárlási költségébe. Az elosztóraktárnál a (7) költségfüggvény a következőképpen alakul (vagyis formailag hasonló összefüggés adódik, mint közvetlen beszállítás esetén):

$$K_k^E = K_k^{VE} + K_k^{DE} = \sum_{\mu=1}^w Q_{k\mu} y_{\mu\lambda k} (k_k^{SZ} s_{\mu}^E + k_k^{VE}) \quad (11)$$

Az elosztóraktárból való kiszállítás és a fajlagos vásárlási költség

Az elosztóraktárból való fajlagos vásárlási költség egy adott k terméknel

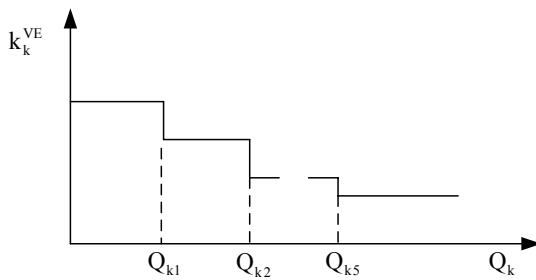
- függ a szerelőüzemeknek a maximális szerelőkapacitással súlyozott értékétől

$$\bar{k}_k^M = \sum_{\lambda=1}^n \frac{C_{k\lambda}}{C_{k0}} k_{k\lambda}^M, \text{ ahol } C_{k0} = \sum_{\lambda=1}^n C_{k\lambda}. \quad (12)$$

- illetve a megrendelt mennyiségtől és a megrendelési beérkezések időpontjától

$$k_k^{VE} = \delta_k \{Q_k\} \alpha_k \{t_k^{RE} - t_k^{RF}\} \bar{k}_k^M. \quad (13)$$

A $\delta\{Q_k\}$ függvény:



$$\begin{aligned} \text{ahol } \delta_{k1} &= 1,3 & 0 < Q_k \leq Q_{k1} \\ \delta_{k2} &= 1,2 & Q_{k1} < Q_k \leq Q_{k2} \\ &\vdots & \vdots \\ \delta_{k6} &= 0,8 & Q_{k5} < Q_k \end{aligned}$$

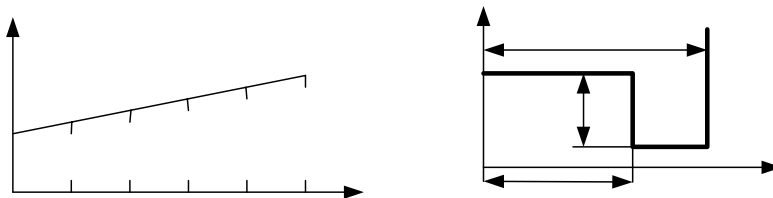
10. ábra. fajlagos vásárlási költség

t_k^{RF} a k -adik terméknel a rendelési idő: $t_k^{RF} = t_0 \Delta_k$, azaz az elosztóraktárba való rendelésbeérkezést követően az igényt ekkor kell kielégíteni, illetve t_k^{RE} az elosztóraktárnál a k -adik termék megrendelési ideje. Ha

- $t_k^{RF} \geq t_k^{RE}$, akkor $\alpha_k = 1$, nincs késve rendelési felár;
- $t_k^{RF} < t_k^{RE}$, akkor α_k értékét a 11. ábrán látható módon határozzuk meg.

Megjegyzés:

- $t_k^{RF} \geq t_k^{RE}$ -nél azért $\alpha_k = 1$, mert az elosztóraktár optimális módon képes beszerezni a szerelőüzemektől a terméket;
- $t_k^{RF} < t_k^{RE}$ -nél $t_k^{RE} - t_k^{RF}$ időtartamig az elosztóraktárban kell tárolni Q_k terméket.



11. ábra. Az α_k érték meghatározása, illetve a $t_k^{RF} < t_k^{RE}$ esete

ELOSZTÓJÁRATOK

Késztermékek elosztása

Megoldási filozófia

- adott az üzemek-felhasználók induló hozzárendelése (közvetlen kiszállítás) vonaljáratokkal;
- elosztójáratok alkalmazása során meghatározásra kerül a szállítási költség;
- vizsgálni kell, hogy az elosztójáratok egyes változataival
 - milyen mértékben csökkennek a szállítási költségek;
 - a hozzárendelés módosításával lehet-e további összköltséget csökkenteni.

A 7/b. ábra szerinti tiszta elosztójáratokat tételezünk fel, ami azt jelenti, hogy nem ékelődik közbe körjáratoknál szerelőüzem. Változó az Y hozzárendelési mátrix. D_κ a járatkapacitás, ami azt mutatja meg, hogy hány darab egységakomány fér el a κ -adik járműtípuson. $q_{\lambda\mu}^k = Q_\mu^k y_{\lambda\mu}^k$ az anyagáram-intenzitás mátrix, ennyit kell a k -adik termékből a λ -adik üzemnek a μ -edik felhasználóhoz szállítani. Járatszám mátrix:

$$r_{\lambda\mu}^{\kappa k} = \frac{1}{D_\kappa} (\text{Entier}(\frac{q_{\lambda\mu}^k}{e_k}) + 1), \quad (14)$$

ahol e_k az egységakomány-vektor, ami azt mutatja meg, hogy a k -adik termékből hány darab fér el az ER-ban. A λ -adik üzemből kiinduló ingajárat (továbbiakban szólójárat) a k -adik terméknél a μ -edik felhasználóhoz a κ -adik járműtípus esetén, vagyis a 100%-os kihasználtságú „egész” járatok száma, amelyek csak a k -adik terméket szállítják (homogén járatok):

$$r_{\lambda\mu}^{\kappa k} = \text{Entier}(r_{\lambda\mu}^{\kappa k}). \quad (15)$$

A λ -adik üzemből kiinduló „maradék” termékek összessége a μ -edik felhasználóhoz a κ -adik járműtípus esetén:

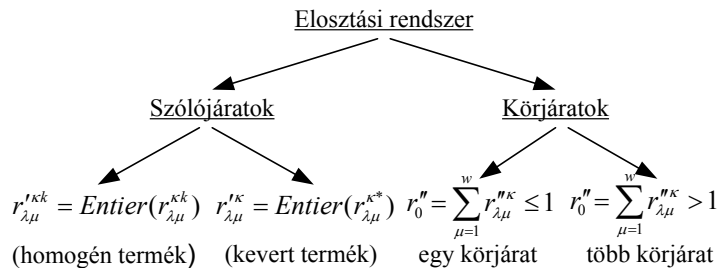
$$r_{\lambda\mu}^{\kappa*} = \sum_{k=1}^g (r_{\lambda\mu}^{\kappa k} - \text{Entier}(r_{\lambda\mu}^{\kappa k})). \quad (16)$$

A továbbiakban csak a törtrakományok járatba szervezését kell megoldani. Ebben az esetben is még további két változat lehetséges:

— (16)-ból szólójárat: $r_{\lambda\mu}^{\kappa*} = \text{Entier}(r_{\lambda\mu}^{\kappa*}), \quad (17)$

amely többfajta terméket szállít (kevert termékek);

— illetve törtjárat: $r_{\lambda\mu}^{\kappa\kappa} = r_{\lambda\mu}^{\kappa*} - r_{\lambda\mu}^{\kappa*}. \quad (18)$



12. ábra. Az elosztási rendszer csoportosítása

A λ -edik üzemből a vizsgált időszak alatt összesen kimenő szólójárat a μ -edik felhasználóhoz a κ -edik járműtípus esetén:

$$r_{\lambda\mu}^{\kappa 0} = \sum_{k=1}^g r_{\lambda\mu}^{\kappa k} + r_{\lambda\mu}^{\kappa} \quad (19)$$

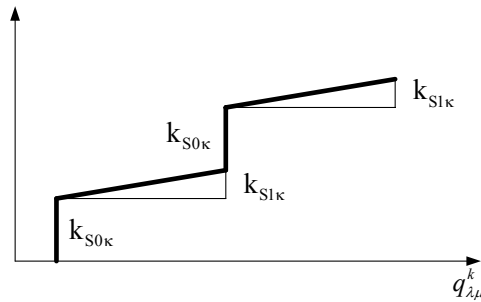
Szállítási költségfüggvény pontosítása

Az elosztójáratok megoldásának lépései során csak a felhasználók szerveződnek törtjáratoknál körjáratba. A korábbi modell szerint optimalizált hozzárendelés esetére megvizsgáljuk az új modell szerinti teljes költséget (A két modell különbsége a jármű-kihasználtsági tényező figyelembevételéből, illetve a körjárat típusok alkalmazásából adódik a szállítási költségek tekintetében). Összehasonlítjuk a két változat költségeit és megvizsgáljuk a hozzárendelés korrigálásának lehetőségeit.

A λ -edik szerelőüzemből a μ -edik felhasználóhoz egy darab szólójárat költsége a κ -edik járműtípus esetén:

$$K_{S\lambda\mu}^{\kappa B} = (k_{S0\kappa} + \varphi_{\lambda\mu}^{\kappa} k_{S1\kappa}) s_{\lambda\mu}, \quad (20)$$

ahol $k_{S0\kappa}$ az üres jármű fajlagos szállítási költsége a κ -edik típus járműnél, $\varphi_{\lambda\mu}^{\kappa}$ a járatkihasználási tényező, $k_{S1\kappa}$ pedig a jármű terhelésétől függő fajlagos szállítási költség. A $k_{S0\kappa} / k_{S1\kappa}$ viszony egy adott járműtípusra legyen 2.

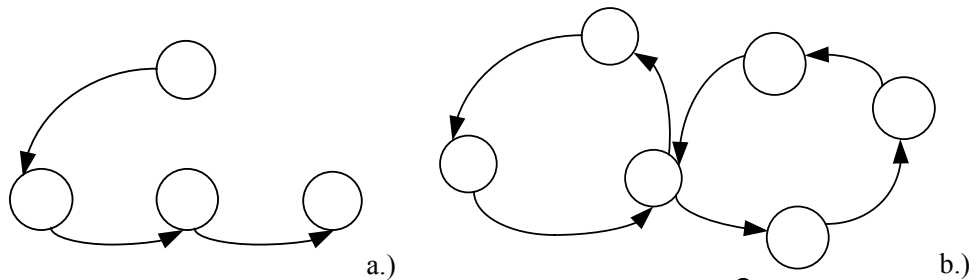


13. ábra. Fajlagos szállítási költség változása a szállítandó mennyiség függvényében

A λ -edik üzemből kiinduló járatok költsége a κ -edik járműtípus esetén, ha a törtrakomány egy körjáratba befér:

$$K_{S\lambda}^{\kappa B} = \sum_{\mu=1}^w (k_{S0\kappa} + k_{S1\kappa}) r_{\lambda\mu}^{\kappa 0} s_{\lambda\mu} + (k_{S0\kappa} \sum_{\mu \in \Omega_{\lambda}} s_{\lambda\mu} + k_{S1\kappa} \sum_{\mu \in \Omega_{\lambda}} \varphi_{\lambda\mu}^{\kappa} s_{\lambda\mu}), \quad (21)$$

ahol az első tag az összes szólójárat költsége a λ -edik üzemből a felhasználókhöz a κ -edik járműtípus esetén. A második tag egy körjárat szállítási költsége a λ -edik üzemből az összes felhasználóhoz a κ -edik járműtípus esetén (14/a. ábra). $\mu \in \Omega_{\lambda}$ azon felhasználók halmaza, amelyek részei a λ -edik üzemből kiinduló körjáratnak.



14. ábra. Egy- vagy több körjáratos modell

A λ -adik üzemből kiinduló járatok költsége több körjárat esetén (14/b. ábra):

$$K_{S\lambda}^{\kappa B} = \sum_{\mu=1}^w (k_{S0\kappa} + k_{S1\kappa}) r_{\lambda\mu}^{\kappa 0} S_{\lambda\mu} + k_{S0\kappa} \sum_{\varepsilon=1}^{p_\lambda} \sum_{\mu_\varepsilon \in \Omega_{\lambda\varepsilon}} S_{\lambda\mu_\varepsilon} + k_{S1\kappa} \sum_{\varepsilon=1}^{p_\lambda} \sum_{\mu_\varepsilon \in \Omega_{\lambda\varepsilon}} \varphi_{\lambda\mu_\varepsilon}^{\kappa} S_{\lambda\mu_\varepsilon} \quad (22)$$

ahol p_λ a λ -adik üzem esetén a körjárat szám, $\mu_\varepsilon \in \Omega_{\lambda\varepsilon}$ azon felhasználók halmazát foglalja magába, amelyek az ε -adik körjáratba tartoznak.

Elosztó körjáratok tervezése

Az elosztójáratok tervezésénél a járatkihasználásával arányos minimális szállítási költség használható fel célfüggvényként. A feladat megoldása szétválasztódik egy- illetve több járatra visszavezethető esetekre.

$$\text{— egy járatral megoldható feladat: } r_0'' = \sum_{\mu=1}^w r_{\lambda\mu}'' \leq 1; \quad (23)$$

$$\text{— több járatral oldható meg a feladat, ha } r_0'' = \sum_{\mu=1}^w r_{\lambda\mu}'' > 1. \quad (24)$$

Egy elosztó körjáratos rendszer tervezése

A célfüggvény a következő formában írható fel:

$$K_{S\lambda}^{\kappa B} = k_{S0\kappa} \sum_{j=0}^n \sum_{i=0}^n S_{ij} x_{ij} + k_{S1\kappa} \sum_{j=0}^n \sum_{i=0}^n \varphi_{ij}^{\kappa} S_{ij} x_{ij} \rightarrow \min., \quad (25)$$

ahol n a körjáratban résztvevő felhasználók száma, x_{ij} pedig azt mutatja meg, hogy az i - j viszonylat része-e a körútnak, vagy sem (0 vagy 1 értéket vehet fel).

A feladat egy körutazási feladat, ahol $K_{S\lambda}^{\kappa B}$ a körút szállítási költségét jelenti a κ -adik járműtípus esetén. Feltételként adódik, hogy $\sum_{i=0}^n x_{ij} = I$, és $\sum_{j=0}^n x_{ij} = I$. (26)

A (26) feltételek azt fejezik ki, hogy minden állomásra (beleértve a szerelőüzemet is) egy járatnak csak egyszer lehet belépnie, illetve csak egyszer lehet kilépnie. További feltétel, hogy $S_k = \{S_{01}; S_{12}; S_{23}; \dots; S_{(k-1)k}; S_{k(k+1)}; \dots; S_{(n-1)n}; S_{n0}\}$, vagyis a körjárat elemeinek egy láncolatot kell alkotniuk.

A (25) célfüggvény (26) feltételek közötti optimalizálása, vagyis a körút járatkihasználással arányos szállítási költségének minimalizálása egy klasszikus körutazási feladat, amely többféle módszerrel oldható meg. A szerzők a költséggel súlyozott útmátrix ($s_{ij}^* = k_{S0\kappa} S_{ij} + k_{S1\kappa} \varphi_{\lambda\mu}^{\kappa} S_{ij}$) oszlopösszegzésén alapuló heurisztikus módszert alkalmazták, amellyel bizonyíthatóan mindig optimum közeli megoldás adódik. Az oszlopösszegnek megfelelő sorrendet teszünk az állomások között. Válasszuk a sorrendnek megfelelően az első hármát, vagyis azt a legkevesebb állomásszámot, amelyből már körjárat képezhető. Vesszük a sorrendben következő állomást, és azon két állomás közé tesszük, amelynél a körút költsége minimálisan növekszi. Addig folytatjuk az állomások bevonását, míg azok el nem fogynak. Nagyszámú szimulációs vizsgálat azt mutatja, hogy az optimumhoz nagyon jól közelíthető megoldást az oszlopösszegek csökkenő sorrendje adja.

A feladat megoldásának algoritmusát itt található meg [2]. Ezen algoritmus felhasználásával végeztük el a számításokat, amelyhez a következő megjegyzést kell tenni. Ha az oszlopösszeg több állomásonál azonos, vagy az állomások beillesztése során a minimális költségnövekedés több esetben azonos:

- tetszőlegesen választjuk ki a megfelelőt;
- vagy valamennyi változatra külön-külön végig vezetjük az algoritmust.

Az első eset rövidebb számítási időt igényel, mint a második, ugyanakkor lehet, hogy az utóbbi jobb megoldást ad. Ha az állomások első próbálkozásánál a költségnövekedés $\Delta K_s = 0$, akkor a rövidített algoritmusnál nem kell a további változatot vizsgálni.

Több elosztójáratos rendszer tervezése

Több elosztójárat alkalmazása akkor válik szükségessé, ha a λ -adik szerelőüzemből kilépő körjáratba szervezhető törtrakományok összege nagyobb, mint egy, vagyis a kitűzött szállítási feladatot csak több járatral lehet megoldani. Ekkor tiszta (ingajárat nélküli) elosztójárat tervezés esete jelenik meg. A tiszta, több körjáratos tervezés optimalizálására egy heurisztikus algoritmus adható meg [2], melynek lényege, hogy az első üzemből kiindulva más-más járatokat képezünk úgy, hogy mindig a legközelebbi felhasználót vonjuk be a járatba.

ÖSSZETETT CÉLFÜGGVÉNY

A hálózatszerűen működő logisztikával integrált szerelőrendszer (1. ábra) két részrendszerre bontva került vizsgálatra:

- a beszállítói rendszer, amelyet a beszállítók, az alapanyag elosztóraktárak és az összeszerelő üzemek jelentenek;
- illetve az elosztási rendszer, amelyet a felhasználók, a késztermék elosztóraktárak és az összeszerelő üzemek alkotnak.

E fejezetet is kidolgozó kutatók - mint eddigi munkájuk során is - csak az előzőekben szétbontott feladat második részével foglalkoztak. A dolgozatban kitűzött feladatok pontos megfogalmazása érdekében feltárták az említett részfeladat teljes struktúráját (2. ábra).

Az eddigi kutatómunkánk során, csak determinisztikus modellekkel foglalkoztunk, ezen belül is olyan esettel, amikor a hozzárendelés évi össztermékgigény alapján történt és ebből adódóan csak a szerelési és szállítási költségeket vettük figyelembe. Ezen fejezetben előírt ütemű (determinisztikus) a kiszállítás és ezért bővíteni kell a költségeket, és az optimalizálásnak ki kell terjedni a szerelésütemezésre ill. a sorozatnagyságra. E munka terjedelme a kitűzött feladatnak is csak egy részét teszi lehetővé.

- 1. lépés: Az előző fejezetben az egész évi felhasználói igényre vonatkozó szerelőüzem-felhasználó optimális hozzárendelésből kiindulva meghatározásra kerül a kiszállítás, a szerelés és a sorozatnagyság optimalizálása;
- 2. lépés: A teljes részrendszer költségei termékenként, szerelőüzemenként, költségkomponensenként kiszámításra kerülnek, és ezek elemzéséből következtetések készülnek.

Az előzőek alapján

- általánosságban felírjuk a további költségkomponenseket;
- megadjuk a logisztikával szerelés algoritmusát;
- elvégezzük az 1. és 2. lépésben meghatározott számításokat.

A felhasználók szerelőüzemekhez bővített célfüggvénnyel történő hozzárendelése

Első lépésben egyszerű célfüggvény alapján induló hozzárendelést határozzunk meg, majd ezt követi a második lépés, ami egy logisztikával integrált szerelésütemezés.

$$K_{SE\lambda} + K_{R\lambda} = K_{\lambda 0} \rightarrow \text{Min} \quad (27)$$

ahol $K_{SE\lambda}$ - szereléselőkészületi költség, $K_{R\lambda}$ - raktározási költség, λ - szerelőüzem.

Költségfüggvények

Szereléselőkészítési költség

$$K_{SE\lambda} = \sum_{k=1}^p k_{E\lambda k}^S Z_{\lambda k} \quad (28)$$

ahol $k_{E\lambda k}^S = \left[\frac{\text{EURO}}{\text{sorozat}} \right]$ a k-adik termék egy sorozatának előkészítési költsége a λ -adik üzemben;
 $Z_{\lambda k}$ a ΔT_0 alatt a λ -adik szerelőüzemben elindított sorozatok száma a k-adik késztermékből.

Raktározási költség

$$K_{R\lambda} = \sum_{k=1}^p k_{R\lambda k} \sum_{r=1}^{d^*} A_{\lambda kr} \quad (29)$$

ahol $A_{\lambda kr}$ a készletdiagram területe a λ -adik szerelőüzem k-adik termékénél az r-edik ütemben, ami kétféleképpen számítható vagy háromszög, vagy téglalap területének megfelelően.

$k_{R\lambda k} = \left[\frac{\text{EURO}}{\text{dbó}} \right]$ fajlagos raktározási költség;

d^* ΔT_0 időszak alatti ütemek száma.

A költségfüggvényt két taggal lehet bővíteni, amely az ütemezés során előálló veszteségeket veszi figyelembe.

Szerelősorok állásidejéből származó veszteségi költség

$$K_{W\lambda}^S = k_{W\lambda} \sum_{r=1}^{d^*} \sum_{\delta=1}^{p_\lambda} \tau_{\lambda\delta r} \quad (30)$$

ahol $k_{W\lambda} = \left[\frac{\text{EURO}}{\text{ó}} \right]$ a fajlagos állásidőből származó veszteségi költség.

$\tau_{\lambda\delta r}$ a szerelősor állási ideje (nem folyik szerelés, szereléselőkészítés, karbantartás) λ -adik szerelőüzem, δ -adik szerelősoron az r-edik ütemben.

Késve történő kiszállításból származó veszteségi költség

$$K_{D\lambda}^K = \sum_{\mu=1}^w \sum_{k=1}^p k_{D\lambda\mu k} \sum_{r=1}^{d^*} y_{\lambda\mu kr} \Delta T_{\lambda\mu kr} \quad (31)$$

ahol $k_{D\lambda\mu k} = \left[\frac{\text{EURO}}{\text{dbó}} \right]$ a késve kiszállítás fajlagos veszteségi költsége a λ -adik szerelőüzemben, μ -edik vevőnél, k-adik termékénél;

$y_{\lambda\mu kr}$ a λ -adik szerelőüzemből a μ -edik felhasználóhoz, a k-adik termékből az r-edik ütembe kiszállított termék darabszám;

$\Delta T_{\lambda\mu kr}$ az μ -edik vevőhöz a λ -adik szerelőüzemből az r-edik ütembe késve kiszállított k-adik termék késési ideje.

Kiegészítő célfüggvény, amit még lehet vizsgálni

- ütemenként a működő szerelősorok száma minimális legyen;
- a működő szerelősorok száma minimális ingadozást mutasson.

HOZZÁRENDELÉS SZTOCHASZTIKUS FÜGGVÉNYEK SEGÍTSÉGÉVEL

Eddigi vizsgálódásaink során minden esetben csak a szerelési és a szállítási költségek összege alapján, illetve a több költségfüggvényt magába foglaló célfüggvény segítségével határoztuk meg a felhasználók determinisztikus késztermékigényeinek szerelőüzemekhez történő hozzárendelését. A sztochasztikusan jelentkező felhasználói igényekkel mindezidáig még nem foglalkoztunk.

A szerzők már a korábbi vizsgálódásaik során elvégezték az egyszerű célfüggvény szerinti hozzárendelés optimum korrigálását az összetett célfüggvények segítségével közvetlen kiszállítás és egyszerű ingajáratok esetén. Ezen elemzések alkalmával a kiszállítás azonos időközönként (ütemenként) történt és a kiszállított mennyiségek is állandóak voltak. Most azonban a kiszállítások követési ideje sztochasztikusan változik (exponenciális eloszlás) és a kiszállítandó mennyiségeket is egy sztochasztikus függvénnyel írjuk le (egyenletes eloszlás).

A kiválasztott modell konkretizálása:

- közvetlen beszállítás;
- egyszerű ingajáratok;
- kiszállítások követési ideje sztochasztikusan változik (exponenciális eloszlás);
- kiszállítandó mennyiség sztochasztikus (egyenletes eloszlás).

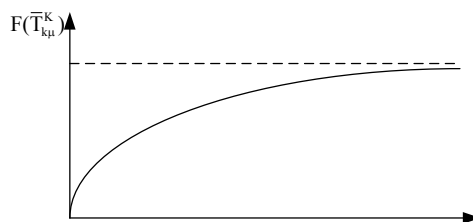
A valószínűségi változót exponenciális eloszlású valószínűségi változónak nevezzük, ha az eloszlás $f(x)$ sűrűségfüggvényére érvényes a következő egyenlet,

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}, \quad x > 0. \quad (32)$$

A λ állandót az eloszlás paraméterének tekintjük. A sűrűségfüggvény és az eloszlásfüggvény kapcsolata alapján az exponenciális eloszlású valószínűségi változó eloszlásfüggvénye:

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x}, \quad x > 0. \quad (33)$$

Az exponenciális eloszlású valószínűségi változó várható értéke az $1/\lambda$ összefüggéssel adható meg.



15. ábra. Az exponenciális eloszlásfüggvény

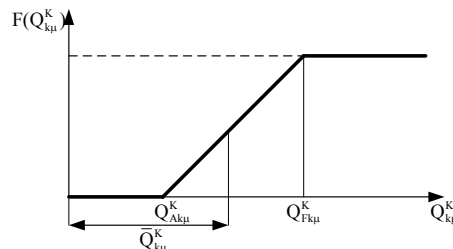
Egy valószínűségi változót az $[Q_{Ak\mu}^K, Q_{Fk\mu}^K]$ intervallumon egyenletes eloszlásúnak nevezzük, ha eloszlásfüggvénye:

$$F(x) = \frac{x - Q_{Ak\mu}^K}{Q_{Fk\mu}^K - Q_{Ak\mu}^K}, \quad \text{ha } Q_{Ak\mu}^K < x \leq Q_{Fk\mu}^K, \quad \text{egyébként } F(x) = 0. \quad (34)$$

Az egyenletes eloszlás sűrűségfüggvénye:

$$f(x) = 1/(Q_{Fk\mu}^K - Q_{Ak\mu}^K), \text{ ha } Q_{Ak\mu}^K < x \leq Q_{Fk\mu}^K, \text{ egyébként } f(x) = 0. \quad (35)$$

Egyenletes eloszlású valószínűségi változó várható értéke a $Q_{Ak\mu}^K + Q_{Fk\mu}^K / 2$ összefüggéssel adható meg.



16. ábra. Egyenletes eloszlás

Adatfelvétel:

- kiszállítások követési ideje (átlagos követési idő egy és hat ütem között változik felhasználónként és termékenként);
- az átlagos kiszállított mennyiség eloszlásfüggvénye.

A felvett várható értékekből a λ paraméter segítségével a kiszállítások követési idejének sűrűségfüggvényei és eloszlásfüggvényei kiszámíthatók.

1

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] CSELÉNYI József: Mathematisches Modell und Algorithmus des Montageprozesses für ein elektronisches Produkt, Magdeburger Schiffen zur Logistik, Magdeburg, 2002, 35–44. o.
- [2] CSELÉNYI József, ILLÉS Béla: Anyagáramlási rendszerek tervezése és irányítása I., Egyetemi Kiadó, Miskolc, 2006.
- [3] CSELÉNYI József, TÓTH Tibor: Mathematical model for optimisation of a product assembly system integrated by logistics and operating in a network like way, Workshop on European Scientific and Industrial Collaboration, Published by Drubbel Institute for Mechatronics, Twente, 2001, 81–92. o.
- [4] JÜNEMANN, R.: Planung- und Betriebsführung-Systeme für die Logistik, Verlag TÜV Rheinland, 1990.
- [5] KOVÁCS György, CSELÉNYI József, KOVÁCS László, BÁLINT Richárd: Conversion possibilities of storage zones of distribution warehouses in case of changing structure and volume of commissioned products. Proceedings of the 7th International Conference MTeM, Cluj-Napoca, 2005, 322–329. o.
- [6] OLÁH Béla, BÁNYAI Tamás, CSELÉNYI József: Sensitivity analysis of optimal assignment of assembly plants and end users within the framework of products in a cooperative assembly system. microCAD 2004 International Scientific Conference Section L: Material Flow Systems, Logistical Informatics, Miskolc, 2004, 97–102. o.
- [7] OLÁH Béla, BÁNYAI Tamás, CSELÉNYI József: Logistics integrated optimisation of cooperative assembly system with distribution warehouse. Proceedings of the Sixth International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering, Ljubljana, 2006, 1513–1522. o.
- [8] OLÁH Béla, BÁNYAI Tamás, CSELÉNYI József: Comparison of direct and indirect distribution of a network-like operating logistics integrated assembly system. Production Systems and Information Engineering, Miskolc, 2006/4, 125–145. o.
- [9] OLÁH Béla, BÁNYAI Tamás, CSELÉNYI József: Logistics integrated planning methods of distributing tours in a cooperative assembly system. Chapter 36 in DAAAM International Scientific Book 2006. Published by DAAAM International, Vienna, 2006, 449–464. o.
- [10] OLÁH Béla, BÁNYAI Tamás, CSELÉNYI József: Logistics integrated planning of distributing tours in a cooperative assembly system considering different round tour types. 4th International Logistics and Supply Chain Management Congress, “The Era of Collaboration Through Supply Chain Networks”, Izmir, 2006, 418–428. o.
- [11] SMILOWITZ, K. R., DAGANZO, C. F.: Cost Modeling and Design Techniques for Integrated Package Distribution Systems, Industrial Engineering and Management Science Working Paper, Northwestern, 2004, 04–006. o.
- [12] SCHÖNENBURG, E., HEINZMANN, F., FEDDERSEN, S.: Genetische Algorithmen und Evolutionsstrategien (Eine Einführung in Theorie und Praxis der simulierten Evolution), Addison-Wesley, 1994.
- [13] SCHÖNSLEBEN, P.: Integriertes Logistik Management, (Planung und Steuerung von umfassenden Geschäftsprozessen.), Springer Verlag Berlin, Heidelberg, 1998.

AUTOMATIKUS MIKROHULLÁMÚ DIELEKTROMÉTER KIFEJLESZTÉSE

BEVEZETÉS

A Pannon Egyetem Műszaki Kémiai Kutató Intézete számára egy automatikus, mikrohullámú, dielektromos állandót mérő berendezést fejlesztettünk ki a következő előírt paraméterekkel:

- Az üzemi frekvencia 2450 MHz;
- Szilárd anyagok és folyékony halmazállapotú, ismeretlen dielektromos állandójú anyagok mérhetőségének biztosítása $\epsilon' = 1-100$ és $\epsilon'' = 0-50$ közötti tartományokban;
- Automatikus rövidzár beállítás a mért értékek függvényében;
- On-line hőmérsékletmérés 0-150 C°-os tartományban;
- On-line számítógépes adatfeldolgozás.

A cikk a fejlesztés célját, a fejlesztés fázisait és a mérési eredményeket közli.

A FEJLESZTÉS CÉLJA

A mikrohullámú energiaközlési technika fizikai, biológiai, kémiai alkalmazásai látványos eredményeket hoztak a 70-es évek elejétől. A nagyfrekvenciás elektromágneses tér-kondenzált fázisú anyag kölcsönhatása dielektromos hőkéltés formájában nyilvánul meg: a veszteséges anyagi rendszer a nagyfrekvenciájú elektromágneses térben felmelegszik.

A kémiai reakciók mellett számos fizikai (pl. szárítás, extrakció, deszorpció) és biológiai (pl. sterilizálás, mikroorganizmusok elpusztítása) változás is hasonló eredményre vezetett: a mikrohullámú energiaközlés jelentősen felgyorsította a folyamatokat.

Szakmai-baráti beszélgetések során többször felvetődik olyan kérdés, miszerint a mikrohullám hőhatása hogyan változik a besugárzási idő folyamán. A kérdés többnyire úgy szól, hogy ismert tömeg, hőmérséklet és besugárzási idő mellett mekkora az anyagban disszipálódott teljesítmény?

Klasszikus hőtani megfogalmazással m-tömegű és c-fajhőjű anyagot t_m -ideig besugározva és mérve az anyag T-hőmérsékletét a disszipált mikrohullámú P_d - teljesítményt megkapjuk:

$$P_d = \frac{cmT(t_m) - cmT_k}{t_m} \quad (1)$$

ahol - T_k - kezdeti hőmérséklet
- $T(t_m)$ - hőmérséklet a mérés pillanatában

Rendezve az (1) egyenletet a T(t)-hőfelfutás megadható a (2)-vel:

$$T(t_m) = \frac{P_d t_m}{cm} + T_k \quad (2)$$

A (2)-ben a disszipált teljesítményt állandónak vesszük és a $T(t_m)$ a melegítési idő lineáris függvénye. Ha csökken a melegítendő anyag tömege, a hőfelfutás sebessége növekszik, de a kapcsolat továbbra is lineáris. Az összefüggés csak a legegyszerűbb esetekben alkalmazható, tájékoztató jellegű, mivel nincs figyelembe véve a disszipált teljesítmény hőmérséklet-függése.

A gyakorlatban azonban többnyire olyan anyagokat melegítenek mikrohullámmal, amelyek mikrohullámú szempontból elsődrendű dielektrikumok és ε' -permittivitással, ε'' -abszorpciós tényezővel illetve $\operatorname{tg}\delta$ -veszteségi tényezővel rendelkeznek.

Mivel ezek az anyagi jellemzők hőmérséklet-függőek és befolyásolják a mikrohullámú energia-transzportot, ezáltal az anyagban elnyelődött és hővé alakult teljesítményt is meghatározzák, amely ugyanakkor visszahat az anyagban fejlődő hőre.

Például vízre a kérdéses összefüggések a következők ($T > 10^\circ \text{C}$ esetén) [1]:

$$\varepsilon'(T) = 87 - 0,36T \quad (3)$$

$$\varepsilon''(T) = \frac{283}{T} - 1,17 \quad (4)$$

$$\operatorname{tg}\delta(T) = \frac{1}{T}(1,82 * 10^{-9} f - 1,2) \quad (5)$$

ahol f - a mikrohullám frekvenciája

A dielektrikum (és hőmérséklet) függő, egységnyi térfogatban disszipált teljesítmény pedig Almásy szerint [2]:

$$P_d = 55,6 * 10^{-14} f E^2 \varepsilon''(T) \quad (6)$$

ahol E - az elektromos térerő effektív értéke és $\varepsilon''(T) = \varepsilon'(T) \operatorname{tg}\delta(T)$

A disszipált teljesítmény Whittington szerint [3]:

$$P_d = 0,5126 \sqrt{\varepsilon'(T)} \operatorname{tg}\delta(T) P_M \quad (7)$$

ahol P_M - magnetron (vagy generátor) teljesítmény

Egyenlővé téve a (6) és (7) összefüggéseket kapjuk:

$$55,6 * 10^{-14} f E^2 \varepsilon'(T) \operatorname{tg}\delta(T) = 0,5126 \sqrt{\varepsilon'(T)} \operatorname{tg}\delta(T) P_M \quad (8)$$

amelyből (ha $f = 2450 \text{ MHz}$):

$$1,36 * 10^{-3} E^2 \varepsilon'(T) = 0,5126 \sqrt{\varepsilon'(T)} P_M \quad (9)$$

Kifejezve az elektromos tér értékét:

$$E^2 = \frac{0,5126 \sqrt{\varepsilon'(T)} P_M}{1,36 * 10^{-3} \varepsilon'(T)} = \frac{377 P_M}{\sqrt{\varepsilon'(T)}} = \frac{Z_0 P_M}{\sqrt{\varepsilon'(T)}} \quad (10)$$

ahol Z_0 - szabadtéri hullámimpedancia, 377 ohm

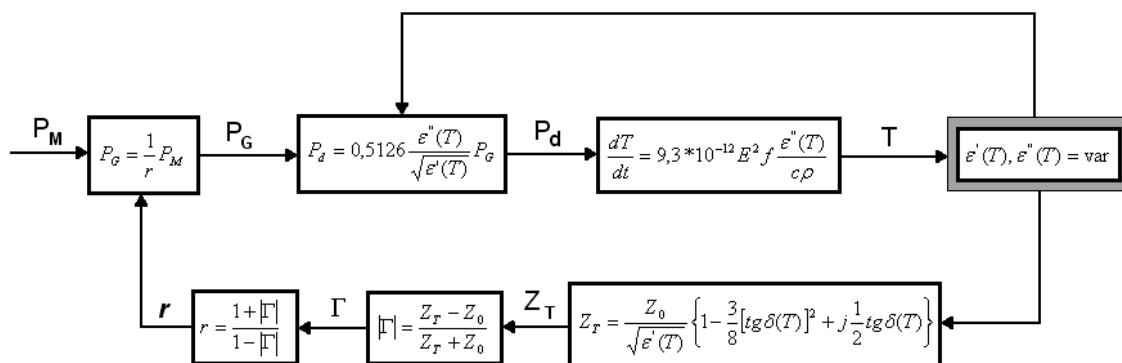
A (10)-ből következik, hogy az elektromos térerő is dielektrikum és hőmérséklet-függő mennyiség, értéke levegőre $E = \sqrt{Z_0 P_M}$ [V/m].

Felhasználva a (6) vagy (7) összefüggést, a hőmérséklet-változásra kapjuk:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{P_d [\varepsilon'(T), \varepsilon''(T), \operatorname{tg}\delta(T), E(T)]}{c(T)m} \quad (11)$$

A (11) egyenlet elvileg integrálással megoldható, de nagy gyakorlati nehézséget okoz az ε' , ε'' , $\tan \delta$, c , E hőmérséklet-függése.

A mikrohullámmal intenzifikált hőtranszport-folyamatok elemzéséhez mindenképpen ismerni kell a dielektrikumok hőmérséklet-függését, ugyanis az $\varepsilon'(T)$ és $\varepsilon''(T)$ megváltoztatja a tápvonal impedanciáját, a reflexiók tényezőjét és ezzel illesztetlenséget idéz elő, amely csökkenti a vizsgált mintában abszorbeálódott teljesítményt (1. ábra):



P_M =magnetron teljesítmény; P_G =generátor teljesítmény; P_d =disszipált teljesítmény;

T =hőmérséklet; r =állóhullám-arány; Γ = reflexiók tényező; Z_T =tápvonal impedancia;

1. ábra: Összefoglaló hatásvázlat a mikrohullám-anyag kölcsönhatásának vizsgálatára

A mikrohullám –anyag kölcsönhatásának vizsgálataihoz, az eddig rendelkezésre álló táblázatok, csak állandó (szoba) hőmérsékleten adtak tájékoztató jellegű paramétereket, melyek alapján a gyakorlati hőtranszport-folyamatok vizsgálatai nem vezettek eredményre (1. táblázat):

Általános oldószerek dielektromos értékei szobahőmérsékleten.

1. táblázat.

Table 1

Dielectric constant (ε'), $\tan \delta$, and dielectric loss (ε'') for 30 common solvents (measured at room temperature and 2450 MHz)

Solvent (bp °C)	Dielectric Constant (ε')	Solvent	Tan δ	Solvent	Dielectric Loss (ε'')
Water (100)	80.4	Ethylene Glycol	1.350	Ethylene Glycol	49.950
Formic Acid (100)	58.5	Ethanol	.941	Formic Acid	42.237
DMSO (189)	45.0	DMSO	.825	DMSO	37.125
DMF (153)	37.7	2-Propanol	.799	Ethanol	22.866
Acetonitrile (82)	37.5	1-Propanol	.757	Methanol	21.483
Ethylene Glycol (197)	37.0	Formic Acid	.722	Nitrobenzene	20.497
Nitromethane (101)	36.0	Methanol	.659	1-Propanol	15.216
Nitrobenzene (202)	34.8	Nitrobenzene	.589	2-Propanol	14.622
Methanol (65)	32.6	1-Butanol	.571	Water	9.889
NMP (215)	32.2	Isobutanol	.522	1-Butanol	9.764
Ethanol (78)	24.3	2-Butanol	.447	NMP	8.855
Acetone (56)	20.7	2-Methoxyethanol	.410	Isobutanol	8.248
1-Propanol (97)	20.1	o-Dichlorobenzene	.280	2-Butanol	7.063
MEK (80)	18.5	NMP	.275	2-Methoxyethanol	6.929
2-Propanol (82)	18.3	Acetic Acid	.174	DMF	6.070
1-Butanol (118)	17.1	DMF	.161	o-Dichlorobenzene	2.772
2-Methoxyethanol (124)	16.9	1,2-Dichloroethane	.127	Acetonitrile	2.325
2-Butanol (100)	15.8	Water	.123	Nitromethane	2.304
Isobutanol (108)	15.8	Chlorobenzene	.101	MEK	1.462
1,2-Dichloroethane (83)	10.4	Chloroform	.091	1,2-Dichloroethane	1.321
o-Dichlorobenzene (180)	9.9	MEK	.079	Acetone	1.118
Dichloromethane (40)	9.1	Nitromethane	.064	Acetic Acid	1.079
THF (66)	7.4	Acetonitrile	.062	Chloroform	0.437
Acetic Acid (113)	6.2	Ethyl Acetate	.059	Dichloromethane	0.382
Ethyl Acetate (77)	6.0	Acetone	.054	Ethyl Acetate	0.354
Chloroform (61)	4.8	THF	.047	THF	0.348
Chlorobenzene (132)	2.6	Dichloromethane	.042	Chlorobenzene	0.263
o-Xylene (144)	2.6	Toluene	.040	Toluene	0.096
Toluene (111)	2.4	Hexane	.020	o-Xylene	0.047
Hexane (69)	1.9	o-Xylene	.018	Hexane	0.038

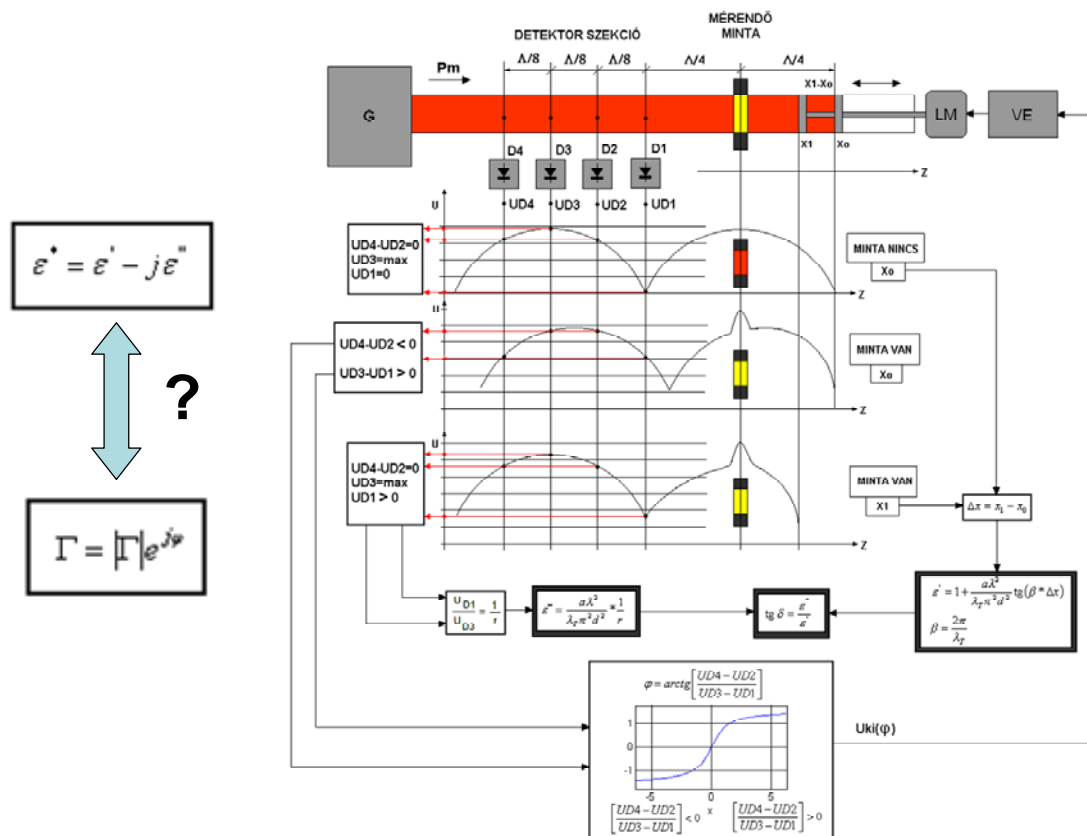
Forrás:

Brittanny L. Hayes:
Microwave Synthesis

Tehát a berendezés-fejlesztés célja: a mikrohullámú energia és a hőmérséklet-függő dielektrikumok kölcsönhatásának mérése.

A MÉRÉS ELVE

A kifejlesztett berendezés mérési elvéhez tekintsük a következő ábrát (2. ábra):



2. ábra. Mikrohullámú automatikus dielektrométer hatásvázlata

A generátortól a mintatartó felé terjedő mikrohullám a négyzetleges csőtápvonal végén lévő állítható rövidzárról reflektálódik. A csőtápvonalban a generátor hulláma és a reflektált hullám szuperponálódik és állóhullám alakul ki. Az állóhullám maximumában a két hullám azonos fázisban összegződik, minimumában, pedig ellenfázisúak a hullámok.

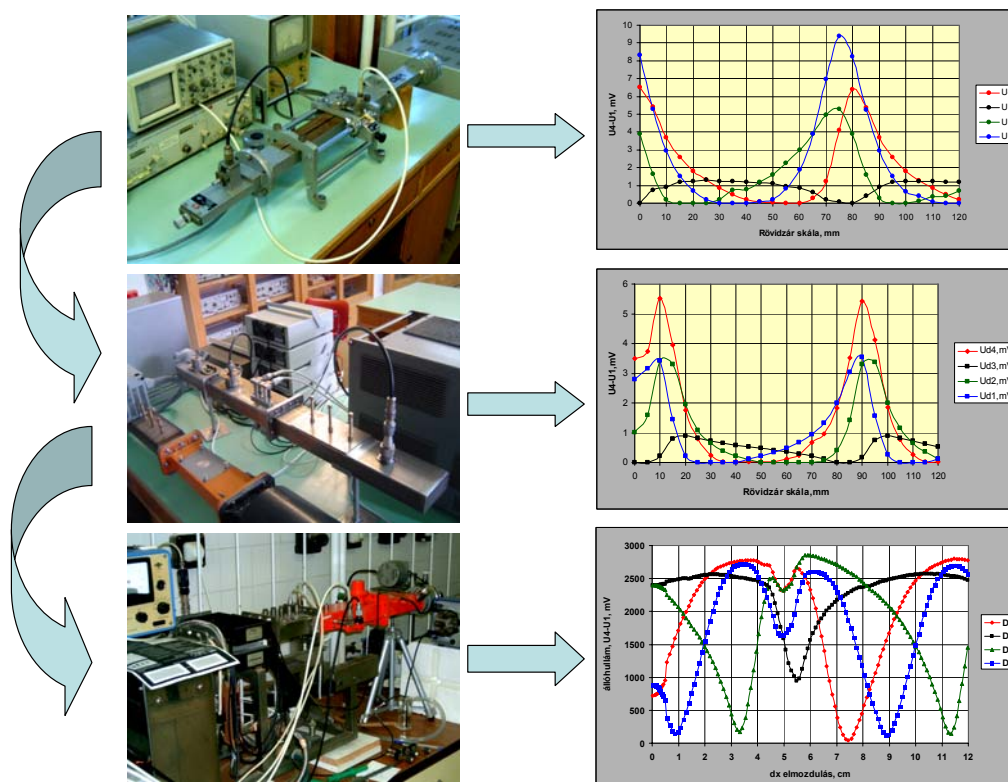
Ha ismeretlen dielektrikumot helyezünk a mintatartóba, a kezdeti állapot megváltozik: csökken az állóhullám amplitúdója és megváltozik a fázishelyzete (az állóhullám elmozdul a tápvonal hossz tengelye mentén).

Ha detektáljuk az amplitúdó-változást és a fázistolást, a kapott értékeket egy számított tápvonal-együtthatóval megszorozva, meghatározhatjuk a minta ϵ' -permittivitását és az ϵ'' -abszorpciós tényezőjét. A mikrohullámú energia a mintában hővé fejlődik, melynek következtében megváltozik a két dielektromos paraméter, így megváltozik az állóhullám amplitúdója, illetve újabb fázistolás jön létre stb.

A hőmérsékletet és két változó mikrohullámú paramétert (r-állóhullám-arányt, Δx -fázistolást) folyamatosan mérve, ábrázolhatjuk az $\varepsilon'(T)$ és $\varepsilon''(T)$ függvényeket. A kapott adatokból, pedig vizsgálhatjuk a mikrohullám-anyag kölcsönhatást.

A FEJLESZTÉS FÁZISAI

A fejlesztés három fázisát mutatja a 3. ábra:



3. ábra A fejlesztés lépései

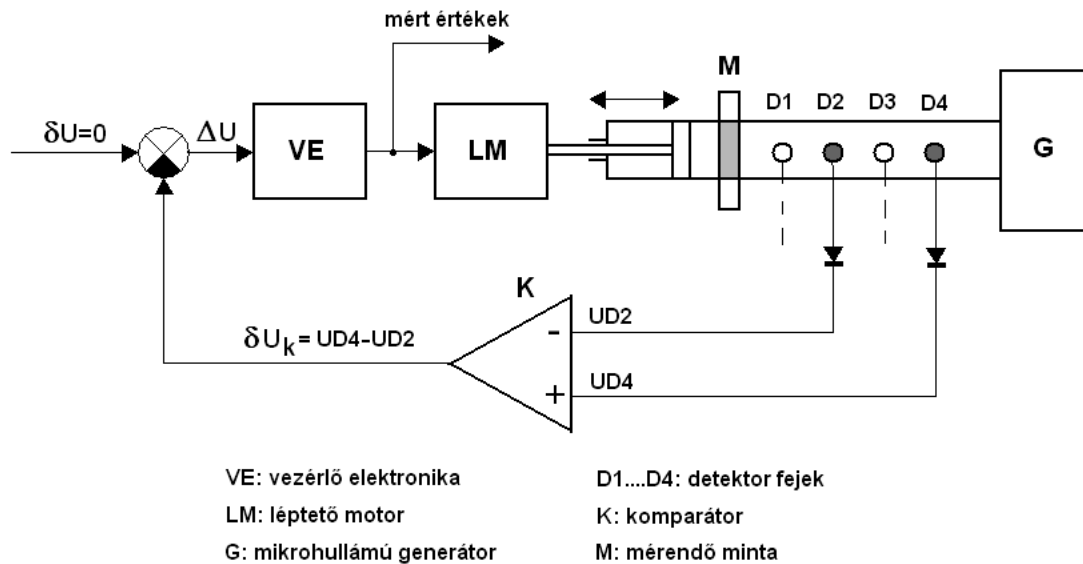
A mérés elvét először a mikrohullámú mérés technika klasszikus eszközével, a hasított tápvonalas állóhullám-arányt mérő rendszeren dolgoztuk ki. Az eszköz egy négyszögletes csótápvonal szélesebbik oldalának szimmetria-tengelyében kialakított hosszanti mérőréssel és az abba benyúló mozgatható mérőantennával méri a tápvonal hossza mentén kialakuló állóhullámok paramétereit. A tápvonal vége állítható rövidzárral van lezárva.

Az eszközzel végrehajtott méréssorozat, a tervezett detektor-szekciókhoz viszonyított állóhullám-elmozdulást adta meg különböző rövidzár-helyzetek függvényében.

Ezt követte a fejlesztés második fázisa, amikor már az igényeknek megfelelő tápvonal méretekkel, egymástól $\Lambda/8$ távolságban lévő kicsatoló fejekkel és detektorokkal, mintatartóval és állítható rövidzárral ellátott mérő tápvonal bemérése történt. A fejlesztés első két fázisát kis teljesítményű, laboratóriumi mikrohullámú generátorral végeztük.

A harmadik fázis a megrendelőnek történt leszállítás után a helyszíni bemérésekkel kezdődött, ahol a generátor mikrohullámú teljesítménye már 700W-ig állítható. A detektor-fejek túlterhelődését a kicsatoló hurkok szög szerinti beállításával csökkenteni lehet. A tápvonal végére a számítógép által vezérelt léptetőmotor és forgató mechanizmus került.

A detektor fejek által mért analóg feszültségek 16 bites AD-konverteren keresztül jutnak a számítógépbe, ahol egyrészt kijelzésre kerülnek a monitoron a detektorok által mért állóhullámok amplitúdói, másrészt a mért értékek alapján a szoftver kiszámítja az állóhullám-arányokat, a dielektromos paramétereket, és a táblázatkezelőbe helyezi. Az egész rendszert lényegében zárt értéktartó szabályozásként értelmezhetjük (4.-5.-6.-7. ábrák):



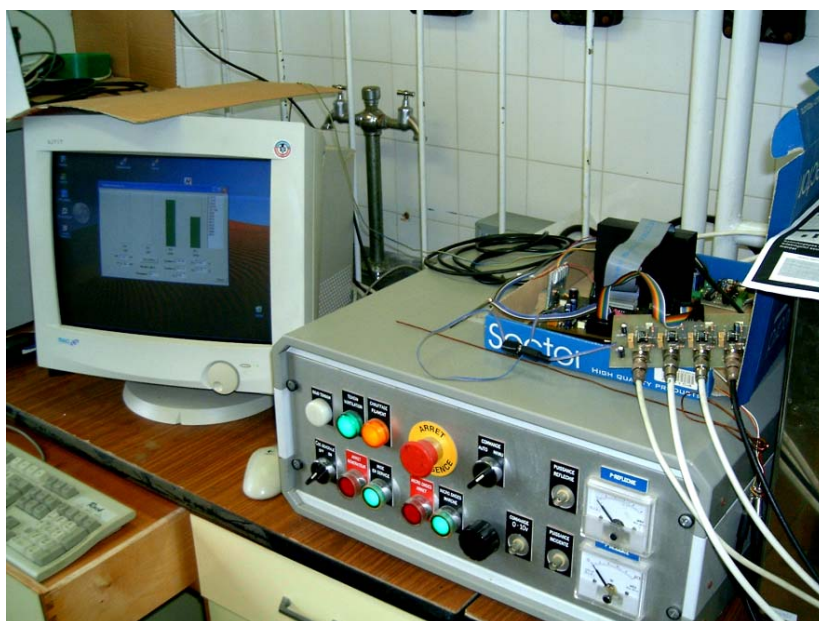
4. ábra. A mikrohullámú dielektrométer, mint értéktartó szabályozás



5. ábra. A mikrohullámú generátor és a mérőrendszer



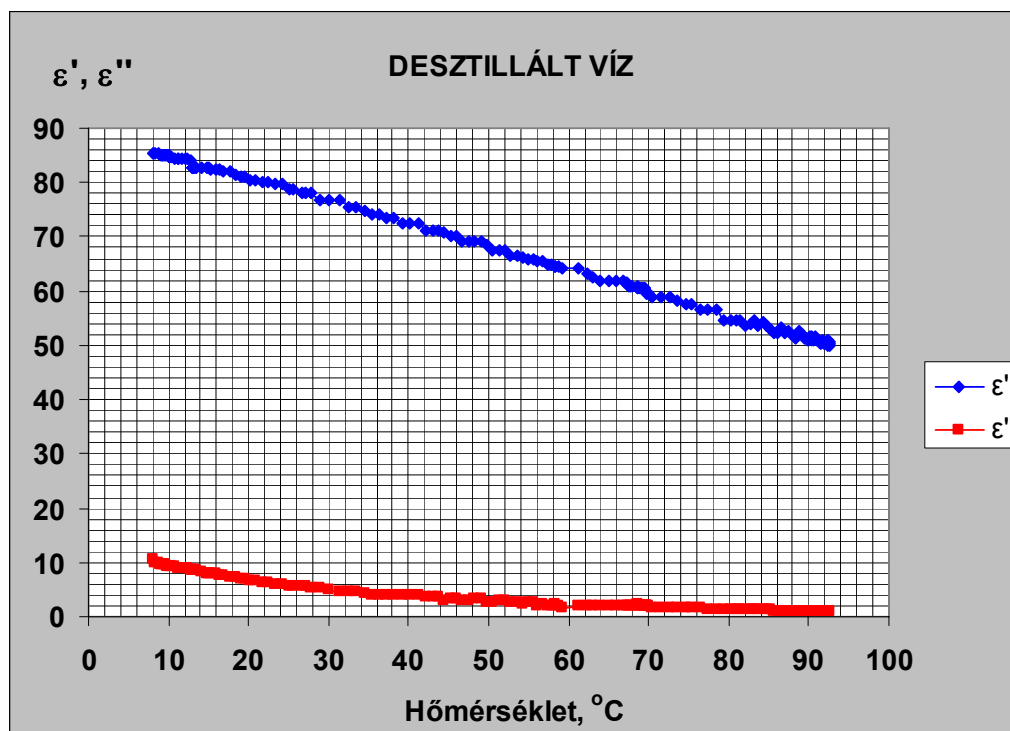
6. ábra. Az állítható rövidzár a léptető motorral és a perisztatikus pumpával



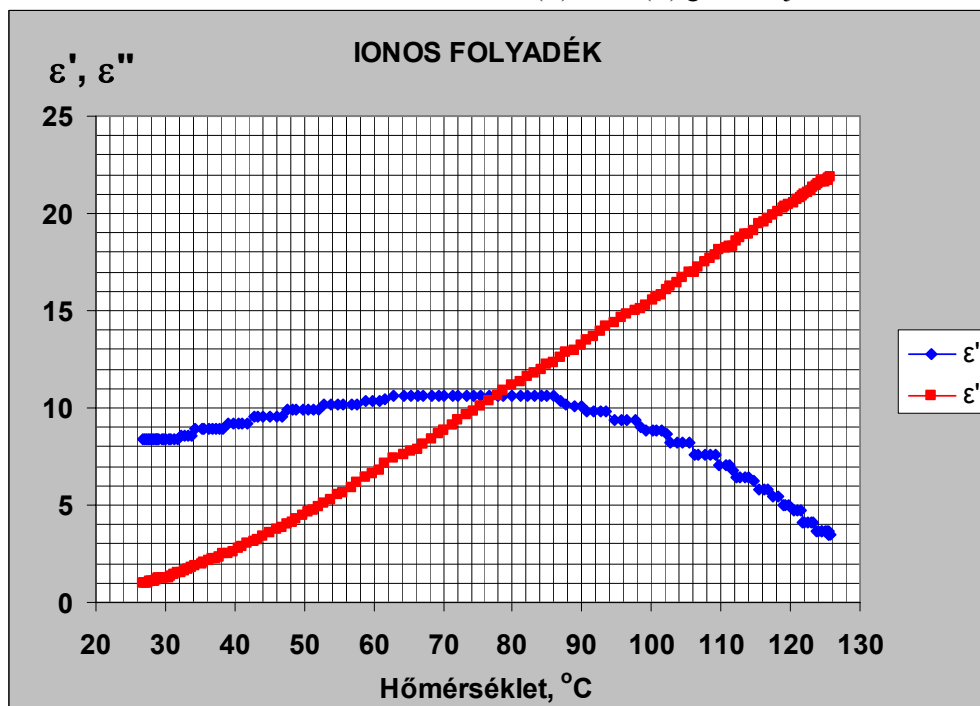
7. ábra A generátor tápegysége, a kidobozolt mérőkártya és a számítógépes jelfeldolgozás

MÉRÉSI EREDMÉNYEK

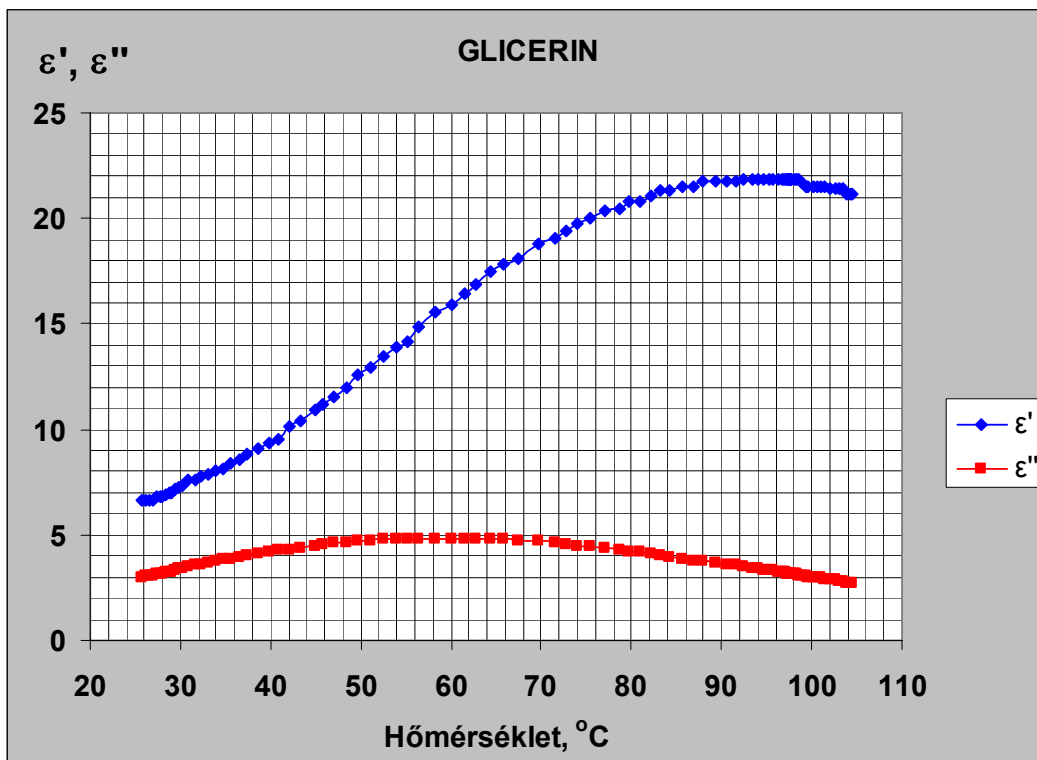
A méréseket először ismert paraméterű folyadékkal (desztillált vízzel) végeztük, a berendezés kalibrálását is erre a folyadékra állítottuk be. Ezt követően ismeretlen hőfutasú folyadékokkal (DMIM-DMP ionos folyadék, glicerin, etanol stb.) folytattuk. Az elvégzett számos mérés néhány jellemző grafikonja látható a 8.-9. 10.-11. ábrán:



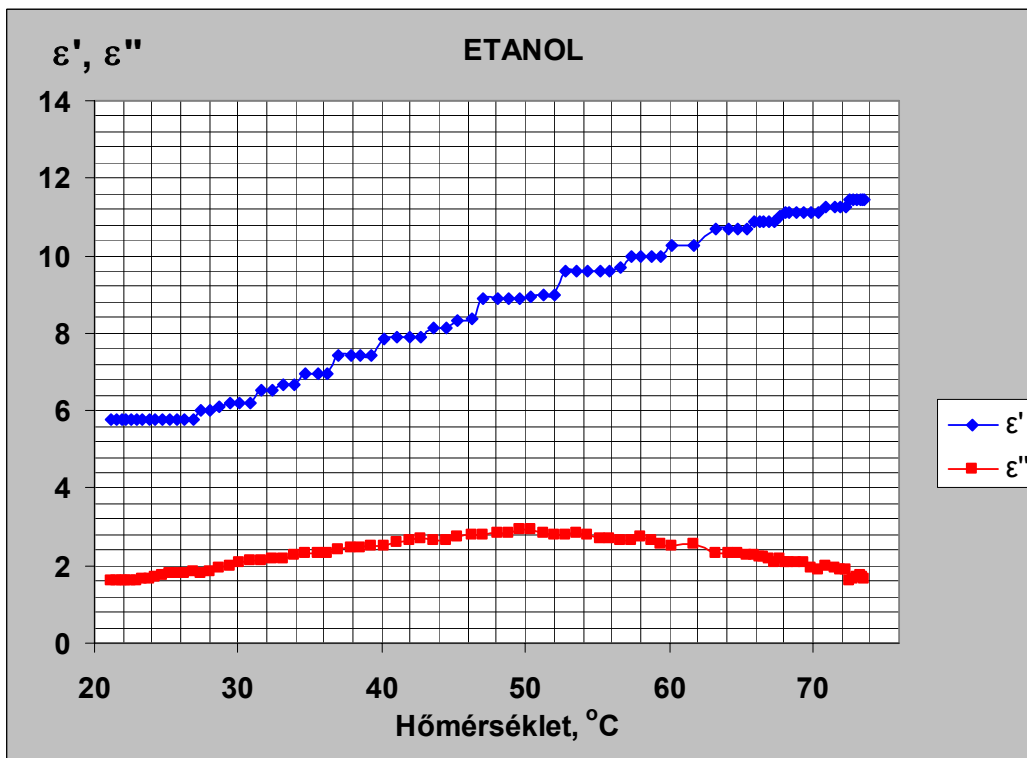
8. ábra. Desztillált víz $\epsilon'(T)$ és $\epsilon''(T)$ grafikonja



9. ábra. DMIM-DMP ionos folyadék $\epsilon'(T)$ és $\epsilon''(T)$ grafikonja



10. ábra. Glicerín $\epsilon'(T)$ és $\epsilon''(T)$ grafikonja

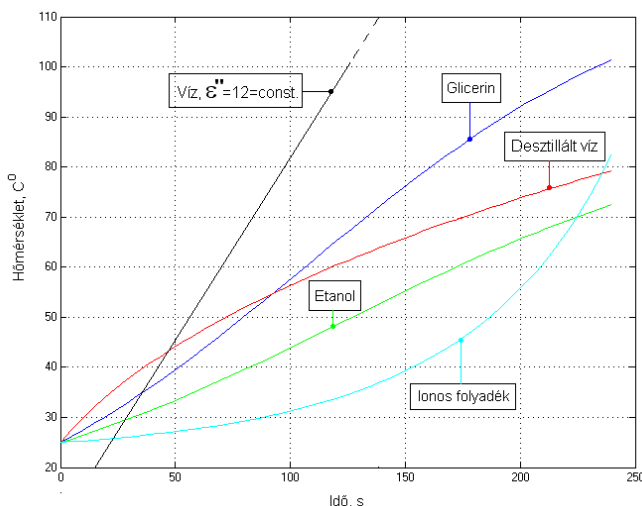


11. ábra. Etanol $\epsilon'(T)$ és $\epsilon''(T)$ grafikonja

A MÉRÉSEKBŐL SZÁRMAZTATHATÓ EREDMÉNYEK

A mért adatok alapján, függvény-közelítéssel, meghatároztuk a vizsgált anyagok $\epsilon'(T)$ és $\epsilon''(T)$ képleteit és ezekkel MATLAB-szimulációt futtatva, megadtuk a származtatható anyagi és mikrohullámú paramétereket a hőmérséklet függvényében (12. ábra):

Szimuláció: $m=250g$, $T_0=25C^0$, $t=250s$, $P_m=200W$



- veszteségi tényező

$$tg\delta(T) = \frac{\epsilon''(T)}{\epsilon'(T)}$$

- behatolási mélység

$$d = \frac{1}{2\alpha} = \frac{\lambda}{2\pi} \sqrt{\frac{\epsilon'(T)}{\epsilon''(T)}} = \frac{c}{2\pi f} \frac{1}{\sqrt{tg\delta(T)}}$$

- tápvonal impedancia

$$Z_r = \frac{Z_0}{\sqrt{\epsilon'(T)}} \left\{ 1 - \frac{3}{8} [tg\delta(T)]^2 + j \frac{1}{2} tg\delta(T) \right\}$$

- reflexiós tényező

$$|\Gamma| = \frac{Z_r - Z_0}{Z_r + Z_0}$$

- állóhullám-arány (VSWR)

$$r = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

- generátor teljesítmény

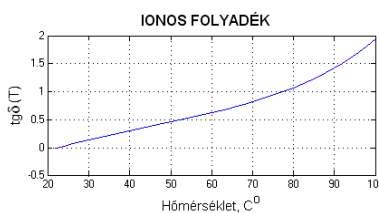
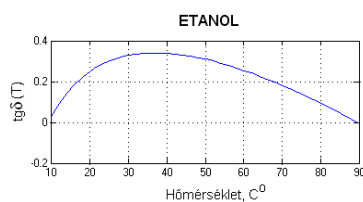
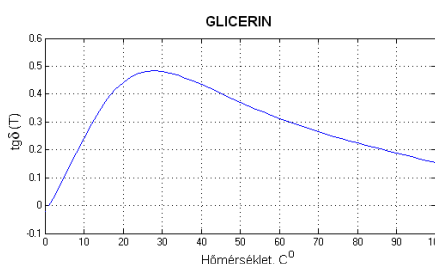
$$P_G = \frac{1}{r} P_M$$

12. ábra. A vizsgált anyagok „hőfutása”, az anyagi (kék) és a mikrohullámú (sárga) származtatható paraméterek

A származtatott paraméterek láthatók a 13.-14.-15.-16. ábrán:

Veszteségi tényezők

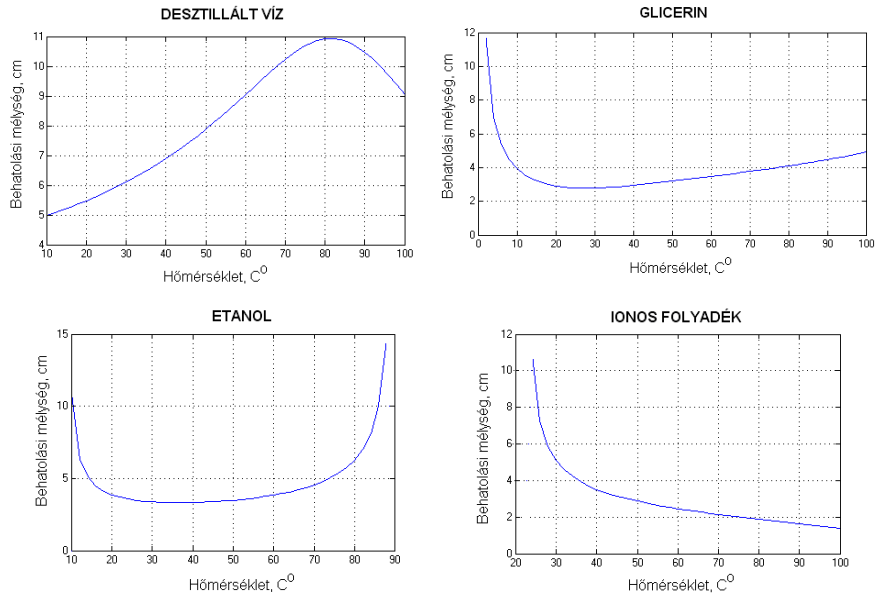
$$tg\delta(T) = \frac{\epsilon''(T)}{\epsilon'(T)}$$



13. ábra

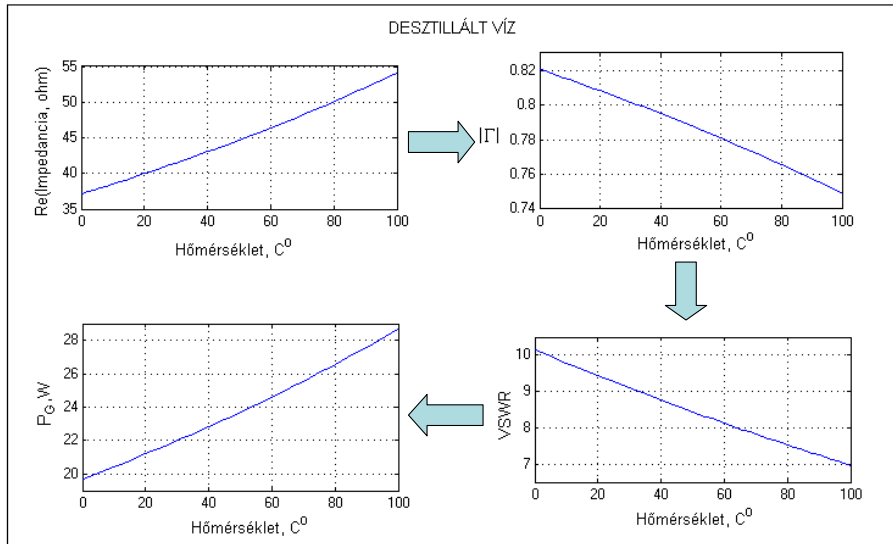
Behatolási mélység

$$d = \frac{1}{2\alpha} = \frac{\lambda}{2\pi} \frac{\sqrt{\epsilon'(T)}}{\epsilon''(T)} = \frac{c}{2\pi f} \frac{1}{\sqrt{\epsilon''(T) \epsilon'(T)}}$$



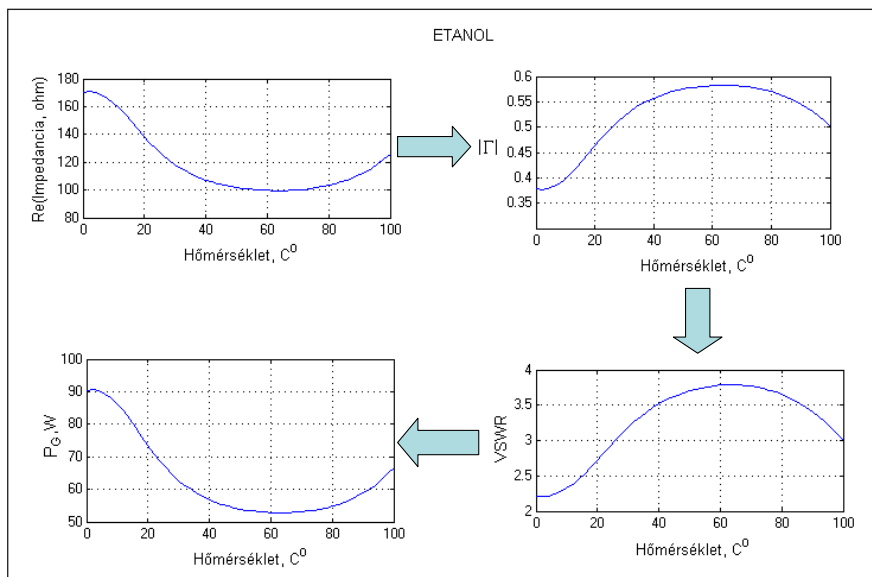
14. ábra

Mikrohullámú paraméterek a minta síkjában



15. ábra

Mikrohullámú paraméterek a minta síkjában



16. ábra

KÖVETKEZTETÉSEK

- A mikrohullám–anyag kölcsönhatásának vizsgálataihoz, a rendelkezésre álló táblázatok csak állandó (szoba) hőmérsékleten adtak tájékoztató jellegű dielektromos paramétereket, melyek alapján a gyakorlati hőtranszport-folyamatok vizsgálatai nem vezettek eredményre.
- A mikrohullámmal intenzifikált hőtranszport-folyamatok elemzéséhez mindenképpen ismerni kell a dielektrikumok hőmérséklet-függését.
- Az $\epsilon'(T)$ és $\epsilon''(T)$ megváltoztatja a tápvonal impedanciáját, a reflexió tényezőt és ezzel illesztetlenséget idéz elő, amely csökkenti a vizsgált mintában abszorbeálódott teljesítményt.
- Az illesztetlenség megszüntetését csak automatikus hangolókkal (automatching) lehet megvalósítani.
- A mérőeszköz alkalmas mágneses permeabilitások mérésére is.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] K. Kegel.: Villamos Hőtechnikai Kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978.
- [2] Almássy Gy.: Mikrohullámú Kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1973.
- [3] B. I. Whittington, N. B. Milestone: The Microwave Heating of Zeolites. Chemistry Division, DSIR, Private Bag, Petone, New Zealand, 1988.

PILÓTÁK FIZIKAI TERHELÉSÉNEK VIZSGÁLATA REPÜLÉSSZIMULÁTORON

BEVEZETÉS

2002-ben Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Repülőgépek és Hajók Tanszékén egy kutatásra és fejlesztésre alkalmas PC alapú, fix telepítésű, alacsony költségű, Boeing 737NG típusú repülésszimulátort (1. ábra) építettünk a tanszék munkatársaival közösen, illetve a Münchener Műszaki Egyetem Repülésmechanika és Repülésirányítás Tanszék közreműködésével.

A szimulátor a legkorszerűbb elvek alapján készült, felépítése nagyfokú rugalmasságot biztosít, lehetővé teszi számos, különböző repülőgép szimulálását. Olyan megoldásokat, illetve berendezéseket lehet vele vizsgálni, melyek a gyakorlatban csak évek múlva jelennek majd meg. A fix telepítésű szimulátorok nagy előnye a viszonylag kis beszerzési és működtetési költség.



1. ábra. A BME Repülőgépek és Hajók Tanszékének repülésszimulátora

A szimulátornak az alábbi fő részeit különíthetjük el:

- pilótafülke;
- számítógép rendszer;
- kivetítő- és hangrendszer.

A szimulátor kabinját a lehetőségekhez mérten 1:1 méretarányban alakítottuk ki. A felműszerezését illetően, az igazi műszerek helyére utánpótlások vannak beépítve, amelyek működése szoftveresen van szimulálva. Az analóg kijelzős műszereket (műhorizont, iránytű, stb.) és a fejfeletti panelt (overhead panel) csak kép formájában szereltük be, hiszen ezek közül egyesek megtalálhatók EFIS (Electronic Flight Instrument System) formájában, mások nem lényegesek a cél szempontjából és csak a szimulátor építési költségeit növelték volna.

A leglényegesebb eltérés egy Boeing 737 repülőgép pilótafülkéjétől a kormányzervek területén mutatkozik, ami abban áll, hogy jobb felől, a másodpilóta számára a hagyományos kormányoszlop (2.

ábra) helyett egy sidestick-ot (3. ábra) szereltünk be. Ez utóbbi használata leginkább a vadászpilóták gépeken (pl. F-16) és az Airbus repülőgépcsalád egyes típusain (pl. A320, A330/A340) terjedt el.



2. ábra. Hagyományos kormányoszlop a bal oldalon



3. ábra. Sidestick a jobb oldalon

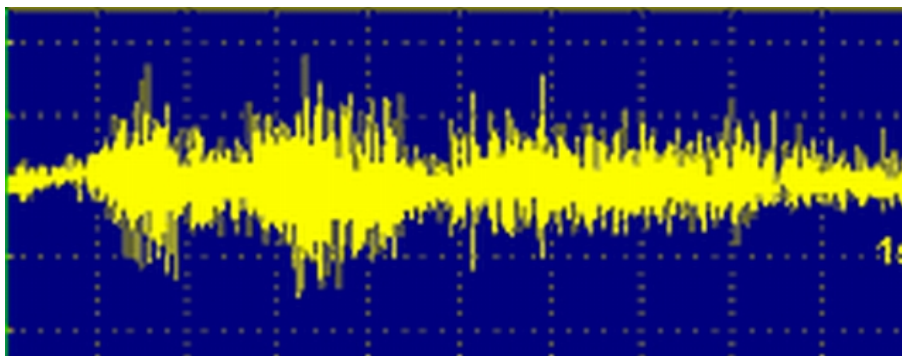
A személyi számítógépek, és grafikus kártyáik teljesítményeinek rohamos növekedése lehetővé tette, hogy a nagy teljesítményű, de nagyon drága grafikus munkaállomások helyett sokkal olcsóbb, asztali PC-ket használjunk a szimulátor működtetéséhez.

Ezen a berendezésen már több kutatási kísérletet végeztünk. Itt a pilóták fizikai terhelésének mérését kívánom bemutatni, amellyel a hagyományos kormányoszloppal és a sidestick-al való vezetés előnyeit és/vagy hátrányait próbálom vizsgálni. Megjegyzem, hogy a [4], [5], [9], és [10] munkáimban a szellemi erőfeszítés méréséről is beszámoltam.

A témakör vizsgálatát, azért tartottam aktuálisnak, mert a hozzáférhető szakirodalomban nem találtam a két kormány szerv összehasonlítására vonatkozó ilyen típusú ergonómia kísérleteket.

AZ ELEKTROMIOGRAM (EMG) ÉS INFORMÁCIÓTARTALMA

Az elektromiográfia az izomban a működés során lezajló elektromos jelenségeket regisztrálja, tulajdonképpen az izom akciós potenciáljait. Akaratlagos izom-összehúzódnás során az izmok elektromos aktivitása 100 ms tartamú is lehet.



4. ábra. Nyers EMG felvétel

Korody Endre

Az International Society of Electrophysiological Kinesiology Ad Hoc Bizottsága a következő tipikus határokat közölte a felületi elektromiográfia esetére: amplitúdó 0,01 – 5 mV, frekvencia 1 – 3000 Hz.

Az EMG felvételekből nyerhető információk három fő kategóriába sorolhatók [3]:

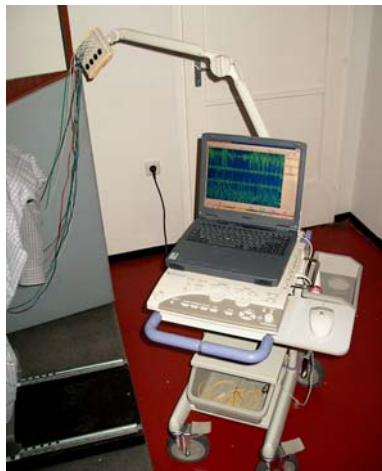
- az EMG jel időbeli jellege és az anatómiai mozgás kapcsolata;
- az EMG és az erőlétrehozás közötti összefüggés;
- az EMG és az izomfáradtság kapcsolata.

A mioelektromos jel egy sor, bizonyos frekvencián tüzelő akciós potenciálból áll és a frekvenciaanalízis (spektrális, harmonikus, Fourier) különböző frekvenciájú szinuszos komponensekre bontja. A teljesítményspektrum görbe alatti területe a jel teljesítményét adja és analízisét általában a helyi izomfáradtság értékelésére használják. Tartós izom-összehúzódások során a jel magasfrekvenciás komponensei csökkennek, de az alacsonyfrekvenciás komponensek fokozatosan növekednek. E változás eredményeként a teljesítményspektrum az alacsonyabb frekvenciák felé tolódik el.

A szakirodalomban számos olyan repülő kísérletet találunk ([1], [6], [7], [8], [11], [12]), amely során EMG méréseket használtak.

AZ EMG KÉSZÜLÉK ÉS A MÉRÉSI FOLYAMAT

A pilóták fizikai terhelésének (izomaktivitásának) mérésére egy négycsatornás EMG Nihon Kohden MEB-9102 típusú berendezést (5. ábra) használtam, amelyet a tatabányai AMIK Kft. bocsátott rendelkezésemre. Az eszközhöz NE-132B típusú korong alakú és MN-501B földelő elektródát használtam, bőr-elektrod interfészként pedig Elefix pasztát.



5. ábra. A méréshez használt EMG készülék

A kísérletekben hat, több-kevesebb valós és/vagy szimulátoros gyakorlattal rendelkező repülőgépvezető vett részt, akiknek átlagéletkora 24 év.

A mérések során mindegyik pilóta egy-egy műszeres (ILS, Instrument Landing System, műszeres leszállító rendszer) leszállást hajtott végre mindkét kormányoszloppal a Budapest Ferihegy 31-es futópályára 10 NM távolságból, normál időjárási körülmények között. A kormányoszlop esetében balkézrel, sidestick használatkor pedig jobb kézzel vezették a gépet.

A felületi elektródákat a következő izmokra helyeztem el: ujjfeszítő, bicepsz, delta, és felső trapézizom. Az utóbbiról való elvezetésből a nyakmerevedésre lehet következtetni, amely a feszültség jellemző tünete. A többi izmokról elvezetett elektromos jelek frekvenciaanalíziséből az izmok fáradtsági állapotára következtettem.



6. ábra. EMG mérés közben

A feladat-végrehajtás pontosságának vizsgálata érdekében két repülési változót is rögzítettem, nevezetesen az oldaldőlési szöget (Φ) és a repülési irányszöveget (Ψ). A repülési feladat gyakorlatilag mindkét kormányoszlop esetében ugyanaz volt, leszállás a Budapest Ferihegy 31-es futópályára. Azért választottam ezt a gyakorlatot, mert a készülék mind a négy csatorna használata esetén a beállított mintavételezési idő ($100 \mu s$) mellett csak körülbelül 10 percnyi adatrögzítést tett lehetővé, ami alatt ez elvégezhető.

A MÉRÉSI EREDMÉNYEK FELDOLGOZÁSA ÉS ÉRTÉKELÉSE

A mérési eredmények feldolgozása két részre osztható, vagyis a repülési változók és a rögzített EMG jelek elemzésére.

A két különböző kormányoszlop előnyeinek és/vagy hátrányainak vizsgálatához szükséges a teljesítmény vizsgálata, amelyet a repülési változók alapján végeztem el. A végrehajtott repülési feladat, azaz a leszállás során nulla oldaldőlési szöveget és 310 fokos irányszöveget kellett tartani.

A számszerű összehasonlítás céljából az abszolút hibák átlagát számoltam ki, amelyeket az 1. táblázat tartalmaz.

Pilóta	Abszolút hibák átlaga		1. táblázat	
	Kormányoszlop		Sidestick	
	Oldaldőlési szög (Φ) [DEG]	Irányszög (Ψ) [DEG]	Oldaldőlési szög (Φ) [DEG]	Irányszög (Ψ) [DEG]
1.	2,75	1,04	1,52	1,34
2.	0,43	1,75	4,19	4,95
3.	7,37	5,81	4,74	5,57
4.	1,12	0,99	0,58	0,77
5.	2,52	2,00	0,31	0,57
6.	0,77	0,81	1,29	1,75

A továbbiakban az abszolút hibák átlagát statisztikailag dolgoztam fel az SPSS (Statistical Package for Social Sciences) szoftver segítségével, amelynek eredményeit a 2. táblázat tartalmazza.

Mivel kis elemszámú minta (6) állt rendelkezésemre ezért a Wilcoxon próbát, vagyis az összetartozó egymintás t-próba nem paraméteres változatát használtam ugyanis a t-próba csak akkor alkalmazható, ha feltételezhető, hogy a mintában a populáció normális eloszlású.

Korody Endre

A feladatok abszolút hiba átlaga, szórás, min. és max. 2. táblázat

Feladat	Elem szám	Abszolút hiba átlag	Szórás	Min.	Max.
kormányoszlop Φ	6	2,4933	2,56756	0,43	7,37
sidestick Φ	6	2,1050	1,88916	0,31	4,74
kormányoszlop Ψ	6	2,0667	1,89260	0,81	5,81
sidestick Ψ	6	2,4917	2,19330	0,57	5,57

Az összehasonlított feladatokhoz tartozó szignifikancia szinteket a 3. táblázat foglalja össze.

Összehasonlított feladatokhoz tartozó szignifikancia szintek 3. táblázat

Összehasonlított feladat	Szignifikancia szint
kormányoszlop Φ - sidestick Φ	0,7
kormányoszlop Ψ - sidestick Ψ	0,536

A 3. táblázatból látható, hogy az összehasonlított feladatokhoz tartozó szignifikancia szintek értéke nagyobb a pszichológiai kísérletekben megállapított, általában 5%-os (0,05-ös), ritkábban 1%-os (0,01-es) értékeknél. Ennek alapján elmondható, hogy nincs statisztikailag jelentős különbség a pilóták teljesítőképességeiben a kormányoszlop vagy a sidestick használata esetén.

A továbbiakban az ujjfeszítő, bicepsz, delta, és felső trapézizomról elvezetett EMG jelek feldolgozásának eredményeit mutatom be.

Izmok középfrekvenciái

4. táblázat

Pilóta	Kormány szerv	Izmok középfrekvenciája [Hz]			
		Alkari feszítők	Kétfejű karizom	Deltaizom elülső feje	Csuklyásizom felső része
1.	Kormányoszlop	156,25	126,95	136,71	142,57
	Sidestick	–	107,42	11,71	109,37
2.	Kormányoszlop	150,39	115,23	144,53	115,23
	Sidestick	179,68	136,71	93,75	119,14
3.	Kormányoszlop	130,85	105,46	126,95	111,32
	Sidestick	183,59	107,42	29,29	117,18
4.	Kormányoszlop	152,34	154,29	3,9	130,85
	Sidestick	171,87	142,57	125	146,48
5.	Kormányoszlop	153,24	136,71	109,37	140,62
	Sidestick	115,23	136,71	138,67	162,1
6.	Kormányoszlop	146,48	119,14	9,76	107,42
	Sidestick	195,31	154,29	126,95	130,85

A 4. táblázatban mindegyik pilóta és izom esetében kiemeléssel jelöltem a kormányoszlopra és a sidestick-ra kapott középfrekvenciák közül a kisebbiket, míg a 5. táblázatban ezek előfordulási számát adtam meg az utóbbi kormány szerv alkalmazásakor. Az 1. számú repülőgép-vezető sidestick használatkor az alkari feszítőkről rögzített adatokat elvettem mivel irreális eredményt kaptam, amit a megfelelő csatornán, a felvétel során bekövetkezett hibának tulajdonítok.

Korody Endre

Előforduló kis középfrekvenciák száma sidestick esetén

5. táblázat

Alkari feszítők	Kétfejű karizom	Deltaizom elülső feje	Csuklyásizom felső része
1	2	3	1

Az EMG jelek feldolgozását a Clinical Biomechanics Research Group ([2]) honlapján található és saját igényeim szerint módosított Matlab program segítségével végeztem el.

Amint az 5. táblázatból látható, a deltaizom elülső fejének középfrekvenciája 3 esetben bizonyult kisebbnek sidestick használatakor, mint kormányoszloppal való repülés közben. A többi izom esetén még ennél is kevesebb alkalommal: kétfejű karizom 2, alkari feszítők és csuklyásizom felső része 1.

Ezek alapján úgy tűnik, hogy sidestick használatakor a pilóták vizsgált izmai kevésbé fáradnak el, de itt nem részletezett okok miatt további vizsgálatokat tartok szükségesnek.

Összességében véve, szigorúbb feltételek mellett végezve, a mérést alkalmasnak találom a fizikai terhelés összehasonlítására a kormányoszlop és sidestick esetében.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Charles JORGENSEN–Kevin WHEELER–Slawomir STEPNIWSKI: Bioelectric Control of a 757 Class High Fidelity Aircraft Simulation, Proceedings of the World Automation Congress, Wailea, Maui, Hawaii, June 11-16, 1999.
- [2] Clinical Biomechanics Research Group, MATLAB Help – Analysis of Electromyographic Data, <http://biomech.brighton.ac.uk/help/emg/>
- [3] David G. GERLEMAN–Thomas M. COOK: Instrumentation (Chapter 4), Selected Topics in Surface Electromyography for Use in the Occupational Setting: Expert Perspectives, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, March 1992.
- [4] Endre KORODY–Krisztina BALI: Examination of Pilots' Mental Effort on Flight Simulator, Joint workshop of the Department of Psychology, Technische Universität Ber-lin and the Department of Ergonomics and Psychology, BUTE, Budapest, 21 January 2005. Only presentation.
- [5] Endre KORODY–Krisztina BALI: Pilots' mental effort examination on flight simulator using HPV measurements, The 6th Conference of the Union of Hungarian Ph.D.-students and Young Re-searchers from Romania, Kolozsvár, 18-19 March 2005. Under issue.
- [6] Hewson D. J.–McNair P. J.–Marshall R. N.: Aircraft Control Forces and EMG activity: Comparison of Novice and Experienced Pilots During Simulated Take-Off and Landing, Aviation, Space, and Environmental Medicine, 1999.
- [7] HEWSON D. J.–MCNAIR P. J.–MARSHALL R. N.: Aircraft Control Forces and EMG activity: Comparison of Novice and Experienced Pilots During Simulated Take-Off and Landing, Aviation, Space, and Environmental Medicine, 2001.
- [8] Kevin WHEELER–Chuck JORGENSEN: Bioelectric Keyboard and Joystick for Computer Control, Aerospace Technology Enterprise, Research & Technology Report, 2000.
- [9] KORODY Endre: Multifunkcionális, új generációs repülésszimulátor kifejlesztése és különböző kormányzási megoldások vizsgálata, Doktori disszertáció, BME, Budapest, 2008.
- [10] KORODY Endre: Pilóták szellemi megterhelésének vizsgálata a szívperiódus variancia alapján, Egészségügyi mérnöki diplomamunka, BME – SE – SZIE, Budapest, 2005.
- [11] Leonard J. TREJO–Kevin R. WHEELER–Charles C. JORGENSEN–Roman ROSIPAL–Sam T. CLANTON–Bryan MATTHEWS–Andrew D. HIBBS–Robert MATTHEWS–Michael KRUPKA: Multimodal Neuroelectric Interface Development, IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 2002.
- [12] Mal GORMLEY: NASA Takes Hands-Off Approach To Flight Control, Aviation Week's, The Next Century of Flight, 06-Feb-2001.

HÁTTÉRZAJ ÉRTÉKELÉSE ELTÉRŐ KÖRNYEZETI ADOTTSÁGOK FÜGGVÉNYÉBEN

Települések környezeti állapotát a zajterhelés alapvetően meghatározza, a zaj és rezgés az ember által létrehozott épített környezetben napjainkban fokozott minőségi tényezőt jelent. Lakóterületeken és a huzamos emberi tartózkodás céljára létesített épületekben a különböző zajhatások, illetve az eltérő mértékű és jellegű zajterhelés elleni védelemre egyre nagyobb gondot kell fordítanunk.

A zajos környezet kialakulásában több tényező is szerepet játszik. Az emberi tevékenységekkel összefüggésben meghatározó a közlekedés, az ipar, valamint az épületekbe telepített gépészeti berendezések zajkibocsátása. A gazdasági fejlődéssel együtt ugrásszerűen növekedett azoknak az épületgépészeti berendezéseknek a száma —szellőző-, hűtési-, klíma- és fűtési berendezések—, melyek az épületeknél már alapvető eszközt jelent a komfortérzet megteremtésében. Emiatt az épített környezetben és ember által igénybe vett területeken számolni kell a telepített zajforrások számának, és teljesítményének folyamatos növekedésével. Ez magával hozza a településeken tapasztalt alapzaj és egyéb háttérterhelés növekedését is, a korábban csendesnek tartott területek csökkenését és eltűnését.

Emellett a környezeti zajterhelésre kiemelt figyelmet kell fordítanunk, mivel a pihenéshez alapvető fontosságú tényező, az egészséges életvitel egyik meghatározó eleme. A zaj és az egészségügy stratégiai kérdés, hiszen egy jól működő gazdasághoz jó kondícióban lévő, egészséges és kipihent humán erőforrásnak kell rendelkezésre állnia. Ha az emberek egészségi állapota vagy közérzete rossz, az kihat a gazdaságra is. Emiatt fontos, hogy megteremtsük és fenntartsuk a zaj elleni védelem szempontjából elfogadható élhető környezetet.

ALAPÁLLAPOT JELLEMZŐI ÉS ZAJFORRÁSOK

Mérési tapasztalataink szerint városokban, lakóházakkal sűrűn beépített környezetben magas, az előírt határértékekhez közeli vagy azt meghaladó átlagos zaj észlelhető. Az alapállapotra jellemző terhelést épített környezetben a gépészeti zajforrások mellett a közlekedés, ezen belül a közúti forgalom alapvetően meghatározza, sok esetben a hangelfedés miatt egy-egy üzemi jellegű zajforrás vizsgálatát teszi lehetetlenné. Kertvárosias és kisvárosias lakóterületeken ennél jobb a helyzet, a „csendesebb környezet” dominanciája érvényesül. Ahhoz, hogy a zajvédelmi szempontból kedvező állapotot idővel ne váltsa fel a zajos környezet, az újabb zajforrások telepítését és működtetését már szabályozni kell, ami az alapállapotra jellemző zaj vizsgálatát és értékelését is szükségessé teszi.

Települési környezetben általános esetben az emberi tevékenységekhez tartozó összes zajforrással találkozunk, a közlekedéstől és a gépészeti berendezések működtetésétől származó zaj együttesen érvényesül. A különböző zajforrások azonosítása azonban egyre nagyobb problémát okoz, mert a kimutatott zajszintek ellenére csak nehezen deríthető fel a telepítés és működés helye. Emellett a közlekedés leállítására nincs lehetőségünk, ami azt jelenti, hogy sok esetben állandó jellegű és a környezeti adottságok függvényében kialakult zajban kell élnünk, a vizsgálatainkat is ennek megfelelően kell elvégeznünk.

Az eltérő módon beépített környezet adottságainak bemutatása céljából különböző lakóterületeken végeztünk zajméréseket. A vizsgálatok nem vonatkoznak tényleges zajforrás azonosítására vagy minősítésre, a rögzített A-hangnyomásszintek alapján a szubjektíven is észlelt hanghatások összehasonlítására, elemzésére nyílik lehetőség. A vizsgált helyszínek és jellemzőik:

- Nagyvárosi beépítettség, 10 emeletes lakótelepen, ahol a közelben bevásárlóközpont, üzletház és parkolóház működik.
- Kisvárosi beépítettség, földszintes és 4 emeletszint magas lakóházak, ahol a közelben kisebb üzletház és irodaépület működik.

- Falusias jellegű, családi házas beépítettség, nagy kertekkel, település szélén, ahol gépészeti zajforrás nincs telepítve, jelentős közlekedési zajforrás nincs.

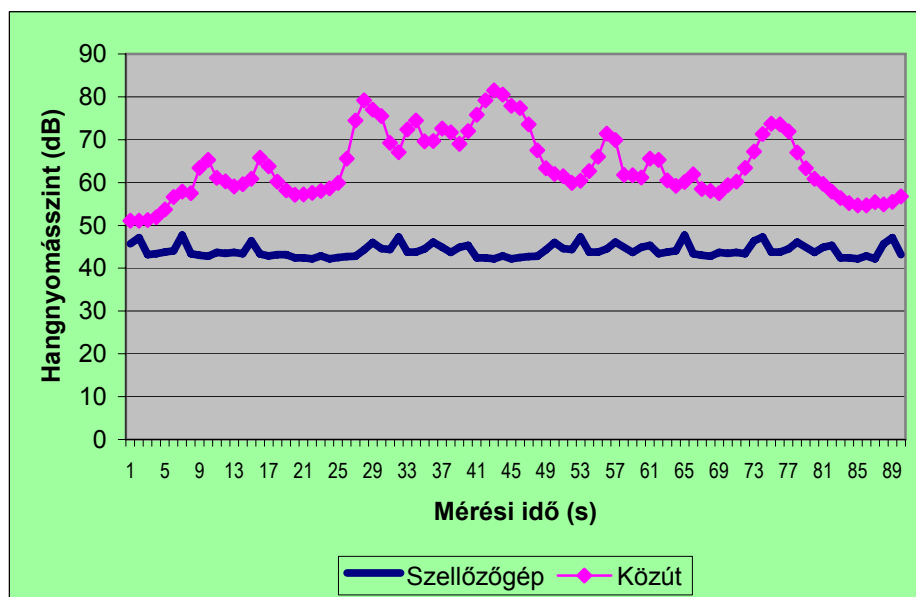
Meghatározó zajforrások

A környezetben okozott zajterhelés vizsgálata előtt nézzük meg azokat a zajforrásokat, melyek a tényleges zajterhelést, illetve az átlagos zajhelyzetet meghatározzák. A legfontosabb és talán a minden napi életünk meghatározó zajforrása a közúti közlekedés és az épületekben telepített légtechnikai berendezés.

A vizsgált zajforrásokat, jellemzőiket, a mérési körülményeket, és a helyszíni méréssel kimutatott zajszinteket az 1. számú táblázatban foglaltuk össze. A másodpercenként rögzített hangnyomásszint értékeket az 1. számú ábra szemlélteti, ami a különböző zajforrásokra jellemző változások mértékét és jellegét is mutatja.

Vizsgált zajforrások és mért zajszintek 1. táblázat

Vizsgált zajforrás	Mérési körülmények	Mért jellemzők		
		L_{Aeq}	L_{max}	L_{min}
Budapest X. kerület, Kerepesi út	Forgalmi sávok középvonalától 7,5 m-re	71,7 dB	84,8 dB	48,5 dB
Bevásárló központ tetőre telepített szellőzőgép	Zajforrástól 50 m-re 3. emeleti lakás előtt 10,5 m magasságban	43,7 dB	45,9 dB	42,2 dB

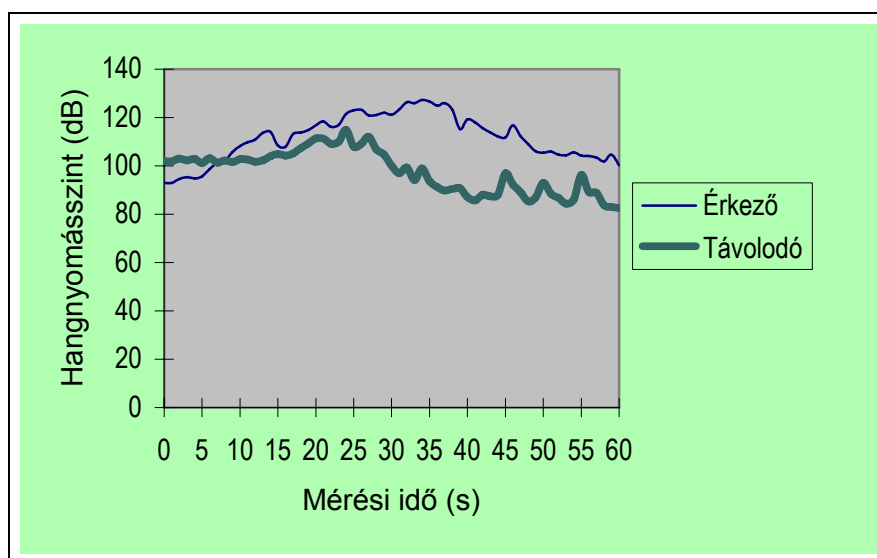


1. ábra: Szellőzőgép és közúti forgalom zajszint-idő függvénye

Az összehasonlítás kedvéért az eltérő zajforrásoktól származó zajszinteket egy ábrán, egymás mellett tüntettük fel. A 90 másodperces mérési időben a közúton folyamatosan volt járműforgalom, illetve a szellőzőgép folyamatosan működött. Jól látható, hogy mind jellegében, mind a zajszintek legnagyobb és legkisebb értékeiben jelentős különbség mutatható ki. A változás jellegéből adódóan a közúti közlekedésnél a zavarás mértéke fokozottan jelenik meg, hiszen a legkisebb és a legnagyobb értékek közötti különbség 36,3 dB, emellett a legkisebb érték is 6,3 dB-lel haladja meg a légtechnikai zajforrástól származó legkisebb hangnyomásszintet. Ez rámutat arra, hogy települési környezetben a közlekedési eredetű zaj meghatározó módon érvényesül.

Említést kell tennünk a továbbiakban a légi járművektől származó zajról is, mivel üzemeltetésük és a repülés jelentősége az elmúlt hét évtizedben szerzett tapasztalatok, illetve a XXI. században megfogalmazódott igény figyelembe vételével folyamatosan növekedett. Az élet számos területén, így a katonai szállítások-, kiszolgálás- és speciális feladatok biztosítása Magyarországon és külföldi missziókban, egyéb mentési és katasztrófavédelmi —árvízvédelem, tűzoltás— feladatokban való részvétel esetében, vagy akár speciális építkezésekben való közreműködés esetén rádiótornyok építésénél, nagy tömegű hűtőberendezések telepítésénél vagy szélgenerátorok beemelésénél megmutatkoznak a repülésből származó előnyök és lehetőségek. Ezzel együtt természetesen a repüléssel szemben napjainkra megfogalmazódott környezetvédelmi szempontok érvényesítésével kell ezeket a feladatokat végrehajtani, ami a korábbiakhoz képest szigorúbb követelményeket támaszt minden, a repüléssel kapcsolatos tevékenység esetében. Ez csak a légi járművektől és a repülési eljárásoktól származó zaj pontos felmérése és megismerése, valamint a repülés és a környezeti zajvédelem minél magasabb szintű összhangjának megteremtésével lehetséges.

A gazdaság számos területén megfogalmazódott környezetvédelmi igény teljesítéséhez több olyan tényezőt kell feltárni, ami segíti a zaj értékelését és minősítését. Ennek érdekében került sor több olyan zajvizsgálatra, ami helikopterek üzemeltetése során átrepülések és felszálló üzemmód mutatta be az okozott zajterhelést, illetve a légi jármű által igénybe vett terület környezetében a zajjellemzők változásait. A mérési adatok szemléletesen mutatják a helikopter üzemeltetése során a környezetében fellépő hangnyomásszintek jellegét, nagyságát és az üzemi tényezők függvényében bekövetkező változásokat. Egy érkező és egy távolodó MI-8 típusú helikopter átrepülése során, közvetlenül az átrepülési útvonal alatt műszeres méréssel meghatározott zajterhelés adataiból megrajzolt zajszint-idő függvényt mutatja a 2. ábra.



2. ábra: Helikopter átrepülésétől származó zajszintek

A repülési zaj esetében a közúti közlekedéshez hasonlóan megfigyelhető a pillanatnyi hangnyomásszint értékek változásainak meghatározó jellege, és a magas értékek miatt fellépő jelentős zajhatás.

Háttérterhelés és alapzaj

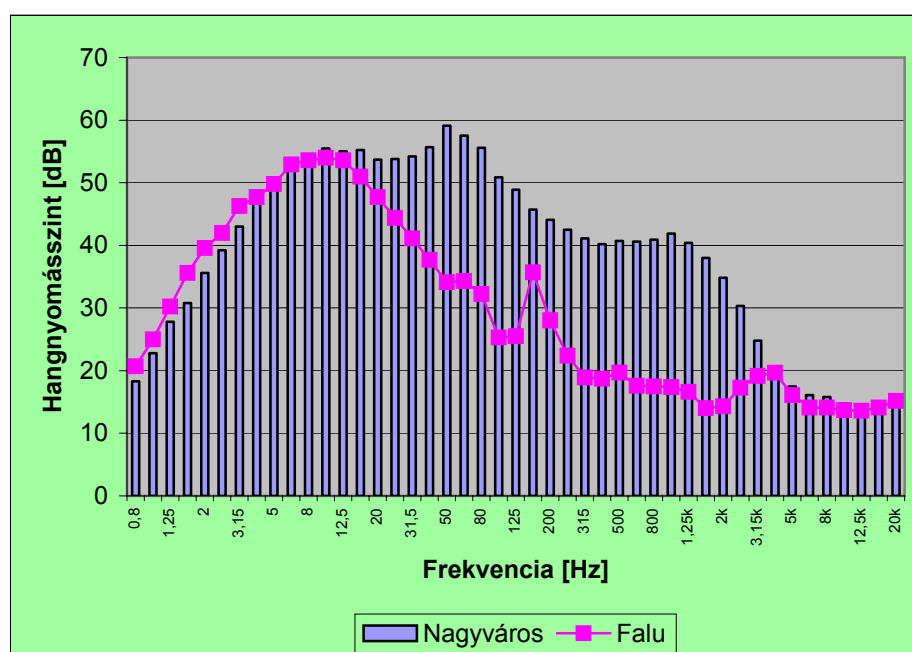
Egy-egy területen különböző időpontokban végzett mérések eredményei jól mutatják, hogyan módosulnak a környezeti zajjellemzők, milyen mértékben csökkent vagy növekedett a korábbiakban kimutatott zajterhelés. Települések zajvédelmi szempontú összetettsége miatt —együttesen érvényesül a közlekedéstől származó és a különböző üzemi berendezésektől eredő zaj— az alapzaj helyett egyre inkább a háttérterhelés vizsgálatára helyezzük a hangsúlyt, ami napjainkban már a jogalkotásban is

szerepet kapott. De mi a különbség az alapzaj és a háttérterhelés között, és milyen tényezők határozzák meg az észlelt zajhatásokat?

Amennyiben a fogalmi meghatározásban keressük a megoldást, a következő választ kapjuk, figyelembe véve a rendelkezésre álló műszaki előírásokat és jogszabályba foglalt követelményeket:

- Alapzaj olyan, a mérést zavaró zaj, melyet a mérés helyén, a mérési idő alatt nem a vizsgált zajforrás okoz, és zavaró hatása mérés technikailag nem küszöbölhető ki.
- Háttérterhelés a környezeti zajforrás hatásterületén a vizsgált zajforrás működése nélkül, de a forrás típusának megfelelő zajterhelés.

Annak eldöntése, illetve az alapállapotra jellemző zajhelyzet értékelése céljából eltérő körülmények mellett —nagyvárosban 10 emeletes lakótelepi házak között, és falusias jellegű lakóterület szélén— elvégzett mérés eredményeit foglaltuk össze a 3. számú ábrában. A mért hangnyomásszinteket a frekvencia függvényében tüntettük fel, ami a jellemző frekvenciasávokban megjelenő értékek összehasonlítását is lehetővé teszi.



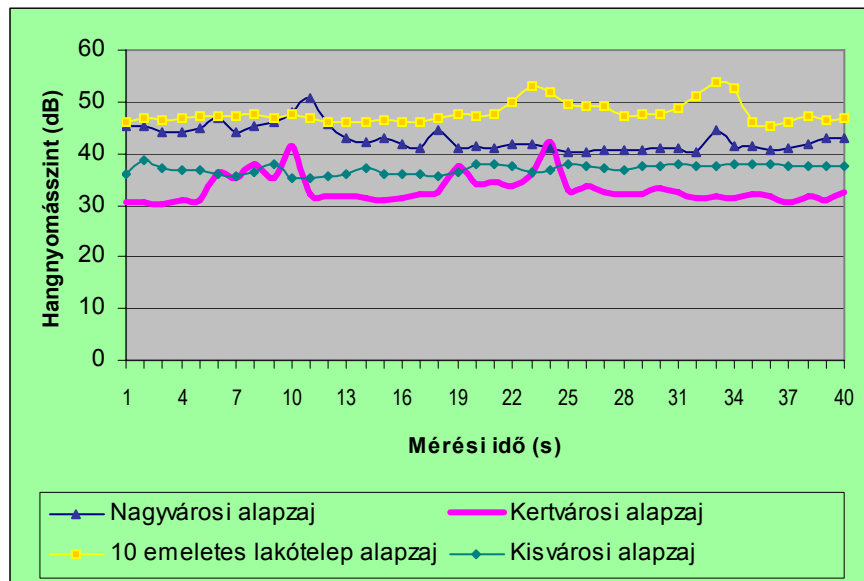
3. ábra: Alapzaj eltérő beépítettségű lakóterületeken

A mérési körülményeket a vizsgált települési környezet adottságai határozták meg, így a nagyvárosi lakóterületen mért zajszintet a közlekedés befolyásolta, míg a falusias lakóterületen szubjektív módon észlelhető hanghatást nem tapasztaltunk, vagyis csendesnek ítéltük meg a környezetet. Látható, hogy az $f = 0,8 \text{ Hz} - 12,5 \text{ Hz}$ frekvencia tartományban és az $f = 4000 \text{ Hz} - 20000 \text{ Hz}$ frekvencia tartományban nem mutatható ki jelentős eltérés vagy markáns különbség a hangnyomásszintekben, míg az $f = 16 \text{ Hz} - 3150 \text{ Hz}$ frekvencia tartományban a nagyvárosra jellemző, jóval magasabb hangnyomásszint értékek jellemzőek. Ennek figyelembe vételével feltételezhető, hogy az emberi tevékenységektől és a használt zajforrásoktól származó hanghatásokban —ezzel együtt a hangnyelésre és az épületek között kialakuló hangvisszaverődésre— az $f = 16 \text{ Hz} - 3150 \text{ Hz}$ frekvencia tartományban kimutatható hangnyomásszintek a meghatározóak. Az észlelt zajterhelés értékeit a 2. számú táblázatban foglaltuk össze.

Ki kell emelni, hogy az eltérő beépítettség és területhasználat, illetve a zajforrások száma miatt a mért értékekben az egyenértékű szintek, a legnagyobb és a legkisebb szintek esetében is jelentős az eltérés. Míg falusias lakóterületen, un. csendes környezetben a legkisebb érték 25-26 dB, addig nagyvárosi lakóterületen szinte lehetetlen 44-45 dB-nél kisebb értékeket kimutatni. Ez természetesen az egyenértékű szintek kialakulását is meghatározza, a különbség itt 15,5 dB.

Nagyvárosias lakóterület			Falusias lakóterület		
L_{Aeq}	L_{max}	L_{min}	L_{Aeq}	L_{max}	L_{min}
49,1 dB	55,2 dB	44,6 dB	33,6 dB	37,6 dB	25,8 dB

Ekkora eltérések esetében, valamint a nagyvárosban észlelt folyamatos zaj miatt már nem beszélhetünk alapzajról, hiszen a vizsgált nagyvárosias lakóterületen állandó zajterhelés állapítható meg a zajforrások tényleges azonosításának lehetősége nélkül. A különböző beépítettségű területen rögzített, alapállapotra jellemző hangnyomásszinteket a 4. számú ábrán foglaltuk össze.



4. ábra: Alapzaj különböző területeken

A zajszint-idő függvény alapján határozott eltérés mutatkozik a különböző területek zajterhelése között, ami azt az előzetesen rögzített megállapítást támasztja alá, hogy azokon a területeken, ahol a mért hangnyomásszintek a követelményértékeknél magasabbak vagy meghaladják azokat, a háttérterhelés további vizsgálata és értékelése szükséges. Mindez azonban felveti azt a kérdést, hogy mikor, illetve mekkora zajszint esetében beszélhetünk alapzajról és háttérterhelésről.

VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ÖSSZEVETÉSE

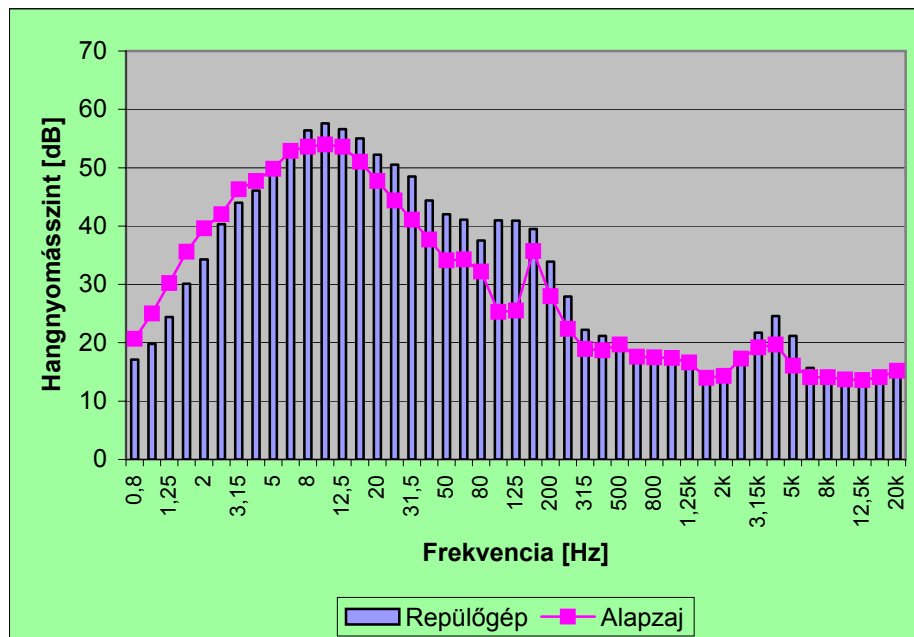
Annak érdekében, hogy a környezeti adottságok miatt kialakuló különbségeket értékeljük és a háttérterhelés jelentőségét vizsgáljuk, elvégeztünk több olyan vizsgálatot, ami a területi beépítettség, a zajforrások jellege és száma, illetve a zajt okozó emberi tevékenységek miatt módosíthatja az alapzaj vagy a háttérterhelés megítélését.

Repülési zaj nagyvárosias és falusias lakóterületen

Mérési eredményeink rámutattak, hogy jelentős zajforrás nélküli, falusias lakóterületen mind nappal, mind éjjel kedvező helyzet alakul ki, alapállapotban nem mutatható ki jelentős zajterhelés. Ilyen területet vizsgáltunk a közlekedésben meghatározó zajforrás, repülőgép esetében.

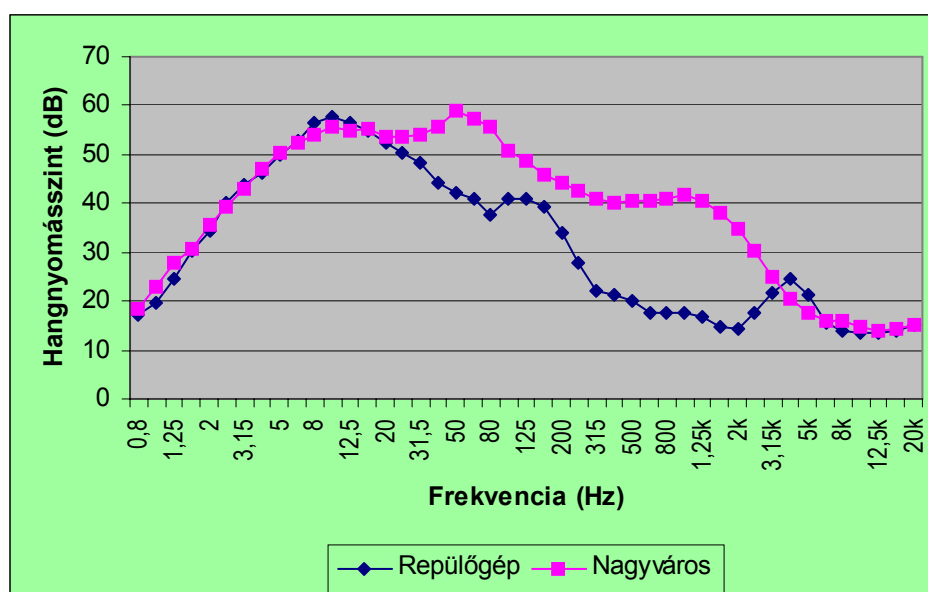
A mérési körülményeket a szokásostól eltérő módon választottuk meg, utazási magasságon —kb. 10 000 m-en— átrepülő utasszállító repülőgéptől származó zajt vizsgáltunk azzal a céllal, hogy az okozott zaj mennyiben emelkedik ki a nagyvárosban és a falusias lakóterületen észlelt alapzajból. Az

alapzaj értékeit és az átrepüléstől származó hangnyomásszinteket a frekvencia függvényében az 5. számú ábrán szemléltetjük.



5. ábra: Alapzaj és átrepülési zajszint falusias lakóterületen

Látható, hogy a földön kijelölt terhelési ponttól nagy távolságban mozgó zajforrás kimutatható, szubjektív megfigyeléssel is észlelhető zajterhelést okoz, amikor a vizsgált területre kicsi alapzaj jellemző. Ebben az esetben a hangelfedés csak az $f = 6,3$ Hz alatti infrahang tartományban, valamint az $f = 8000$ Hz frekvencia tartományban érvényesül. Az $f = 100-250$ Hz frekvenciák között a hangnyomásszintek határozottan kiemelkednek, elkülönülnek az alapállapotban mért értékektől. A mélyhangú összetevők miatt a zaj jól hallható. Nézzük meg, hogy hasonló repülési zajesemény mennyiben módosítja a nagyvárosi lakótelepi környezetben mért alapzaj-szinteket, a vizsgálati eredményeket a 6. számú ábra mutatja.



6. ábra: Repülési zaj és nagyvárosban mért alapzaj

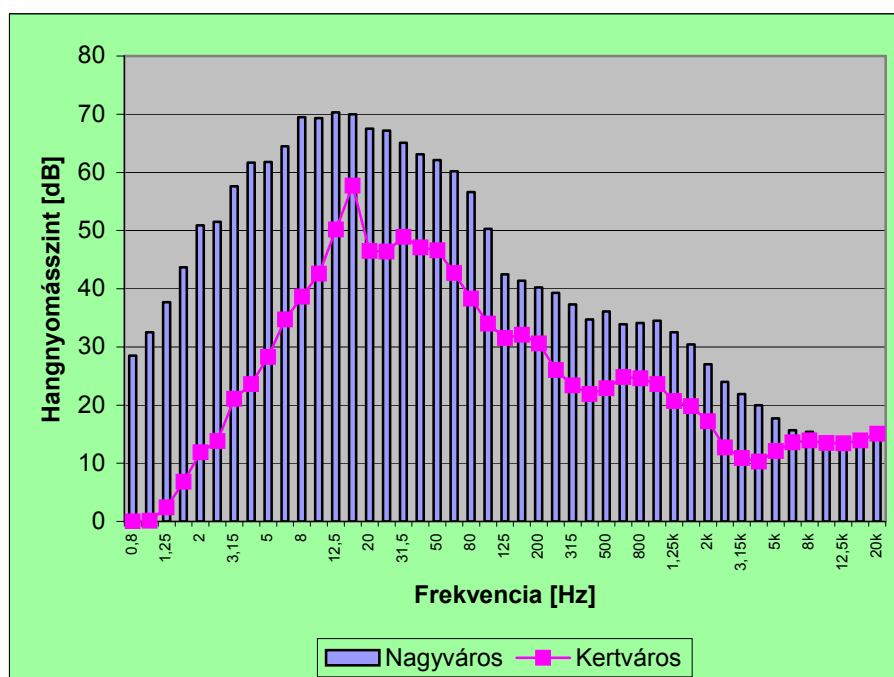
A mért értékek alapján felvett zajszint-frekvencia függvény alapján az $f = 0,8-20$ Hz közötti infrahang tartományban és a magasabb $f = 8000-20000$ Hz tartományban nem állapítható meg eltérés. Ugyanakkor a települési környezetre jellemző magas zajszintek miatt a hangelfedés teljes frekvencia sávban érvényesül, vagyis a repülési zajt ilyen körülmények között mérésrel nem lehet kimutatni. Ez egyben azt jelenti, hogy ebben esetben már háttérterhelésről beszélünk, a vizsgált terület alapállapotban is zajosnak mondható.

Üzemi zaj nagyvárosias és kisvárosias lakóterületen

Üzemi jellegű zajforrások telepítésénél és későbbi vizsgálatánál a korábban tárgyalt közlekedési eredetű zajterheléshez hasonlóan szintén meghatározó lesz, hogy az adott területen mekkora az alapzaj, vagy éppen a beépítettség miatt a háttérterhelést kell meghatároznunk és vizsgálnunk. Ehhez először nézzük meg, hogy milyen zajhellyzettel számolhatunk. A vizsgálathoz két eltérő jellegű területet jelöltünk ki, nagyvárosi lakóterületet Budapest IX. kerületében, majd kertvárosi családi házas lakóterületet egy Budapest környéki településen. A két terület éjszakai zajhelyzetét a 3. számú táblázatban összefoglalt adatokkal és a 7. számú ábra alapján szemléltetjük.

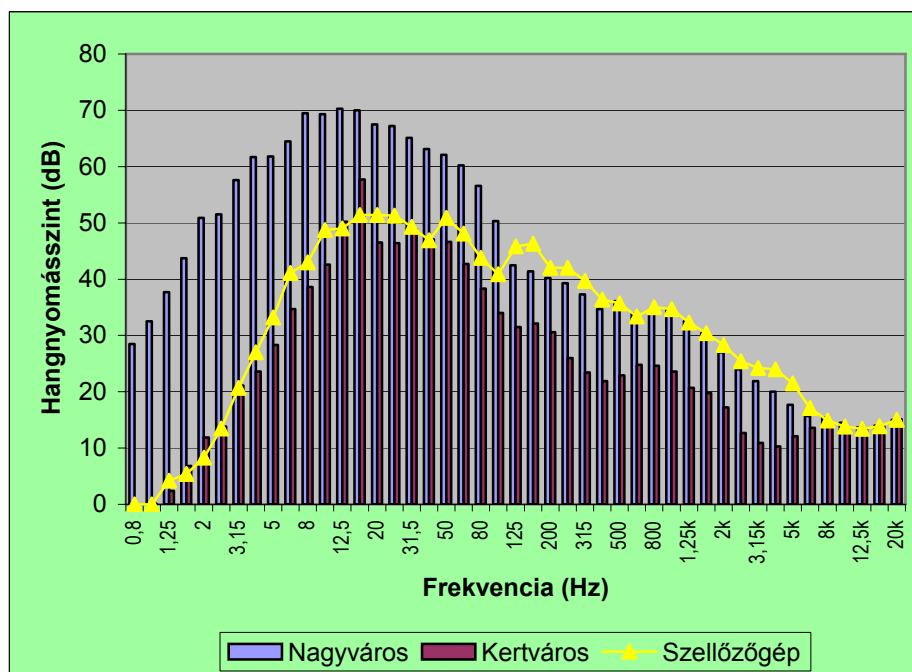
Alapzaj nagyvárosban és kertvárosias lakóterületen 3. táblázat

Nagyvárosias lakóterület Budapest IX. kerület			Kertvárosias lakóterület Családi házas környezet		
L_{Aeq}	L_{max}	L_{min}	L_{Aeq}	L_{max}	L_{min}
44,1 dB	50,2 dB	40,3 dB	32,0 dB	37,0 dB	30,6 dB



7. ábra: Alapzaj értékek nagyvárosban és kertvárosban

A mért értékek éjjeli időszakra vonatkoznak, ekkor a kertvárosi lakóterületen jelentősebb hangnyomásszint csak az $f = 16-1250$ Hz frekvencia tartományban volt kimutatható. Ezzel szemben nagyvárosi környezetben éjszaka is a teljes frekvenciatartományban észlelhetőek kimagasló zajszint értékek, ami nagyobb részt a közlekedésnek tudható be. Emiatt egy üzemi zajforrástól származó zaj a környezeti zajtól elkülönülten már nehezen mutatható ki, sok esetben azonosítása nem is lehetséges. Ennek alátámasztására hasonlítottunk össze egy tetőre telepített szellőzőgép működésétől származó zajterhelést és az adott területre jellemző alapzajt, amit a 8. ábra szemléltet.



8. ábra: Alapzaj-szintek és szellőzőgéptől származó zajterhelés

Látható, hogy a szellőzőgéptől származó zaj a nagyvárosi beépítettség mellett az alapállapotra jellemző hangnyomásszintektől nem mutatható ki, addig a kertvárosi környezetben az alapzajtól jól elkülönült módon hallható, illetve méréssel meghatározható. Míg a hangelfedés hatása nagyvárosban szinte a teljes frekvenciatartományban érvényesül, addig a csendesnek minősített családi házas terület esetében a gépészeti berendezés jelentős zajterhelést okoz. Emiatt a környezeti zaj értékelésénél és minősítésénél a település jellege, a beépítettség és az alapállapotban kialakult zajhelyzet a közlekedési zajhoz hasonlóan meghatározó tényező lesz.

KÖVETKEZTETÉSEK

Környezeti zajforrások telepítésénél és üzemeltetésénél, az okozott zajterhelés megítélését és minősítését a zajforrás —közlekedés, üzem, egyéb épületgépészeti berendezés— jellemzői mellett a környezeti adottságok alapvetően meghatározzák, esetenként jelentős mértékben befolyásolják.

A tapasztalati összefüggések és a vizsgálati eredmények figyelembe vételével a következőket állapíthatjuk meg:

- Környezeti zaj elleni védelem szempontjából a háttérterhelés vizsgálata során tisztázni kell az üzemi jellegű és a közlekedési zajforrások szerepét és hatását, a kimutatott zaj forrását. Egy-egy eltérő beépítettségű és funkciójú területen jelentős eltérések mutatkoznak az alapállapotra jellemző zajterhelésben, ami az alapzaj és a háttérterhelés értelmezését a zajforrások dominanciája miatt alapvetően módosíthatja.
- Azokon a területeken, ahol a nagyvárosias beépítettség miatt a zajforrások azonosítása nem lehetséges, az üzemi és a közlekedési zaj elkülönült vizsgálata is nehéz, a legtöbb esetben objektív módon nem végezhető el. Ez a további értékelést és a követelmények meghatározását akadályozza, illetve torzítja, a háttérterhelés jelentőségét kiemeli.
- Az alapzaj és a háttérterhelés szerepét el kell választani a hatásterület kijelölésétől és a hatásterület minősítésétől. Egy zajforrás működése a műszaki jellemzőktől és a hangterjedést befolyásoló környezeti jellemzőktől függően érvényesül az érintett környezetben, az alapzajhoz hozzáadódik attól függetlenül, hogy a háttérterhelés miatt a hangelfedés hatása érvényesül.
- A követelményértékek meghatározását és vizsgálatát el kell különíteni a háttérterheléstől, az elzajosodott területek vizsgálatát és kezelését el kell fogadnunk.

Az elvégzett vizsgálatok eredményeinek figyelembe vételével látható, hogy az egyes környezeti zajforrások műszaki adottságai, telepítési és üzemviteli körülményei mellett az egyes környezeti jellemzők és a beépítettség részletesebb elemzésére is szükség van a kialakuló hangtér megismeréséhez, a várható zajterhelés minél pontosabb meghatározásához. A zajterhelést és a zavaró hatást a hangnyomásszint és a frekvencia jelleg együttesen határozza meg, az alapzaj és a háttérterhelés vizsgálata során is indokolt lesz a jövőben ennek megfelelő részletességgel elvégezni a további vizsgálatokat.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Fenti gondolatok megfogalmazása és a tanulmány összeállítása életem darabkája, azon munka része, amit édesapám egy-egy kérdéssel, vagy rövid véleményével támogatott. Soha nem adott annyit, ami könnyedén sikerre vitt volna, soha sem vett el belőle, de csendben mindig segített, hogy a célkitűzést elérjem. A maga módján így járult hozzá, hogy a környezetvédelemben vett hitem megmaradjon, és ne veszítsem el a lelkesedésem.

Édesapám azon a napon halt meg, mikor ezt a tanulmányt befejeztem. Ezért ajánlom ezeket a gondolatokat az ő emlékére.

Az emberi élet és a csend hangjai elválaszthatatlanok, legnagyobb kincs a hang szülő és gyermek, apa és fiú között. Lehet, hogy csak egy kézmozdulat, lehet csak egy ölelés, de a benne rejlő energia mozgat. Sokat mond, és eljön az idő, mikor az egyetlen kapcsolat. De csend nélkül nincs gondolat, elvész a harmónia. A csendben tovaszálló mosoly erőt ad, elsimítja a hullámokat, lelkünk a csendben adott erő nélkül mit sem ér. Vigyázzunk hát erre az isteni adományra, amit apák a fiúknak csendben, halkán és figyelve továbbadnak, mikor a hallgatás erejével biztatnak, és hallgatásunkban benne rejlik az öröm, az élet, az erő a felemelkedéshez. Nevelés és bizalom, mit apák a fiúknak adni tudnak. A csend ehhez közvetítő erő, őrizzük hát, hogy apánk ereje gyermekeink jövője legyen, adjuk tovább apák és fiúk között, mert eltépni nem lehet az Isten adta szövetséget.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Helikopter leszállóhely zajvédelmi tervezése.
Repüléstudományi Közlemények különszám, 2007. április 20., Szolnok.
- [2] Repülési zaj értékelése.
Műszaki Füzetek IV., Debrecen, 2008., p. 5-14.
http://store1.digitalcity.eu.com/store/clients/release/musz_fuz_jo_04.pdf
- [3] BERA JÓZSEF - DR. POKORÁDI LÁSZLÓ: A repülési zaj mérésének aktuális kérdései. Járművek 47. évfolyam, Budapest, 2000/1-2, 25-30. o.

A MŰSZAKI RENDSZEREK ÁRAMLÁSTANI FOLYAMATAINAK EGYSÉGES ÉRTELMEZÉSE

BEVEZETÉS

A műszaki berendezésekben végbemenő folyamatok jelentős része kapcsolatban vannak a fluidumok áramlásával, és keverésével, amelyeket az áramlástan egyenletei írnak le [1], [2], [3]. Az áramlástan törvényeinek ismerete fontos, mert ezek a törvények jelentősen meghatározzák az ipari készülékekben lejátszódó hő- és anyagátviteli folyamatok sebességét, valamint a műszaki kémiai reakciók jellegét is [4], [5]. Előadásunkban, a műszaki rendszerekben előforduló áramlási műveletek egységes értelmezését adjuk meg a Fanning-Blickle súrlódási tényező bevezetésével.

AZ ÁRAMLÁS ENERGIAMEGMARADÁSÁNAK ELVE

A Navier-Sokes-egyenlet, az áramlástan alapegyenlete, ami a mozgásmennyiségre (impulzusra) adja meg a megmaradási tételt, és vektor differenciálegyenlettel felírt alakja [6], [7]:

$$\rho \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{v} \nabla \bar{v} \right) = -\nabla p + \eta \nabla^2 \bar{v} + \rho \bar{g}, \quad (1)$$

ahol ρ a tömegsűrűséget, \bar{v} a sebességvektort, η a dinamikus viszkozitást, p a nyomást, t az időt és ∇ a nabla vektort jelöli. Az (1) egyenlet analitikusan csak néhány speciális esetben integrálható. Ilyen eset például az ideális newtoni fluidumok stacionárius áramlása nehézségi erőterben. Az energia megmaradást leíró Bernoulli- egyenlet:

$$z g \rho + p + \frac{v^2 \rho}{2} = \text{konst.} \quad (2)$$

A reális fluidumok áramlásakor a fluidumok viszkozitása miatt fellépő súrlódó erőkkel szemben a fluidumoknak munkát kell végezni, súrlódási nyomásveszteség lép fel, eközben a folyadék összes energiájának egy része irreverzibilisen hővé alakul, és a fluidum felmelegszik. Azért, hogy a Bernoulli-egyenlet reális fluidumokra is érvényes legyen, a csőhidraulikában Fanning és Darcy a (2) egyenletet kiegészítették egy Δp_v veszteségtaggal, és ha $v_1 = v_2 = v$, akkor

$$(z_1 - z_2) \rho g + p_1 - p_2 = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2 \rho}{2} = 4f \frac{L}{D} \frac{v^2 \rho}{2} = \Delta p_v, \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{-D(dp/dz)}{\rho(v^2/2)} \text{ és } f = \frac{\tau_w}{\rho(v^2/2)}. \quad (4)$$

A (3) és (4) egyenletekben, $\lambda = 4f$, ahol f a Fanning- és λ a Darcy-féle súrlódási tényező, ami a Reynolds-szám függvényében adtak meg az úgynevezett kritériális egyenletekkel, L a cső hossza, D a cső átmérője, és τ_w nyírófeszültség a csőfal és a fluidum között. A Fanning által megadott csősúrlódási tényezőt általánosítjuk, és bevezetjük a Fanning-Blickle súrlódási tényezőt, amellyel a műszaki rendszerekben az áramlási veszteségeket egységesen tudjuk értelmezni:

$$f_{FB} = \frac{F_k}{S \rho \frac{v^2}{2}} \quad (5)$$

F_k az áramlás fenntartásához szükséges, vagy az áramlaskor fellépő karakterisztikus erőt, S a súrlódó illetve az ütköző felületet jelöli.

AZ ÁRAMLÁS JELLEMZÉSE

A fluidumok áramlását a Reynolds- számmal jellemezzük. A Re -szám a tehetetlenségi- és a viszkozus erők hányadosa. Minden áramlási folyamathoz tartozik egy kritikus Reynolds-szám, Re_k . Ha $Re < Re_k$, akkor az áramlás lamináris, ha $Re > Re_k$, akkor az áramlás átmeneti, és ha $Re \gg Re_k$, akkor az áramlás turbulens. Valamennyi áramlási folyamatra érvényesek az alábbi szempontok:

1. A hidraulikus műveletek Re -számaikat a csőhidraulikában ismert Re -számok, $Re = vD\rho/\eta$ általánosításával adják meg.
2. Lamináris tartomány végét a kritikus Re -szám jellemzi.
3. Lamináris és turbulens tartományok nem válnak el élesen egymástól, a két tartomány között helyezkedik el az átmeneti tartomány.
4. A különböző áramlási műveleteknél a Re -számok nagyságrendekkel is eltérhetnek egymástól. A különböző hidrodinamikai folyamatokban az áramlási tartományok nagysága és a kritikus Re -számok között nincs közvetlen összefüggés.
5. Lamináris tartományban az energia veszteségeket a lamináris áramlás alapegyenletéből, a Hagen-Poiseuille egyenletből (az esetek többségében) számíthatjuk.
6. A turbulens tartományban az általánosított keveredési tényező (diffúziós állandó, hővezetési tényező, dinamikus viszkozitás) jelentősen megnő ezért a turbulens áramlásnak ipari jelentősége van.
7. Az energiavesztés lamináris tartományban $e_{lam.} = f(\dots, \eta, v)$ többek között a fluidum viszkozitásától és a fluidum sebességétől függ, de nem függ a sűrűségétől. Stokes-féle súrlódás lép fel és súrlódó erők jelennek meg.
8. Turbulens tartományban az energiavesztés $e_{turb.} = f(\dots, \rho, v^2)$ a fluidum sűrűségétől és a sebesség négyzetétől függ, de nem függ a fluidum viszkozitásától. Newton-féle súrlódás lép fel és tehetetlenségi erők jelennek meg.
9. Átmeneti tartományban a súrlódó- és a tehetetlenségi erők egyidejűleg vannak.
10. Az egyes hidraulikus műveletek veszteségtényezőit a művelethez tartozó Reynolds-szám függvényében adják meg az úgynevezett kritériális egyenletekkel, vagy diagramokon ábrázolják, amiről viszonylagosan nagy hibával olvashatjuk le.

MŰVELETEK VESZTESÉGTÉNYEZŐI

1. Áramlási veszteségek egyszerű rendszerekben.

Egyszerű rendszerek csoportjába soroljuk azokat a hidraulikus folyamatokat, amelyeknél a Fanning-Blickle súrlódási tényező, (5) egyenlet, elegendő az áramlási veszteségek megadásához. Ezek alapján ebbe a csoportba kerül az áramlás csővezetékben, ülepedés (körüláramlott test) és a keverés műveleteit.

- 1.1. Áramlás csővezetékben.

A fluidumok áramlása csővezetékben műveletnél az egyik fontos műszaki paraméter a szivattyú teljesítményszükségletének a meghatározása. A csőhidraulikában a Fanning-Blickle és a Fanning súrlódási tényező természetesen azonos:

$$f_{\text{FB}} = f = \frac{F_k}{S\rho\frac{v^2}{2}} = \frac{(p_1 - p_2)\frac{D^2\pi}{4}}{D\pi L\rho\frac{v^2}{2}} = \frac{(p_1 - p_2)D}{2L\rho v^2} = \frac{\Delta p_v}{L} \frac{D}{2\rho v^2}, \quad (6)$$

Az (6) egyenletből a nyomásvesztést kifejezve a (3) egyenlethez jutunk. Lamináris áramlásnál a súrlódási tényező a Hagen-Poiseuille egyenletből közvetlenül kiszámítható.

1.2. Körüláramlott vagy ülepedő test

Ha a közeg (fluidum) körüláramolja a testet, vagy a test haladó mozgást végez a fluidumban, akkor közegellenállásról beszélünk, és az $f_{\text{FB}} = C_d$ közegellenállási tényező a (4) egyenlet alapján:

$$f_{\text{FB}} = C_d = \frac{F_k}{S_u \left(\rho \frac{v^2}{2} \right)}. \quad (7)$$

A (7) egyenletben S_u az ütközési felület, F_k közegellenállási erő, ami a Newton- és a Stokes-féle súrlódásra egyaránt érvényes. Lamináris áramlásnál Stokes törvény szerint, gömb alakú részecskékre $F_k = 3d\pi\eta v$.

Amennyiben a test sebessége nulla, és a fluidum körüláramolja a testet (például az épületet, híd lábazatát, villanyoszlopot, stb. a víz vagy a levegő), akkor a közegellenállási tényező ismeretében a közegellenállási erő számítható.

Gyakran előfordul olyan eset, amikor a test is és a közeg is mozog (gépkocsi mozgása szélben, hajó mozgása folyón, folyamatos ülepitő berendezések, porleválasztók, stb.), ekkor az eredő sebességekkel kell számolnunk.

Az ülepitési műveletnél (folyadék elválasztása szilárd anyagtól) amikor a közeg áll és a test ülepszik a közegben, az ülepedési végső sebesség meghatározása a cél, ahol a részecske sebessége állandó, vagyis a közegellenállási erő egyenlő a test archimedesi súlyával. Ez az állapot igen rövid idő alatt bekövetkezik. Ebben az esetben az ülepedési idő meghatározása a mérnöki feladat, amiből az ülepitő berendezések tervezhetők. A közegellenállási tényezőket az ülepedési Reynolds szám függvényében adják meg. Lamináris áramlásnál a közegellenállási tényező a Hagen-Poiseuille egyenletből közvetlenül kiszámítható.

1.3. Folyadékok keverése

A folyadékok keverését a körüláramlott test, illetve a folyadékban mozgatott test alapösszefüggéseivel tudjuk leírni. Keverésnél egy tengelyre erősített test közegellenállása révén akadályozza a keverő (mozgását) forgatását. A közegellenállási erő helyett itt a keverés teljesítményszükségletének meghatározása a mérnöki feladat. Egy d hosszúságú keverőlapát $d/2$ sugár mentén, tengely körül n fordulatszámmal forog a folyadékban. A keverőlapát mozgási sebessége, a kerületi sebesség, a tengelytől távolodva 0 és $d/2$ tartományban az r sugár mentén folyamatosan nő, ezért az elemi dS felület integrálásával kapjuk a keverőlapát teljes S felületén fellépő erőt. Az S a keverőlapát áramlás irányára merőleges w szélességű, legnagyobb szelvényének területe (ütközési felület). Mindezek alapján a tengelytől $d/2$ távolságban levő keverőlapát dS_u elemi felületére dF_{kev} erő hat. A (7) összefüggés ebben az esetben:

$$f_{\text{FB}} = C_d = \frac{dF_{\text{kev}}}{dS_u \left(\rho \frac{v^2}{2} \right)}. \quad (8)$$

Az erő helyett $P = Fv$ teljesítményt, a v helyébe a kerületi sebességet írjuk, és a w -t a geometriai simplex és az átmérő szorzatával $w = ad$ adjuk meg, akkor az integrálás után a keverőelem ellenállási tényezője a keverési Euler számnak felel meg:

$$Eu_{kev} = f_{kev} \frac{a\pi^3}{8} = \frac{P}{\rho n^3 d^5}. \quad (9)$$

A keverési Euler-számot a keverési Reynolds szám hatványfüggvényében adják meg, és az Eu-szám ismeretében a geometriailag hasonló keverők teljesítményigénye kiszámítható.

2. Áramlási veszteségek összetett rendszerekben.

Összetett rendszerek csoportjába soroljuk azokat a hidraulikus folyamatokat, amelyekhez a Fanning-Blickle súrlódási tényező ismeretén túl, még definiálni kell más műveleti jellemzőket, mint például a fajlagos felület, töltet porozitása, stb. Idesoroltuk az áramlás töltött oszlopon, fluidizáció és a szűrés műveleteit.

2.1. Töltött oszlopon fellépő nyomásesés

A töltött oszlop legfontosabb működési paramétere, az oszlopon fellépő nyomásesés. Az oszlop áramlás szempontjából úgy néz ki, hogy középen vannak a csövek (kapillárisok) a körüláramlott testek között. A kapillárisokra értelemszerűen alkalmazzuk a csőhidraulikában ismert összefüggést:

$$f_{FB} = \frac{F_k}{S\rho \frac{v^2}{2}} = \frac{(p_1 - p_2) \frac{D_h^2 \pi}{4}}{D_h \pi L \rho \frac{v_\varepsilon^2}{2}} = \frac{\Delta p_v}{L} \frac{D_h}{2\rho v_\varepsilon^2}, \quad (10)$$

A (10) egyenletben D_h a hidraulikus átmérő, és v_ε a fluidum áramlási sebessége a kapillárisokban. Helyettesítsünk a (10) egyenletbe mérhető mennyiségeket, a hidraulikus átmérő helyett részecske d_p átmérőjét, a v_ε áramlási sebesség helyett a töltet előtti v_0 sebességet, akkor gömb alakú részecskére:

$$f_p = 3f_{FB} = \Delta p_v \frac{d_p}{L} \frac{\varepsilon^3}{(1 - \varepsilon)\rho_f v_0^2}. \quad (11)$$

A (11) egyenletben ε a töltet porozitása. A (11) egyenletből a nyomáskülönbség az f_p ismeretében számítható.

2.2. Fluidizáció

Ha gáz vagy folyadék, egy függőleges csőben kis lyukátmérőjű perforált lemezen (tartórácson) elhelyezett szemcsés rétegen áramlik alulról felfelé, akkor elegendően nagy sebességű fluidumáram esetén a szilárd részecskék lebegnek a fluidumáramban. Az így létrejövő réteget fluidizált rétegnek nevezzük, és magát a műveletet fluidizációnak. Fluidizációnál a cél fluidizáció beindításához szükséges minimális fluidizációs sebesség meghatározása. A fluidizáció jelenség leírására, hasonlóan körüláramlott, vagy ülepedő testekéhez, itt is az erőegyensúly elvét használjuk. Gravitációs erőterben a részecskékre a gravitációs erő és a felhajtó erő eredője, az archimedesi súly hat. A fluidizáció akkor kezdődik, a töltet akkor tud megmozdulni, ha a töltet ellenállásából származó súrlódó erő, a (10) egyenletből, megegyezik a töltet archimedesi súlyával:

$$f_p \frac{L\rho_f}{d_p} \left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon^3} \right) v_0^2 = L(1-\varepsilon)(\rho_d - \rho_f)g. \quad (12)$$

A (12) egyenlet a fluidizáció kezdeti szakaszára is érvényes, ahol a fluidum sebessége megegyezik a minimális fluidizációs sebességgel, $v_0 = v_{\text{omin}}$. Az optimális fluidizációs sebességet, a minimális fluidizációs sebesség ismeretében definiáljuk. A részecskék porozitása a fluidizációs tartományon belül is minimális, amit mérésekkel, illetve közelítő számításokkal lehet meghatározni. Mindezek ismeretében a fluidizációs kezdeti sebessége a (12) egyenletből kiszámítható.

2.3. Szűrés

A szűrés (szűrőrétegen való áramlás) az álló szilárd szemcsés rétegen történő folyadékáramláshoz hasonló jelenség. A folyadék itt felülről lefelé áramlik a szemcsés rétegen. A különbség az, hogy a szűrés folyamán az iszapréteg vastagsága nő, ami azt jelenti, hogy állandó nyomáskülönbség mellett, a növekvő ellenállás miatt a szűrlet térfogatárama csökken. A szűrésnél a feladat, egy olyan matematikai modell keresése, ami összefüggést ad a szűrési idő és a szűrlet térfogata között. Kiindulhatunk a töltött oszlopon fellépő nyomásesés (11) egyenletéből. Ha az iszapréteg összenyomhatatlannak tekinthető, akkor a szűrőréteg nagy ellenállású töltött rétegek számát, melynek pórusai között, a kialakult kapillárisokban az áramlás lamináris. A szűrésnél a szűrőréteg előtt és után az áramlási sebesség állandó, a súrlódási tényezőt a Blake-Kozeny egyenlettel számíthatjuk. A (11) egyenlet definiálja a nyomásesést a töltött oszlopon, a Blake-Kozeny egyenlettel számíthatjuk lamináris esetre a súrlódási tényezőt. A két egyenlet kombinálásával a Darcy-féle szűrés alapegyenlethez jutunk:

$$v = \frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = \frac{\varepsilon^3 d_p^2}{150(1-\varepsilon)^2 \eta L} \frac{\Delta p}{\alpha \eta L}, \quad (13)$$

ahol A a szűrő felülete, V a szűrlet térfogata, α a fajlagos ellenállását jelöli. A (13) egyenlet integrálásával, valamint a szűrési állandók definiálásával, és kísérleti meghatározásával a szűrlet térfogata és a szűrési idő közötti függvénykapcsolat megadható.

ÖSSZEFOGLALÁS

A műszaki áramlással kapcsolatos műveletek, a Fanning-Blickle súrlódási tényező bevezetésével egy új rendszerbe foglalhatók. A súrlódási tényezőket a műveletre jellemző Reynolds-szám függvényében az úgynevezett kritériális egyenletekkel adják meg. Ezek az egyenletek a dimenziómentes számok hatványszorzatai, amelyekben a konstans szorzót és a hatványkitevőket kísérletileg kell meghatározni, és csak az adott mérési tartományokra érvényesek. A súrlódási tényezőket ezeknek az egyenleteknek a megoldásával kapjuk, vagy diagramokról olvassuk le.

IRODALOMI HÍVATKOZÁSOK

- [1]. Lajos Tamás: Az áramlástan alapjai. Műegyetemi Kiadó, Budapest. (2004).
- [2]. A. G. Kasztkin: Alapműveletek, gépek és készülékek a vegyiparban. Műszaki Könyvkiadó, Budapest (1976).
- [3]. Benedek Pál, László Antal: A vegyészmérnöki tudomány alapjai. Műszaki Könyvkiadó, Budapest (1964).
- [4]. Halász Gyné, Kalmár F.: Intelligens fűtőkorszerűsítés I. Magyar installateur 2005. 3. Budapest, p.24-26

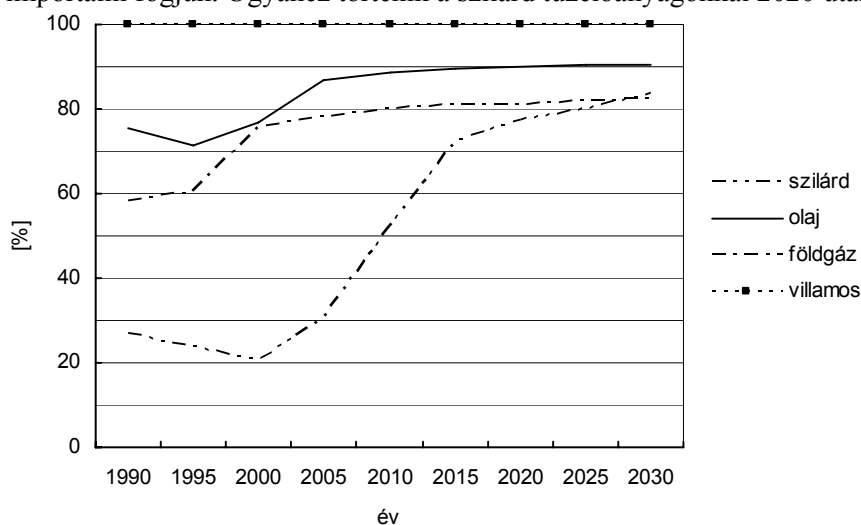
- [5]. Kalmár F., Halász Gyné.: Különböző hőtermelővel ellátott fűtési rendszerek exergetikai összehasonlítása I. rész, Magyar épületgépészet, vol. VI. 12 sz.,2007.
- [6]. J. Ciborowski: A vegyipari műveletek alapjai. Műszaki Könyvkiadó. Budapest (1969).
- [7]. John H. Perry: Vegyészmérnökök kézikönyve I. Műszaki Könyvkiadó. Budapest (1968).

ÉPÜLETEK FŰTÉSI HATÁRHŐMÉRSÉKLETE

1. ENERGIAFELHASZNÁLÁS MAGYARORSZÁGON

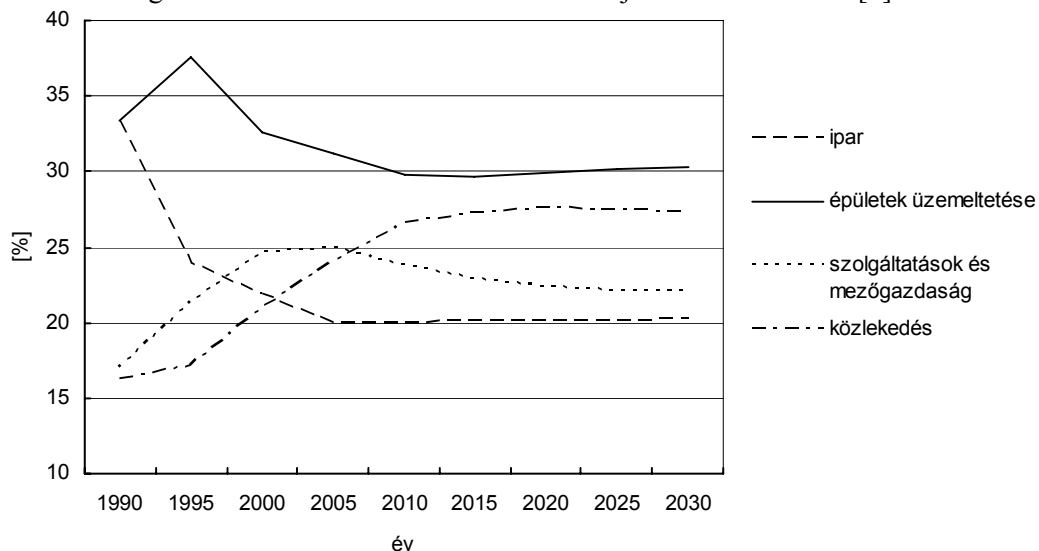
Magyarország összes energiafelhasználása a 2000 évben 15,85 Mtoe-nek felelt meg [1]. A fosszilis tüzelőanyag elégetéséből származó CO₂ a 2000 évben 53,7 Mtonna, amiből az épületek üzemeltetése 8,3 Mtonnát „termelt”. Ez egy csökkenést jelent ebben a szektorban, hiszen 1990-ben a CO₂ kibocsátás elérte a 14,1 Mtonnát [1], más források szerint a 16,32 Mtonnát [2].

Ha elemezzük Magyarország importfüggőségét energiahordozók szempontjából (1. ábra), akkor láthatjuk, hogy a két legfontosabb energiahordozót (földgáz és kőolaj) a 2010 év környékén már több mint 80%-ban importálni fogjuk. Ugyanez történik a szilárd tüzelőanyagokkal 2020 után.



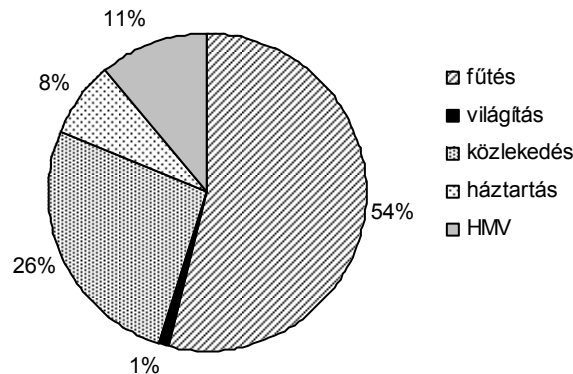
1. ábra A világ energiafogyasztásának megoszlása

A 2. ábra az energiafelhasználás várható változását mutatja be szektoronként [1].



2. ábra Az energiafelhasználás várható változása szektoronként

A 2. ábrában jól látható az energiafelhasználás csökkenése az épületek üzemeltetésében az 1995-2010-es időszakban az energiatakarékosági programoknak köszönhetően. A közlekedési szektorban felhasznált energiamennyiség növekedik, de a 2010-es éve után az arányok stabilizálódása várható. Ekkor az épületek üzemeltetése 30%-ot, az ipar 20%-ot, a közlekedés 28%-ot és a szolgáltatások 22%-ot tesznek majd ki az összenergiafelhasználásból. Ez az alacsonyabb ipari és közlekedési tevékenységnek is köszönhető. Ha az ország importfüggőségét, illetve, a meglévő épületállomány és az azt kiszolgáló épületgépészeti berendezések állapotát is figyelembe vesszük akkor Magyarországon is elsődleges szempont kell legyen az épületek energiafelhasználásának csökkentése. Ha a lakossági energiafogyasztás megoszlását [3] elemezzük (3. ábra) akkor látható, hogy a legnagyobb részt az épületek fűtése teszi ki.



3. ábra A lakossági energiafogyasztás Magyarországon

Tehát az épületek energiafogyasztásának jelentős hányadát a fűtési energiaszükséglet teszi ki. Ez annak tudható be, hogy Magyarországon a lakások többsége olyan épületekben található melyek tervezésénél és megvalósításánál nem vették figyelembe a jövőbeli energiafogyasztást. Ebből adódik, hogy az épületek külső falainak hőátbocsátási tényezője eléri az 1,3...1,7 W/(m²K)-t, a nyílászáróké, pedig a 3 W/(m²K)-t [4]. Az épületben üzemeltetett fűtési rendszerek nagy részben elavultak úgy fizikailag, mint erkölcsileg, nagy energiavesztéssel működnek, nincsenek szabályozva és sok helyen még a fogyasztás egyedi mérése sem lehetséges [5], [7].

2. ÉPÜLETFELÚJÍTÁS, HŐSZÜKSÉGLET ÉS ENERGIAFOGYASZTÁS

Egy épület veszteségtényezőjét (K), vagyis az egységnyi belső-külső hőfokkülönbségnél fennálló hővesztéséget, a következő egyenlet alapján számítjuk:

$$K = \sum A_f k_f + \sum A_o k_o + \sum A_t k_t + \sum l \Psi_l + \rho c n v \quad (1)$$

ahol: A_f a külső fal felülete, [m²]; A_o – opaque felület (kivéve külső falak), [m²]; A_t – transzparens felület, [m²]; k_f , k_o , k_t – a külső fal, a többi opaque illetve a transzparens felület hőátbocsátási tényezője, [W/(m²K)], l – hőhid (csatlakozási él) hossz [m]; Σl – vonalmenti hőátbocsátási tényező, [W/(mK)].

Ezzel a az épület fűtési határhőmérséklete felírható:

$$t_h = t_i - \frac{Q_s + Q_b}{K} \quad (2)$$

A hőfokgyakorisági görbe a következő közelítő összefüggéssel írható fel [6]:

$$t_e = -15 + 3,55x^{0,3835} \quad (3)$$

ahol: t_e – az átlagos külső hőmérséklet; x – az adott hőmérsékletnél kisebb átlagos hőmérsékletekkel rendelkező napok száma.

Ha a (3) képletben a külső hőmérséklet értéke megegyezik a fűtési határhőmérséklet értékével, akkor az x egyenlő lesz a fűtési napok számával a fűtési időnyben (N). Vagyis a fűtési napok száma, a (3) képlet alapján:

$$N = \left(\frac{t_h + 15}{3,55} \right)^{2,6} \quad (4)$$

Azonos hőnyereség mellett, ha az épület veszteségtényezője változik (K'), akkor az új fűtési határhőmérséklet értéke (t_h') a következő összefüggéssel meghatározható:

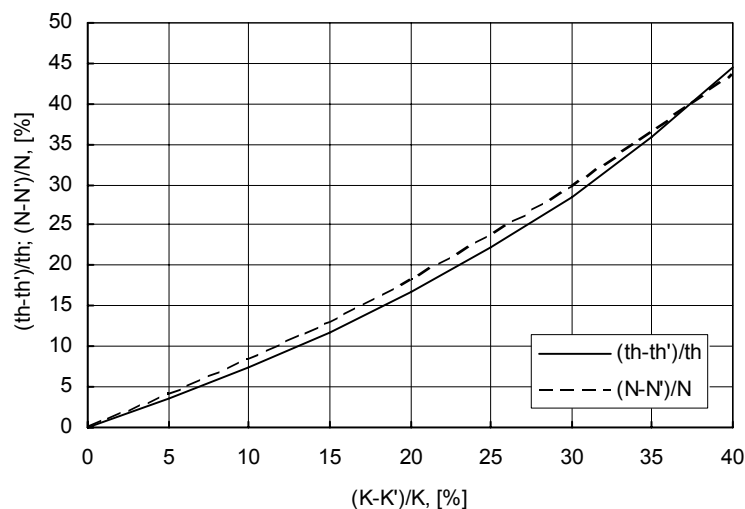
$$t_h' = t_i - \frac{t_i - t_h}{\frac{K'}{K}} \quad (5)$$

Ezzel a fűtési napok száma (N') az új veszteségtényező értékének megfelelően az eredeti fűtési napok számának függvényében:

$$N' = N \left(\frac{t_i + 15 - \frac{t_i - t_h}{\frac{K'}{K}}}{t_h + 15} \right) \quad (6)$$

ahol N a t_h fűtési határhőmérsékletnek megfelelő napok száma.

Ha az eredeti fűtési határhőmérséklet $12\text{ }^\circ\text{C}$, akkor a veszteségtényező csökkenésével a fűtési határhőmérsékletnek és a fűtési napok számának a változását az 4. ábra mutatja be. Az ábra alapján megállapítható, hogy a fűtési határhőmérséklet és a fűtési napok száma csaknem ugyanolyan mértékben csökken, mint a veszteségtényező.



4. ábra A fűtési határhőmérséklet és a fűtési napok száma a veszteségtényező függvényében

A fűtési határhőmérséklet csökkenésének aránya 37% veszteségtényező csökkenésig nagyobb, mint a fűtési napok csökkenésének aránya. Még kisebb veszteségtényező értékek mellett a fűtési napok száma nagyobb mértékben csökken, mint a fűtési határhőmérséklet.

Egy épület fűtési energiaszükséglete:

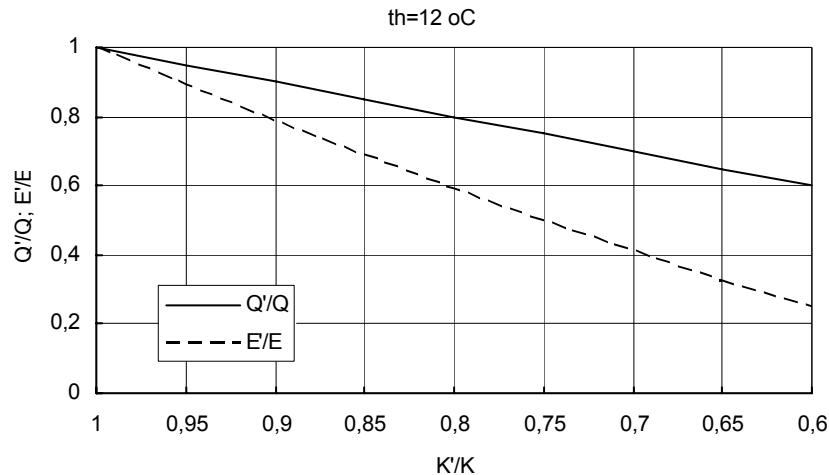
$$E = K \int_0^N (t_i - t_e) dx \quad (7)$$

Az épület fűtési energiaszükségletének aránya az új veszteségtényező értékek mellett, felhasználva a (5)-(7) egyenleteket:

$$\frac{E'}{E} = \frac{K'}{K} \cdot \frac{N'}{N} \cdot \frac{\left[(t_i - t_{e0}) - 2,566 N'^{0,3835} \right]}{\left[(t_i - t_{e0}) - 2,566 N^{0,3835} \right]} \quad (8)$$

Ha eredetileg a fűtési határhőmérséklet 12 °C volt a hőszükséglet és a fűtési energiaszükséglet változását a veszteségtényező függvényében a 5. ábra szemlélteti.

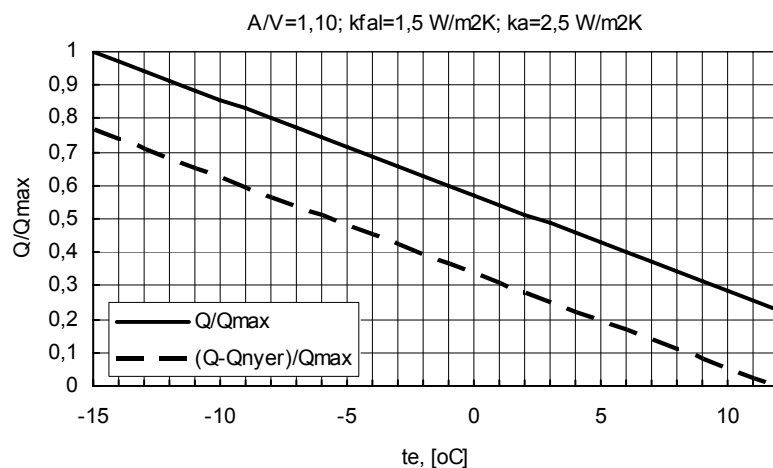
Az ábrából kitűnik, hogy a kisebb határhőmérséklet, illetve rövidebb fűtési idény miatt a fűtési energiaszükséglet nagyobb mértékben csökken, mint a hőszükséglet. Például, ha a veszteségtényező 30%-al csökken a hőszükséglet csökkenésének mértéke ugyanannyi lesz, míg a fűtési energiaszükséglet csaknem 60%-al csökken.



5. ábra Hőszükséglet és energiafelhasználás a veszteségtényező függvényében

A kialakuló fűtési határhőmérséklet épületenként más és más. Értéke nem csak a veszteségtényező értékétől, hanem a hőnyereségektől is függ. Egy épület hőszükséglete függ a veszteségtényezőtől, a külső hőmérséklettől, de a pillanatnyi értéket a hőnyereségek is befolyásolják.

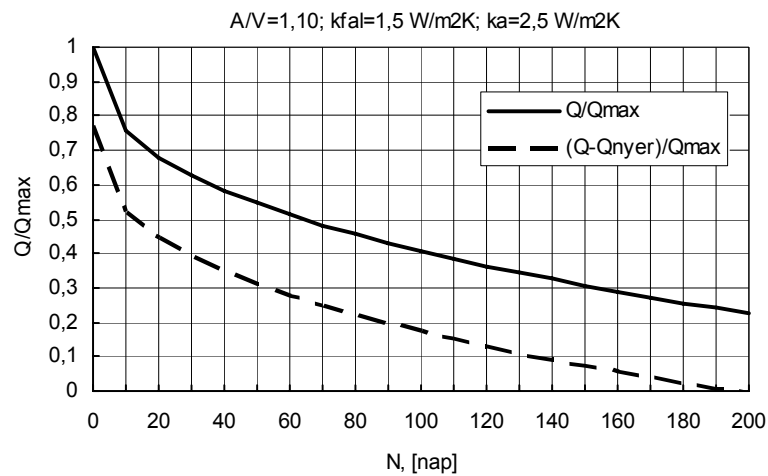
Az alábbi ábrák különböző típusú épületek hőszükséglet-arányának változását mutatják be azzal a feltételezéssel, hogy az ugyanolyan geometriai arányokkal rendelkező épületek esetében a hőnyereségek nem változnak, és értékük biztosítja a rosszabb hőtechnikai paraméterekkel rendelkező épületben a 12 °C fűtési határhőmérsékletet.



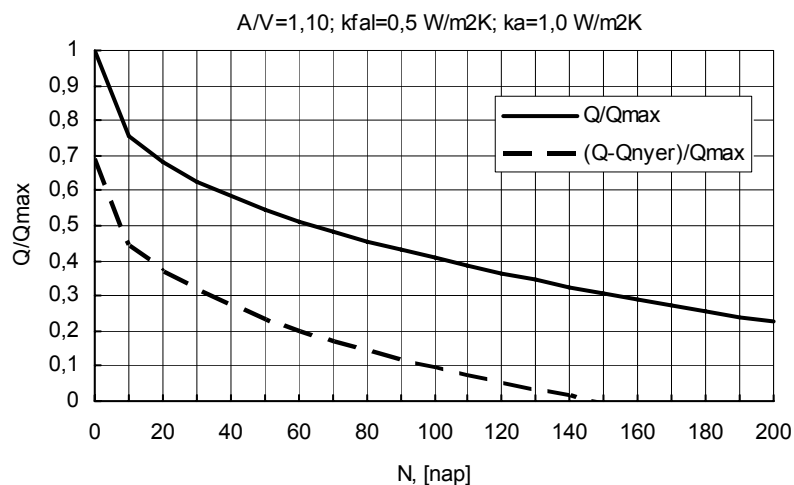
6. ábra Hőszükséglet a külső hőmérséklet függvényében

Az elemzéseket elvégeztük számos, különböző felület/térfogat aránnyal ($A/V=0,25\dots 1,1\text{ m}^2/\text{m}^3$) rendelkező épületre vonatkozóan. Ezek alapján megfigyelhető, hogy ha a fűtési határhőmérséklet azonos a rosszabb hőtechnikai paraméterekkel rendelkező épületek esetében, akkor a hőszükséglet aránya a külső hőmérséklet függvényében nem változik ezen épületeknél. Ugyanakkor azonos hőnyereségek mellett a javított szerkezetekkel rendelkező épületeknél is egyforma arányt kapunk és azonos fűtési határhőmérsékletet. Az ábrák alapján megállapítható, hogy a hőszükséglet lehet 100% de lehet ennél 20...25%-al kisebb is, ha van hőnyereség. A hőfokgyakoriságot is figyelembe véve

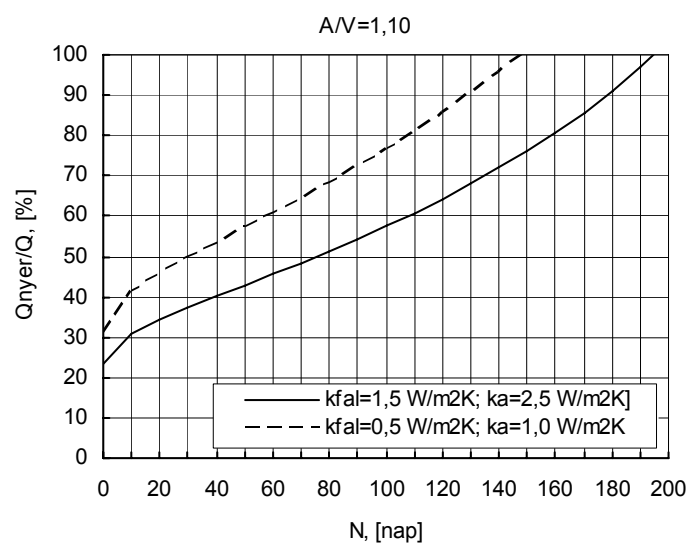
megállapítható, hogy a hőszükséglet a maximális értéknek a 30%-át 30...50 nap haladja meg egy fűtési idény alatt, attól függően milyen hőtechnikai adottságokkal rendelkezik az épület. A 9. ábrából kitűnik, hogy a nyereségek a fűtési idény 60...80%-ban a hőveszteségeknek akár több mint 50%-át fedezhetik. Minél „jobb” hőtechnikailag az épület a hőnyereségeknek annál nagyobb a hatásuk.



7. ábra Hőszükséglet a hőfokgyakoróság alapján

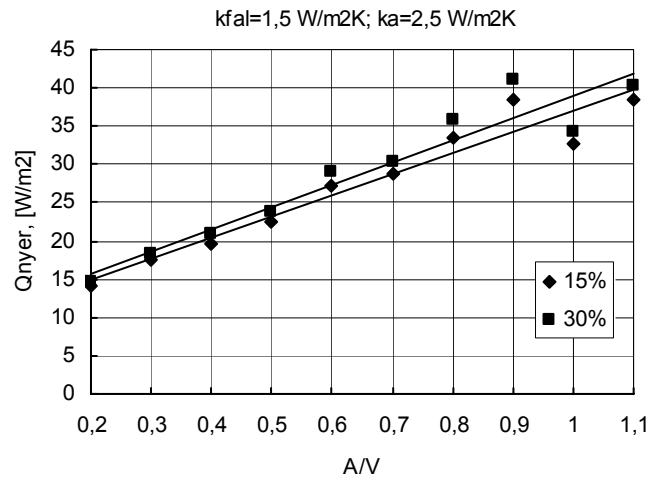


8. Hőszükséglet a hőfokgyakoróság alapján



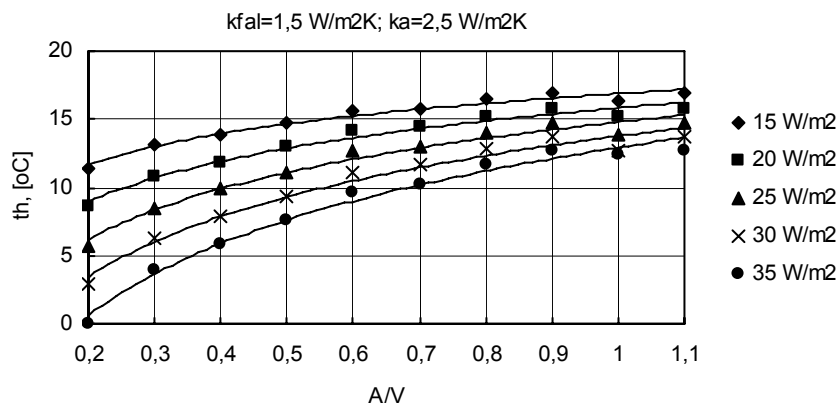
9. ábra Nyereségek által fedezett hőszükséglet maximális értéke

Azonban azonos hőtechnikai paraméterekkel rendelkező, de különböző felület/térfogat aránnyal rendelkező épületekben ahhoz, hogy a fűtési határhőmérséklet 12 °C legyen más és más fajlagos hőnyereséggel kell számolni. Erre vonatkozóan is számos épületet vizsgáltunk meg. A 10. ábra különböző típusú épületek fajlagos hőnyereségének szükséges értékeit szemlélteti. Az eredmények alapján megállapítható, hogy azonos hőtechnikai paraméterekkel rendelkező épületek esetében, ha a fűtési határhőmérséklet megegyezik, akkor a hőnyereségek értéke nagyobb kell legyen a magasabb felület/térfogat aránnyal rendelkező épületeknél. Az üvegezési arány hatása csaknem elhanyagolható.

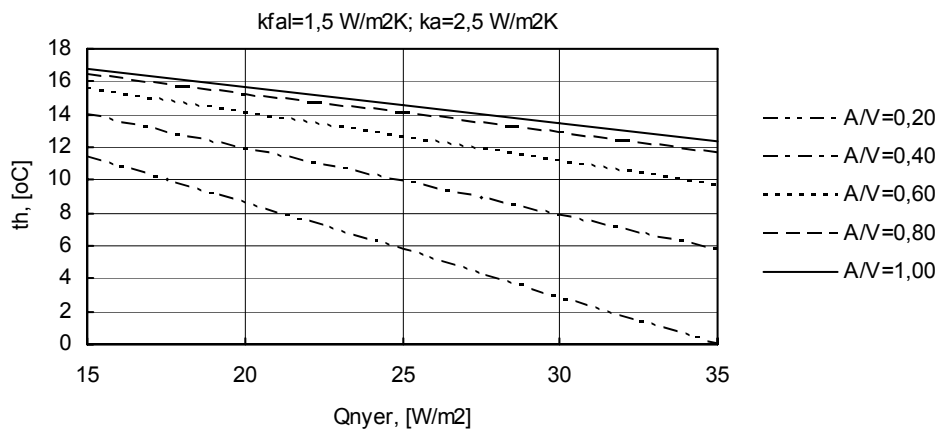


10. ábra Épületek fajlagos hőnyeresége különböző üvegarány mellett

Azonos fajlagos hőnyereség értékek és hőtechnikai paraméterek mellett különböző típusú épületek fűtési határhőmérséklete változik, mint ahogy az kitűnik a 11-12 ábrákból.



11. ábra Fűtési határhőmérséklet különböző fajlagos hőnyereségek mellett



12. ábra Fűtési határhőmérséklet különböző épülettípusokra vonatkozóan

Az elemzések azt mutatják, hogy azonos hőnyereség és hőtechnikai paraméterek mellett a nagyobb felület/térfogat aránnyal rendelkező épületek (pl. családi házak) esetében a fűtési határhőmérséklet nagyobb lesz.

3. ÖSSZEFOGLALÁS

Az utólagos hőszigetelés esetében hiba a megtakarítást csak az új és a régi veszteségtényezők arányával számolni, mert a jobb hőszigetelés, adott nyereség mellett alacsonyabb határhőmérsékletet eredményez.

A magyarországi éghajlatra vonatkozó hőfokgyakorisági görbe közelítő függvényét felhasználva felírható egy épület fűtési határhőmérséklete és a fűtési napok száma. Ezek alapján megállapítható az összes energiamegtakarítás értéke, amelyik figyelembe veszi a rövidebb fűtési időt is.

Az elemzett épületek esetében a fűtési határhőmérséklet és a fűtési napok száma csaknem ugyanolyan mértékben csökken, mint a veszteségtényező. A fűtési határhőmérséklet csökkenésének aránya 37% veszteségtényező csökkenésig nagyobb, mint a fűtési napok csökkenésének aránya. Még kisebb veszteségtényező értékek mellett a fűtési napok száma nagyobb mértékben csökken, mint a fűtési határhőmérséklet. A kisebb határhőmérséklet, illetve rövidebb fűtési idő miatt a fűtési energiaszükséglet nagyobb mértékben csökken, mint a hőszükséglet. Például, ha a veszteségtényező 30%-al csökken a hőszükséglet csökkenésének mértéke ugyanannyi lesz, míg a fűtési energiaszükséglet csaknem 60%-al csökken.

Az elemzett épülettípusok esetében ($A/V=0,25\dots1,1 \text{ m}^2/\text{m}^3$) megfigyelhető, hogy ha a fűtési határhőmérséklet azonos a rosszabb hőtechnikai paraméterekkel rendelkező épületek esetében, akkor a hőszükséglet aránya a külső hőmérséklet függvényében nem változik ezen épületeknél. Ugyanakkor azonos hőnyereségek mellett a javított szerkezetekkel rendelkező épületeknél is egyforma arányt kapunk és azonos fűtési határhőmérsékletet. Megállapítható, hogy a hőszükséglet lehet 100% de lehet ennél 20...25%-al kisebb is, ha van hőnyereség. A hőfokgyakoriságot is figyelembe véve megállapítható, hogy a hőszükséglet a maximális értéknek a 30%-át 30...50 nap haladja meg egy fűtési idő alatt, attól függően milyen hőtechnikai adottságokkal rendelkezik az épület. A hőnyereségek a fűtési idő 60...80%-ban a hőveszteségeknek akár több mint 50%-át fedezhetik. Minél „jobb” hőtechnikailag az épület a hőnyereségeknek annál nagyobb a hatásuk. Az eredmények alapján megállapítható, hogy azonos hőtechnikai paraméterekkel rendelkező épületek esetében, ha a fűtési határhőmérséklet megegyezik, akkor a hőnyereségek értéke nagyobb a magasabb felület/térfogat aránnyal rendelkező épületeknél. Az üvegezési arány hatása csaknem elhanyagolható. Az elemzések azt mutatják, hogy azonos hőnyereség és hőtechnikai paraméterek mellett a nagyobb felület/térfogat aránnyal rendelkező épületek (pl. családi házak) esetében a fűtési határhőmérséklet nagyobb lesz.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] EUROPEAN COMMISSION: Directorate-General for Energy and Transport (Dr. L. Mantzos) European Energy and Transport Trends to 2030, EU, 2003.
- [2] CSOKNYAI TAMÁS: Determination of the CO₂ emission from the heating of buildings in Hungary, BECEP Conference, Iasi, 2000.
- [3] ZÖLD ANDRÁS: Energiatudatos Építészeti, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1999.
- [4] CSOKNYAI TAMÁS: Az iparosított technológiával létesített lakóépületek energiatudatos felújítása, Doktori értekezés, 2004.
- [5] HALÁSZ GYÖRGYNÉ: Távhőellátó rendszerek vizsgálata matematikai modellek alkalmazásával, különös tekintettel a fűtési fogyasztói rendszerek optimális szabályozására, Doktori értekezés, 2001.
- [6] KALMÁR FERENC: Központi fűtési rendszerek illesztése felújított épületek megváltozott energetikai igényeihez, Doktori értekezés, 2004.
- [7] KONTRA JENO: Chauffage a basse temperature, Conf. Instalatiile pentru Constructii si Confortul Ambiental, Timisoara, Romania, 26-27 Aprilie, 2001.

KÖRNYEZETBARÁT MEGMUNKÁLÁSOK TAPASZTALATAI A NYÍREGYHÁZI FŐISKOLA MŰSZAKI ALAPOZÓ ÉS GÉPGYÁRTÁSTECHNOLÓGIA TANSZÉKÉN

1. BEVEZETÉS

A környezetterhelés minimalizálása elvének gyakorlati megvalósítása az Európai Unión belül a gépgyártástechnológiában is fokozatosan előtérbe kerül. Ezért szükségessé válik – egyebek mellett – a forgácsolástechnológiákban használatos hűtő-kenő rendszerek működtetésekor fellépő problémák feltárása és megoldási javaslatok kidolgozása.

A forgácsolással készülő alkatrészek gyártásakor a hűtő-kenő anyagok használata általában kedvező, mert csökkentik a sűrűlődni, gondoskodnak a gyors hőelvezetésről, elősegítik a forgács eltávolítását, a munkatér tisztítását, valamint alkalmazásuk következtében a szerszámok élettartama meghosszabbodik, a szerszámköltség csökken.

Ugyanakkor a hűtő-kenő anyagok felhasználásának egészségügyi, ökológiai és gazdaságossági korlátai vannak. Egészségkárosító hatásuk jelentős, mely leginkább bőr, rákos és asztmás megbetegedésekben nyilvánul meg a hűtő-kenő folyadékkal kontaktusba kerülő dolgozóknál. A hűtő-kenő anyagok hulladékok nagyobb részét környezetünkben tárolják, amely hatással van az ökológiai folyamatokra, jelentős környezetterhelést okoz. További nehézséget jelent, hogy beszerzési- és kezelési költségük évről évre növekszik, és ez emeli az alkatrészek gyártási költségeit.

A felsorolt problémák megoldására a szerszámgyártók az ún. szárazmegmunkálásra alkalmas, bevonatos termékeik kidolgozásával már megtették az első lépést, azonban a felhasználók részéről más módszerek, új technológiák kidolgozására is igény mutatkozott. A fejlesztőmunka ennek megfelelően a minimálkenő eljárások és berendezések, kenőanyagok, szerszámok, szerszámgépek komplex fejlesztésére irányult [1,2].

A minimálkenés a szükséges és elégséges kenőanyag-mennyiség célzott és szabályozott eljuttatását jelenti a megmunkálási zónába. Az adagolt mennyiség 2-50 ml/h az árasztásos hűtés-kenés 2-100 l/perc mennyiségével szemben. A minimálkenési eljárások az adagolórendszer és a kenőanyag forgácsolási zónába vezetésének módja szerint osztályozhatók. Az adagolórendszerek működhetnek levegővel vagy anélkül. A kenőanyag hozzávezetése szerint megkülönböztetjük a külső és a belső minimálkenést. Külső kenéssel csak $l/d < 4$ mélységű furatok, míg belső kenéssel ennél sokkal mélyebbek is megmunkálhatók, mert a kenőanyag közvetlenül a megmunkálási zónában fejt ki hatását [3,4].

A minimálkenés legfontosabb előnyei [2,3]:

- Csak a szerszám forgácsoló élén alakul ki kenőfilm, amely elégséges kenést biztosít a megmunkálási zónában, csökkenti a sűrűlődni, gátolja a magas hőmérséklet kialakulását és ezzel mérsékli a szerszám kopását. Más alkalmazásokhoz képest nő a forgácsolósebesség, javul a megmunkált felület minősége, megnő a szerszámok élettartama.
- A kenőanyag-felhasználás 60-90%-kal csökken, száraz marad a megmunkált felület és a forgács, a gépkezelők bőr- és szemirritációja megszűnik.
- Csökken a megmunkálás utáni felületkezelés költsége, elmaradnak az elhasznált kenőanyag összegyűjtésével, kezelésével kapcsolatos teendők és költségek.
- Külső hűtésnél a fűvókák közvetlenül a megmunkálási zónához, a legkedvezőbb pozícióba állíthatók, a megmunkálási folyamat ellenőrizhető, nyomon követhető.
- Hűtő-kenő anyag pontosan szabályozott mennyiségben történő alkalmazása esetén nincs lényeges veszteség, szinte minden kenőanyag részecske a felületre kerül.

A minimálkenés Nyugat-Európában már a megvalósulás útján van, elterjedése egyre intenzívebben folyik. Pl. Németországban az elmúlt években a minimálkenéses berendezések száma meghaladta a 10000 db/év mennyiséget [3].

A Nyíregyházi Főiskola Műszaki Alapozó és Gépgyártástechnológia Tanszékén a Miskolci Egyetem Gépgyártástechnológia Tanszékével szoros együttműködésben 2006 óta folynak minimálkenéssel kapcsolatos kutatások. Ennek tapasztalatairól szeretnénk e cikk keretében röviden beszámolni annak reményében, hogy kísérleti tapasztalataink is hozzájárulnak a minimálkenési technológia hazai elterjedéséhez.

2. A KÍSÉRLETEK CÉLJA

A kísérletek célja a forgácsolás technológiai paraméterei forgácsolási folyamatra, valamint a fúrókopásra gyakorolt hatásának vizsgálata szürkeöntvény **külső minimálkenéssel** történő furatmegmunkálásnál. Ennek során mérjük a szerszám előtolásának és az alkalmazott hűtő-kenő folyadék mennyiségének hatását:

- az előtoló erő és fúrási nyomaték szükségletre,
- a fúrószerszám kopására (sarok- és hátkopásra).

A fúrószerszám kopása és hőmérséklet-, valamint feszültségállapota kapcsolatának szemléltetésére egyszerű modellszámításokat végeztünk.

Kísérleti eredményeinket összehasonlítjuk a Miskolci Egyetem Gépgyártástechnológia Tanszékének kísérleti eredményeivel, amelyeket belső minimálkenés mellett ugyanilyen kísérleti feltételeknél mértek [5,6]

3. A KÍSÉRLETEK KÖRÜLMÉNYEI

A fúrási kísérletekhez használt csigafúró: Ø 10,2 K20 Gühring WRDG DIN 6537 (monolit keményfém, TiAlN-el bevonatolt, belső hűtő- kenő csatornás). A próbatest anyaga: szürkeöntvény, EN-GJL-200 (MSZ EN 1561), amelybe 30 mm hosszúságú furatokat készítettünk a sorozatkísérletek alkalmával.

A minimálkenés megvalósítása külső hűtéssel, a hűtő-kenő folyadéknak a fúró külső palástjára való hozzávezetésével történt, „NOGA MINI COOL” típusú porlasztó berendezéssel (a térfogatáram 10 cm³/h és 250 cm³/h között fokozatmentesen állítható). A forgácsolási kísérletekhez „OMV cut XU” típusú, klórmentes olajat használtunk. A kísérletek végrehajtása MU-250 típusú marógépen az alábbi paraméterekkel történt:

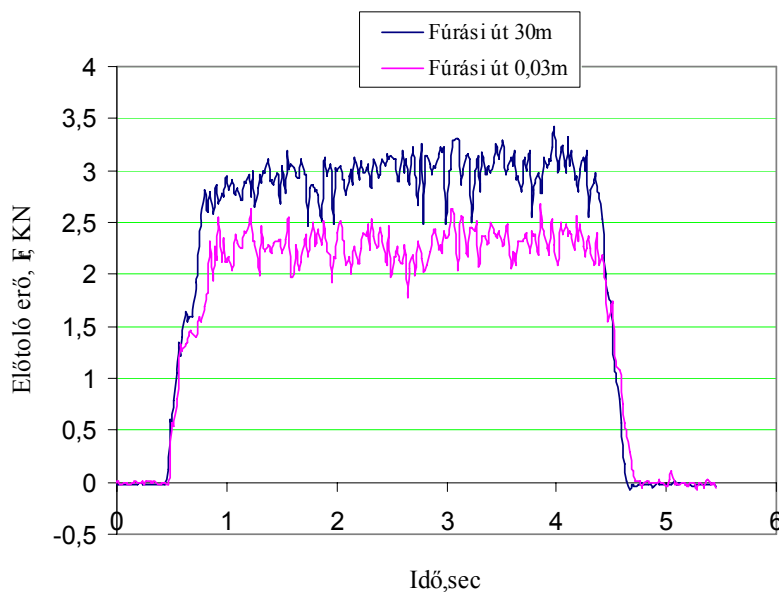
Maróorsó ford.:	$n = 2250$ f/perc	
Előtolás:	$f_1 = 0,18$ mm/ford	$f_2 = 0,3$ mm/ford
Forgácsolási seb.:	$v_c = 72,06$ m/perc	
HKF mennyiség:	$Q = 10$ és 28 cm ³ /h	
Előtolás seb.:	$v_{f1} = 405$ mm/perc	$v_{f2} = 675$ mm/perc
Gépi főidő:	$t_1 = 0,074$ perc	$t_2 = 0,044$ perc

Az axiális fúróerő (F_f) és csavaró nyomaték (M_c) mérése KISTLER 9271 A típusú kétkomponensű kompakt dinamometerrel történt. A sarokkopás (VB_E) és hátkopás ($VB_{3,5}$) méréséhez a fúrót függőleges helyzetben mérőmikroszkópon lefényképeztük, majd a kopásértékeket a digitális foto számítógépes program segítségével történő feldolgozásával határoztuk meg.

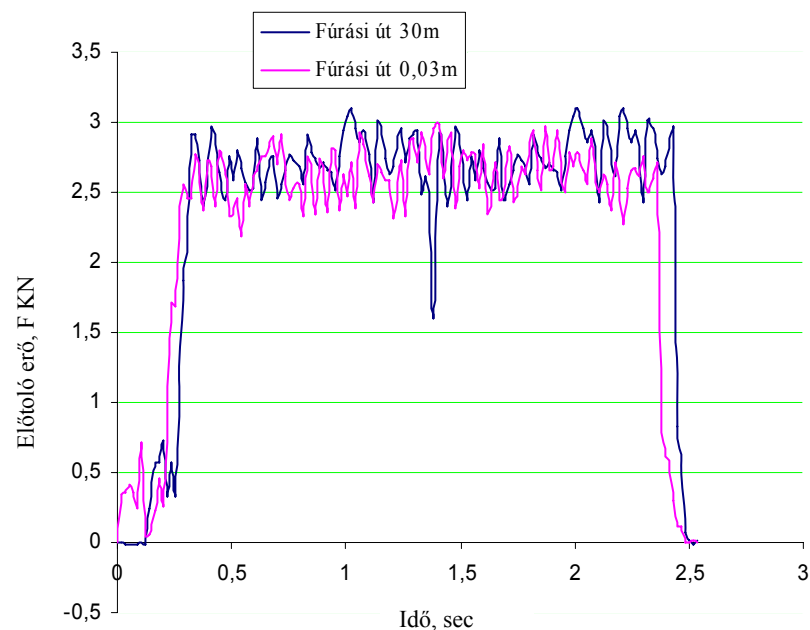
4. MÉRÉSI EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

4.1 Az előtolóerő (F_f) és fúrási nyomaték (M_c) mérés eredményei

Az 1.- 4. ábráról leolvasható, hogy F_f és M_c ingadozása jelentős a fúrás folyamata alatt, valamint külső hűtésnél F_f és M_c értékei jelentősen nőnek a fúrási úthossz növekedésével. A hűtő-kenő folyadék mennyiségének $10 \text{ cm}^3/\text{h}$ -ról $28 \text{ cm}^3/\text{h}$ -ra történő növelésével F_f és M_c értékei jelentősen csökkennek. A csökkenés mértéke a fúrási úttal nő.



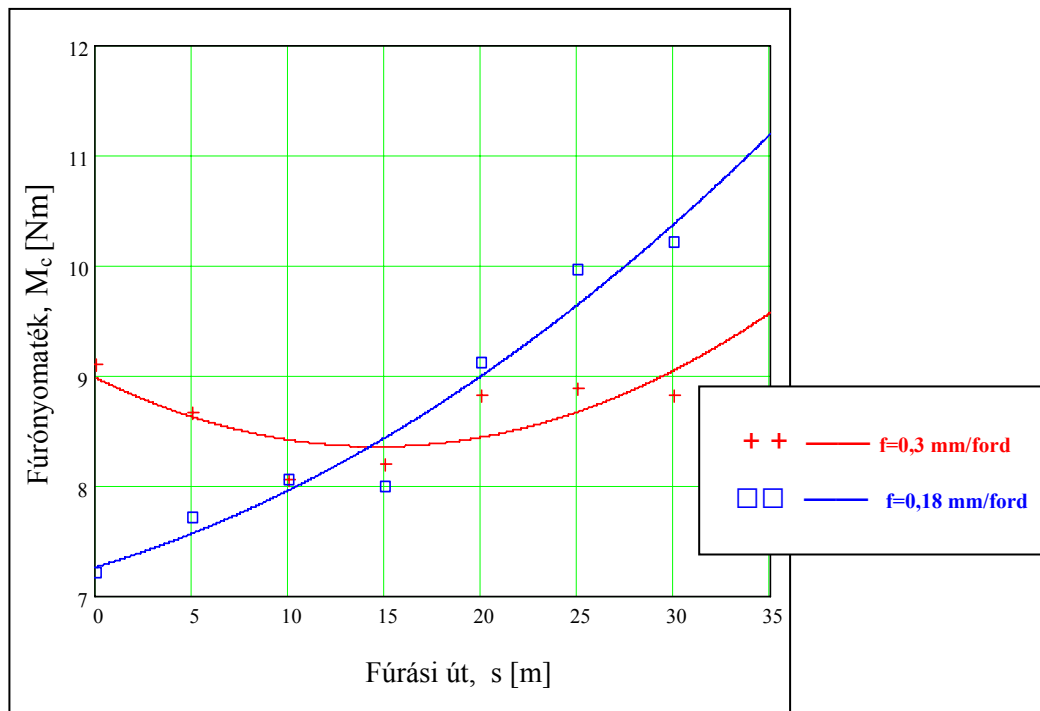
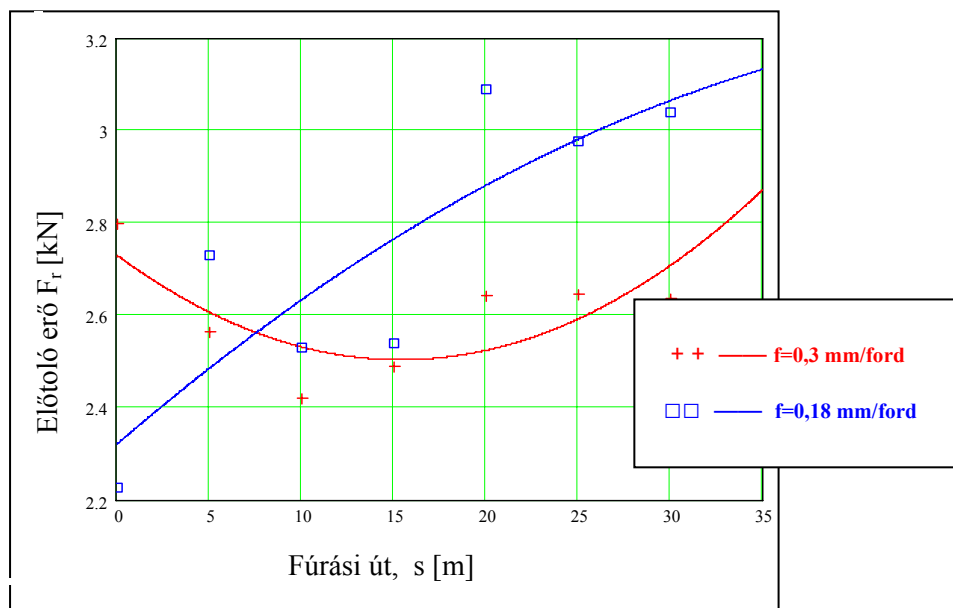
1. ábra. Az előtolóerő (F_f) változása a fúrás során (külső hűtés) $Q = 28 \text{ cm}^3/\text{h}$; $f=0.18 \text{ mm/ford}$



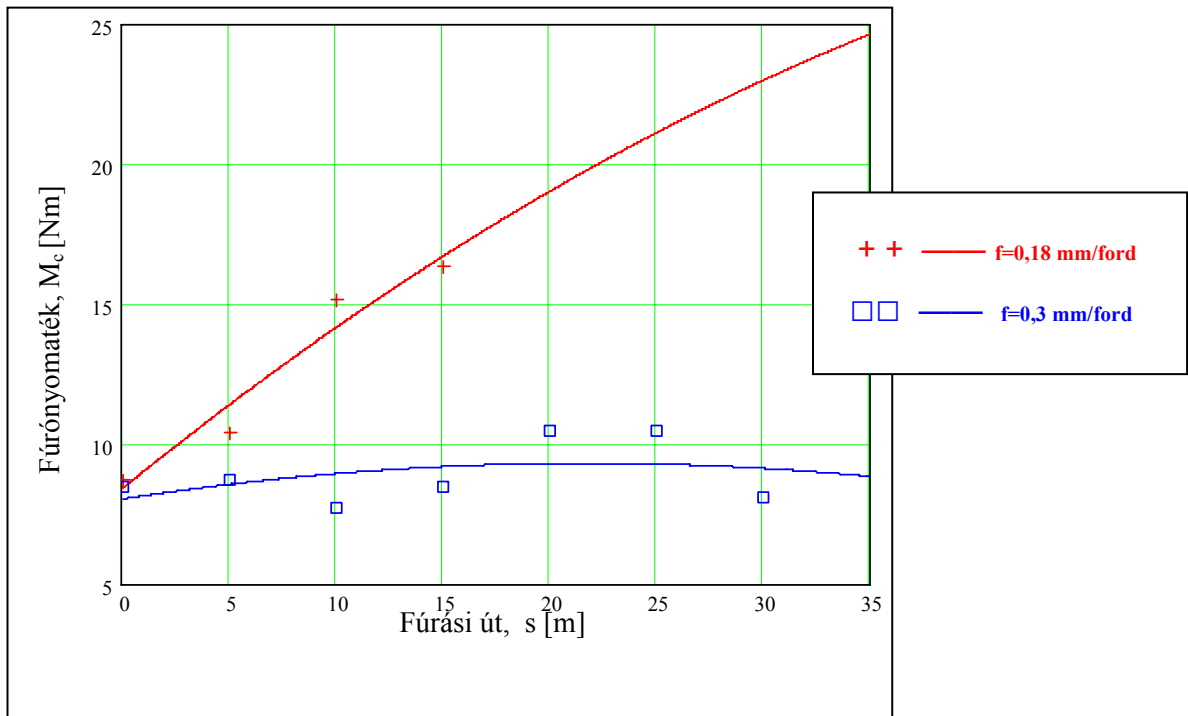
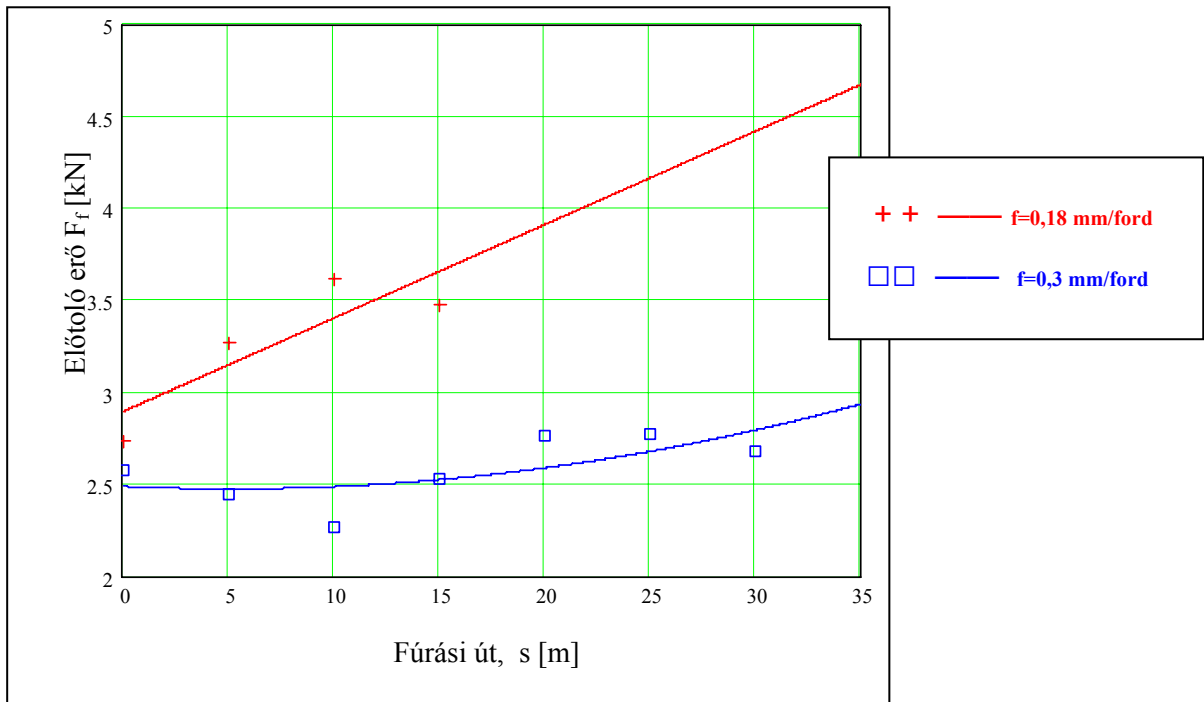
2. ábra. Az előtolóerő (F_f) változása a fúrás során (külső hűtés) $Q = 10 \text{ cm}^3/\text{h}$; $f=0,3 \text{ mm/ford}$

4.1.1. Az előtolás hatása az előtolóerőre és a fúrónyomatékra

A 3. ábra alapján megállapítható, hogy $28 \text{ cm}^3/\text{h}$ külső hűtés mellett $f=0,18 \text{ mm/ford}$. előtolásnál a teljes tartományon, $f=0,3 \text{ mm/ford}$. előtolásnál 10 m fúrási út után az előtolóerő és a fúrási nyomaték értékei a fúrási úttal nőnek. Az $f=0,3 \text{ mm/ford}$ előtolásnál a 10 m fúrási úton tapasztalt előtolóerő és fúrónyomaték csökkenést az magyarázza, hogy 2 m fúrási út után a szerszámgép főorsó csapágyazása tönkrement, az új csapágy beszerelése és pontos beállítása után a főorsó futáspontossága megnőtt, ezért csökkentek 10 m fúrási útig az F_c -és M_c mértékek. Ezt követően a fúrási úttal növekvő szerszámkopás következtében F_f és M_c értékei újra emelkedni kezdtek. Saját kísérleteink ezzel azt igazolták, hogy a szerszámgép főorsó megfelelő futáspontossága (a fúrási folyamat során fellépő rezgések csökkenése révén) jelentősen befolyásolja a fúrás erő- és nyomaték szükségletét.



3. ábra: Az előtolóerő és a fúrónyomaték változása a fúrási út függvényében különböző előtolások mellett ($Q=28 \text{ cm}^3/\text{h}$ külső hűtés)

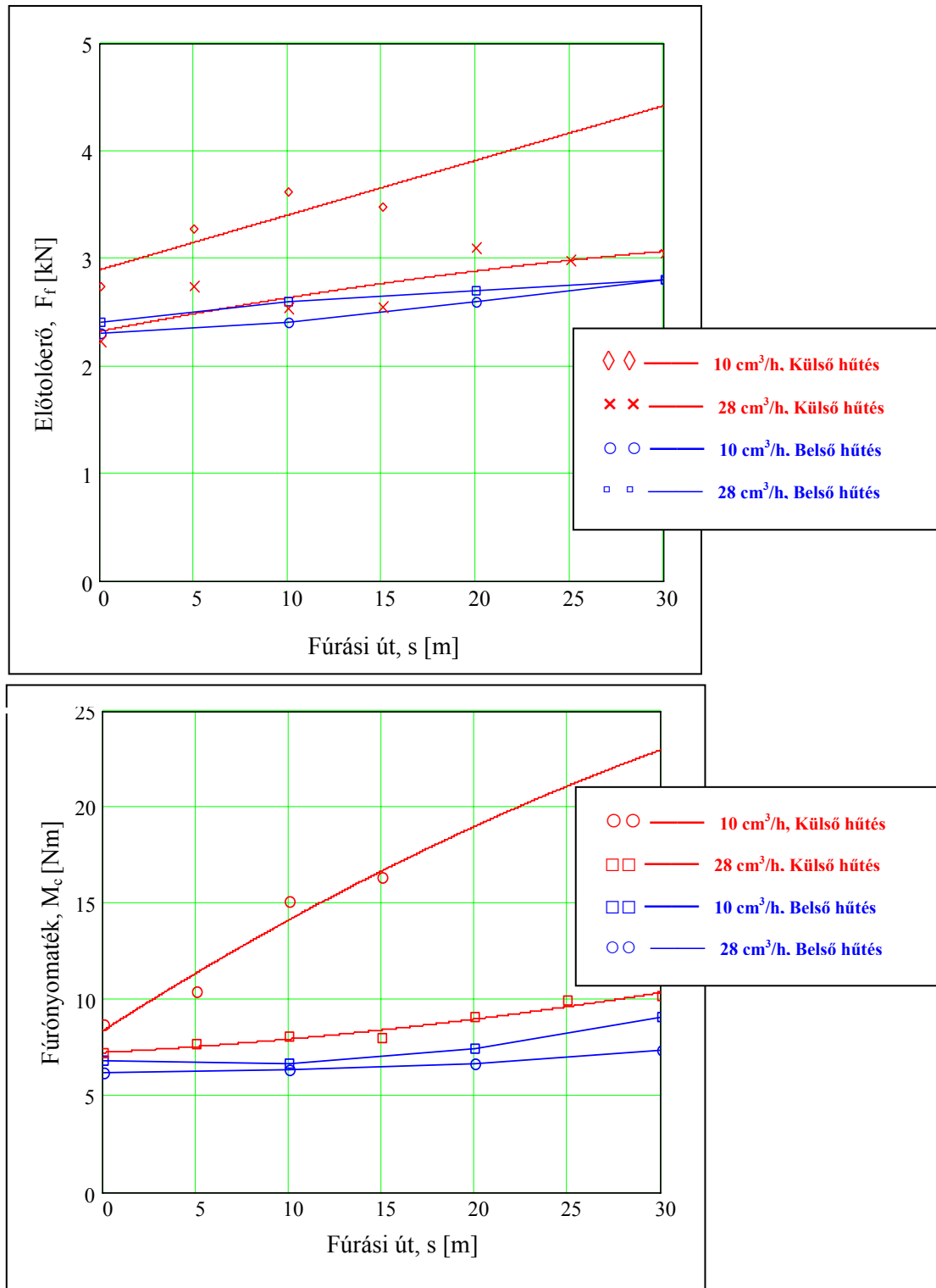


4. ábra: Az előtolóerő és fúrónyomaték változása a fúrási út függvényében különböző előtolások mellett ($Q=10 \text{ cm}^3/\text{külső hűtés}$)

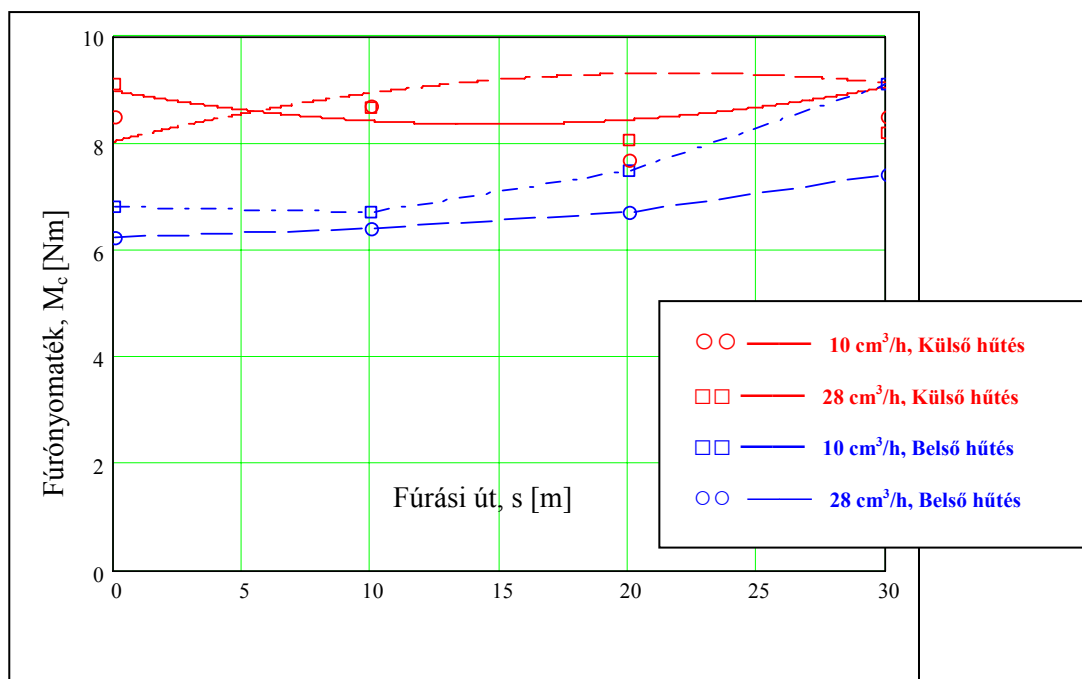
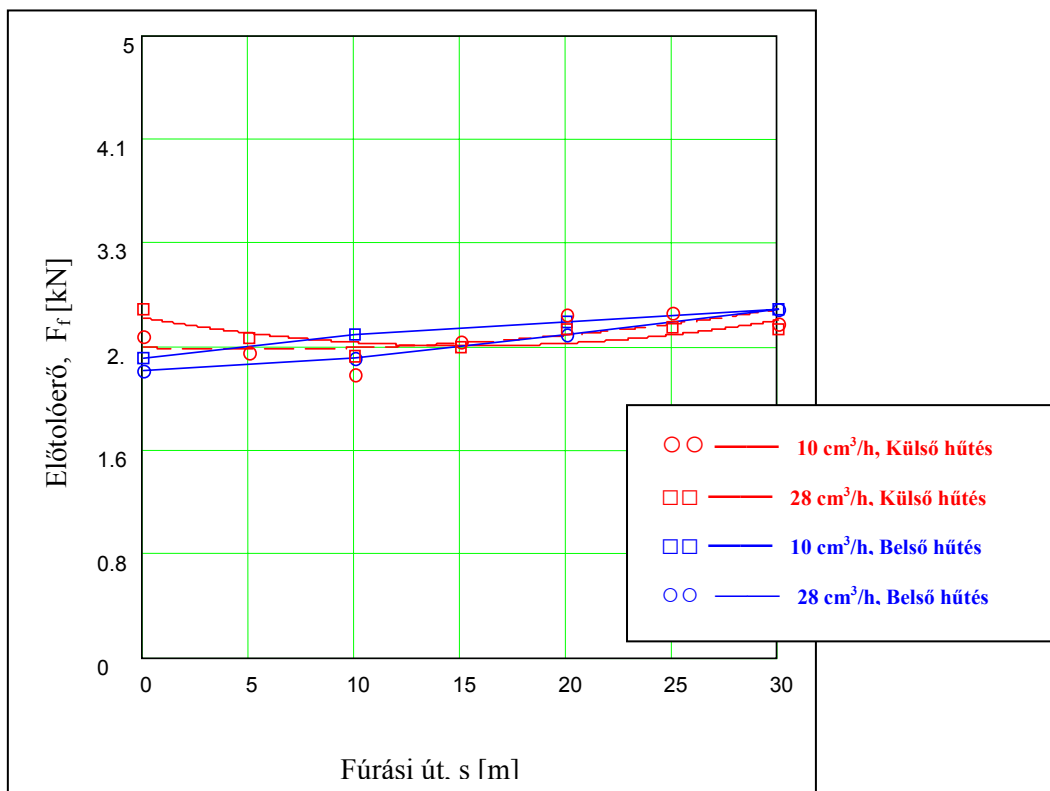
A 4. ábráról leolvasható, hogy $10 \text{ cm}^3/\text{h}$ külső hűtés mellett mindkét előtolásnál az előtolóerő és fúrónyomaték értékek a fúrási úttal nőnek, a növekedés mértéke $f=0,18 \text{ mm/ford}$. előtolásnál jelentősebb. Az előtolás $f=0,18 \text{ mm/ford}$ -ról $f=0,3 \text{ mm/ford}$ -ra való növelésével az előtolóerő és a fúrónyomaték szükséglet a várakozással ellentétben csökkent. Ennek valószínű oka a két kísérletsorozat között végrehajtott főorsócsapágy cseréje, azonban a főorsó futáspontosságának F_f és M_c -re gyakorolt hatása további vizsgálatot igényel.

4.1.2. A belső és a külső hűtésnek a fúrás előtolóerő és fúrónyomaték szükségletére gyakorolt hatásának összehasonlítása

A továbbiakban megvizsgáljuk a belső és a külső hűtésnek a fúrás előtolóerő és fúrónyomaték szükségletére gyakorolt hatását, különböző előtolások mellett.



5. ábra: Az előtolóerő és fúrónyomaték változása a fúrási út függvényében. ($f=0,18$ mm/ford.)



6. ábra: Az előtolóerő és fúrónyomaték változása a fúrasi út függvényében ($f=0,3$ mm/ford.)

A belső és a külső hűtésnek a fúrás előtolóerő és fúrónyomaték szükségletére gyakorolt hatásának összehasonlítása alapján a következő megállapításokat tehetjük a vizsgált 30mm hosszúságú furatok elkészítése esetén (5.- 6. ábra), [5,8]:

- A furatmegmunkálás előtolóerő és fúrónyomaték szükséglete mindig kisebb belső hűtésnél azonos mennyiségű HKF adagolás mellett.
- Amíg a furatmegmunkálás előtolóerő és fúrónyomaték szükségletét tekintve $f=0,18$ mm/ford előtolásnál $10 \text{ cm}^3/\text{h}$ mennyiségű HKF adagolásánál a belső és a külső hűtés közötti különbség igen nagy (50-100 %), addig $28 \text{ cm}^3/\text{h}$ mennyiségű HKF- nál ez a különbség már kevésbé jelentős (5-10 %).

- $f=0,3$ mm/ford előtolásnál a külső hűtésnél mért F_f és M_c értékek a belső hűtésnél mért értékeket jobban megközelítették.
- Belső hűtésnél $10 \text{ cm}^3/\text{h}$ mennyiségű HKF elegendő a fúró kenéséhez, külső hűtésnél a megfelelő hűtés- kenés eléréséhez a HKF mennyiségének legalább $28 \text{ cm}^3/\text{h}$ - ra történő növelése szükséges.

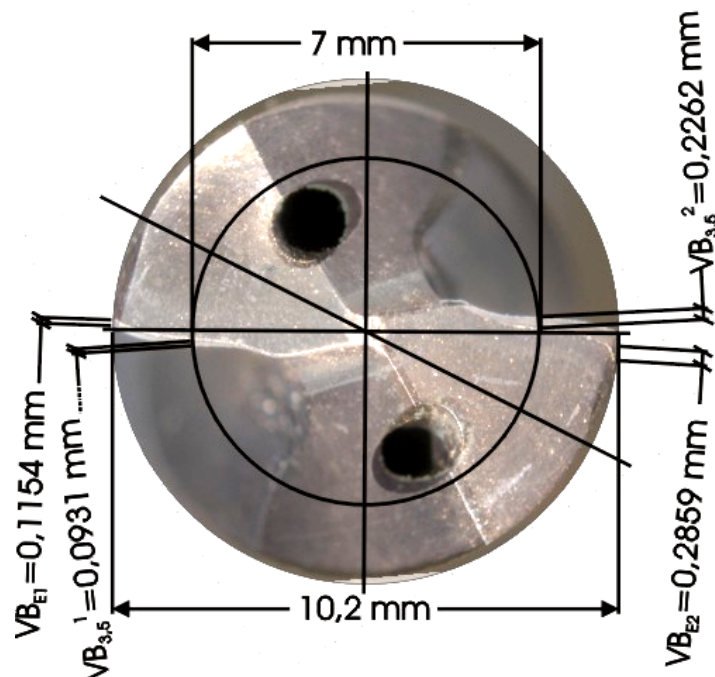
4.2. A szerszámkopás mérésének eredményei

A fúró elhasználódásának jellemzésére a sarokkopást (VB_E) és a hátkopást ($VB_{3,5}$) választottuk. A hátkopást $3,5$ mm-es sugáron mértük, a főéltől a hátfelületre nyúló kopási sáv szélességeként. A szerszámkopást mindig 5 méter fúrási úthossz megtétele után mértük, mindkét főélen. A fúrási úthossz: átmenő furatok esetén a csigafúróval kifúrt furatok számának és a fúrási próbatest vastagságának szorzata ($s = Z_f L_p$).

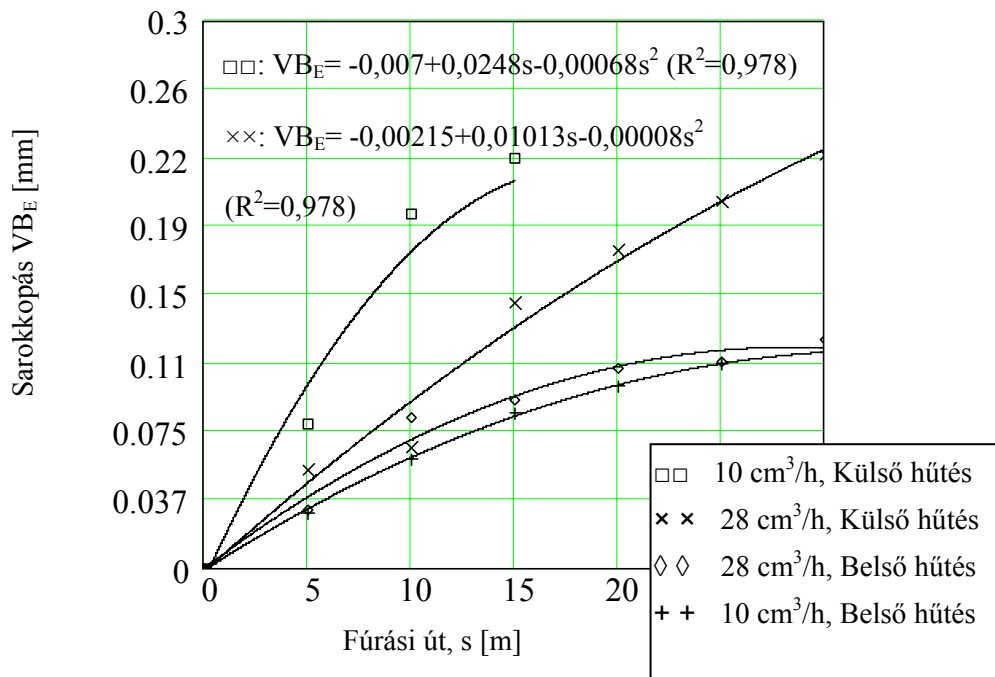
A fúróról jó minőségű nagyfelbontású digitális képet készítettünk. A kép előállításához Olympus SZ61 típusú sztereo mikroszkópot használtunk, amely nagyítás tartománya $0.67x - 4.5x$, zoom aránya $6.7:1$, munkatávolsága 110 mm. A fénykép előállításához a mikroszkóphoz csatlakoztatott Olympus C-7070 WZ típusú digitális fényképezőgépet használtunk, melynek képérzékelője $1/1,8$ collos CCD szilárdtest szenzor 7.41 millió pixellel, tényleges felbontása $7,1$ millió pixel (a képfeldolgozáshoz használt pixelek tényleges száma.). A fénykép tömörítetlen RAW formátumú, hogy elkerüljük tömörítésből származó információvesztést.

A képek feldolgozása CorelDraw9 programmal történt. A képeket egy referencia mérettel léptékeztük. A kopás értéke a különböző fúrási úthossz utáni képeken található élek referencia vonalhoz képesti távolságának a különbsége. Kontrollként a szoftver segítségével a képeket átlátszóvá téve és egymásra vetítve a kopás értékeket közvetlenül mérve is azonos eredmények adódtak.

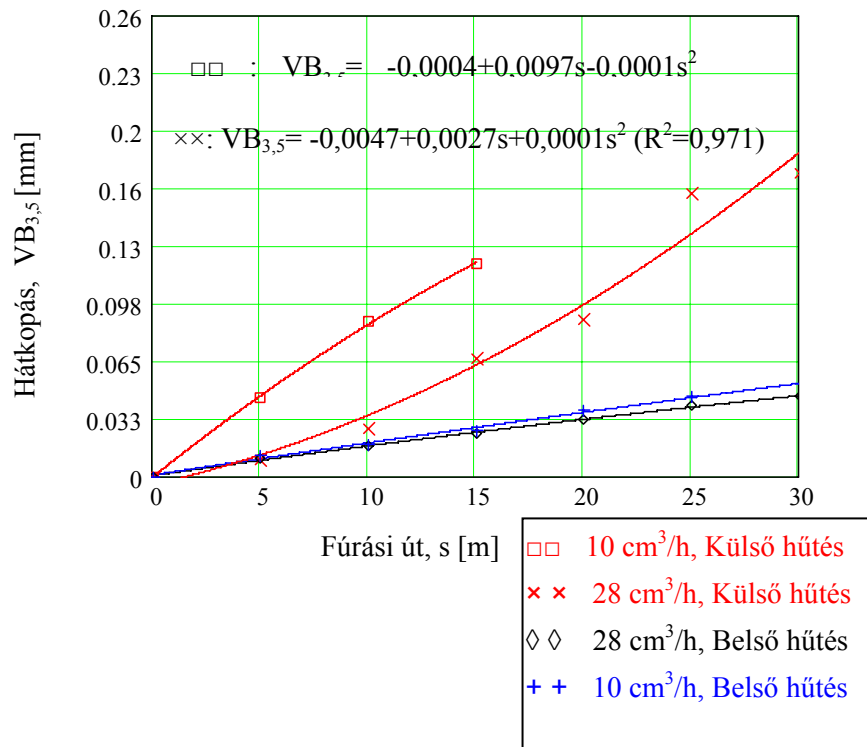
Külső hűtésnél a két főélen mért kopásértékek jelentős eltérést mutattak (7. ábra). A mérési eredmények elemzéséből kitűnik, hogy a szerszámkopás mérési eredményei összhangban vannak az előtolóerő és fúrónyomaték mérési eredményeivel: a nagyobb szerszámkopás ($10 \text{ cm}^3/\text{h}$ külső hűtésnél) jelentős előtolóerő és fúrónyomaték növekedést eredményez [8,9].



7. ábra. Szerszámkopás mért értékei $s = 25$ m fúrási út után ($Q = 28 \text{ cm}^3/\text{h}$)



8. ábra. A sarokkopás (VB_E) változása a fúrési út függvényében



9. ábra. A hátkopás ($VB_{3,5}$) változása a fúrési út függvényében

A *belső és külső hűtés szerszámkopásra gyakorolt hatásának összehasonlítása* alapján a következő megállapításokat tehetjük (8-9. ábra) [8,9]:

- Azonos mértékű HKF adagolás mellett a sarokkopás (VB_E) és a hátkopás ($VB_{3,5}$) minden esetben kisebb belső hűtésnél.
- Belső hűtésnél a HKF mennyiség növelése nem csökkentette jelentősen a szerszámkopást, azonban külső hűtésnél a HKF mennyiség növelése jelentősen redukálta a szerszám elhasználódását..
- Amíg belső hűtésnél $10 \text{ cm}^3/\text{h}$ mennyiségű HKF elegendő a fúró kenéséhez, addig külső hűtésnél a megfelelő hűtés- kenés biztosításához a HKF mennyiség legalább $28 \text{ cm}^3/\text{h}$ -ra történő növelése szükséges.

Ezen megállapítások változnak $L = 50 \text{ mm}$ vagy 100 mm vastagságú munkadarabok fúrásánál, mivel $L \geq 5d$ fúrt furathossz után a külső kenés hatása jelentősen lecsökken.

5. MODELLSZÁMÍTÁSOK VÉGESELEM MÓDSZERREL

A csigafúró feszültségállapotát és hőmérséklet eloszlását fizikai modellezéssel vizsgáltuk. Az volt a célunk, hogy a megfigyelt kopási képek kialakulására minél egyszerűbb, ugyanakkor jó egyezést mutató modellt alakítsunk ki. A fő kérdés az, hogy a mért mennyiségek (előtoló erő, forgatónyomaték) milyen összefüggésben állnak az éleken fellépő erőhatásokkal, milyen feszültség- és termikus állapotot eredményeznek, és ezáltal hogyan befolyásolják a szerszámkopást, amit szintén mértünk. Így a kísérleti adatok egyik része a számítások inputját adták, másik részét pedig a számítási eredmények, illetve közvetetten az általunk feltételezett modell kiértékelésére használtuk fel.

Modellszámításainkat munkaéles és kopott állapotban is elvégeztük. A kopott állapotot az éleken való lekerekítéssel vettük figyelembe.

Azt feltételeztük, hogy az éleken fellépő erő a Kienzle-Victor formulával [7] származhat a forgatónyomatékból. Az él mögötti igen keskeny sávban, és a keresztélen az előtoló erővel arányos súrlódási erőt feltételeztünk. A hőtani számításokban az erőhatások és a sebességadatok figyelembevételével állapítottuk meg a súrlódásból származó hőteljesítményt. Az él mögött hátlapokon, és a fúró oldalain turbulens áramlásból adódó hőelvonást vettünk figyelembe.

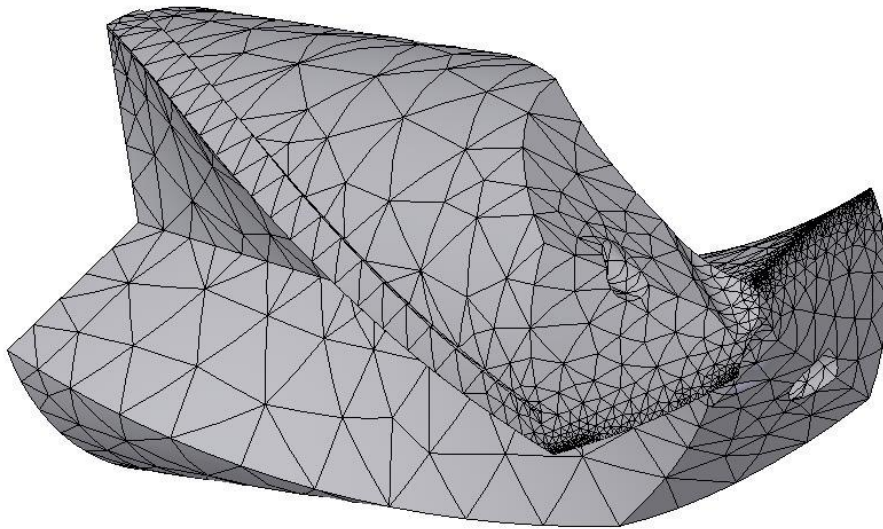
Modellszámításainkban a végeelem háló kialakításánál adaptív finomítást, és az elemek rendűségének adaptív növelését (az alakfüggvények fokszámának és darabszámának növelését) egyaránt alkalmaztuk. Így a végeelem felosztást (10. ábra) ott sűrítettük, ahol a célfüggvények a leggyorsabb változást mutatták.

A végeelem felosztás finomítása a szabadsági fokok növekedésével jár. Ez nagyobb számításigényt is jelent, ami a szabadsági fokok számával négyzetesen növekszik. Előzetes próbaszámításaink kimutatták, hogy a célfüggvények a csigafúró élének környezetében mutatnak jelentős változást, a szárában a változásuk igen csekély. Ezért a csigafúrónak csak 20 mm hosszú mukavégző részét vizsgáltuk, amivel a szabadsági fokok számának bizonyos mértékű csökkenését értük el. Így elkerültük a felesleges számítási munkát.

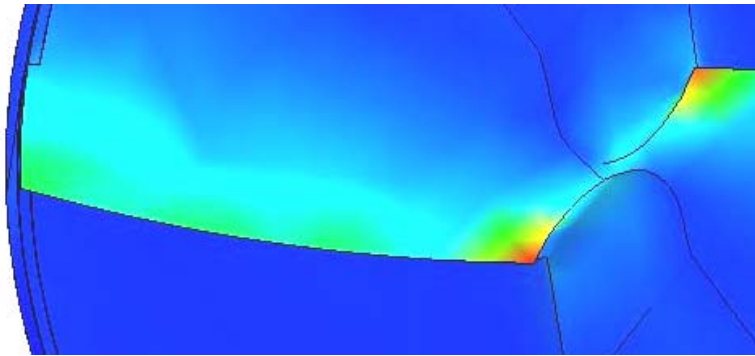
Számításaink alapján megállapíthatjuk a következőket (11- 14. ábra):

- A kopás megjelenése lényegesen megváltoztatja a feszültségeloszlást.
- A fúrás első (rövid) szakaszában a keresztél környezetében ébred a legnagyobb feszültség.
- Az utána következő szakaszban a feszültségeloszlásnak két kisebb maximuma van: a sarkoknál és az él mentén.

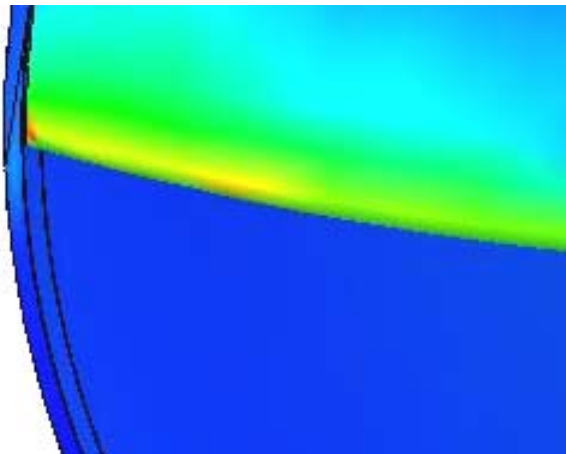
Ez jó összhangban áll azzal a tapasztalattal, hogy a sarokkopás általában nagyobb mértékű, mint az él (hát) kopása, de a hátkopásnak is van egy enyhe maximuma az él mentén. A keresztél a fúrás első szakaszában igen gyorsan elkopik.



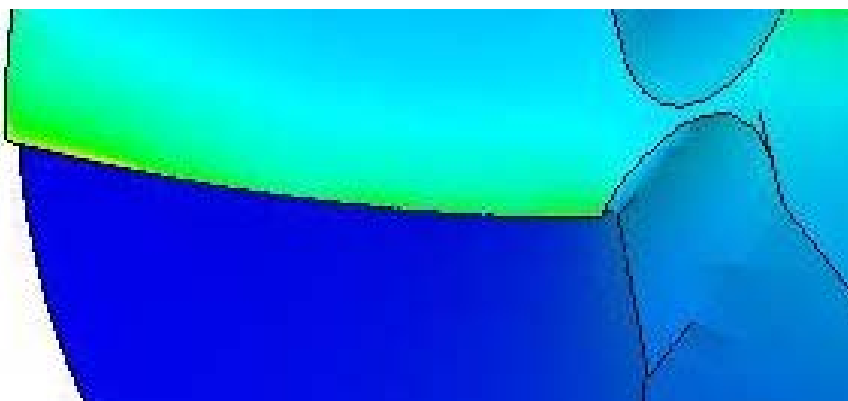
10. ábra. A csigafűrő mukavégző részének végeelem felosztása



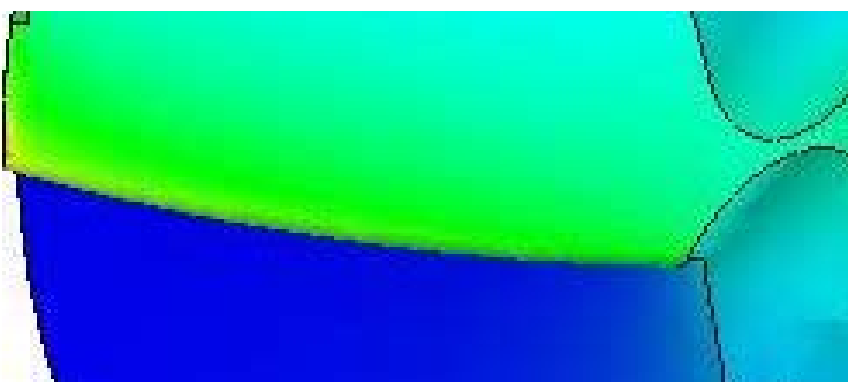
11. ábra. A munkaéles csigafűrő feszültségállapota



12. ábra. A kopott csigafűrő feszültségállapota



13. ábra. A munkaéles csigafúró hőmérsékleteloszlása



14. ábra. A munkaéles csigafúró hőmérsékleteloszlása

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Kísérleteink legfontosabb következtetéseit az alábbiakban foglalhatjuk össze:

- Külső minimálkenéssel sikerült megfelelő forgácsolási feltételeket biztosítani szürkeöntvény furatmegmunkálásánál.
- A szerszám előtolása és az alkalmazott hűtő-kenő folyadék mennyisége jelentősen befolyásolja az előtoló erő és fúrónyomaték szükségletet, illetve a szerszám kopását.
- Azonos mértékű HKF adagolás mellett a sarokkopás (VB_E) és a hátkopás ($VB_{3,5}$) minden esetben kisebb belső hűtésnél (a fúró hűtése itt egyenletes, folyamatos).
- Amíg a belső hűtésnél a HKF mennyiség növelése nem csökkentette jelentősen a szerszámkopást (sőt, $28 \text{ cm}^3/\text{h}$ hűtésnél $10 \text{ cm}^3/\text{h}$ hűtéshez képest a sarokkopás nőtt), addig külső hűtésnél a HKF mennyiség növelése jelentősen redukálta a szerszámkopást.
- Amíg belső hűtésnél $10 \text{ cm}^3/\text{h}$ mennyiségű HKF elegendő a fúró hűtés- kenéséhez, addig külső hűtésnél a HKF mennyiségének legalább $28 \text{ cm}^3/\text{h}$ - ra történő növelése szükséges a megfelelő hűtés- kenés biztosításához.
- A modellszámításokkal kapott feszültségállapot jó kvalitatív összhangban áll a mért kopás értékekkel.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] WEINERT, K.: Trockenbearbeitung und Minimalschmierung. Springer Verlag Berlin 2000.
- [2] KLOCKE, F.;LUNG, D.: *Minimalmengen-kühlschmierung – Systeme*, Werkzeuge und Medien, In VDI-Berichte 1532, pp.: 137–154, VDI-Verlag Düsseldorf, 2000
- [3] IGAZ, J., PINTÉR J., KODÁCSY J.: Minimálkenés. Gépgyártás XLVII. évf. 2007. 4.sz pp.: 22-31
- [4] KODÁCSY J., - NYÍRI J.: A fűrési folyamat összehasonlító vizsgálata különböző hűtés- kenési eljárásokkal. Gépgyártás XLVII. évf. 2007. 2-3.sz pp.: 27-29
- [5] DUDÁS, I., VARGA GY., CSERMELY, T., TOLVAJ, I. Umweltgerechte Zerspanungstechnik - Reduzierung und Ersatz von Fertigungshilfsstoffen beim Bohren (STD - 2EC jelű, ERB CIPACT 930167 témaszámú), Európai Közösség által finanszírozott kutatási projekt, Miskolci Egyetem, Gépgyártástechnológiai Tanszék, 4. Jelentés, 1995., pp.: 27.
- [6] VARGA, GY., DUDAS, I.: Modelling and Examinations of Environmentally Friendly Machining Processes, Proceedings of the 9th International Research/Expert Conference on Trends in the Development of Machinery and Associated Technology, TMT 2005, Antalya, Turkey, 26-30 September, 2005. pp.: 121-124. ISBN: 9958-617-28-5.
- [7] DUDÁS I.: *Gépgyártástechnológia I., A gépgyártástechnológia alapjai*, Műszaki Kiadó, 2004, pp.583. ISBN 963 16 4030 2
- [8] SZIGETI, F.; VARGA, GY.; PÉTER, L.; SZÁZVAI, A.: Examination of outer and inner lubrication with minimum volume of lubricants when drilling of grey cast iron, Proceedings of the 7th international multidisciplinary conference, Baia Mare, Romania, 2007, May 17-185, pp.: 687-693, ISSN-1224 -3264.
- [9] SZIGETI F., Dudás I., Varga Gy., Dezső G., Péter L.: Examining the Life Time of Drilling Tool under Outer Minimal Volume Lubrication Conditions. Proceedings of the 12th International Conference on Tools, Miskolc, 2007, Szeptember 6-8. 2007. pp: 213-218, ISSN 1215-0851

KÖZPONTI FŰTÉSI RENDSZEREK EXERGETIKAI ÖSSZEHASONLÍTÁSA

1. BEVEZETÉS

Magyarország összes energiafelhasználása a 2000 évben 15,85 Mtoe-nek felelt meg [1]. A fosszilis A fűtési rendszerekben általában összetett folyamatok zajlanak le, azaz a primer energiahordozó és a felhasznált fűtési hőmennyiség között különböző energiaátalakulási folyamatok játszódnak le. A rendszer utolsó eleme az épület, illetve a külső környezettel kapcsolatban lévő helyiség. Egy épület fűtési rendszerének feladata, hogy az épület helyiségeiben a különböző zavaró tényezők ellenére a kívánt vagy előírt helyiséghőmérsékletet biztosítsa minden időpillanatban, az épületbe juttatott megfelelő mennyiségű hőenergia révén. Az épület fűtési hőigénye egy adott külső hőmérsékletnél - a figyelembe vett tényezők pontos értékeire vonatkozó hiányos ismereteink és a figyelembe nem vett és nem vehető tényezők véletlenszerű jelenléte és ismeretlen hatása következtében - sztochasztikus, valószínűségi jellegű. A gyakorlati életben a mértékadó fűtési hőigény meghatározásánál stacioner állapotot tételezünk fel, a legkedvezőtlenebb, - úgynevezett méretezési- külső hőmérséklettel számolunk és az esetek többségében lakóépületeknél a külső transzmissziós és filtrációs energiaáramot vesszük figyelembe, melyeknél alapvetően az épület épületfizikai jellemzői és az időjárási tényezők közül a külső hőmérséklet és a széljárás játszik szerepet.

A különböző energiaátalakítási folyamatok energetikai és exergetikai mutatóit az 1. táblázat [1] foglalja össze.

A gyakorlati szakember számára a fűtéstechnika legfontosabb műszaki jellemzője az a ζ érték, amely megmutatja, hogy hogyan aránylik egy helyiség fűtési hőigénye (Q_F) -adott helyiség (t_i) és külső hőmérsékletnél (t_0)- a szükséges primerenergia-felhasználáshoz (Q_{PE}) képest.

$$\zeta = \frac{Q_F}{Q_{PE}} \quad (1a)$$

A ζ tényezőt a német szakirodalom fűtési jellemzőnek (fűtési számnak) hívja, amely adott esetben megegyezhet a hőtermelő hatásfokával, például abban az esetben, ha a kazán a fűtött épületen belül van, és a hőtermelőből kilépő energia veszteség nélkül jut el a helyiségekbe. Az energetikusok általában az $(1/a)$ helyett annak reciprokát használják, ez a fűtés fajlagos primerenergia-felhasználása

$$g = \frac{Q_{PE}}{Q_F} = \frac{1}{\zeta} \quad (1b)$$

A folyamat termodinamikai hatásfoka az exergetikai hatásfokkal fejezhető ki. Ebben a viszonylag egyszerűnek mondható esetben sem használhatjuk közvetlenül az 1. táblázat egyenleteit, segítségükkel csak az elemi folyamatokat, részfolyamatokat tudjuk leírni. A teljes folyamatra a következő definíció érvényes:

$$\nu^x = \frac{E^x_{Q_F}}{E^x_{PE}} \quad (2)$$

ahol $E^x_{Q_F}$ a Q_F a helyiség fűtési hőigényének exergiája t_i belső és t_0 külső környezeti hőmérsékletek fennállásakor és E^x_{PE} a felhasznált primer energia exergiája.

A fűtéstechnikában még mindig az a gyakorlat, hogy a tüzelőanyagok H_U fűtőértéke képezi a számítások alapját. Ezzel a tüzelőanyagokra az alábbi összefüggések adódnak:

$$Q_{PE} = m_B H_u \quad \text{és} \quad E^x_{PE} = m_B H_0 \quad (3)$$

ahol H_0 a tüzelőanyag égéshője, m_B az elégetett tüzelőanyag mennyisége.

$$\zeta = \frac{Q_F}{Q_{PE}} = \frac{Q_F}{m_B \cdot H_u} \quad (4)$$

$$E^x_{QF} = Q_F \left(1 - \frac{T_0}{T_i}\right) = Q_F \cdot \eta_{Co,i} \quad (5)$$

ahol $\eta_{Co,i}$ a T_0/T_i -ra kiszámítandó Carnot-hatásfok. A (2) egyenletből a (3) (4) és (5) egyenletek felhasználásával a fűtés exergetikai hatásfoka:

$$v^x = \frac{H_u}{H_0} \cdot \zeta \cdot \eta_{Co,i} \quad (6)$$

Ismerve a felhasznált tüzelőanyagot, a t_0 külső, és t_i helyiség hőmérsékleteket, a fűtési szám és exergetikai hatásfok közötti kapcsolatot:

$$\zeta = \text{konstans} \cdot v^x \quad (7)$$

A fűtési szám tehát egyenesen arányos az exergetikai hatásfokkal. Az exergetikai hatásfokot összetett rendszer esetében csak úgy tudunk meghatározni, ha a rendszert részegységekre, a folyamatot részfolyamatokra bontjuk és az egyes részfolyamatok exergetikai hatásfokát kiszámítjuk,

$$v^x_i = \left(\frac{E^x_{ki}}{E^x_{be}} \right)_i$$

majd ezek ismeretében számítjuk az eredő hatásfokot:

$$v^x = \prod_{i=1}^n v^x_i \quad (8)$$

Nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a valóságos folyamatoknál exergetikai veszteségek keletkeznek, például súrlódás, vagy hasonló folyamatok következtében, és hőmérsékleteséssel járó hőátvitel következtében. Az exergetikai hatásfokot alapvetően két részre bonthatjuk,

$v^x_{\text{mech/el}}$ -re amely a mechanikai és elektromos veszteségeket, és egy v^x_{th} -re, amely a hőmérsékleteséből, illetve irreverzibilitásból eredő veszteségeket foglalják magukba:

$$v^x = v^x_{\text{mech/el}} \cdot v^x_{\text{th}} \quad (9)$$

A számításainkban v_{th} értékeit többnyire a hőmérsékletek ismeretéből számoljuk, míg a $v^x_{\text{mech/el}}$ esetében gyakorlati tapasztalatokból ismert hatásfokokkal [11] dolgozhatunk.

Az alábbiakban 5 különböző hőtermelővel működő rendszer eredő exergetikai hatásfokának kiszámításához szükséges összefüggéseket adjuk meg. A különböző rendszerek vizsgálatánál a környezeti hőmérséklet (T_0) megegyezik az épületek, helyiségek külső környezetének hőmérsékletével.

2. KÖZPONTI FŰTÉS, HAGYOMÁNYOS MELEGVIZES GÁZKAZÁNNAL

A kazánban az égés során keletkezett hő átadódik a kazánban lévő hőhordozó közegnek, a víznek. Az 1. táblázat azon oszlopa, amelyikben az energiaforrás Q_{u2} a tüzelőanyag, és annak az 5. és 4. sora szerint:

$$v^x_{\text{égés}} = \frac{H_{u0}}{H_0} \cdot \eta_k \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_{fm}}\right) \quad (10)$$

ahol T_{fm} a hőhordozó közeg közepes hőmérséklete, η_k a kazánhatásfok, amelyet a következő összefüggéssel is meghatározhatunk:

$$\eta_k = \frac{H_{u,0}}{H_u} - \sum a_v \quad (11)$$

ahol $\sum a_v$ a H_u -ra vonatkoztatott relatív veszteségek összege (sugárzási veszteség, füstgázveszteség stb.), $H_{u,0}$ helyére kondenzációs kazánok esetében H_0 -t, az égéshőt, míg „hagyományos” kazánoknál H_u -t, a fűtőértéket kell az összefüggésbe behelyettesíteni:

$$v^x_{\text{égés}} = \frac{H_{u0}}{H_0} \cdot \left(\frac{H_{u,0}}{H_u} - \sum a_v \right) \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_{fm}} \right) \quad (12)$$

A hőhordozó közeg a radiátorba lépve leadja hőjét, a radiátor pedig a helyiségnek, ami meg kell hogy egyezzen a helyiség hővesztésével. A rendszer utolsó eleme a radiátor, ami egy hőcserélő.

A hőcserélőben történő hőátadás exergetikai hatásfoka (az 1. táblázat 3. oszlopának 4. és 5. sora szerint):

$$v^x_{\text{hőcse}} = \frac{E^x_{Q_{ki}}}{E^x_{Q_{be}}} = \frac{Q_{ki} \left(1 - \frac{T_0}{T_{kim}} \right)}{Q_{be} \left(1 - \frac{T_0}{T_{bem}} \right)} = \eta \frac{1 - \frac{T_0}{T_{kim}}}{1 - \frac{T_0}{T_{bem}}} \quad (13)$$

ahol T_{kim} a kilépő, felmelegedő közeg, T_{bem} a belépő fűtőközeg közepes hőmérséklete η a hőcserélő hatásfoka. Ha a hőcserélő hatásfoka $\eta = \frac{Q_{ki}}{Q_{be}} = 1$, vagyis, ha nincs mennyiségi veszteség, az

exergetikai hatásfok:

$$v^x_{\text{hőcser}} = \frac{\left(1 - \frac{T_0}{T_{kim}} \right)}{\left(1 - \frac{T_0}{T_{bem}} \right)} \quad (14)$$

A radiátornak, mint hőcserélőnek az exergetikai hatásfoka a (14) jelű összefüggés alapján:

$$v^x_{\text{rad}} = \frac{\left(1 - \frac{T_0}{T_i} \right)}{\left(1 - \frac{T_0}{T_{fm}} \right)} = \frac{\eta_{C0i}}{\eta_{C0fm}} \quad (15)$$

ahol η_{C0i} a T_0/T_i -re, η_{C0fm} T_0/T_{fm} -re vonatkozó Carnot hatásfok.

Eredő exergetikai hatásfok:

$$v^x_{\text{égés}} \cdot v^x_{\text{rad}} = \frac{H_u}{H_0} \cdot \left(\frac{H_u}{H_u} - \sum a_v \right) \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_{fm}} \right) \frac{\left(1 - \frac{T_0}{T_i} \right)}{\left(1 - \frac{T_0}{T_{fm}} \right)} = \frac{H_u}{H_0} \cdot \left(\frac{H_u}{H_u} - \sum a_v \right) \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_i} \right) \quad (16)$$

természetesen azt feltételezve, hogy a hőtermelőtől a hő veszteségmentesen jut el a hőleadóig. Számításainkban a gáz tüzelőanyaggal történő közvetlen hőtermelés esetén elvárható hatásfokkal $\eta_k=0,9$ és $H_u/H_0=0,9$ -es értékkel számoltunk, és azt feltételeztük, hogy a kazán hatásfoka különböző üzemiállapotokban állandó.

3. KÖZPONTI FŰTÉS, KONDENZÁCIÓS MELEGVIZES GÁZKAZÁNNAL

Az energiaátalakítási folyamatok hasonlóak az a.) esethez, az eredő exergetikai hatásfok:

$$v^x = v^x_{\text{égés}} \cdot v^x_{\text{rad}} = \frac{H_0}{H_0} \cdot \eta_k \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_i} \right) \quad (17)$$

A példákban $\eta_k=1,09$ állandó hatásfokkal számoltunk különböző üzemiállapotokban, bár tudjuk, hogy a kondenzációs kazán hatásfoka nő, a kazánban lévő közeg közepes hőmérsékletének csökkenésével.

4. ELEKTROMOS FŰTÉS HELYSÉGENKÉNTI BERENDEZÉSEKSEL

A villamos fűtőtest exergetikai hatásfoka:

$$v^x_{rad} = \left(\frac{E^x_{ki}}{E^x_{be}} \right) = \frac{E^x_{Q_{ki}}}{E^x_{P_{be}}} = \frac{Q_{ki} \left(1 - \frac{T_0}{T_i}\right)}{P_{be}} = 1 - \frac{T_0}{T_i} \quad (18)$$

hisz a $Q_{ki} = P_{be}$.

Ha azt feltételezzük, hogy a villamos energiát földgázból, közvetlen termeléssel, erőműben állítják elő, akkor az elvárható hatásfokot [11] figyelembe véve $\eta_{KE} = P_{be} / Q_{PE} = 0,52$ értékkel számolhatunk.

Igy az eredő exergetikai hatásfok:

$$v^x = \eta_{KE} \cdot v^x_{rad} \quad (19)$$

mivel $v^x_{KE} = \eta_{KE}$

5. KÖZPONTIFŰTÉS, KOMPRESSZOROS HŐSZIVATTYÚVAL (VILLAMOSENERGIÁVAL MŰKÖDŐ, DIREKT ELPÁROLOGTATÓS)

Kompressziós hőszivattyú. Az 1. táblázat első oszlopának 7. és 8. sora érvényes a kompressziós hőszivattyúkban lejátszódó folyamatra.

$$v^x_{h\ddot{o}szvi} = \frac{Q_{ki} \left(1 - \frac{T_0}{T_{kim}}\right)}{P_{be}} = \varepsilon_{W,P} \left(1 - \frac{T_0}{T_{kim}}\right) \quad (20)$$

$$\varepsilon_{W,P} = \frac{Q_{ki}}{P_{be}}$$

ahol Q_{ki} leadott, hasznosított hőenergia a $T_{ki,m}$ hőmérsékleten. A P_{be} a bevezetendő mechanikai/elektromos energia, $\varepsilon_{W,P}$ a hőszivattyú fűtési tényezője.

A hőszivattyú munkaközege anergiát (vagy anergiában nagyon dús energiát) vesz fel egy T_0 -nál kisebb T_{0m} -hőmérsékleten, és T_{kim} -nél nagyobb T_{kim} hőmérsékleten mint Q_{ki} hőt adja le. Ezekkel a hőmérsékletekkel a Carnot-féle fűtési tényező:

$$\varepsilon_{W,P,C} = \frac{T_{0m}}{T_{0m} - T_{ki,m}} \quad (21)$$

A (21)-es összefüggést helyettesítjük be a (20)-ba, kapjuk a hőmérséklet eséssel járó hőátvitel következtében létrejövő veszteségeket tartalmazó exergetikai hatásfokot:

$$v^x_{th} = \frac{T_{0m}}{T_{0m} - T_{ki,m}} \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_{kim}}\right) \quad (22)$$

Veszteségmentes esetben természetesen $T_{0m} = T_0$ és $T_{ki,m} = T_{ki}$.

A hőszivattyú működéséhez a villamosenergia-bevitel exergetikai hatásfoka megegyezik az energetikai hatásfokkal: $v^x_{mech/elek} = \eta_{mech/elek}$

A részfolyamatok szuperponálásának eredményeként:

$$v^x_{h\ddot{o}szvi} = \eta_{mech/elek} \frac{\left(1 - \frac{T_0}{T_{ki,m}}\right)}{\left(1 - \frac{T_{ki,m}}{T_{0m}}\right)} \quad (23)$$

A helyiségben a fűtés radiátorral történik, a radiátorban a fűtőközeg közepes hőmérséklete egyezzen meg a hőszivattyúban lévő víz közepes hőmérsékletével, feltételezve, hogy a hőszivattyútól a közeg mennyiségi veszteség nélkül jut el a radiátorig, így a radiátor exergetikai hatásfoka:

$$v^x_{rad} = \frac{(1 - \frac{T_0}{T_i})}{(1 - \frac{T_0}{T_{kim}})}$$

Az eredő exergetikai hatásfok:

$$v^x_{h\ddot{o}szvi} \cdot v^x_{rad} = \eta_{mech/elek} \frac{(1 - \frac{T_0}{T_{ki,m'}})(1 - \frac{T_0}{T_i})}{(1 - \frac{T_0}{T_{0m}})(1 - \frac{T_0}{T_{kim}})} = \eta_{mech/elek} \frac{(1 - \frac{T_0}{T_i})}{(1 - \frac{T_0}{T_{ki,m'}})} \quad (24)$$

A számításoknál a következő értékeket vettük figyelembe:

$$\begin{aligned} T_0' &= T_0 - 2,5 \\ T_{kim}' &= T_{kim} + 2,5 \\ \eta_{mech/elek} &= 0,7 \end{aligned}$$

6. KÖZPONTIFŰTÉS, TERMÁLVÍZZEL, HŐCSERÉLŐ KÖZBEIKTATÁSÁVAL

A termálvizes rendszernél két hőcserélő van sorba kötve, az egyiknek a primer közege termálvíz, szekunder közege a radiátor körben áramló fűtőközeg. A radiátor primer közege a termálvizes hőcserélő szekunder közege, szekunder közege a levegő. Eredő exergetikai hatásfoka:

$$v^x = v^x_{h\ddot{o}cs} v^x_{rad} = \frac{(1 - \frac{T_0}{T_{kim}})(1 - \frac{T_0}{T_i})}{(1 - \frac{T_0}{T_{bem}})(1 - \frac{T_0}{T_{kim}})} = \frac{1 - \frac{T_0}{T_i}}{1 - \frac{T_0}{T_{bem}}} \quad (25)$$

Azt feltételeztük, hogy a hőcserélő primer oldalán a termálvíz közepes hőmérséklete állandó, 75 °C, a kilépő oldalon a többi rendszerrel megegyezik a radiátor közepes közegehőmérséklete, és nincs mennyiségi hőveszteség.

Valamennyi fűtési rendszerben a külső hőmérséklet függvényében szabályozott a hőhordozó közeg hőmérséklete, így növekvő külső hőmérséklet esetén csökken a fűtőközeg közepes hőmérséklete. Az A.) B.) C.) üzemállapotra kiszámítottuk az eredő exergetikai hatásfokot és a fűtőszámot, az eredményeket a 2. táblázatban foglaltuk össze.

$$\begin{aligned} A.) \quad & t_i = 20 \text{ } ^\circ\text{C} \\ & t_o = -5 \text{ } ^\circ\text{C} \\ & t_{fm} = 45 \text{ } ^\circ\text{C} \\ & \eta_{C0i} = (1 - \frac{T_0}{T_i}) = 0,0853 \end{aligned}$$

$$\eta_{C0fm} = (1 - \frac{T_0}{T_{fm}}) = 0,157$$

$$\begin{aligned} B.) \quad & t_i = 20 \text{ } ^\circ\text{C} \\ & t_o = 0 \text{ } ^\circ\text{C} \\ & t_{fm} = 40 \text{ } ^\circ\text{C} \\ & \eta_{C0i} = (1 - \frac{T_0}{T_i}) = 0,06826 \end{aligned}$$

$$\eta_{C0.fm.} = \left(1 - \frac{T_0}{T_{fm}}\right) = 0,1278$$

$$C.) \quad \begin{aligned} t_i &= 20^\circ C \\ t_o &= 10^\circ C \\ t_{fm} &= 30^\circ C \end{aligned}$$

$$\eta_{C0i.} = \left(1 - \frac{T_0}{T_i}\right) = 0,03413$$

$$\eta_{C0.fm.} = \left(1 - \frac{T_0}{T_{fm}}\right) = 0,066$$

7. AZ EREDMÉNYEKBŐL LEVONHATÓ KÖVETKEZTETÉSEK:

1. Az a.) b.) és c.) esetben az elektromos energiának, a hőnek nincs a környezeti energiával kapcsolata, mint a hőszivattyúk esetében, ezért a ξ -nek azonosnak kell lenni a mindenkori hatásfokkal, tehát

- Az a.) és b.) esetben a kazán hatásfokkal $\eta_k = 0,9$ illetve $\eta_k = 1,09$, ha változnak, akkor ξ is változik.

- A c.) esetben az erőműhatásfokkal $\eta_{hő/elekt} = 0,52$

- Az e.) esetben, ha azt feltételezzük, hogy a hőátadás mennyiségi veszteség nélkül történik a $\eta_{hőcs} = 1$

2. A ξ és ν_ξ jellemzők néhány esetben teljesen különböző értékeket ill. tendenciákat mutatnak. Ez igazolhatja az exergetikai megközelítési mód szükségességét:

-A ξ mértéke egyedül még semmit nem mond arról, milyen jól lettek a természet adta lehetőségek kihasználva. Erről az exergetikai hatásfok szolgáltat információt.

A földhő hasznosító fűtés (e.) eset) a ν_ξ jellemző tekintetében felülmúlja az összes többi fűtési módszert. Ennek az oka egyszerű, a tüzelőanyag használata a „helyiségfűtésre”, mint exergetikusan alsóbbrendű feladatra, „pazarlás”. Jobb, ha a fűtés, a 75 °C-os termálvízzel, a termikusan kevésbé értékes földhő felhasználásával történik.

-A közvetlen elektromos fűtés termodinamikai szempontból, a természeti erőforrások pazarlásának szempontjából a legkedvezőtlenebb, az exergetikai hatásfok értékek ebben az esetben a legkisebbek és a ξ értékek is a legkisebbek a vizsgált példák közül.

3. A „nagy terhelésből” az „alacsony terhelésbe” való átmenet során, ha követjük az igények változását a fűtőközeg hőmérsékletének változásával, illetve a hőtermelő által kiadott hőmennyiség változtatásával, valamennyi esetben kisebb terheléshez kisebb exergetikai hatásfok tartozik. A hőszivattyú estében az exergetikai hatásfok csökkenésének a mértéke a legkisebb, további előnye, hogy a ξ értékei csökkenő terhelésnél, vagyis csökkenő fűtőközeg hőmérsékletnél nőnek.

A fenti számítások további rendszerek vizsgálatával kiegészíthetők, például ha kapcsolt energiatermelésből nyert villamosenergiával működtetjük a hőszivattyút, vagy ha gázmotoros hőszivattyúval üzemeltetjük a rendszert. A fenti összefüggések segítségével követhetjük, hogyan változnak az eredmények, ha különböző üzemállapotokban a kazánhatásfok változik, ha a mennyiségi veszteségektől nem tekintünk el, ha fűtési rendszer kis hőmérsékletű sugárzó fűtés stb.

Energiafogyasztók		Energiaforrás: Q_{u1} : mechanikus/villamos energia W_{be}, P_{be}	Energiaforrás Q_{u2} : tüzelőanyag energiája $Q_B=Q_{be}$ $Q_B = m_B H_{u,0}$	Energiaforrás Q_{u3} : hőmennyiség $Q_1 = Q_{be}$ T_1 hőmérsékleten		
V1. Mechanikus/villamos energia W_{ki} / P_{ki}	1	Energetikai jellemző (energetikai hatásfok)	$\eta = \frac{W_{ki}}{W_{be}} = \frac{P_{ki}}{P_{be}}$	$\eta_{th} = \frac{W_{ki}}{Q_1} = \frac{P_{ki}}{Q_1}$		
	2	Exergetikai hatásfok (exergetikai jóságifok)	$\nu^x = \eta$	$\nu^x = \frac{W_{ki}}{E^x_{Q_1}} = \frac{W_{ki}}{Q_1(1-\frac{T_0}{T_1})} = \frac{\eta_{th}}{1-\frac{T_0}{T_1}}$		
	3	Példa:	villamosmotor	hőerőmű (nem atomerőmű)	geotermikus erőmű	
V2. Hő Q_2 , fűtés $T_2 > T_0$ hőmérsékleten ($Q_2 = Q_{ki}$)	a) eset $Q_2 = E /_{be}$	4	Energetikai jellemző	$\eta = 1$	$\eta = \frac{Q_2}{Q_1} \approx \frac{Q_2}{m_B H_{u,0}}$	$\eta = \frac{Q_2}{Q_1}$
		5	Exergetikai hatásfok	$\nu^x = (1 - \frac{T_0}{T_2})$	$\nu^x = \frac{H_{u,0}}{H_0} \eta (1 - \frac{T_0}{T_2})$	$\nu^x = \frac{E^x_{Q_2}}{E^x_{Q_1}} = \eta \frac{1 - \frac{T_0}{T_2}}{(1 - \frac{T_0}{T_1})}$
		6	Példa:	villamos fűtés	„normál” égési folyamatok melegítésre	termikus napkollektor
	b) eset $Q_2 > E /_{be}$	7	Energetikai jellemző (teljesítménytényező)	$\varepsilon_{W,P} = \frac{Q_2}{W_{be}} = \frac{Q_2}{P_{be}}$	$\varepsilon_{WP} = \frac{Q_2}{Q_B} = \frac{Q_2}{m_B H_{u,0}}$	$\zeta_F = \frac{Q_2}{Q_1}$
		8	Exergetikai hatásfok	$\nu^x = \frac{Q_2(1-\frac{T_0}{T_2})}{P_{be}} = \varepsilon_{W,P}(1-\frac{T_0}{T_2})$	$\nu^x = \frac{Q_2(1-\frac{T_0}{T_2})}{m_B H_0} = \frac{H_{u,0}}{H_0} \varepsilon_{WP}(1-\frac{T_0}{T_2})$	$\nu^x = \zeta_F \frac{(1-\frac{T_0}{T_2})}{(1-\frac{T_0}{T_1})}$
	9	Példa:	villamos hajtású hőszivattyú	belsőégésű motorral hajtott hőszivattyú	abszorpciós hőszivattyú	

V3. Hő Q_3 , hűtés $T_3 < T_0$ hőmérsékleten $Q_3 = Q_{ki}$	10	Energetikai jellemző(hűtési tényező)	$\varepsilon_h = \frac{Q_3}{W_{be}} = \frac{Q_3}{P_{be}}$	$\varepsilon_H = \frac{Q_3}{Q_B} \approx \frac{Q_3}{m_B H_{u,0}}$	$\zeta_H = \frac{Q_3}{Q_1}$
	11	Exergetikai hatások	$v^x = \frac{Q_3 \left(\frac{T_0}{T_3} - 1\right)}{W_{be}} = \varepsilon_h \left(\frac{T_0}{T_3} - 1\right)$	$v^x = \frac{Q_3 \left(\frac{T_0}{T_3} - 1\right)}{m_B H_0} = \frac{H_{u,0}}{H_0} \varepsilon_H \left(\frac{T_0}{T_3} - 1\right)$	$v^x = \zeta_H \frac{\left(\frac{T_0}{T_3} - 1\right)}{\left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right)}$
	12	Példa:	villamos hajtású hűtőberendezés	belsőégésű motorral hajtott hűtőberendezés	abszorpciós hűtőberendezés

1. táblázat A folyamatok energetikai és exergetikai értékeléséhez szükséges összefüggések
[7] H. Müller: Technische Thermodynamik Wismar 2000.

$H_{U/O} \rightarrow H_O$ kondenzációs technika esetében, H_U hagyományos technika esetében

η = energetikai hatások T_0 = környezeti hőmérséklet

ε = teljesítmény tényező

v^x = exergetikai hatások (exergetikai jósági fok)

	Környezeti hőmérséklet t_o °C	A radiátorban a hőhordozó közeg közepes hőmérséklete t_{fm} °C	Erőmű exergetikai hatásfoka	Egyedi hőtermelő exergetikai hatásfoka	$\eta_{\text{mech/elektr}}$ $v_{\text{mech/elektr}}^x$	Radiátor exergetikai hatásfoka	Eredő exergetikai hatásfok v^x	Fűtési szám ξ
a.)	Központi fűtés, hagyományos gázkazánnal $\eta_k=0,9$ állandónak feltételezett $H_u/H_o=0,9$							
A	-5	45		0,1272	1	0,5425	0,06907	0,9
B	0	40		0,1035		0,5341	0,055	0,9
C	10	30		0,053		0,517	0,0274	0,9
b.)	Központi fűtés, kondenzációs gázkazánnal $\eta_k=1,09$ állandónak feltételezett $H_u/H_o=0,9$							
A	-5	45		0,1711	1	0,5425	0,093	1,09
B	0	40		0,1393		0,5341	0,0744	1,09
C	10	30		0,0719		0,517	0,03717	1,09
c.)	Elektromos fűtés helyiségenkénti berendezéssel							
A	-5	45	0,52		1	0,0853	0,04435	0,52
B	0	40				0,06826	0,0355	0,52
C	10	30				0,03413	0,0177	0,52
d.)	Központi fűtés hőszivattyúval (elektromos energiával működő kompresszoros direkt elpárologatós)							
A	-5	45	0,52	0,915	0,7	0,5425	0,18085	2,12
B	0	40		0,896		0,5341	0,1742	2,552
C	10	30		0,8065		0,517	0,1518	4,45
e.)	Központi fűtés termálvízzel hőcserélő közbeiktatásával, primer oldalon 75 °C közepes hőm. termálvíz							
A	-5	45		0,683	1	0,5425	0,3705	1
B	0	40		0,593		0,5341	0,317	1
C	10	30		0,353		0,517	0,1826	1

2. táblázat Különböző hőtermelővel ellátott fűtési rendszerek exergetikai hatásfoka és fűtési száma

Alkalmazott jelölések:

- B egyenértékű tüzelőanyag mennyisége
E energiamennyiség általában, E' teljesítmény
e fajlagos energiamennyiség, pl. fajlagos energiafelhasználás
 E^x exergia, Ex' exergiaáram
 E^A anergia
H entalpia
h fajlagos entalpia
m tömeg
P mechanikus/villamos teljesítmény, $= W'$; áram (összefüggéstől függően)
Q hőmennyiség, Q' hőteljesítmény
T abszolút hőmérséklet
t hőmérséklet Celsius fokban
W villamos/mechanikus munka, $W'=P$ villamos teljesítmény
z magasság
 Δt hőmérsékletkülönbség általában
 ε teljesítményszám (teljesítménytényező)
 η hatásfok (hasznosítási fok)
 ν_x exergetikai hatásfok, jósági fok
 ζ fűtési jellemző
S entrópia

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] MARTINÁS K.: Kelvini termodinamika, egy érhető termodinamika
[2] BÜKI G.: Lévai professzor és a magyar energetika. Energia és Atomtechnika, 1989/3, 132-134
[3] JÁSZAY T.: Heller László iskolateremtő, tudósi oktatói öröksége. Magyar Energetika, 1995/6, 8-11.
[4] KÖRNYEY T.: Fejlesztési gondolatok termodinamikai megalapozása a Heller-iskolában. Magyar Energetika, 1995/6, 11-12.
[5] BÜKI G.: Energetika. Műegyetemi kiadó, 1997.
[6] H. MÜLLER: Technische Thermodynamik Wismar 2000.
[7] JÁSZAY T.: Műszaki hőtan BME Tankönyvkiadó, Budapest 1992.
[8] KALMÁR F.: Központi fűtési rendszerek exergetikai elemzése, Debreceni Műszaki Közlemények, V. évf. 2 szám, 2006.
[9] KONTRA J.: A geotermális energia és az exergia-szemlélet. Magyar Épületgépészet LIV. Évf. 2005.
[10] BÜKI G.: Kapcsolt energiatermelés. Műegyetemi kiadó, 2007.

A KÖSELY VÍZFOLYÁS ÉS MELLÉKÁGAINAK SÓTERHELÉSSEL ÖSSZEFÜGGŐ MINŐSÉGE

Kivonat: A Kösely és mellékágai több forrásból kapnak sóterhelést. A Köselyen havonta mért adatok és az öt alkalomból az egész vízgyűjtő 11 helyén mért adatok alapján megvizsgáljuk, megfelelő-e a vízminőség az érvényes magyar szabvány, az öntözővizekre vonatkozó elvárások és a VKI által megfogalmazott jó ökológiai állapot meghatározásai szerint.

Kulcsszavak: sókoncentráció-hossz-szelvény, sóterhelések forrásai, mért sótartalom, vezetőképesség, háttér-koncentráció

1. BEVEZETÉS ÉS A VIZSGÁLAT ELŐZMÉNYEI

1.1. előzmények

Jelen vizsgálat részét képezi a Kösely vízgyűjtője terhelhetőségi vizsgálatának, mely elfogadott PhD-téma a DE AMTC Interdiszciplináris Agrár- és Természettudományok doktori iskolájában.

A vizsgálathoz a hivatkozott szakirodalmakon túl felhasználtuk a Tiszántúli Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség (TIKTVF), valamint a Tiszántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság (TIKÖVIZIG) adatait, továbbá a 2008. március 12. és április 19. közötti időszakban végzett saját mérések eredményeit.

1.2. bevezetés, a téma ismertetése

2000-ben hatályba lépett az Európai Unió Víz Keretirányelve, melyben fő célkitűzésként megfogalmazódott a felszíni és a felszín alatti vizek jó ökológiai állapotának megőrzése, ill. minél előbbi visszaállítása. A határidő 2015.

A Kösely vízgyűjtőjének itt közölt sóterhelés-vizsgálatát azzal a céllal végeztük, hogy a vízfolyás mentén a **sókoncentráció-hossz-szelvényt** elkészítsük és megállapíthassuk, mely szakaszokon képesek a vízgyűjtő vízfolyásai hígulás révén megújulni és mely szakaszokon van szükség hígításra, vagy szennyvíztisztításra, vagy más vízminőség-védelmi beavatkozásra annak érdekében, hogy az **öntözővize** és a VKI által rögzített — **élővízre vonatkozó minőségi elvárások** teljesüljenek.

Hazánkban a vizek mennyiségi és minőségi állapotát-, valamint a különböző pontszerű és a diffúz szennyezések mértékét tükröző adatok még nehezen hozzáférhetőek és összehangolhatóak, így nem állítható össze egy olyan **egységes sóforgalmi mérleg**, amely alapján a vizek által évente szállított sóvegyületek mennyiségét áttekinthetnénk és ebből vonhatnánk le következtetéseket arra vonatkozóan, hogy milyen mértékben nélkülözhetetlen a forgalom lassítása.

A vizsgált vízgyűjtőn pusztán a vízmérleg felállítása is nehézkes a kettős működésű csatornák hatása, valamint a vízháztartás elemeire — lefolyás, párolgás, beszivárgás — vonatkozó adathiány miatt.

Az alábbiakban egyenlőre mennyiségi adatok nélkül vesszük számba a sóterhelések forrásait:

- termálvizek : Évente több ezer tonna só kerül termálvizekkel a Köselybe és mellékágaiba. Részben a közcsatornán keresztül, részben közvetlenül kerülnek bevezetésre, az év során nem egyenletes — többnyire követhetetlen — eloszlásban, ugyanis azon termálfürdők esetében, melyek közvetlenül terhelik a vízfolyásokat, csak öntözési időnyen kívül vezethető be a sós termálvíz.
- szennyvizek : Kezelve, vagy kezeletlenül a kommunális szennyvízzel együtt folyamatosan kerülnek bevezetésre. A kommunális szennyvízbe a mosóporokból jutnak sók, melyek keresztüljutnak a szennyvíztisztítási eljárás.
- szennyezett csapadékvizek : Pontforrásként a csatornarendszeren keresztül, vagy diffúz forrásként területi lefolyással kerülnek a vízfolyásokba az utak téli csúszásmentesítése céljából kiszórt sók (Hancz, 2005).

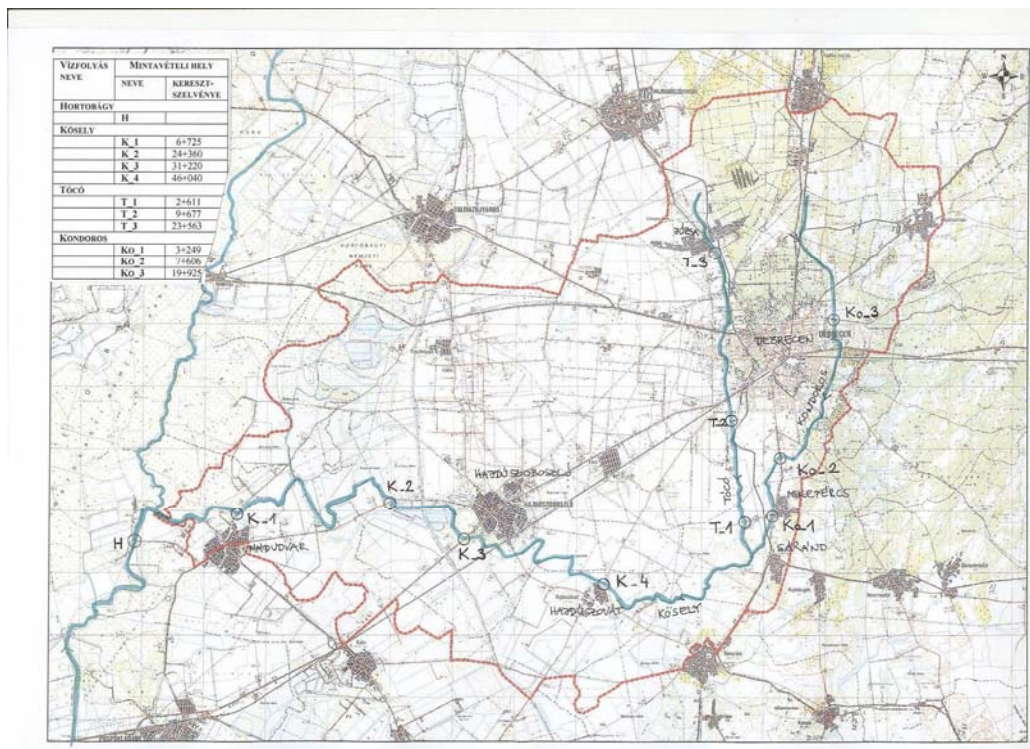
A lentebb ismertetett módszertani indokok mellett megemlíjtük, hogy a sóterhelés-vizsgálat indokolt a sók káros környezeti hatásai miatt is (Hancz, 2004), de jelen vizsgálat nem foglalkozik sem ezzel, sem — lehetőségek híján — azok ionösszetételből származó differenciáltságával. Ez utóbbival kapcsolatban itt a szakirodalomban található megállapításokra hivatkozunk (Nemes, 2007):

Környezeti változás (töményedés, hígulás, pH-emelkedés) hatására a nagy karbonát/hidrokarbonát tartalmú vizekből a Ca- és Mg-ionok egy része kicsapódik, így megnő az oldatban a Na-ionok részaránya, ezáltal szikesítő hatású lesz a víz.; Az öntözővíz kation összetétele akkor kedvező, ha kevés Na-iont tartalmaz. A víz szikesítő hatása szempontjából azonban nem a Na-ionok abszolút mennyisége, hanem a többi kationhoz viszonyított részaránya a döntő. Leggyakrabban a várható szikesítő hatást a Na % és/vagy a nátrium adszorpciós arány (SAR) fejezi ki.

2. MINTAVÉTELI HELYEK

A 11 mintavételi hely közül egy a Kösely befogadóján, a Hortobágyon van a betorkollás alatt, 10 a Köselyen és mellékágain. A helyek megválasztásánál szempont volt:

- a megközelíthetőség — egyszerre bejárható legyen a mintavétellel és a minták elhelyezésével-, vagy a helyben történt méréssel együtt
- általában a mintavételi helyek között legyen pontszerű bevezetés, hogy az ebből származó minőségváltozás követése lehetséges legyen; K_2 megválasztásánál szempont volt, hogy a sósvíztározó bevezetési pontja alatt legyen
- a Köselyen a K_1 és K_2 helyek megválasztásánál — ellenkezőleg — az volt a szempont, hogy terhelésmentes szakasz legyen, mert egy másik vizsgálatban a szerves anyag lebomlási állandóját fogjuk meghatározni



1.ábra: A kösely vízgyűjtője a mintavételei helyekkel. A vízgyűjtő határa adott, a TIKÖVIZIG-től kapott térképen szerepelt

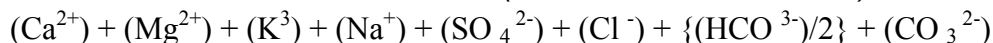
3. A VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

3.1. A hígulási viszonyok vizsgálatául választott módszer indoklása

Egyrészt a fent említett környezeti hatások indokolják, hogy a sókoncentrációt választottuk vizsgálatunk során mutatóként, másrészt a sótartalom konzervatív komponens jellege. Ennek a hidrológiai elemzéssel bővülő további vizsgálatok során — a várható hígulás számításakor, illetve modellezésekor — lesz jelentősége. Konzervatív szennyezőanyag esetén ugyanis kevesebb egyszerűsítést kényszerülünk alkalmazni, mert sem lebomlással, bioakkumulációval, illetve egyéb átalakulással, de ülepedéssel sem kell számolni. Ezen folyamatok figyelmen kívül hagyása nem torzítja a valóság modellezését.

3.2. A sótartalom-meghatározás lehetőségei

3.2.1. Számított sótartalom (a TIKTVF adatai között)



A 3.-6. ábrákon közölt adatokból látható, hogy a számított- és a mért sótartalom nem egyezik meg, és nem arányosak egymással, valamint egyik sem haladja meg következetesen a másik értéket.

3.2.2. Mért sótartalom

A sótartalom mérése hagyományos módszerrel az MSZ 448-19:1986 alapján úgy történik, hogy a szűrt oldatot szárazra pároljuk és a maradékot 105 °C-on továbbszárítjuk, ezután megmérjük.

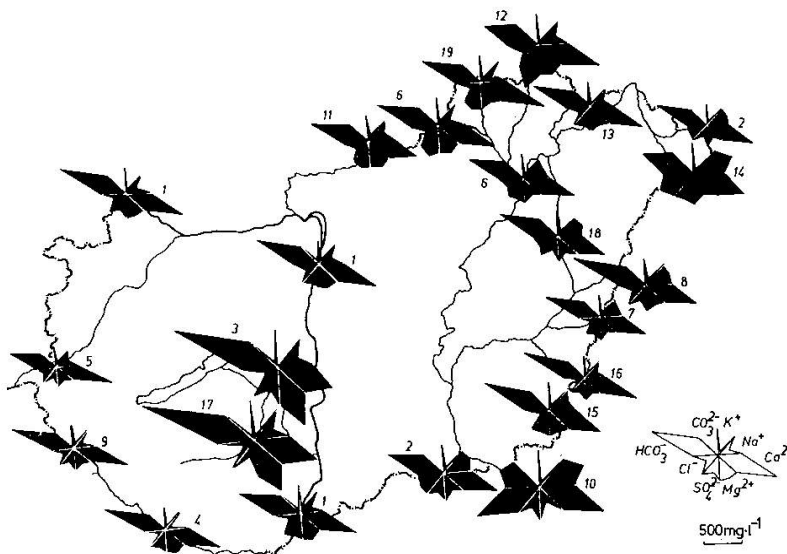
A sótartalom mérhető az oldat fajlagos elektromos vezetőképességével (Electrical Conductivity: EC, [$\mu\text{S}/\text{cm}$]) is, 20 °C-on. Saját méréseinkhez ezt a módszert alkalmaztuk. A módszer alapja, hogy a víz elektromos vezetőképességét az abban oldott sók ionjai adják. A mérés függ az ionok fajtájától, a víz hőmérsékletétől, az ionkoncentrációtól, mely utóbbi a sótartalommal, a TDS (Total Dissolved Solids) értékével arányos. A fajlagos vezetőképesség annak az elektromos ellenállásnak a reciprokéértéke, mely egy 1 cm-es élhosszúságú kocka két egymással szemközti lapja között mérhető. A mért sókoncentrációt a kalibrált műszer egy nemlineáris összefüggés alapján számítja (Makray,2006).

A saját mérést ilyen kalibrált műszerrel végeztük, négy alkalommal a mintavételt követő napon a DE AMTC Műszaki Kar Környezet- és Vegyészmérnöki Tanszék laboratóriumában, az ötödik alkalomból a mintavétel helyszínén.



4. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

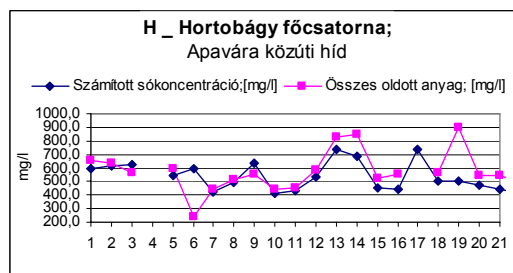
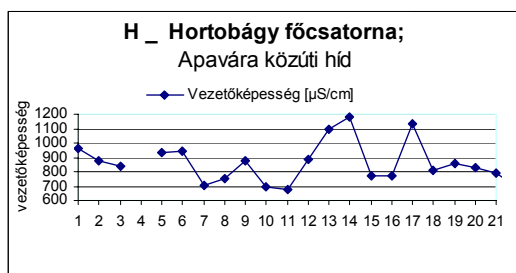
4.1. Szakirodalmi adatok



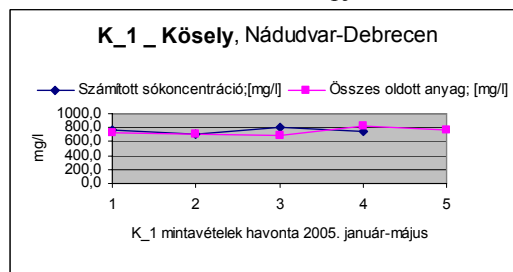
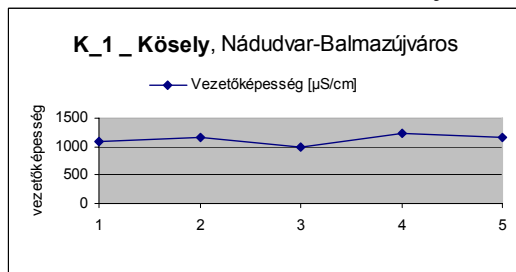
2. ábra: **Magyarországi folyóvizek összes oldott sótartalma (mg/l) MAUCHA* (1948) diagramok szerint.** 1= Duna, 2= Tisza, 3= Sió, 4= Dráva, 5= Rába, 6= Sajó, 7= Sebes-Kőrös, 8= Berettyó, 9= Mura, 10= Maros, 11= Ipoly, 12= Hernád, 13= Bodrog, 14= Szamos, 15= Fehér-Kőrös, 16= Fekete-Kőrös, 17= Kapos, **18= Keleti Főcsatorna**, 19= Bódva (VIKÖZ 1971 után, módosítva, Bíró 1984).

*magyar limnológus, kifejlesztette a "Maucha csillag – diagram" módszert, amely világosan ábrázolja a vizek főbb kémiai összetevőinek arányát; a vizek kémiai tulajdonságok és produktivitás alapján történő csoportosításával foglalkozott

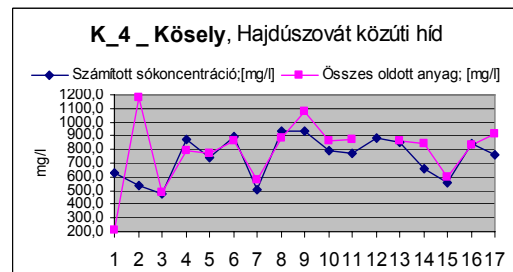
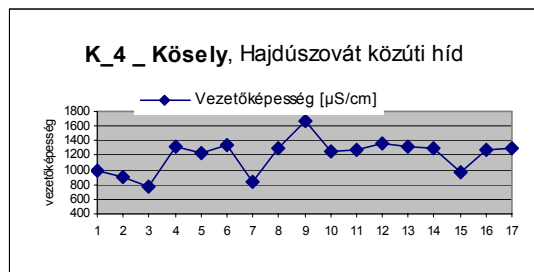
4.2. Tiszántúli Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség (TIKTVF) mérési eredményei, grafikus feldolgozásban



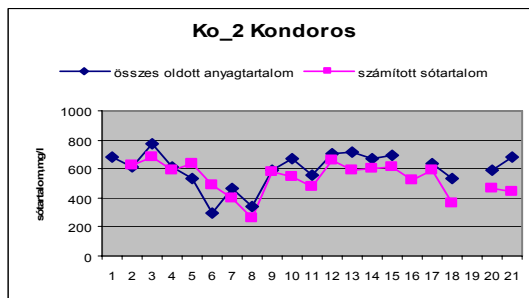
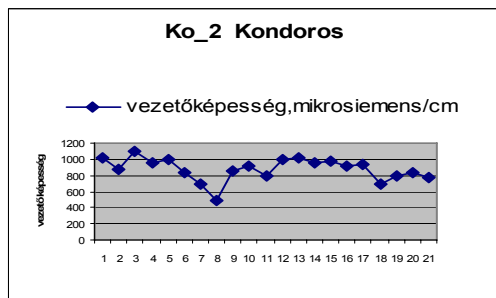
3. ábra. H mintavételek havonta 2005. január - 2006. október, TIKTVF adatok alapján



4. ábra: K_1 mintavételek havonta 2005. január-május; TIKTVF adatok alapján



5. ábra: K_4 mintavételek havonta 2005. június - 2006. október; TIKTVF adatok alapján



6. ábra: Ko_2 mintavétel havonta 2005. január-2006. október; TIKTVF adatok alapján

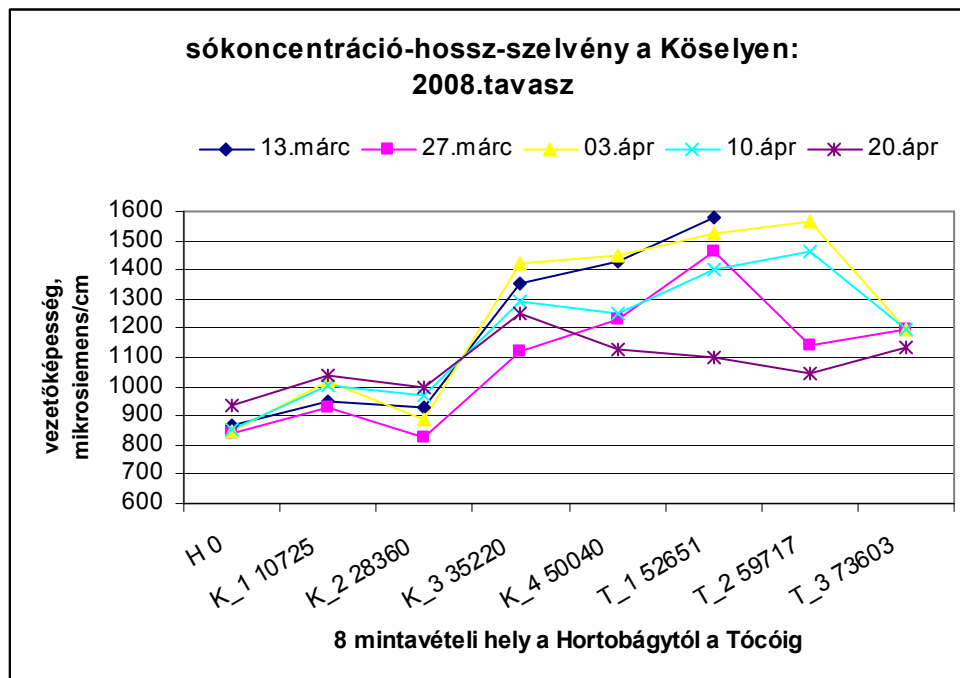
4.3. Saját mérési eredmények műszerrel

Saját műszeres mérési eredmények:

1. táblázat

Kereszt-szelvény száma [m]	A mintavétel helyének száma	Laboratóriumi mérés dátuma (mintavételt követő nap)					Helyszíni mérés 2008-04-20
		2008-03-13	2008-03-27	2008-04-03	2008-04-10		
HORTOBÁGY							
	H	866 (0,2)	843 (0,2)	847 (0,2)	852 (0,2)	938 (0,2)	
KÖSELY							
6+725	K_1	946 (0,2)	926 (0,2)	1018 (0,3)	1004 (0,3)	1035 (0,3)	
24+360	K_2 + „sósvíz”*	932 (0,2)	827 (0,2) + „sósvíz” 332 (0,0)	887 (0,2)	973 (0,3) + „sósvíz” 376 (0,0)	1000 (0,3) + „sósvíz” 401 (0,0)	
31+220	K_3	1352 (0,5)	1118 (0,3)	1419 (0,5)	1295 (0,4)	1248 (0,4)	
46+040	K_4	1430 (0,5)	1230 (0,4)	1451 (0,5)	1251 (0,4)	1128 (0,3)	
TÓCÓ							
2+611	T_1	1579 (0,6)	1463 (0,5)	1528 (0,6)	1404 (0,5)	1098 (0,3)	
9+677	T_2	-	1139 (0,3)	1569 (0,6)	1462 (0,5)	1046 (0,3)	
23+563	T_3	-	1195 (0,4)	1198 (0,4)	1198 (0,4)	1135 (0,3)	
KONDRÓS							
3+249	Ko_1	-	975 (0,2)	1082 (0,3)	950 (0,2)	698 (0,1)	
7+606	Ko_2	913 (0,2)	941 (0,2)	1072 (0,3)	1028 (0,3)	714 (0,1)	
19+925	Ko_3	754 (0,1)	801 (0,1)	771 (0,1)	780 (0,1)	834 (0,2)	

- tévesen a hajdúszoboszlói gyógyfürdő sósvíztározójához tartozó bevezetésének vélt árokból vett minta



7. ábra: a vezetőképesség-mérés adatainak grafikus feldolgozása, sókoncentráció-hossz-szelvény a Köselyen és a Tócsón

5. A MÉRÉSI EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE

5.1. szempontok az eredmények kiértékeléséhez:

5.1.1. háttér-koncentráció

Az ún. háttér-koncentrációt, vagyis a vizsgált vízfolyások terhelésmentes eredeti valószínűsíthető sókoncentrációját befolyásolja a csapadékvíz, a talajvíz, valamint a vízfolyás forrását képező vízkészlet sókoncentrációja.

A csapadékvíz mért sókoncentrációja a mérőműszerrel 0,0 g/l, vezetőképessége 120 $\mu\text{S/cm}$, vagyis nyilvánvaló, hogy ez nem meghatározó összetevő.

A talajvizek sókoncentrációjára vonatkozóan Nemes (2007.) végzett szakirodalom kutatást, melynek eredményeként a következőket lehet összefoglalni:

Vízminőség szempontjából az Alföld talajvizeiben a legkülönbözőbb oldott sók a legváltozatosabb töménységben, gyakran 1000 mg/l érték fölötti koncentrációban vannak jelen. A leggyakoribb só a nátrium-hidrogénkarbonát, de elterjedtek a nátrium-szulfátos és magnézium-szulfátos vizek is. Csak kevés helyen, szigetszerűen jelenik meg a talajvízben a nátriumklorid. A nagy sótartalom az alföldi víztartó rétegek kioldható anyagaiból ered (VITUKI, 1959). A finom üledékekből, amilyen a kőzetliszt, iszap, agyag, több anyag oldható ki, mint a kvarchomokból, vagy kavicsból. Az Alföld peremeitől a középső tájak felé azért emelkedik a talajvíz sótartalma, mert a hordalékok a szállítási távolsággal finomodnak, így ebben az irányban nagyobb arányú a kioldódás.

A Tiszántúl nagy részére a nátrium-hidrogénkarbonátos, kisebb mértékben a nátrium-szulfátos vizek a jellemzőek. KUTI et al. (1999) és RÓNAI (1961) megállapításaira hivatkozva Nemes (2007) közli azt is, hogy a peremektől az Alföld közepe felé áramló víz összes oldott anyag tartalma a mélyebben összefolyó részeken a legnagyobb. Itt van a felszínhez legközelebb, és jellegében nátriumos. Ezért a szikesek ezeken a mélyebb területeken alakulhattak ki.

A vízfolyás forrását képező vízkészlet sókoncentrációjáról nincsenek konkrét adataink.

Vízhozam adatok hiányában nem tudjuk figyelembe venni, hogy növekvő vízhozam hígulást eredményez, így a koncentrációcsökkenés okát nem keressük.

Fentiek miatt csak a vizsgált vízfolyások minősítését célozzuk meg úgy, hogy a minőség és a hígulást jelentő események, valamint a háttér-koncentráció között nem kívánunk összefüggést keresni.

5.1.2. mérési eredmények értelmezése

A helyszíni mérések eredményei rendre magasabb értéket mutatnak a laboratóriumi eredményekhez képest.

A számított- és a mért sótartalom nem egyezik meg, és nem arányosak egymással, valamint egyik sem haladja meg következetesen a másik értéket.

5.2. az öntözővízre vonatkozó minőségi elvárások

Ez jelentős kérdés és egyre inkább azzá válik a jó minőségű talaj- és vízkészletek csökkenésével. Az Alföld öntözővíz igénye várhatóan a jövőben sem fog csökkenni (SOMLYÓDY, 2002)

A sótartalomra valaha meghatározott valamennyi határérték arra irányul, hogy az öntözővíz ne okozhasson káros só-felhalmozódást a talajban. NEMES (2007) szakirodalmi kutatásai szerint az öntözővíz minőségének meghatározására irányuló, évtizedes kísérletek

eredménye az, hogy egy minősítési rendszerre van valójában szükség, mert a víz, az öntözött növény és a talaj egymásra ható számos tulajdonsága együtt határozza meg az egyes esetekben ideális és megengedett minőséget. Csupán a só koncentrációra szorítkozva Magyarországon először VÁRALLYAI & FEJÉR (1936) közölt ezzel kapcsolatban megállapításokat, melyek szerint, ha az öntözővíz sótartalma kisebb, mint 500 mg/l (EC <780 μ S/cm), akkor általában nem növekszik számottevően az öntözött talaj sókészlete. Az öntözővíz kémiai jellemzői és minősége közötti összefüggéseket foglalta rendszerbe FILEP (1999) a korábbi vízminősítési irányelvek és a talaj/öntözővíz kölcsönhatással kapcsolatos szakirodalom felhasználásával. Négy csoportba tudta besorolni a különböző minőségű öntözővizeket részben a sótartalom alapján. A só-felhalmozódás mértéke a sótartalomtól kívül függ a hidrokarbonát és karbonát hatásától, a nátrium-ionoknak a kalcium-magnézium ionokhoz viszonyított mennyiségétől, a magnézium relatív arányától.

5.3. a VKI által rögzített – élővízre vonatkozó minőségi elvárások

Nem számszerűsítettek az elvárások, de a halobitást meghatározó vízjellemzőnek kell tekinteni az élővilág szempontjából mert az nem tudja megváltoztatni, csak alkalmazkodhat hozzá. A VKI szerint a biológiai elemekre hatással levő kémiai és fizikai-kémiai elemek között szerepel : hőmérsékleti viszonyok, oxigén ellátottsági viszonyok, sótartalom, savasodási állapot, tápanyag viszonyok.

5.4. szabvány szerinti vízminősítés

MSZ 12749-ben rögzítettek szerinti minősítés

2. táblázat

MÉRTÉK-EGYSÉG	ATÁRÉRTÉKEK AZ :					A VIZSGÁLAT SZABVÁNY- SZÁMA	MEGJEGYZÉS
	I. KIVÁLÓ	II. JÓ	III. TÚRHETŐ	IV. SZENNYEZETT	V. ERŐSEN SZENNYEZETT		
	VÍZMINŐSÉGI OSZTÁLYOKBAN						
μ S/cm	500	700	1000	2000	> 2000	MSZ 44832	CSAK FOLYÓVÍZRE ÉRVÉNYES

5.5. biológiai vízminősítés

A halobitás a víz ökológiai- és biológiai minősítésére alkalmas négy jellemző egyike. A halobitás a víznek az élővilág szempontjából fontos szerves kémiai tulajdonságainak összessége, amely az összes sótartalommal, a szerves ionok mennyiségével, vagy az elektromos vezetőképességgel megadható mennyiség. A halobitás fokozatait az alábbi táblázatban mutatjuk be:

A halobitás fokozatai Felföldy szerint

3. táblázat

fokozat	megnevezés		Összes oldott só [mg/l]	Vezetőképesség [μ S/cm]
1.	ahalobikus	Ionmentes víz	0	<10 ⁻⁶
2.	béta oligohalobikus	Híg édesvíz	<150	<250

3.	béta-alfa oligohalóbikus	Közepes édesvíz	150-350	250-550
4.	alfa oligohalóbikus	Tömény édesvíz	350-600	550-1000
5.	oligo-mezohalóbikus	Édes-sós szikes víz	600-900	1000-1500
6.	béta mezohalóbikus	Híg sós szikes víz	900-1200	1500-2000
7.	béta-alfa mezohalóbikus	Közepesen sós szikes víz	1200-1700	2000-2700
8.	alfa mezohalóbikus	Tömény sós szikes víz	1700-2500	2700-4000
9.	mezo-polihalóbikus	Átmeneti	2500-4000	4000-6000

5.6. Az eredmények értékelése

A saját mérésből származó adatokat egy sókoncentráció-hossz-szelvényben dolgoztuk fel, ez a grafikon azt szemlélteti, hogy a különböző mintavételi időpontokban a Hortobágy befogadótól a Tóció, felső folyásáig hogyan változik a vezetőképességgel jellemzett sótartalom. A Kondoroson mért adatok a legkedvezőbbek a 2008. tavaszi-és a TIKTVF-től származó hosszabb idősorok szerint is. A hossz-szelvényen azért a Tóción mért adatokat jelenítettük meg, mert a vizsgálat szempontjából ezek voltak a mértékadók, ezek voltak a kedvezőtlenebb eredmények.

A Kondoros eredményei voltak a legkedvezőbbek, a vízfolyás vizsgált szakasza a szabvány szerinti „jó” és „tűrhető” minősítést kapja, a Felföldy-féle biológiai vízminősítés szerint tömény édesvíznek, illetve édes-sós szikes víznek minősül. Ez a vízfolyás is csak egyes időszakokban lehet alkalmas öntözővíz.

A Hortobágy folyó többnyire a „tűrhető” minősítést kapja.

A grafikonról leolvasható, hogy a Kösely K_2 szelvényétől a Tóció T_2 szelvényéig a legnagyobbak a sókoncentráció-értékek, vagyis Hajdúszoboszló alatt növekszik meg az érték a Tóció azon szelvényéig, mely fölött tudhatóan a termálvízzel kevert kommunális szennyvíz bevezetésre kerül. Ez a tendencia nem változik az öthetes időszakban. Ezek az eredmények azt mutatják, hogy a vizsgált vízfolyás-szakaszok nem alkalmasak öntözésre, sem arra, hogy hígítóvizet szolgáltatassanak a termálfürdők sósvíz-bevezetésekor. Ezen a szakaszon a szabvány szerinti minősítés a „tűrhető” és „szennyezett” kategória. K_2 fölött a „jó” minősítés érvényes. A Felföldy-féle biológiai vízminősítés szerint a sóval terheltebb szakaszok az édes-sós szikes víz és a híg sós szikes víz kategóriák vonatkoznak. A minősítések a TIKTVF idősora alapján is érvényesek, vagyis hosszabb időszak alatt sem változik a tendencia, a 2008. tavaszán végzett mérések nem egy kivételes időszak.

A két évvel ezelőtti — 2005. január-2006. október közötti — időszakban a Tiszántúli Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség (TIKTVF) által havonta vett mintákból készített grafikonok szerint is a Kösely Hajdúszovát alatti szakaszán mérték tendenciaszerűen a legmagasabb sókoncentráció-értékeket. A TIKTVF adatai alapján is megállapítjuk, hogy a másfél éves mérési időszakban a Kösely sem Nádudvar alatt, sem Hajdúszovát alatt nem felelt meg egyszer sem az öntözővizekre vonatkozó <500 mg/l , illetve EC <780 μ S/cm feltételeknek.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az eredmények kiértékeléséből kitűnik, hogy a vizsgált vízgyűjtő felszíni vizei sótartalmukat tekintve a számszerűsített elvárásoknak nem felelnek meg. A VKI nem határoz meg számszerű határértékeket, de minden víztípus esetében meghatározó vízjellemzőnek tartja a halobitást, melyet az élővilág nem tud megváltoztatni, csak alkalmazkodásra van lehetősége.

Ugyanakkor lehetőség szerint figyelembe kell vennünk a továbbiakban a háttérkoncentráció-értékeket, vagyis, hogy milyen mértékben tekinthetjük adottságnak a magas sótartalmat, melynek csökkentésére ez esetben nincs lehetőség. Ebből következik a vízfelhasználás körének korlátozottsága és a hígításra vonatkozó elvárások irrealitása. Szintén az elkövetkező feladatok közé tartozik az, hogy az elvileg ismert bevezetéseket lehetőség szerint a természetes hígulási viszonyokhoz időzítsük.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] FILEP (1999.): Az öntözővizek minősége és minősítése. *Agrokémia és Talajtan*, 48. 1-2, 49-65 p.
- [2] GAYER J., LIGETVÁRI F. (2006.): Települési vízgazdálkodás csapadékvíz-elhelyezés. Budapest: Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Kutató Intézet KHT. 179 p.
- [3] HANCZ, G. (2004.) : Adverse environmental impacts of thermal water utilization; *Debreceni Műszaki Közlemények*, III.évf.2. szám
- [4] HANCZ, G. (2005.) : Diffúz szennyezők hatása a felszíni vizek minőségére; *Debreceni Műszaki Közlemények*, III.évf.2. szám
- [5] VITUKI, (1959): Magyarország vízkészlete. IV. Minőségi számbavételek. Budapest: s.n.
- [6] KUTI et al. (1999): Az agrogeológiai térképek adatainak és a szikesedés elterjedésének kapcsolata az Alföldön. *Agrokémia és Talajtan*, 3-4 (48) 501-516. p.
- [7] MAKRAYI.(2006.): A víz sótartalom mérés jelentősége (víz sótartalom, elektródás és indukciósvezetőképesség, indukciós vezetőképességmérés); www.hidrologia.hu/vandorgyules/24/dolgozat_main.html
- [8] Nemes, Zs.J. (2007.): ÖNTÖZŐVIZEK MINISÉGE A HAZAI VÍZKULTÚRÁS ZÖLDÉGTERMESZTÉSBEN;Doktori (PhD) értekezés
- [9] RÓNAI (1961) : Az Alföld talajvíztérképe. Budapest: Földtani Intézet, 102 p.
- [10] VÁRALLYAI & FEJÉR (1936): Adatok az öntözővizek minőségi megítéléséhez. *Kisérll. Közl.*, 39: 1-3. p.