



DEBRECENI EGYETEM
MŰSZAKI KAR
GÉPÉSZMÉRNÖKI TANSZÉK

UNIVERSITY OF DEBRECEN
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF MECHANICAL
ENGINEERING

**KAZÁN FÜSTTÉR ÁTVEZETŐ HŐ
ILLETVE NYOMÁS INDUKÁLTA
ALAKVÁLTOZÁS ELEMZÉSE**
SZAKDOLGOZAT

Tóth Patrik

Üzemeltető-karbantartó specializáció

Debrecen

2023

Tartalomjegyzék

Jelölések jegyzéke	VII
1 Bevezetés.....	1
1.1 A vizsgált berendezés ismertetése:	1
1.2 Alapprobléma felvázolása:	2
2 Szakirodalomfeldolgozás	5
2.1 Alapfogalmak.....	5
2.1.1 Hőtágulás.....	5
2.1.2 Alakváltozás	5
2.2 Fémek jellemzőik és tulajdonságaik	5
2.2.1 Fémek szerkezete	6
2.2.2 Fémek viselkedése hőhatásokra	6
2.2.3 Fémek szakító szilárdságának jellemzése	7
2.3 Betonok jellemzőik és tulajdonságaik	9
2.4 Törésmechanika	10
2.5 Statika	11
2.6 Szilárdságtan.....	12
2.7 Végelem módszer	13
3 Módszertan.....	17
3.1 Az Autodesk Inventor software rövid ismeretése.....	17
3.2 Az Ansys Workbench 2021 R1 Software rövid ismertetése.....	19
4 Végelem vizsgálat.....	25
4.1 Vizsgálat „bonded” kapcsolattal.....	25
4.2 Vizsgálat „Beam” kapcsolattal	31
4.3 Kazán vizsgálata	34
5 Eredmények, megállapítások	38
Irodalomjegyzék.....	1

Mellékletek.....	3
------------------	---

Jelölések jegyzéke

F	$[N]$	Erő
c	$\left[\frac{J}{K}\right]$	hőkapacitás
c_p	$\left[\frac{J}{K}\right]$	állandó nyomáson mért hőkapacitás
c_v	$\left[\frac{J}{K}\right]$	állandó térfogaton mért hőkapacitás
q	$[W/m^2]$	hőáram
d	$[mm]$	falvastagság
T	$[C^\circ]$	hőmérséklet
λ	$[W/mK]$	hővezetési tényező
σ	$[MPa]$	mechanikai feszültség
P	$[W]$	teljesítmény.

1 Bevezetés

A munkahelyemen 2022-ben technológia váltás történt, ahol egy olajkazánról az üzem átállt két darab melegvizes egy lángcsöves háromhuzamú kazánra. Ez viszont az acél, illetve a betonszerkezetben, nem várt alakváltozást, eredményezett. A munkám során, igyekeztem meghatározni, hogy a lehetséges terhelésekből, mi okozza ezt a fajta alakváltozást, hogy a későbbiekben megoldást lehessen rá találni. Így ennek fényében, ismertetném elsőnek a berendezést és az alap problémát.

1.1 A vizsgált berendezés ismertetése:

Az alábbiakban taglalt berendezés egy veszélyeshulladék égető, egyik üzemi része, mely a folyamat szempontjából az üzem első főbb egysége és három nagyobb részből tevődik össze.

Ebből az első fő rész az utóégető kamra, mely azt a célt hivatott szolgálni, hogy a különféle szélsőséges anyagok (savas, lúgos) füstgázai ebben a térben kerülnek teljes kiégetésre, üzemi hőfokon (1150 ± 50 C°). Erre a magas hőfokra azért van szükség, hogy a nehéz és veszélyes anyagok teljesen kiégjenek, mielőtt a berendezés hátsó mosó részébe érnek, ahol további tisztításon mennek keresztül, mielőtt gőz formájában távoznak.

A berendezés vákuum alatt van tartva egy füstgáz elszívó ventilátor segítségével (az elszívó ventilátor motorjának teljesítménye 130 KW), hogy a szennyezett füstgáz ne juthasson a szabad térbe.

A következő fő rész egy elosztó kamra, melyben a két kazán közti váltást lehet elvégezni, ugyan is a kazánok időközönként tisztítást igényelnek, ilyenkor csak az egyik üzemel, a másikat le kell zárni, ennek a megoldását a dobozban elhelyezett hidraulikus meghajtással működő zsaluk biztosítják.

Tüzeléstechnikai szempontból, itt van a fő retesz feltétel a kazánok váltásánál, ugyan is végállaskapcsolók adják a visszajelzést, a felső zsaluk állásáról, amennyiben mind a két zsalu zárva van az áramlás megszűnik, ezáltal a TÜKI biztonsági rendszer letiltja a további égést.

A következő rész egy könyök és egy passzdarab. A hő ugyanis az utóégető tetején áramlik ki a kazánok teteje, viszont ennél alacsonyabb szinten van. Így lefelé

forduló könyök került beépítésre, ez alatt pedig két-két passzdarab az úgynevezett füsttér átvezető biztosítja az áramlás zártságát a kazánba.

A klasszikus kazánokkal ellentétben itt nincs a lángcsőben égés, csak a magas hőfokú füstgáz, áramlik bele, ezért másak a hőtágulás feltételei. Ugyan is a kazánoktól visszafelé, nincs semmilyen hűtésre szolgáló berendezés. Így az acélszerkezetek hőálló betonnal van kiöntve, ezzel védve az acél szénttartalmát a kiégés ellen.

Erre a technológiára azért van szükség, hogy a tüztér és a kazán külön legyen, mivel az égetett anyagok nem tiszták, magas halogéntartalmúak, illetve különféle melléktermékek, melyek vegyiüzemek gyártásából származó melléktermékek. Mindazonáltal nem csak éghető anyag kerül az utóégetőbe, hanem szennyezett víz is beporlasztásra kerül, amiből a magas hőfokú égés során, további szennyező anyagok égnek ki.

Amennyiben így tehát az égés a hagyományos kazánokéhoz hasonlóan történne, tehát a lángcsőbe lenne a tényleges égés, úgy nem jöhetne létre a pirolízises (hőbontásos) folyamat, mivel a kazánok nem bírnák el az 1150 °C hőmérsékletet. Ugyan is, nem gáz vagy tüzelőolajjal történik az fűtés, hanem igen szélsőséges anyagok, főleg anyalúgokkal megy végbe, ezért a maró hatás idővel tönkre tenné a kazán acélszerkezetét.

1.2 Alapprobléma felvázolása:

A fentebb említett elemek, eredetileg tartó gerendákra voltak ültetve, hogy könnyítésképpen ne kelljen a saját súlyukat tartaniuk. Az üzemelés során viszont olyan alakváltozás jött létre, aminek hatására a füstelvezető rendszer megemelkedett (1. ábra). Így jelenleg nem fekszenek a tartó elemeken, ezért önmaguk súlyát tartják fent.



1. tartógerenda és az I-gerenda közötti hézag, amire a berendezés támaszkodna

A korábbi olajkazan tetején, egy kompenzátor lett beépítve, ami kellően kiküszöbölte, a hőingadozási változásokat, ezért az utóégető és a kazán, beton elemeiben nem keletkeztek olyan repedési változások, ami a másik berendezésben végbemenő hőváltozásokból lehetnek volna eredeztethetőek.

A másik jelentős változás a két berendezés között, hogy a korábbi olajkazan esetében nem kellett számolni, a nyomás indukálta tágulással, mivel a gőzfejlesztés egy külön nyomástartó edényben történt meg, nem a kazánban. Ezt a fajta gőzfejlesztést a hőközlő olaj biztosította, aminek szintén volt egy tágulási tartálya, tehát nem kellett azzal az alakváltozással számolni, ami a nyomásból eredt.

Jelen esetben viszont, a vizsgálat előtt mind nyomással mind a hőtágulással számolnunk kell tekintve, hogy az összekapcsolt részek kihatnak egymásra, nincsenek beépítve olyan elemek, amelyek kellő rugalmassággal elvezetik azokat a különféle energiákat, amelyekkel az alakváltozás létrejöhet, így vizsgálni kell, hogy mind a beton mind az acél elemek, mennyire roncsolódhatnak, ezeknek az igénybevételeknek a hatására.

A fentiek ismeretében tehát elmondhatjuk, hogy a probléma két okból származhat, az egyik a hő, a másik pedig a nyomás indukálta alakváltozás.

A berendezésnél ez a jelenség, két egymástól különálló helyen játszódik le tekintve, hogy a magas hőfok csak addig áll fent, még el nem éri a vizes kazánt, ahol gőz képződik, ezáltal nyomás keletkezik, így gőzt kapunk, ami a gyár területén különféle üzemek használnak fel a szükséges technológiájukhoz.

Ennek ismeretében megállapíthatjuk, hogy ahol a hőváltozási tényezővel nem kell számolnunk, akkor jelenik meg a nyomási tényező, ami a téli időszakban 6,5 Bar (0,65 MPa), még nyári időszakban a kevesebb gőzfogyasztás miatt ez átlagosan 8 Bar (0,8 MPa), így az utóbbit vettem alapul az elemzése során.

A hőtágulási tényező, viszont csak a kazán belépő nyílásától visszafele lép fel, ameddig a beton elemek tartanak, ugyan is ezeknek az elemeknek hivatott felfogni az üzemi magas hőfokot, amely végig áramlik a füstgáz csatornában.

Továbbá tekintve, hogy a berendezés füstszakaszai, szimmetria tengelye nem mindenhol azonos, nem csak húzó-nyomó de hajlító, vagy nyíró erő is felléphet.

Ezen szakdolgozat célja tehát megállapítani, hogy a berendezés részében, a fentebb említett két hatás közül, melyikre történik olyanfajta alakváltozás, amelyek a berendezés maradandó károsodásához vezet, mind az acél, mind a beton szerkezetben, amely nem beütemezett leálláshoz vezethet.

A következő fejezetben igyekeztem minél több szakirodalmat gyűjteni. Ezekre az ismeretekre alapozva, aztán felállítani a modelleket, ami által, elemezni tudtam az alakváltozás okát. Illetve olyan javaslatokat tenni, amivel ez a probléma, kiküszöbölhető lenne.

2 Szakirodalomfeldolgozás

Ahhoz, hogy a meghatározott problémát elemezni tudjam elsőnek a berendezés alkotó elemeit vizsgáltam meg, a két rá ható kritérium alatt milyen változást szenvedhetnek. Ezen kívül igyekeztem meghatározni azt a módszert, amivel a problémát szimulálni tudom, ezáltal lemodellezve a berendezést megkaphatom a probléma gyökér okát.

2.1 Alapfogalmak

2.1.1 Hőtágulás

Az a fizikai jelenség melynek során egy anyagnak megváltozik a térbeli mérete, hő hatására, hőtágulásnak nevezzük. Hőmérséklet emelkedésénél az anyagok nagy része tágulni fog, csak speciális eseteknél húzódik össze ez az úgynevezett negatív hőtágulás, ugyan is itt már halmazállapot változás is történik, vagy az anyag bomlásnak indul. Hőtágulási együtthatóval fejezhetjük ki a relatív mértéket, a hőtágulás folyamata megközelítőleg lineárisan függ a hőmérséklettől.

Három kategóriába sorolhatjuk az anyagtudományban a hőtágulás fajtáit melyek lehetnek, vonalas más néven lineáris, térfogati és felületi hőtágulások. [1]

2.1.2 Alakváltozás

Alakváltozást szenvedhetnek a szilárd testek, hogy ha azokat külső mechanikai terhelés éri, történjen az erő, nyomás vagy pedig nyomaték által. Az alakváltozás annak a különbsége, amikor a testet mérjük terhelt, illetve terheletlen állapotban. Az alakváltozás nem, csak egy irányba történhet, a test bármilyen irányba képes alakváltozást szenvedni, amennyiben az az oldal nincs behatárolva. Ezen kívül ez a fajta hatás, a testre ható erők vagy külső hatások függvényétől lehet lineáris, vagy nem lineáris. [2]

2.2 Fémek jellemzőik és tulajdonságaik

Az a test, amelynél a test által elfoglalt testet, folytonosan tölti be a test anyaga, kontinuumnak nevezzük. Ha meghatározott egy csoport akkor úgy mozog, az alakváltozási tartományon belül, hogy a belső erőrendszere és alakváltozás során történő állapota, között meglévő kapcsolata egyértelmű. A rugalmas test, ez a kontinuum.[3]

2.2.1 Fémek szerkezete

A pozitív töltésű fématomok, az úgynevezett fémionok úgy jönnek létre, hogy a fématomok leadják a lazán kötött elektronjaikat, amikor kialakul a fémes kötés. [4]

Amikor a negatív töltésű elektronfelhő képződik, akkor a fémionokat körül veszik, a korábban szabaddá vált elektronok. A meghatározott szabály szerint kristályszerkezet úgy jön létre, hogy az ellentétes kötőerőkkel rendelkező fémionok (pozitív) és elektronok (negatív) vonzzák egymást. Ebből a kristályszerkezetből fog adódni, az anyag szilárdsága.

Elemi celláknak nevezzük azt az elrendeződést, amikor az atomok (fémionok), a kötési folyamat alatt, kialakítanak egy meghatározott elrendezést.

Ezek az elemi cellák, egymáshoz kapcsolódnak majd és ezáltal ki fognak alakítani egy úgynevezett, geometriai rácsszerkezetet. Ezt a fajta elrendeződést szokták nevezni, kristályrácsnak, vagy pedig térrácsnak.

Ezekből kifolyólag a fém anyagszerkezete úgy alakul ki, hogy a kristályok térrácsokká állnak össze.

A nyersvasból alkatrészek előállítása nem lehetséges tekintve, hogy túl nagy benne a különféle anyagtartalom (például, kén vagy foszfor). Ezért műszakilag jól felhasználható vas-szén vegyületet kell képezni, átolvasztás segítségével.

Szerkezeti acélnál a vas-szén vegyületben a szén tartalma 2,06% alatt van, mivel a C és az Fe oldódik akkor is, ha szilárd állapotban van, ezért, ha lágyítjuk őket vagy izzítjuk a szövetszerkezetük képes megváltozni.[4]

2.2.2 Fémek viselkedése hőhatásokra

Hő okozta tágulás alatt fémek vagy ötvözetek esetében azt értjük, amikor hő okozta tágulás következtében a fajtérfogata megnő. Ez növekedésben mutatkozik meg amennyiben az anyag halmazállapota szilárd. [5]

A fémek atom és molekula súlya megegyezik ezért felírhatjuk a következő két egyenlőséget a fémekre vonatkoztatva.

$$C_p = A c_p \text{ valamint } C_v = A c_v$$

Ebben az egyenlőségben a c_p és a c_v azok a fajhőértékek, melyeket egy grammú tömegre vonatkoztatunk. Tehát a vizsgált anyag 1 gramm tömegének a hőmérsékletét 1 °C-kal csökkenti, vagy növeli meg. Az egyenlőségben pedig az A magának a fémnek az atomsúlya, ami cal/g fok ami a c_p és a c_v dimenziója.

A fémek hőre történő tágulás, vagy összehúzódása általában, legyen az melegeedés vagy hűlés, olyan körülmények között megy végbe, melynek során ez a fajta változás akadálytalanul megtörténhet. Ezeknél az eseteknél számíthatunk C_p és c_p értékekkel, a különbség térfogat változás munkája abból adódik, hogy a C_v és a c_v 3-6%-al kisebb mint a C_p és a c_p . [5]

A szövetszerkezet és a kémiai összetétel határozza meg, egy anyag tulajdonságát. A megfelelően kiválasztott anyagnál azonban megváltoztat, a mikro szerkezet, sőt akár maga az anyag kémiai összetétele is, hogy el tudja viselni az adott terhelést, legyen az statikus, vagy dinamikus hatású.

Ebből kifolyólag, ha egy acél üzemelése, magas hőfokon történik, akkor annak a szövetszerkezetében, kémiai folyamatok játszódnak le és létrejöhet, cementálódás, dekarbonizáció, sőt akár oxidáció is. Ezen hatások pedig azt okozzák, hogy az anyagban létrejövő kémiai változások megváltoztatják, az anyag mechanikai tulajdonságait is. [6]

2.2.3 Fémek szakító szilárdságának jellemzése

$F_{0,02}$, $F_{0,002}$ - az egyezményes rugalmassági határ erőszükséglete 0,02%,

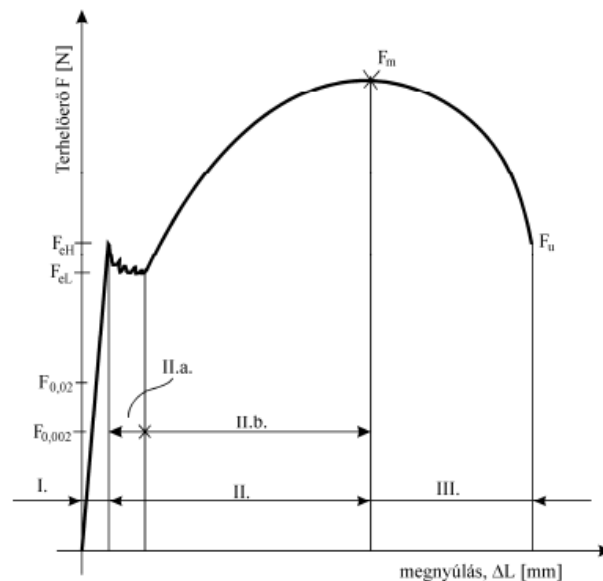
illetve 0,002% maradó megnyúlást okozó erő [N];

F_{eH} - a felső folyáshatár erőszükséglete (ez az erő indítja meg a folyást) [N];

F_{eL} - az alsó folyáshatár erőszükséglete (ez az erő tartja fenn a folyást) [N]; 109

F_m - a vizsgálat folyamán fellépő maximális erő [N];

F_u - a szakadás pillanatában mérhető erő [N].



2. ábra Kis széntartalmú acél szakítódigramja [7]

Az I. szakaszon figyelhetjük meg a rugalmas alakváltozást. Itt az acél még csak makró méterekben szenved el a rugalmas alakváltozást. A diagramról leolvasható, hogy ha eddig a határig megszüntetjük a terhelést, akkor a megnyúlás visszatér az origóba. Csak akkor szenvednek ezek az anyagok ilyesfajta alakváltozást, hogy ha a valódi vagy fizikai rugalmassági határig terjed el. Ez a határ viszont csak nagy pontossággal mérőműszerrel határozható meg.

A II. szakasz két részre osztható, egy a és egy b szakaszra.

Az a szakasznál figyelhető meg a határozott folyás. Ennél a pontnál megindul a maradó alakváltozás az anyag teljes hosszában, itt már az atomsíkok egymáson történő elcsúszása figyelhető meg. Az is előfordulhat továbbá, hogy az erő csökken a folyás kezdeténél és szinte akár állandósulhat is. Ez úgy történhet meg, hogy a diszlokációs mozgást akadályozzák az ötvöző vagy szennyező anyagok kis atomátmérőjű elemei. Emiatt kell nagyobb erő kifejtése, hogy „bekövélt” diszlokációk mozgása végbe tudjon menni.

A b szakasznál figyelhető meg az egyenletes nyúlás. Itt szinte már egyenletes mértékű alakváltozás jön létre, mivel az anyagra annak folyáshatáránál nagyobb erőszükségletű erő hat.

A III. szakasz az úgynevezett kontrakciós szakasz. Az elcsúszás már csak meghatározott csúszó síkon következik be, miután megtörtént az F_m erő elérése, így már csak helyi alakváltozás játszódik le. A repedések igyekeznek „kinyílni” a külső

terhelések hatására, valamint úgynevezett mikró üregeket, tehát összefüggő törésfelületeket alkotnak folyamatosan. [7]

2.3 Betonok jellemzőik és tulajdonságaik

A megszilárdult beton olyan összetett anyag, amely két fő komponensből tevődik össze, az egyik a cementkő még a másik az adalékanyag. Ezekben az anyagokban változások következhetnek be, hogy ha a hőmérséklet megemelkedik. Ennek a hőváltozásnak a következtében pedig romlanak a beton szilárdsági jellemzői. A folyamat pedig az acélokkal ellentétben nem visszafordítható ugyan is a beton rugalmassága nagyon minimális, ezért lehűlés során sem fog eredeti anyag tulajdonságaiból visszanyerni tekintve, hogy a beton szerkezete megbomlik, ami a beton tönkremeneteléhez vezet.

Ennek a tönkremenetelnek két megnyilvánulása van. Az egyik, hogy a betonfelület rétegesen leválk, vagy lepereg még a másik, hogy az alkotóelemekben kémiai átalakulás játszódik le. Az utóbbi főleg azt jelenti, hogy a betonból kiáramló vízgőz szétfeszíti a felületi rétegeket. [8]

A betonban végbemenő változások a hőmérséklet növekedés hatására:

50 C° - 110 C° - Az ettringit ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) bomlása.

100 C° - Ennél a hőmérsékletnél kezd a makró-pólusokból távozni a víz, amivel a beton anyagszerkezete megváltozik és tömege csökkeni fog.

200 C° - további tömeg csökkenés, kismértékű növekedése a dehidratációs folyamatok hatására ez a folyamat megközelítőleg 250C°-ig játszódik le függően a kezdeti nedveségtartalomtól.

450 C° - 550 C° - Itt kezdődik el a beton a szilárdsági tulajdonságaiból és jellemzőiből veszíteni, ez az úgynevezett kalcium-hidroxid dehidratáció ($\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \uparrow$). Mivel ez a folyamat endoterm, ezért a újabb tömegvesztés jön létre.

573C° - Az általános betonoknál az α módosulatból β módosulatba való kristályváltozás okozza a következő kisebb erősségű hőelnyelő csúcsot. Kvarc ásványanyagok esetében, ez a folyamat 5,7%-os térfogat-növekedést hozhat, ezért itt már a beton lényegese károsodni fog.

700 C° - A kalcium-szilikát-hidrát vegyületek elkezdenek felbomlani, mivel leadják magukból a vizet. Ez növeli a térfogatot és így ezzel együtt csökken a szilárdság ig.

1200 C° - Anyagszerkezeti változás, felbomlik a kerámia kötés

1300 C° - Olvadásnak indul a beton

1400 C° - Megolvad a beton [9]

Továbbá a beton szerkezeti jellemzőinek változása magas hőmérsékleten több tényezőből tevődik össze. Elsősorban függ a cement, illetve az adalékanyagok típusától a víz/cement arány az adalék/cement aránytól továbbá attól is, hogy a nyers anyag kezdeti betonnak mennyi a nedvesség tartalma.

Ezen kívül a betonra ható hőváltozásának mértéke sem mindegy, intenzívebb hőmérsékletváltozás esetén, a határok jelentősen lefelé tolnak el, a beton szilárdsága és tulajdonsága jóval hamarabb megváltozik, kötés idő hiányában, hamarabb elrepedezik és szétmállik.

Ezért, hogy ezeket a tulajdonságokat növeljék, a tűzálló betonhoz samottot, illetve alumínát cementet szoktak használni, mint adalék anyag.

Ezekon kívül még az sem mindegy, hogy a felhevítés teher alatt vagy teher nélkül megy végbe.[9]

A fentiek ismeretében, esetünkben a betonra, mint hőszigetelő anyagra tekintünk, amely védi az acélszerkezetet, a magas intenzitású hőhatás ellen is. Mivel a beton a természetben nem fellelhető nyersanyag, ezért a mesterséges hőszigetelő anyagok csoportjába tartozik. Ezen belül használunk hőálló gyapotot, mely az acélfelület és a betonréteg közzé kerül, további védelmet biztosítva a fémes anyagnak. A hőszigetelő anyagokkal szemben, számos követelményeket támasztanak alá, de a vizsgálat során nekünk csak az alábbi három tényező számít.

Térfogat és mérettartás – ezáltal biztosítva legyen a füstgáz áramlás megfelelő keresztmetszete

Fizikai és kémiai stabilitás – ez azért fontos, mivel nem földgáz égetése történik, hanem különféle nehéz, savas, lúgos anyagok égne el

Tűz és hőállóság – a betonszerkezet közvetlen kapcsolatba van a lánggal, illetve az üzemelés rendkívül magas hőfokon történik.[10]

2.4 Törésmechanika

Törés alatt azt értjük, amikor szilárdtest makroszkópos értelemben szétválk és ez vezet a teherbíró képesség csökkenéséhez, majd végeredményben annak megszűnéséhez. Maga a fizikai törés oka pedig nem más mint, hogy a molekuláris,

valamint az atomos kötések, külső hatásra legyen az terhelés és/vagy belső mechanikai feszültség, valamint a közeg, amely ezeket körül veszi ezek hatására felbomlanak és így szabad felületek jönnek létre

A törésmechanika két alappilére az energia és a feszültséghipotézis, mely eredetileg egymástól függetlenül megállapított kritérium. Egységes formában Griffith írta le 1920 elméletében, amely az üvegben történő repedés terjedésének energetikai szempontjából indult ki (a legkisebb potenciális energia elve), és leírta az azon testek törési viselkedését, amelyek repedésből indultak ki. Ezen elmélet viszont csak rendkívül rideg anyagokra érvényes és kimondja, hogy akkor fog a egy repedés terjedni, hogy ha a felszabaduló alakváltozási energia a repedés terjedésének során nagyobb annál mint, az a felületi energia ami a repedési felületek létrejöttéhez szükséges.

Képlettel ez leírva $G \geq G_c$, melyben a G_c fogja jelölni azt a kritikus repedésfeszítő erőt, mely a szerkezet anyagára vonatkozik, G pedig maga lesz repedésfeszítő erő meghatározása az anyagban vagy szerkezetben.

A töréseknél megkülönböztethetünk statikus és változó terhelés hatására bekövetkező töréseket, amelyek függenek a mechanikai terhelés módjától. Ezeket, ha figyelembe vesszük a rá ható erőket és nyomatékokat tovább bonthatjuk, akár például csavaró-fáradási törésre, vagy csavaró statikus törésre is. [10]

A repedés tovább terjedése alatt, hogy ha azt feltételezzük nem megy végbe disszipációs folyamat, abban az esetben felírhatunk egy energiamérleget, mellyel definiálhatunk direkt módon egy mérhető mennyiséget, ezen mennyiség segítségével olyan módot hozhatunk létre, amellyel meghatározhatunk fajlagos energia kísérletet is.

Rugalmas energiára tesz szert a szerkezet, hogy ha repedést megterheljük. Viszont annak az anyagnak nagyobb a rugalmas energiája, amelyikben nem keletkezett repedés, mivel az anyag kienged a repedés környezetében. A repedéshossz megegyezik nagyjából a relaxát anyagrész kiterjedésének hosszúságával és szélességével, így elmondhatjuk, hogy nagyjából a repedéshosszúság négyzetre emelésével nő. Ezeknek következtében egyidejűleg változhat, a munka is, mely a külső terhelés során lép fel. [11]

2.5 Statika

Azokat a szerkezeti elemeket nevezzük kényszereknek, melyek a testek egymáshoz vagy pedig a földhöz kapcsolódására szolgálnak. Ezek a kényszerek rendszerint az egy vagy több irányba történő mozgást megakadályozhatják, de általában más eltolódási vagy forgási lehetőséget szabadon hagynak.

Térben hat, síkban három mozgási lehetőségekkel, úgynevezett szabadság fokokkal, rendelkeznek azok a különálló merev testek, melyek egymással nincsenek kapcsolatban. Ezek a mozgási lehetőségek pedig a következők:

- X tengely szerinti elmozdulás
- Y tengely szerinti elmozdulás
- Z tengely szerinti elmozdulás
- Z tengely szerinti elfordulás
- Y tengely szerinti elfordulás
- X tengely szerinti elfordulás

Viszont mikor egy szerkezetet hozunk létre, akkor a merev testeket kapcsolatba hozhatjuk egymással belső kényszerek hatására, vagy külső kényszerek alkalmazásával a környezetük révén, így mivel behatároljuk a szabad mozgásukat, a szabadságfokuk csökkenni fog, de az esetek nagy százalékában ezeket meg is szüntetjük.

Ha a belső és a külső szabadság fokok száma megegyezik ($n_b + n_k$) a merev testekből létrehozott szerkezetnél és a szerkezetet alkotó összes szabadságfokának számával (s) úgy, hogy tetszőleges az erő hatása, ami nyugalomban van a merev testeket alkotó szerkezetnél, akkor nevezhetjük a szerkezetet statikailag határozottnak. [12]

2.6 Szilárdságtan

Ahhoz, hogy szilárdságtanról beszélni tudjunk, elsősorban szükséges megismerni a tenzor fogalmát, mely már a matematikából ismert mátrixon alapszik. A tenzor így lényegében nem más mint a vektor és a skalár fogalom általánosított neve.

Minden olyan feladat, amelynek során szilárdságtani megoldást kell alkalmaznunk, az alkatrész vagy jelen esetben szerkezetnél, a következő kell meghatározni:

$t=t(x,y,z)$ – elmozdulási vektormezőjét

$A=A(x,y,z)$ - alakváltozási tenzormezőjét

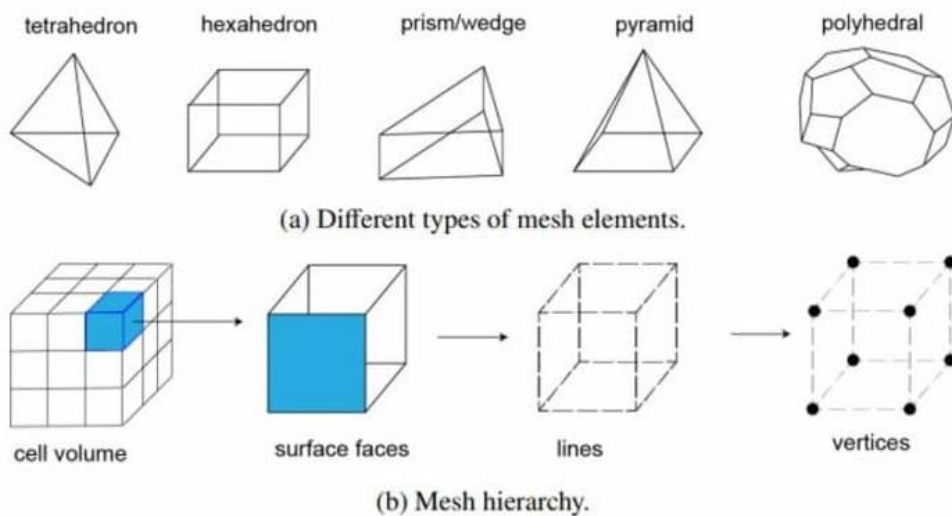
$F=F(x,y,z)$ - feszültségi tenzormezőjét

Ezeknek a származtatott függvényeknek a használatával, kell felírunk egy olyan rugalmassági módszert, amik kielégítik az egyensúlyi egyenleteket és az ismeretlen mezőket elő tudják állítani, az alapegyenlet-rendszerével. [13]

2.7 Végeselem módszer

A kifejezés az angol Finite Element Method szóból ered, mely magyarra fordítva „végeselem módszert” (rövidítve VEM) jelent. Ennek az eljárásnak az alapja, hogy a meglévő különféle testeket elemi egységekre tagoljuk. Ezeken az elemi egységeken végezzük el a számításokat és összegezve, azokon kapjuk meg kivetítve a teljes testre az információt.

Az elemi egységek alakja főleg szabályos testek, leggyakrabban háromszög alapú tetraéderek, vagy pedig négyzet alapú hexaéderek. A numerikus pontosság függ attól, hogy az eredeti vizsgálni kívánt testet, mekkora elemi egységekre bontjuk fel. Ennek függvényében minél kisebb elemi egységeket alkotunk, annál pontosabbak lesznek a számítások, viszont ezzel együtt lényegesen nő a számítási idő is.



3. ábra különféle típusú hálóelemek és a hálózás szintjei [14]

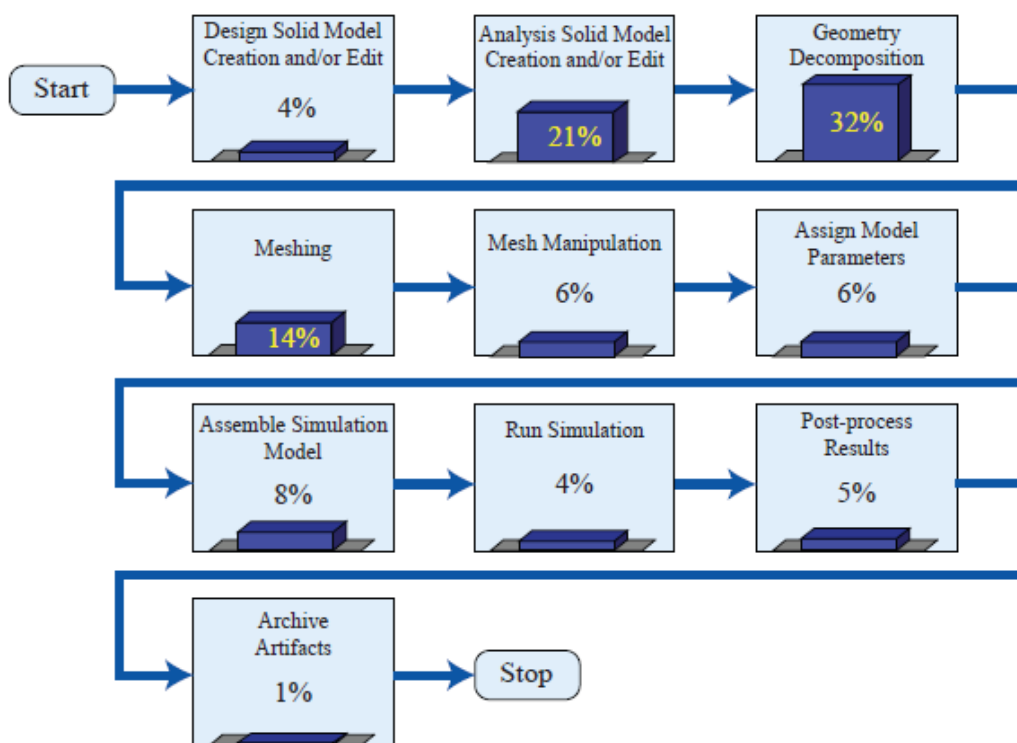
Egy bonyolult alakzatnál, ez a futási idő, már lényegesen hosszabb és nagy teljesítményű számítógépre van szükség, hogy kivitelezhető legyen. [14]

A különféle szoftverek lényege, hogy a kiértékelni kívánt modellt vagy modelleket „véges elemekre” bontsa és ezekre az elemekre, vagy az elemeket összekapcsoló csomópontokra ható terhelésekre egy egyenletrendszert hozzon létre megoldással.

A kiválasztott vizsgált test vagy testek digitális reprezentációjának egy a számítógép által létrehozott geometriai alak, amelyet végeelem analízisnek vetünk alá. Ezt az alakot vagy modellt felépítő elemek állhatnak, szilárd testekből, felületekből, ívekből, görbékéből vagy akár pontokból is. Ezeknek a leírása teljesen határolt lezárt felületekkel, illetve különféle anyagok fizikális tulajdonságaival kitöltött modellként történik.

Így tehát elmondhatjuk, hogy a végeelem analízis az a matematikai modell mely leírja a fizikai test szerkezetét, így összegzi azok valóságos tulajdonságait legyen szó az anyagmodellről, peremfeltételekről és továbbá ezek tulajdonságairól. [15]

A megfelelő geometria megadásával (például szimmetria síkok mentén történő „felezéssel”, vagy a végeelem háló felbontásának állításával) ez a futási idő, jelentősen csökkenthető.



4. ábra A végeelemes szimuláció lépéseinek futása időarányos eloszlása [14]

A Finite Difference Method (FDM) magyarul véges differenciálás, olyan differenciálegyenletekkel leírható, de általános megoldómódszerekkel nem rendelkező folyamatokra ad megoldást, ahol diszkrecionálisra (szabadrendelkezésűre) alkalmazható, ez az eljárás. Ezek közelíthetőek iteratív (ismétlődő) de véges differenciák tetszés szerint, kiválasztható pontosságával is.

Viszont ezek a megoldások számítási igénye nő a 3 dimenzióban történő jellege miatt, melyekkel arányosan nő a szabadságfokok száma. [14]

Ez a fajta módszer egyszerűen megfogalmazható, amennyiben helyes a matematikai apparátus, akkor áttekinthető lesz a számítási metodika.

A különféle programok lényege, hogy a kiértékelni kívánt modellt vagy modelleket „véges elemekre” bontsa és ezekre az elemekre, vagy az elemeket összekapcsoló csomópontokra ható terhelésekre egy egyenletrendszerrel hozzon létre megoldással.

A szimuláció folyamatát négy főbb részre tagolhatjuk, melyek az alábbiakból állnak

- I. Döntési rész – Itt kell eldöntenünk a vizsgált problémát és eldönteni a megoldáshoz használni kívánt eljárási folyamatot
- II. Előkészítés – 3D modellezés, adatok gyűjtése, előkészíteni a végelem modellezést
- III. Megoldás – A végelem szimuláció, ez az a rész, amit a kiválasztott program végez el
- IV. Kiértékelés – Az eredmény elemzése, a kapott diagramokon vagy 3D-s modelleken

A kiválasztott vizsgált test digitális reprezentációjának egy a számítógép által létrehozott geometriai alak, amelyet végelem analízisnek vetünk alá. Ezt az alakot vagy modellt felépítő elemek állhatnak, szilárd testekből, felületekből, ívekből, görbékéből vagy akár pontokból is. Ezeknek a leírása teljesen határolt lezárt felületekkel, illetve különféle anyagok fizikális tulajdonságaival kitöltött modellként történik.

Így tehát elmondhatjuk, hogy a végelem analízis az a matematikai modell mely leírja a fizikai test szerkezetét, így összegzi azok valóságos tulajdonságait legyen szó az anyagmodellről, peremfeltételekről és továbbá ezek tulajdonságairól.

Kontaktoknak nevezzük azokat a kapcsolatokat, melyek az alkatrészek között jönnek létre, ezek a kontaktok biztosítják a kényszerek, valamint a terhelések átadását. A geometriai elemek egymáshoz való viszonyát, valamint reagálását ezek a kapcsolatok fogják meghatározni. Mivel nincs szükség a teljességgel részlegesen kidolgozott testek közötti modellezéshez (például csavar kötések berajzolásához), ezért fontos, hogy olyan kapcsolatot írjunk elő, ami a leginkább tükrözi a valóságos viszonyt a szerkezetben. Ez akkor lesz legfőbbképpen érvényben, hogy ha olyan modellt szimulálunk, ahol az alkatrészekre ható kényszerek vagy erők deformációt okoznak.

Ennek a kontakt problémának az egyik típusa a merev – rugalmas, valamint a rugalmas – rugalmas kapcsolat. Az előbbi problémánál egy merev és egy rugalmas test kapcsolata történik meg még az utóbbiban két rugalmas testé, vagy bár mind a kettő rugalmas test, ennek ellenére a ruganyosságuk eltér egymástól. [14] A vizsgált berendezésnél ilyen például az acél-beton kapcsolat.

3 Módszertan

A munkám során két softwarével dolgozta, amelyekről az alábbiakban írtam egy rövid ismertetőt, azok alkalmazása előtt.

3.1 Az Autodesk Inventor software rövid ismeretése

Az Autodesk Inventor egy olyan tervező program, amely tökéletes alkalmas 3D modellezéshez, gépészeti tervezéshez, terméktámogatáshoz, vagy akár információkezeléshez és csoportmunkához is. A softwarével az alábbi dolgokra képes:

- Megalkotható vele, két- és vagy háromdimenziós vázlat, illetve gyártási rajzok
- Létrehozható, több módon alkalmazható sajátosságok,
- Azonnali képek készítése több pontról, az összeállítás során
- Elkészíthető vele, akár több száz alkatrészből álló összeállítási modell is
- Külső alkalmazásokat használhat az Application Programming Interface (API) segítségével
- Használhatja a VBA funkciót az Autodesk Inventor API eléréséhez. Létrehozhat programokat az ismétlődő feladatok automatizálásához. A Súgó menüből válassza a Súgó programozóknak menüpontot.
- Importálhat SAT, STEP valamint AutoCAD® és Autodesk® Mechanical Desktop® (DWG) fájlokat az Autodesk Inventor programban történő használathoz. Exportálhat Autodesk Inventor fájlokat AutoCAD, Autodesk Mechanical Desktop, valamint IGES és STEP formátumokba.
- Webes eszközök kapcsolata, ipari források elérése, adatmegosztás
- A Design Support System (DSS), is használható a munka során [16]

A komplett berendezés több részből áll, melynek az alábbiak az elemei, majd a végén egy modellben kerülnek összeillesztésre, a külön lemodellezett részek.

- Utóégető kamra
- Födém és vészkémény
- Elosztódoboz
- Egy-egy zárható zsalu
- Egy pár könyök
- Két pár hosszabb, illetve egy pár rövidebb passzdarab
- Két kazán

Ez a szétválasztás az oldható kötések alapján történt, ugyan is a beton elemek is így tagolódnak szét. Valamint a későbbiek folyamán, a csavarkötések is szimulálva lesznek, így maguk a csavarok nem kerültek modellezésre, csak a furatok helyei.

Az utóégetőkamra az első berendezés, amelyet modelleztem. A teljes modellt nem muszáj létrehozni, elég csak az égő feletti résznél kezdődnie ugyan is, az égő fej alatt nem keletkezik akkora hő, ami kellő befolyással bírna a vizsgálat szempontjából.

Az utóégető felett helyezkedik a földém, valamint az ahhoz tartozó vész-kémény, mely még az előző olaj kazán technológia során volt lényeges biztonsági elem. Amennyiben ugyan is, valamiért a kazánban az olajkeringés leállt, a vész-kémény kinyílt ezzel távozott a hő, így védve az üzem hőhasznosító és mosó részeit tekintve, hogy azok nem bírták volna a hőmérsékletet, valamint, ha az olaj nem cirkulál a csövekben, megsült volna ezzel veszítve kémiai tulajdonságaiból, ezért teljes cseréjére lett volna szükség.

Ezután következik az elosztó doboz. Ezzel van megoldva a füstcsatorna ketté választása, hogy a két kazánon keresztül tudjon áramlani a füstgáz. A szerkezet már tartógerendákra van ültetve, de mivel nincsenek rögzítve ezért, a tartó gerendák modellezése elhanyagolható.

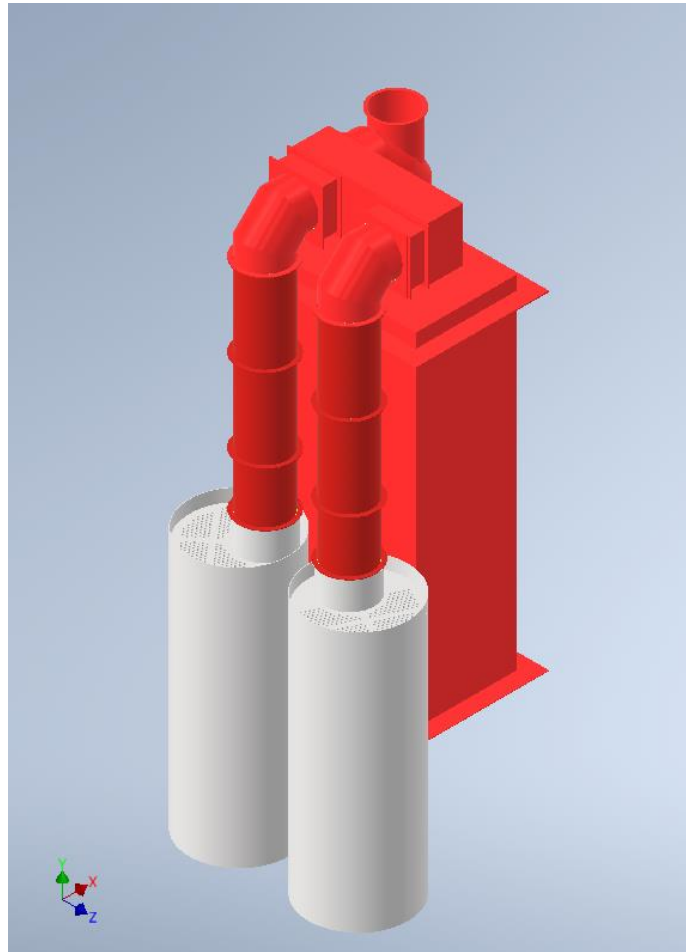
A záró zsaluk biztosítják, a kazánba belépő füstcsatornák lezárását. Mivel a kazánok folyamatos takarítást igényelnek, retesz feltétel, hogy amennyiben az egyik kazánból leesik a nyomás, vagy nem megfelelő a vízszint a másik kazánról biztosított legyen az üzem menet. Ennek érdekében a zsaluk hidraulikus munkarudján végállás kapcsolók vannak, és ha le van zárva a zsalu az adott kazánt, kiveszi a retesz feltételből, tehát az üzem menet biztosítva van. A zsalu teljes szerkezete nem került teljes kirajzolásra, mivel ezek az üzemmenet során szinte folyamatosan nyitva vannak, ezért csak az átvezető dobozuk került modellezésre.

Ezeket követi két darab könyök tekintve, hogy a két kazán alacsonyabban helyezkedik el, mint az elosztó dobozból kilépő füstcsatorna ezeken keresztül fordul lefelé a füstgáz. A befoglaló méreteik.

A könyök alatt három pár összekötő passzdarab helyezkedik el, hogy ezeken vezessék tovább a füstgáz. A hosszabb darabok méretei egyezők, a kisebb darabok arra szolgálnak, hogy pontosan összeköttetés legyen a kazán és a hosszabb csőszakaszok között.

Az utolsó elem, amik pedig modellezésre kerültek a kazánok.

Mindegyik elem M16-os csavarral kapcsolódik egymáshoz, így az ezekhez tartozó furatok is modellezésre kerültek.



5. ábra a vizsgált berendezés összeállított rajza az Autocad Inventor softwareban

3.2 Az Ansys Workbench 2021 R1 Software rövid ismertetése

A munkám során az Ansys Workbench 2021-gyel dolgoztam, mely az egyes szaktudományok korábban nem egységesen kezelt, megoldó algoritmusaihoz, már egy egységesebb, részben integrációs szimulációs környezetet kínál. Ebben a softwarében, a végelelem programok alkalmazhatóak, a következő hibák feltárására és vizsgálatára:

- termikus jelenségek (hőtágulás, hőátadás stb.)
- mechanikai jelenségek (feszültségek, deformációk)
- alakváltozás
- indukált vagy saját frekvencia
- áram vagy mágneses mező
- különféle áramló közegek és azok hatásának vizsgálata

Főbb jellemzői a programnak:

- A Geometriai modellt, nem muszáj a programban létrehozni, átlehet másolni különféle egyéb grafikus szoftverekből
- A kapott eredmények grafikus szemléltetése és azok kombinálása
- Bő anyagkönyvtár választék
- „saját” anyagok integrálás a már meglévők közzé
- Terhelések és kényszerek bő választéka
- A program által meghatározott háló megadása
- A háló méretezése és alakjának megváltoztatása
- Gyors lefutás, a program több processzor magot is képes felhasználni. [17]

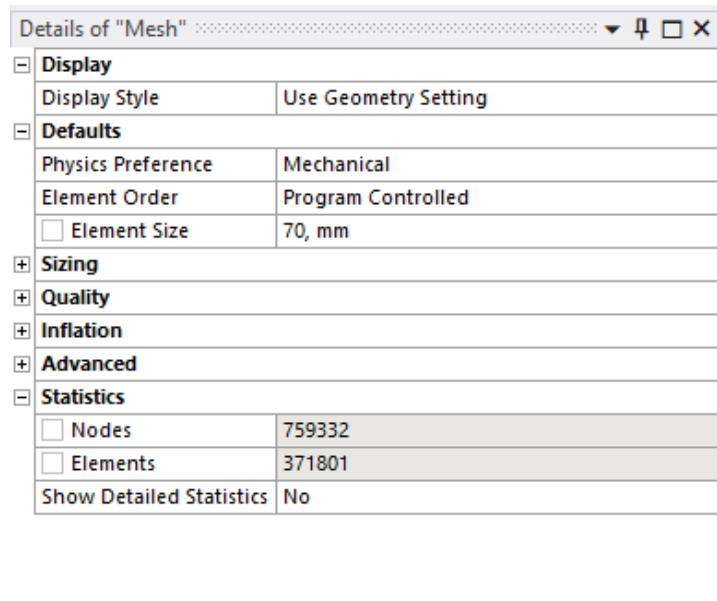
A többfázisú folyadékáramlások kielégítő pontosságú szimulációjához még nagyobb számítási kapacitás szükséges ezért a gyakorlatban is használható többfázisú folyadék-szimulációk csak a 90-es évektől állnak rendelkezésre.

Az alap 3D-s modelleket az Autocad Inventor szoftwarében készítettem el és ezt helyeztem át az Ansys Workbench 2021 R1 szoftwarébe.

A végelelemes modell alkotása során megfontolandó szempontokat tekintetbe kell venni. Ilyenek például a szimmetria alkalmazásának lehetősége, vagy réteges falszerkezet esetén annak egyenértékű helyettesítő megoldása. Ennek az az alapja, ha a modell végelelemszám növekedése nem szolgál olyan új információval, mely számunkra lényeges, akkor az elemszámnövekedés nem indokolt.

Details of "Mesh"	
☒ Display	
Display Style	Use Geometry Setting
☒ Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Program Controlled
☐ Element Size	70, mm
☐ Sizing	
☐ Quality	
☐ Inflation	
☐ Advanced	
☒ Statistics	
☐ Nodes	389244
☐ Elements	165041
Show Detailed Statistics	No

6. ábra végelelemek és csomópontok száma szimmetria alkalmazásával



7. ábra végelemek és csomópontok száma szimmetria alkalmazása nélkül

Tekintve, hogy a betonréteg nem rugalmas, ezért a vizsgálat szempontjából azok nem kerültek 3D modellezésre, ehelyett az került kidolgozásra, hogy ezek a rétegek, mekkora hőt adnak le, illetve a kezdeti hőmérséklet, mennyire csökken rajtuk keresztül, mire eléri az acélszerkezetet, amelynél majd integráljuk az így megkapott felületi hőmérsékletet a szimulációba.

Többrétegű falban a hőmérsékletelosztás, párhuzamos síklapokkal határolt, különböző anyagokból, de egyenként homogén rétegből tevődik össze, akkor, bármely közös érintkezési síkban a két réteg között, ugyanaz a hőmérséklet fog uralkodni, ez a számítási alapja, amely a következő képlettel írható le. Egyes rétegekre bontva a hőáramsűrűség az alábbi összefüggésekkel írhatjuk fel.

$$q_1 = \lambda_1 \frac{dT}{dX}, = q_2 = \lambda_3 \frac{dT}{dX}, = q_3 = \lambda_3 \frac{dT}{dX} \quad (1)$$

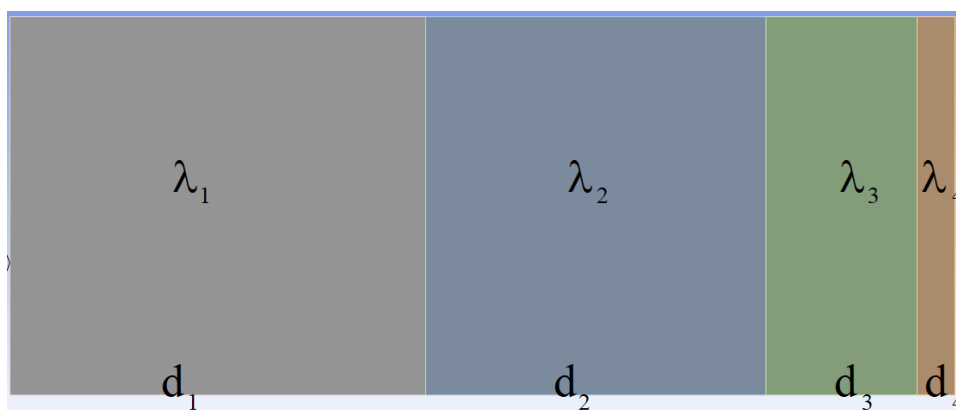
Mivel a rendszerbe bejövő áram megegyezik a távozóval, valamint ez útközben nem változik, kijelenthetjük, hogy:

$$q_1 = q_2 = q_3 = \dots = q_n \quad (2)$$

A képletet átalakítva adódik:

$$q \frac{d_1}{\lambda_1} = t_1 - t_2 \quad q \frac{d_2}{\lambda_2} = t_2 - t_3 \quad q \frac{d_3}{\lambda_3} = t_3 - t_4 \quad (3)$$

A 8. ábrán látható a mi esetünkben vizsgált rétegzetek és azok arányos eloszlása. A hozzá tartozó 1. táblázatban, pedig balról jobbra haladva összegeztem az anyagok megnevezését, falvastagságát, illetve a hozzájuk tartozó hővezetési tényező értékét. [18]



8. ábra négyrétegű fal, méreteinek eloszlása és a hozzájuk tartozó hővezetési tényezők jelölése

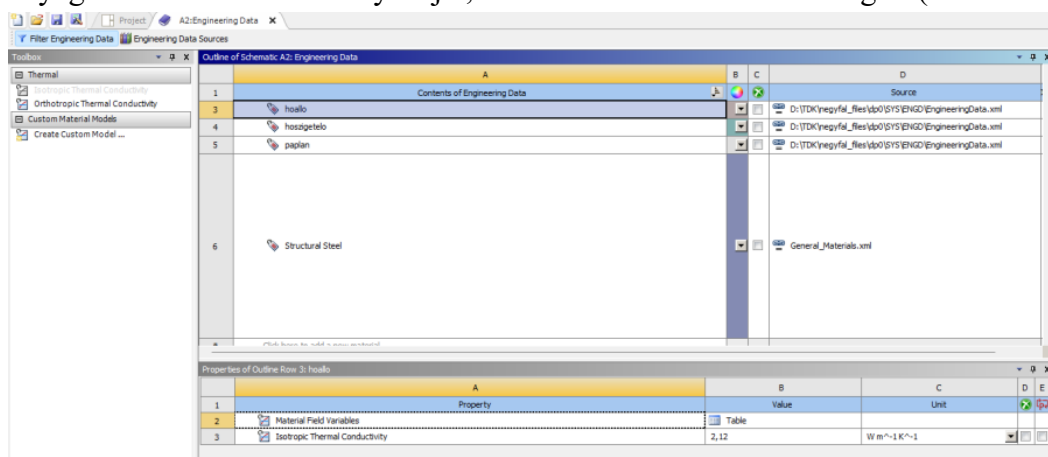
1. táblázat falazat rétegek megnevezése és tulajdonságai

Megnevezés	Anyag	Falvastagság (mm)	Hővezetési tényező
Hőállóbeton	CALDE® CAST LM 74 A	110	2,12
Hőszigetelőbeton	CALDE™ CAST XL 116 C/G	90	0,233
Kerámia gyapot	PLISULATE 7 BS/M	40	0,113
Szerkezeti acél	Ansysban megadott	10	60,5

A fentiek alapján, ezért kétféle képen szimuláltam le a hőátadást, az egyiknél a falak párhuzamosak és egyenesek (9. ábra), még a másiknál párhuzamosak, de az alapsíkjuk görbék (10. ábra), mindkét esetben más-más eredményeket kaptam.

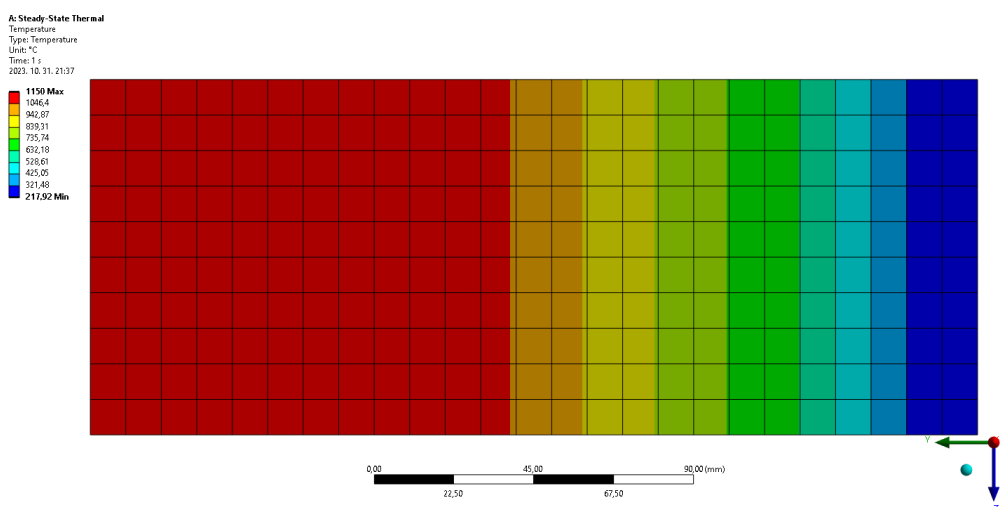
Az Ansys széleskörű anyagválasztékkal rendelkezik, de adhatunk meg mi is anyagokat és az ezekhez tartozó komponenseket. Az 1. táblázatban felsorolt

anyagok hővezetési tényezőjét, manuálisan adtam meg (9. ábra).

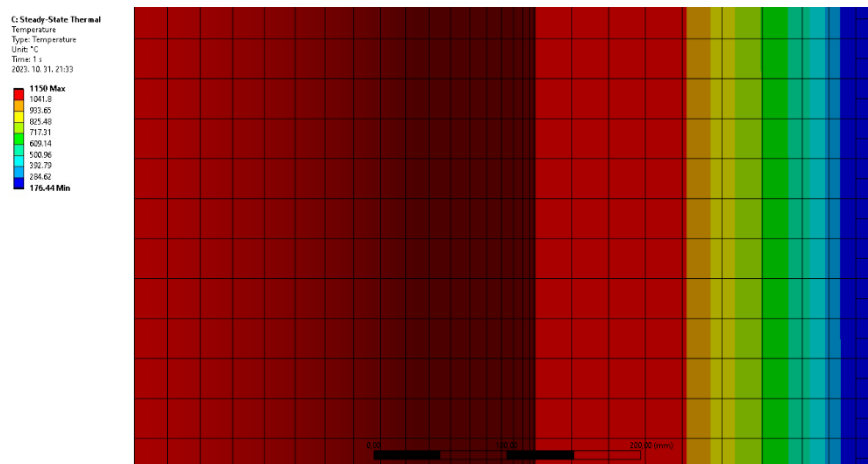


9. ábra hővezetési tényezők megadása az Ansysban

A bemenő hőmérsékletnek egy átlagos üzemelés során történő 1150 [C°] -ot adtam meg, még a külső hőmérsékletre egy 22 [C°] légáramlatot vettem alapul tekintve, hogy a berendezés nyitott szabad térben van. Az oldal irányokra pedig teljes szigetelés került, mivel a folyamat zárt rendszerben megy végbe.



10. ábra hőátadás modellezése egyenes alapú négy rétegű fal esetén- hőmérséklet eloszlás [T]



11. ábra hőátadás modellezése görbe alapú négy rétegű fal esetén- hőmérséklet eloszlás [T]

A kapott eredményeket figyelembe véve (10. és 11. ábra) kerültek megadásra, a hőtani elemzés során, a terhelések meghatározásai. Jól látszik továbbá, hogy a görbe alapsíkú testeknél, sokkal kedvezőbb a berendezés szempontjából, a hőátadás.

4 Végeselem vizsgálat

A 6. és 7. ábrából kiindulva, tehát az egyenes alapvonalú elemeknél, a belső hőmérséklet $218 [C^{\circ}]$ még a görbe alapú elemeknél $176 [C^{\circ}]$ adódott.

Az elemzést kétféleképpen készítettem el a füstelvezető rendszeren, az első elemzés során bonded (kötött) kapcsolatot alkalmaztam, ahol az elemek közvetlen kapcsolódnak egymáshoz, míg a másik elemzés már beam kapcsolattal történt, ami már a valós csavarkötéseket adja vissza. Az alap 3D-s modellek mindkét esetben azonosak az egyetlen különbség, hogy az előbbinél nem, de az utóbbinál modellezésre kerültek a furatoknak a helyei.

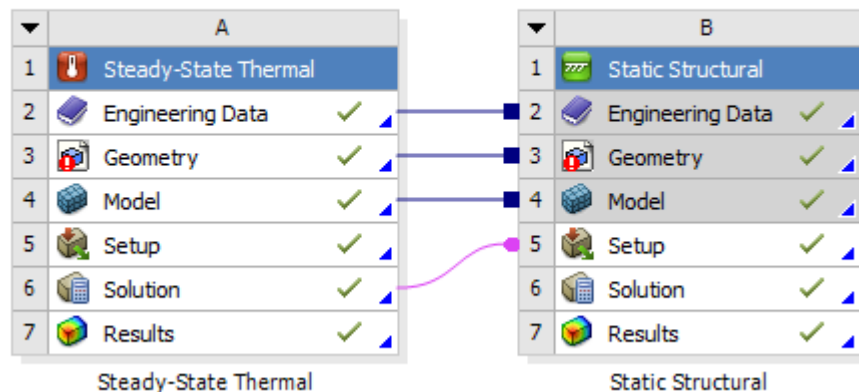
A kazán vizsgálata, már csak egyféleképpen történt meg, ugyan is ott csak a kazán szerkezetről volt információgyűjtés.

4.1 Vizsgálat „bonded” kapcsolattal

A vizsgálat során a feszültség, illetve a deformáció elemzésében, szekvenciális terhelésátvitelt alkalmaztam két lépésben (12. ábra). Az első egy hőtani elemzés, amelyet az Steady State Thermal opciójával készült, ahol az acélszerkezeten a hő indukálta változását vizsgáltam. Itt kerültek integrálásra a korábban megkapott eredmények. Kényszereket nem alkalmaztam, mivel a hőátadás szabadon végbemenő jelenség.

A második lépésben történnek a mechanikai elemzések a Static Structural opció alatt. Itt az Ansys software átveszi az előző menüpontban létrejött számításokat és eredményeket, így azokat nem kell újra elvégeznünk. A megfelelő kényszerek megadásával kaptam meg, a teljes deformációt, illetve a legnagyobb feszültség helyeit (18. és 19. ábra).

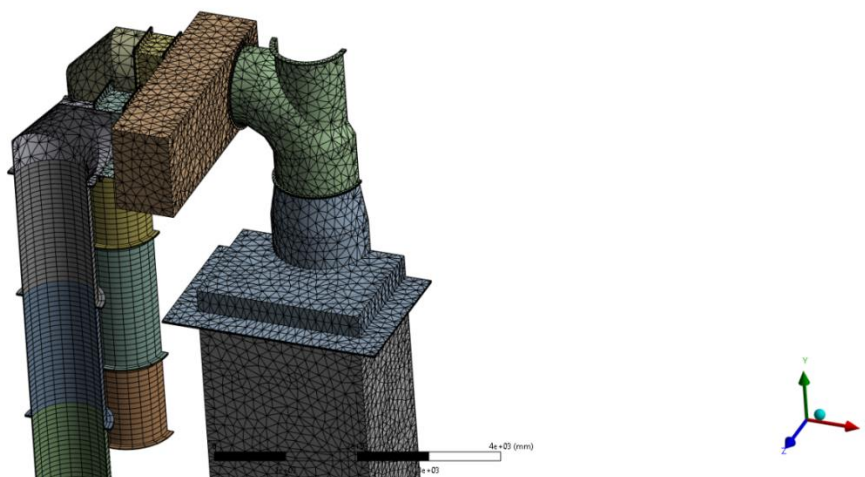
Project Schematic



12. ábra a vizsgálat sematikus ábrája a szekvenciális terhelésátvitelhez

Figyelembe véve az összeállított berendezés nagyságát, az elem méreteket 70 mm-re állítottam (6. ábra), ettől kisebb méret nem volt indokolt. Nagyobb méret esetén, pedig nem lett volna arányos és jól látható a különböző elemeken megfigyelhető változás (13. ábra).

Mesh
2023. 10. 30. 22:16



13. ábra behálózott berendezés

A háló fajtáján nem változtattam, az alap program vezérelt funkción futott így az egyaránt tartalmaz tetraéder, illetve hexaédereket elemeket is, melyek eloszlása a 14. ábrán látható. Megfigyelhető, hogy a tetraéder elemek száma majdnem eléri a 155.000-et még a hexaédereké 13.000 körül van, így jól kivehető, hogy a tetraéderek aránya több mint 90%.

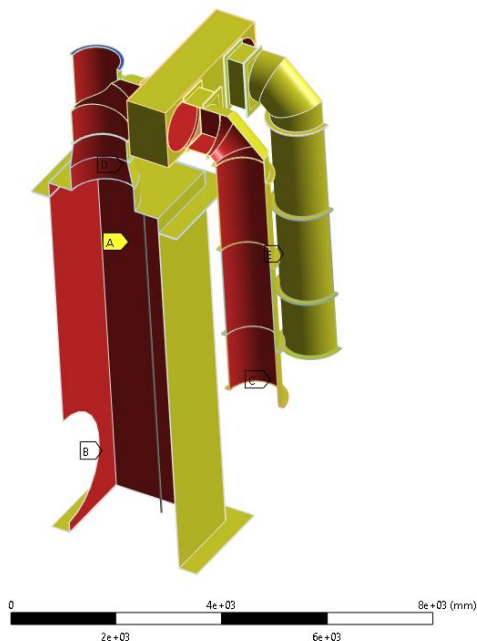


14. ábra a tetraédes és a hexaédes elemek eloszlása

A 15. ábra a termikus vizsgálat alatt történő, terheléseket, illetve a peremfeltételeket mutatja meg. A korábbi számítások alapján, a síkfelületekre került a 218 [C°] hőmérséklet, még a görbe alapú felületekre a 176 [C°]. A külső hőmérséklet, pedig egy 22 [C°] -os légáramlatban lett megadva, a szimmetria tengelyek mentén pedig teljes hőszigetelést kaptak az elemek.

A: Steady-State Thermal
Steady-State Thermal
Time: 1, s
2023. 11. 01. 17:39

A Convection: 22, °C, 5,e-006 W/mm²·°C
B Temperature: 218, °C
C Heat Flow: 0, W
D Temperature 2: 176, °C
E Heat Flow 2: 0, W

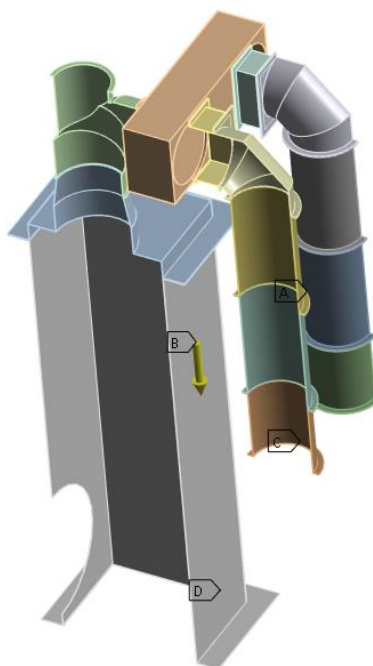


15. ábra a termikus analízis során megadott hőhatások

A következő lépésben (16. ábra) a statikus szerkezet vizsgálat során alkalmazott, kényszerek és az ott létrejövő peremfeltételek, kerültek megadásra. A peremfeltételeket illetően csak az utóégető talplemeze kapott kötött rögzítést. A szimmetria tengelyek és a füstgázelvezető csövek alján súrlódásmentes támasztás lett alkalmazva. Mivel gravitációs erő is fellép, ezért ez a fajta kényszer is integrálásra történt.

B: Static Structural
Fixed Support
Time: 2, s
2023. 11. 01. 18:29

A Frictionless Support
B Standard Earth Gravity: 9806,6 mm/s²
C karimaalja
D Fixed Support

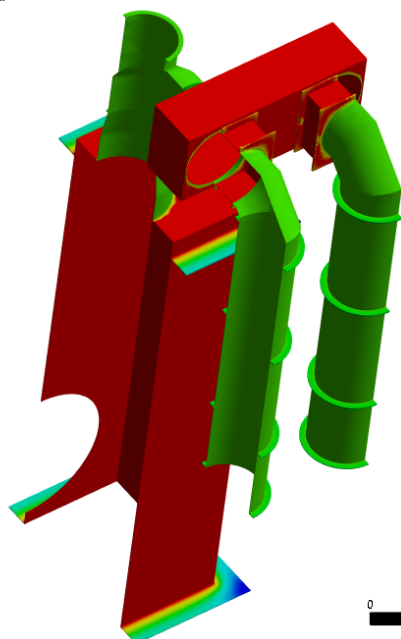


16. ábra a mechanikus analízis során megadott peremfeltételek és kényszerek.

Az így kapott termikus eredményeket a 17. ábra mutatja be, amiket a 12. ábra alapján, tovább importáltam. A mechanikus szerkezeti vizsgálat, eredményeit pedig az 18. ábrán kaptam meg, ahol a teljes deformációs kép látható, a 19. ábrán pedig, a feszültség eloszlása.

A: Steady-State Thermal
Temperature
Type: Temperature
Unit: °C
Time: 1 s
2023. 11. 13. 20:30

236 Max
220,11
205,73
191,35
176,96
162,58
148,2
133,82
119,43
105,05 Min

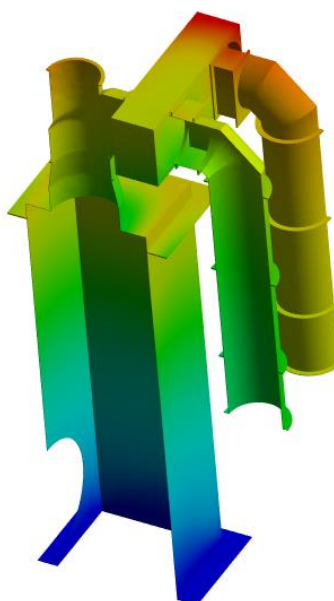


17. ábra hőmérsékleteloszlás

A numerikus elemzés eredményei azt mutatják, hogy a legnagyobb deformáció az elosztódoboznál lép fel, melynek nagysága 28,848 mm, de az alakváltozás már az alsó füstgázvezető csövek, magasságában megkezdődik.

B: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 2 s
2023. 11. 01. 18:33

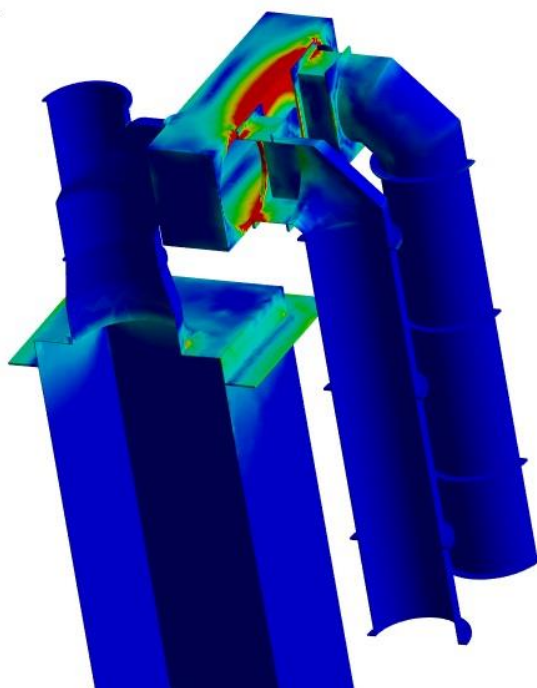
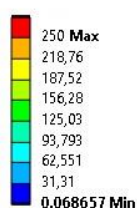
28,848 Max
26,925
25,002
23,078
21,155
19,232
17,309
15,386
13,462
11,539
9,616
7,6928
5,7696
3,8464
1,9232
0 Min



18. ábra teljes alakváltozás az analízis során

A 16. ábrán a szerkezet elemeinek egyenértékű (von Mises) feszültség eloszlása olvasható le a hőterhelések után. Itt jól látszik, hogy a legnagyobb feszültség az elosztódoboz és a két, füstgázvezető cső találkozásánál keletkezik. Ez a berendezés legmagasabb pontja, ahol még továbbra is 1150 [C°] van és a jelentős gravitációs erőhatásra a füstgázcsövek már lefelé húzzák az elosztódoboz feléjük eső oldalát.

B: Static Structural
Equivalent Stress 2
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1 s
2023. 11. 01. 18:48

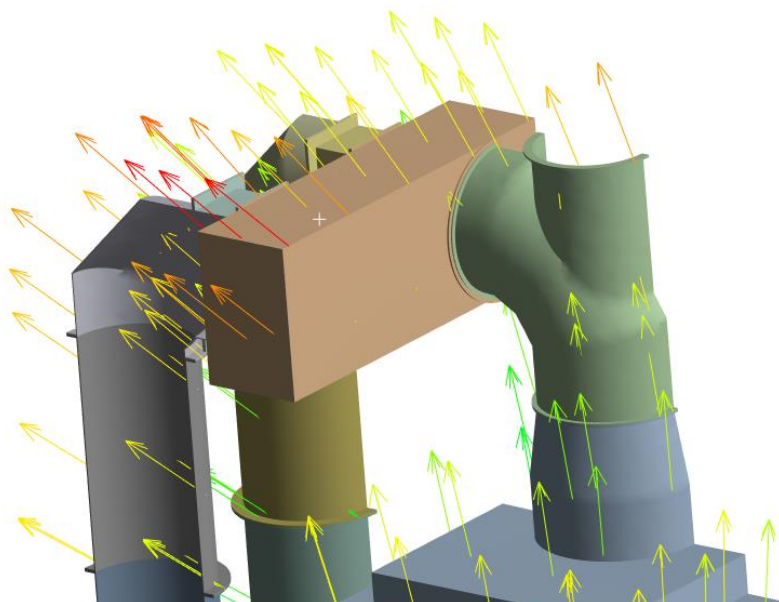


19. ábra feszültség eloszlás

Az 1. vizsgálat végén pedig, az erővektorok iránya látható (20. ábra). Jól látszik, hogy jelen esetünkben nem csak húzó és nyomó, hanem hajlító erő is fellép. Ennek oka az, hogy a füstgázelosztó doboz bejövő csonkja nem szimmetrikus a vésszémény szimmetriájával. Ezért hajlító erő is fellép a húzó erő mellett.

B: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 2 s
2023. 11. 01. 19:17

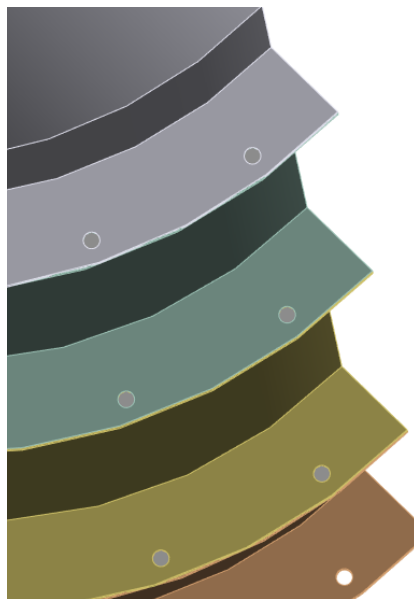
28,848 Max
26,925
25,002
23,078
21,155
19,232
17,309
15,386
13,462
11,539
9,616
7,6928
5,7696
3,8464
1,9232
0 Min



20. ábra vektor ábra a teljes alakváltozás során

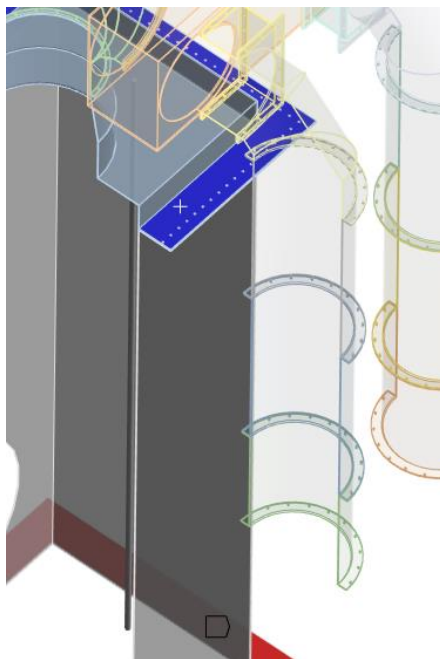
4.2 Vizsgálat „Beam” kapcsolattal

A második vizsgálat során az egyes elemeknél nem Bonded kontaktot (kötött érintkezés), hanem „beam” kontaktokat alkalmaztam. Mivel az egyes elemek csavarkötésekkel vannak egymáshoz rögzítve, ezért itt már furatok modellezése is megtörtént. Mivel a hozzájuk tartozó csavarok megnövelnék a végelemszámot, de új információkkal nem szolgálnának, ezért azokat (21. ábra), valamint az I-gerendákat (22. ábra) melyek az utóégetőt és a földémet rögzítik „beam” kapcsolattal helyettesítettem.



21. ábra „beam” elemek alkalmazása, csavarkötéseknél

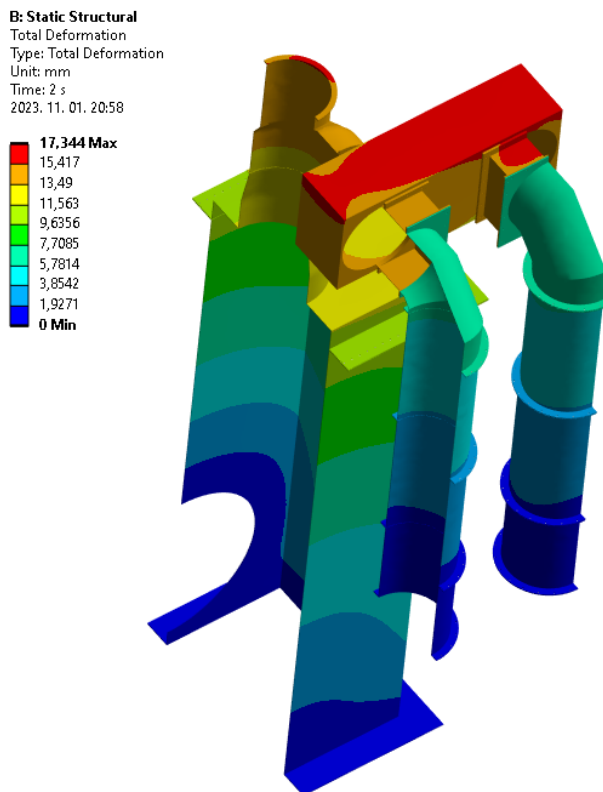
Mivel a furatok kirajzolásával, az elemszám lényegesen nőtt, ezért is indokolt ez a fajta kapcsolat alkalmazása, mivel ezek megfelelően helyettesítik a valós csavarkötéseket.



22. ábra „beam” elem alkalmazása I-gerendaként

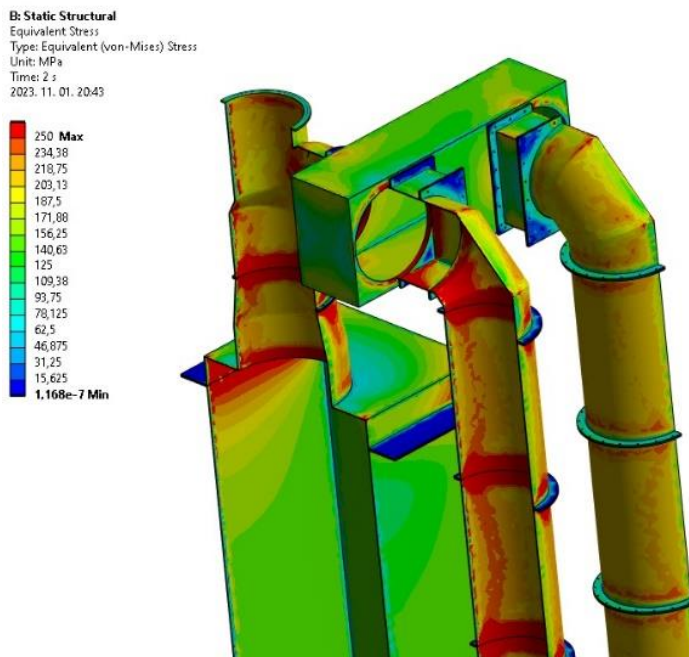
Az így megkapott statikus szerkezeti modellek (23. ábra) eltértek, az 1. vizsgálati szempontból, itt jól látszik, hogy a deformáció lényegesen kisebb 28 mm-ről 17 mm-re csökkent le. A helye nem változott, továbbra is a füstgázelosztódoboz tetején

van, viszont nem annyira koncentrált, hanem annak szinte egész felülete deformálódik, ezzel lényegesen kisebb, a csavaró erő fellépése.



23. ábra teljes alakváltozás beam elem alkalmazásával

A feszültségeloszlásnál (24. ábra), már jóval nagyobb változás figyelhető meg. Nem az elosztódoboz és a két füstgázvezető cső kapcsolatánál, valamint az előző elem feléjük eső élén keletkezik, hanem a csavarkötések karimáinak kapcsolódó peremén és annak környezetében. Továbbá kirajzolódik, hogy a passzdarabokban jóval nagyobb feszültség ébred, mint magában az utóégetőben, vagy az elosztódobozban.



24. ábra feszültségváltozás „beam” elem alkalmazásával

4.3 Kazán vizsgálata

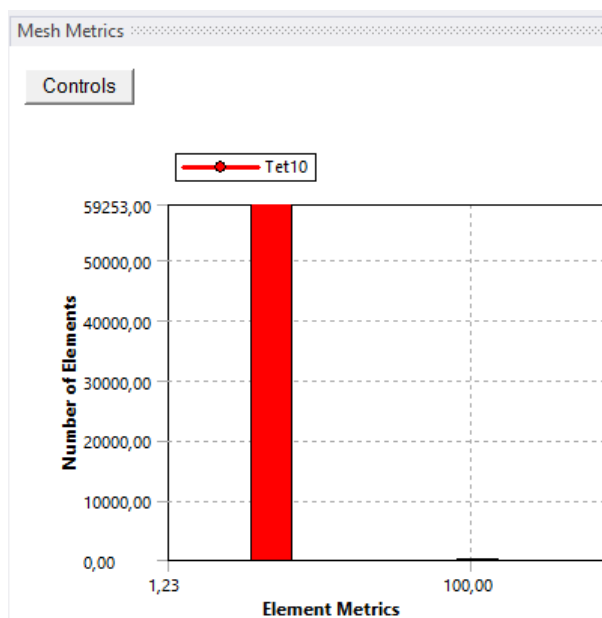
A másik feltételezés a deformáció kialakulására a kazán által indukált nyomás. Mivel a klasszikus lángcsöves kazánokkal ellentétben, nem fektetve vannak, hanem állítva lettek telepítve így egyedül csak a talplemezekon van teljese megtámasztás. A kazán modelljét külön készítettem el, hogy látható legyen a legnagyobb üzemi nyomás alatt 8 bar (0,8MPa) milyen irányba tágul. Illetve az itt kifejtett erők hatással vannak-e a felette található füstgázelvezető szakaszokra.

Mivel a vizsgálat szempontjából a füstgázcsövekben létrejövő hőváltozások nem szolgálnak olyan információval, amik hatással lehetnének a felette lévő elemek deformációját illetően, így azok teljes modellezése nem történt meg. Ehelyett megfelelő kényszerrel helyettesítve lettek, hogy az alsó és a felső lemez merevségi viszonyai a valóságot tükrözzék. Egyedül a lángcső került teljes egészében modellezésre. Ahogy korábban itt is szimmetriát alkalmaztam. A kazán kivezetését, mérőcsonkjait és biztonsági részei szintén nem kerültek modellezésre, mivel azok vizsgálati szempontból nem szolgálnak új információval.



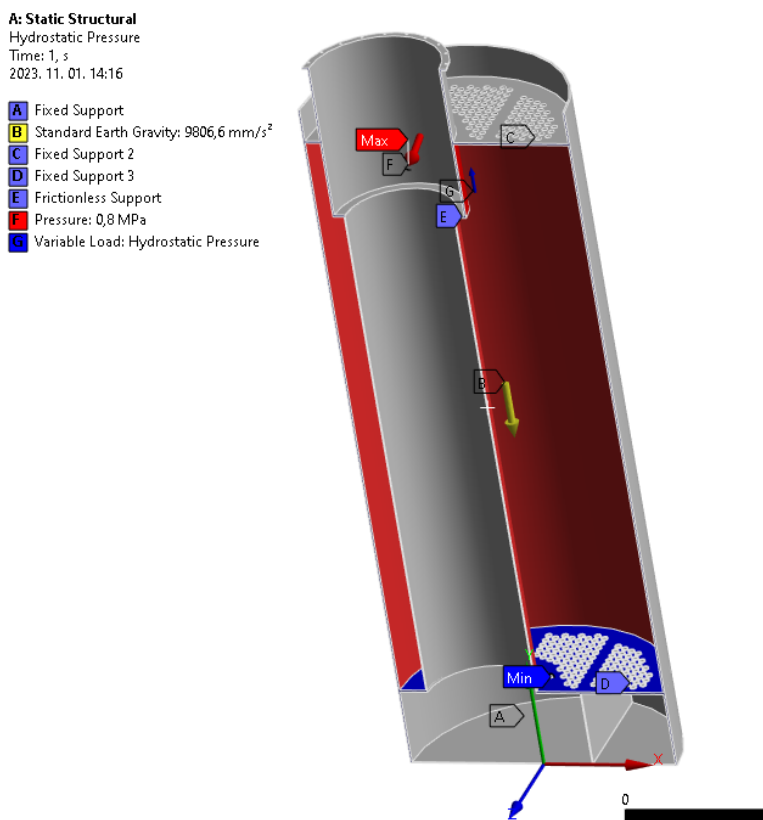
25. ábra behálózott kazán

Ahogy az előző vizsgálatokban, itt is program vezérelt hálózást (25. ábra) alkalmaztam, az elem méretet a duplájára 140 mm-re növeltem, viszont itt már csak tetraéder elemeket kaptam, az elemszám pedig közel 60.000 lett (26. ábra).

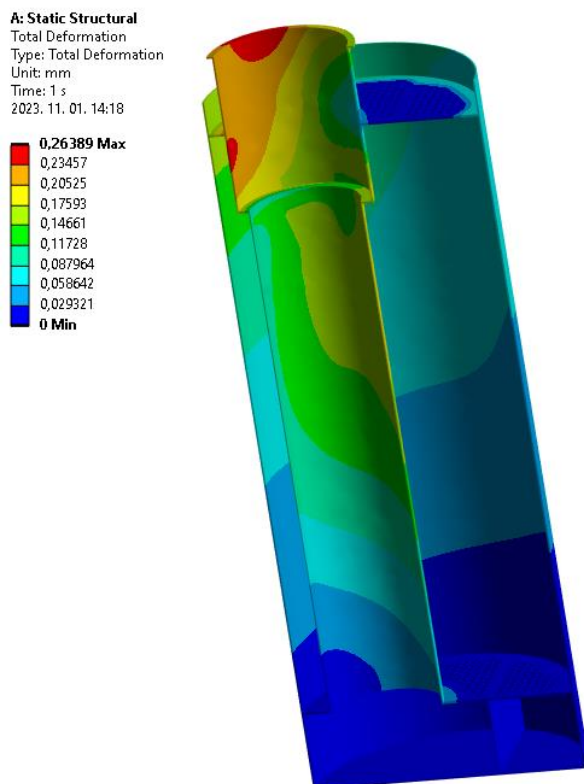


26. ábra kazán végeelem száma ez túl informatív, inkább ott tennék be eloszlást, ahol vegyes hálóképzés történt)

A 27. ábrán a statikus szerkezeti elemzés során alkalmazott terhelések, kényszerek és peremfeltételek kerülnek bemutatásra. Az elemek közötti kapcsolatok, hegesztési eljárással vannak létrehozva. A kazánnak nincs külön talapzata, amivel meg van emelve a betonaltaptól. Az alsó talplemez az egyetlen felület, ahol felfekszik az alatta lévő betonalapra. A gravitációs erőt itt is figyelembe vettem, valamint a víztömeg hatására létrejövő hidrosztatikai nyomást és a gőznyomást is. A szimmetria tengelyek mentén szintén súrlódásmentes támasztás alkalmaztam.



27. ábra mechanikus analízis során alkalmazott kényszerek, erők és peremfeltételek



28. ábra teljes alakváltozás

A 28. ábra megmutatja a teljes deformációt, amin jól kivehető, hogy nem történik olyan nagymértékű alakváltozás, ami önmagában azt eredményezné, hogy a kazánban létrejövő nyomás kihatással lenne, a felette található elemekre.

Ezeknek a kapott adatoknak az ismeretében, pedig kijelenthető, hogy az alakváltozás legfőbb kiváltó oka, nem a mechanikai, hanem a hőtani terhelések okozzák.

5 Eredmények, megállapítások

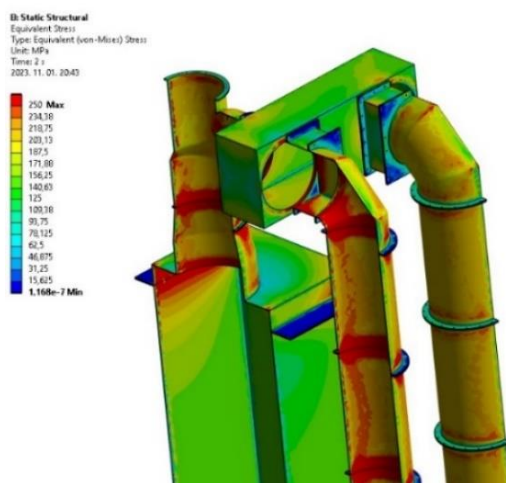
Mindkét numerikus vizsgálat kimutatta, hogy a legnagyobb deformáció a füstgázelosztódoboz felső lemezénél jön létre és a döntő tényező a termikus hatás. Ennek fő oka az, hogy a kazánban létrejövő nyomás nem fejt ki akkora erőt, amivel az ténylegesen befolyásolná a felette található alkatrészeket.

Ezen kívül kirajzolódik az is, hogy az elosztódoboz azon részén a legnagyobb az alakváltozás, ahol a kilépő csanak szimmetriasíkja nem egyezik a vészkéménykilépő csanak szimmetria síkjával (29. ábra), így nem csak húzó, de hajlító igénybevétel is keletkezik, ami tovább ronthatja a berendezés állapotát.

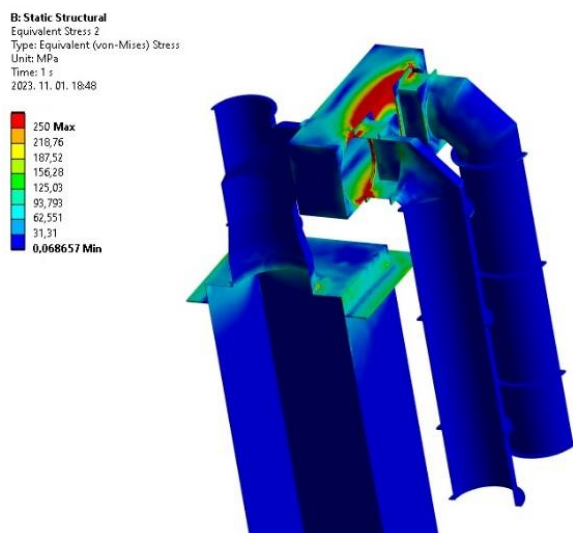


29. ábra elmozdulás szemléltetése az alakváltozás során

Az egyenértékű feszültség eloszlásnál (30. és 31. ábra) már lényeges különbség figyelhető meg a két modellezési megközelítéssel. Közel sem annyira koncentrált, mint a „bonded” kapcsolatnál, hanem szinte a teljes füstgázelvezető szakaszoknál eloszlik.



30. ábra feszültség eloszlás beam kapcsolattal



31. ábra feszültség eloszlás bonded kapcsolattal

Ezért annak érdekében, hogy ez a fajta alakváltozás és feszültség. ne veszélyeztesse a berendezés műszaki állapotát mind az acél, mind a beton elemeket, egy harmonika kompenzátor beépítése javasolt, ugyanis ezzel kellő rugalmasságot adnánk az acélszerkezetnek, ami a teljes üzemmenet során felülne a tartógerendákra. Ez azt az előnyt is hordozná, hogy nem lenne szükséges a saját súlyukat is tartani, ezzel is csökkentve az elemekben létrejövő feszültséget.

A felépítményt is figyelembe véve, pedig a kompenzátornak a legjobb helye az elosztódoboz belépő és a vészkérmény kilépő részén lenne tekintve, hogy a terhelés ne húzza magával, az utóégető és a földém szerkezetét, melynek hatására az megrogyhatna, ezzel pedig a betonelemek károsodhatnak, melyek javítása csak

üzemleállással lenne megoldható. Mindez az a cég számára jelentős bevételkieséssel járna.

A kompenzátor megtervezése után, egy hasonló eljárással történő szimuláció lenne javasolt, ahol tovább lehetne vizsgálni a berendezés állapotát. Ezzel kimutatásra kerülne miben változik a berendezésben fellépő feszültségek, illetve alakváltozások. A gyártás előtt, már egy valós képet kapnánk ezáltal, hogy a kompenzátor méretezése megfelelő, illetve annak beépítése elegendő volt e.

Irodalomjegyzék

- [1] Bozsaky Dávid - Építési hőszigetelő anyagok
- [2] Kozák Imre – Szeidl György FEJEZETEK A SZILÁRDSÁGTANBÓL
- [3] Béda Kozák - Rugalmas testek mechanikája
- [4] Adolf Frischherz, Paul Skop - Fémtechnológia 1-2
- [5] Dr. Verő József – Fémtan
- [6] Műszaki Tudományos Közlemények 6. kötet – 53. oldal
- [7] Dr. Pék Lajos: ANYAGSZERKEZETTAN ÉS ANYAGVIZSGÁLAT
- [8] CEMENTON ÚTMUTATÓ - Magyar Cement-, Beton- és Mészipari Szövetség
- [9] A fib MAGYAR TAGOZAT LAPJA – Vasbetonépítés 2017/2 XIX. Évfolyam 2. szám.
- [10] Horst Blumenauer, Gerhard Pusch - Műszaki törésmechanika (OCR)
- [11] Magyar Fizikai Folyóirat – A MTA III. Osztályának Fizikai Közleményei 28. Kötet (1980) – 10. Fejezet Törés Vizsgálata
- [12] Mechanika mérnököknek - Statika - M Csizmadia Béla Nándori Ernő
- [13] M.CSIZMADIA B.-NÁNDORI E.: Szilárdságtan, Nemzeti tankönyvkiadó, Budapest, 1999
- [14] S. F. T. Z. B. Z. Dr. Szabó Ferenc János, Numerikus analízis, szimuláció, termékminősítés.
- [15] Végeselem módszerek - Dr. Tamás, Péter, Bojtos, Attila, Décsei-Paróczi, Annamária, és Dr. Fekete, Róbert Tamás
- [16]

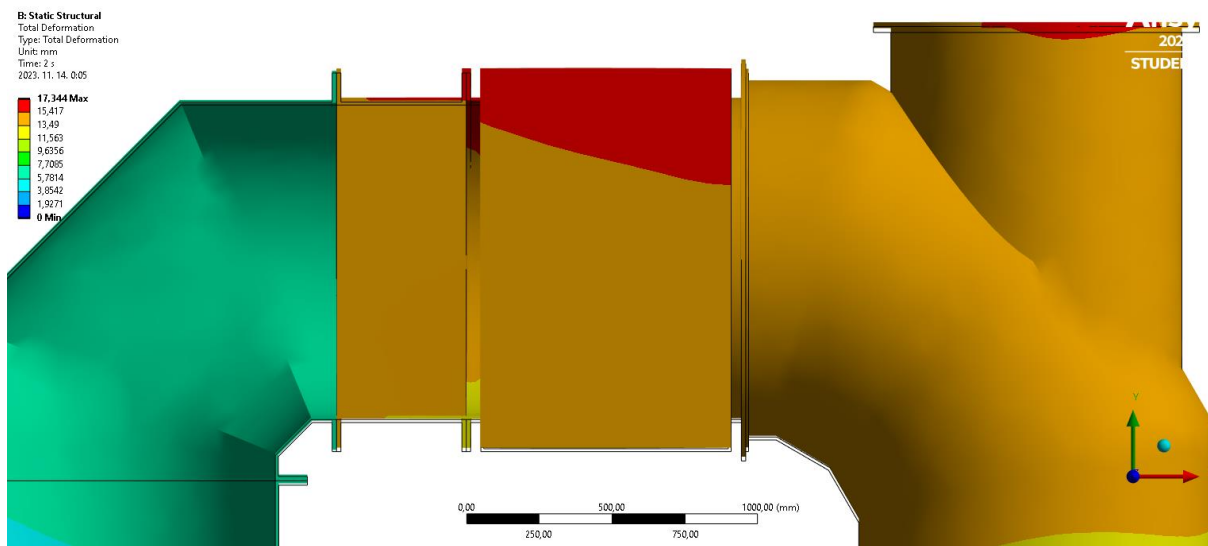
https://cnctar.hobbycnc.hu/VarsanyiPeter/Konyvek_informacios_anyagok/AutoDesk_Kezdeti_lepesek_HU.pdf

[17] ANSYS Theory Reference ANSYS Inc, Canonsburg, PA 15317, USA.
/www.econengineering.com/

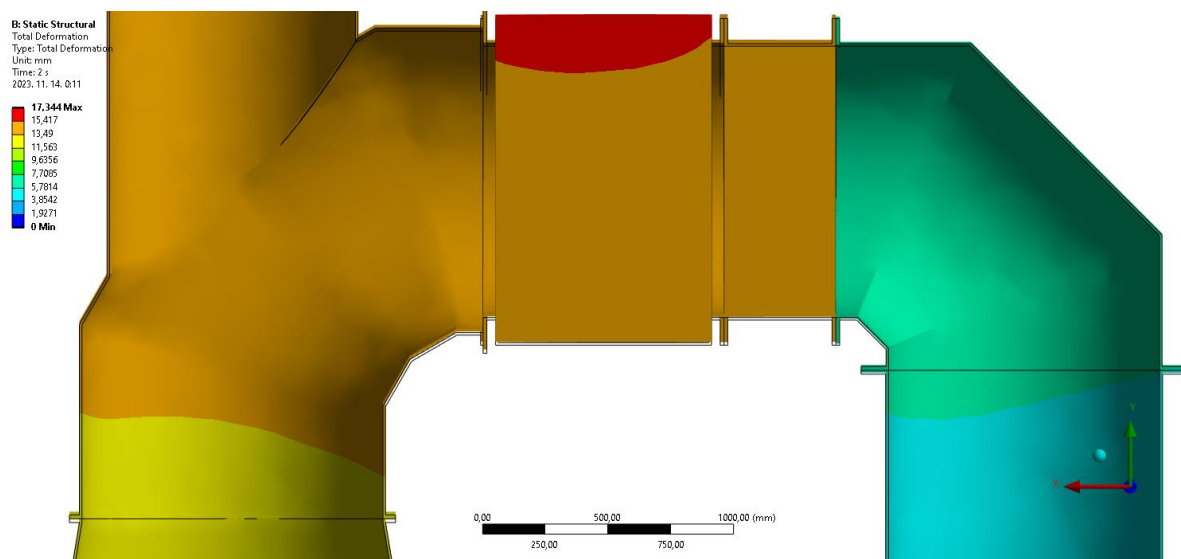
[18] <https://www.nordikal.hu/letolt/epuletfizika.pdf>

.

Mellékletek



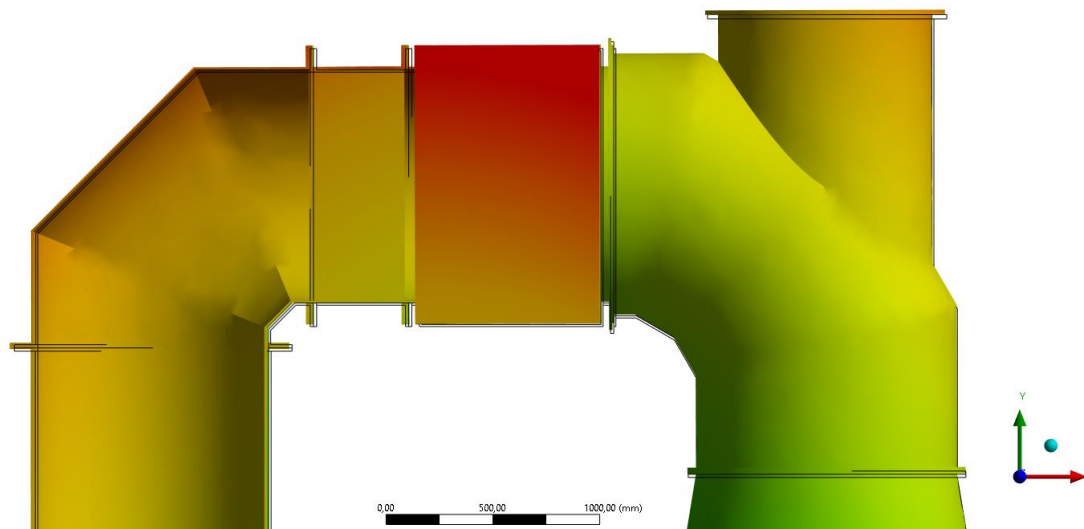
1. melléklet a legnagyobb deformáció létrejötte az eredeti állapothoz képest + Z irányból „beam” kapcsolattal



2. melléklet a legnagyobb deformáció létrejötte az eredeti állapothoz képest - Z irányból „beam” kapcsolattal

B: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 2 s
2023. 11. 14. 0:07

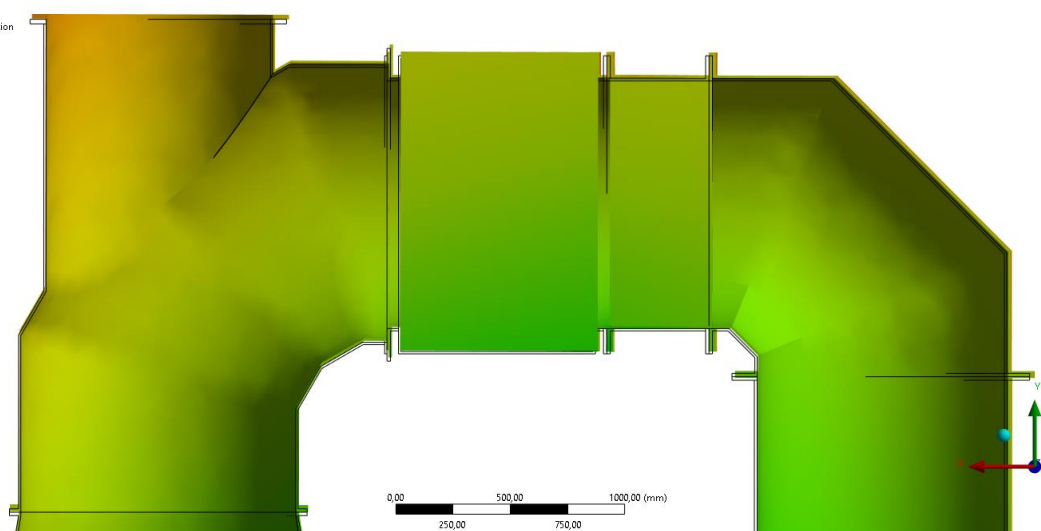
28.848 Max
26,925
25,002
23,078
21,155
19,232
17,309
15,386
13,462
11,539
9,616
7,6928
5,7696
3,8464
1,9232
0 Min



3. melléklet legnagyobb deformáció létrejött az eredeti állapothoz képest + Z irányból „Bonded” kapcsolattal

B: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 2 s
2023. 11. 14. 0:08

28.848 Max
26,925
25,002
23,078
21,155
19,232
17,309
15,386
13,462
11,539
9,616
7,6928
5,7696
3,8464
1,9232
0 Min



4. melléklet a legnagyobb deformáció létrejött az eredeti állapothoz képest - Z irányból „Bonded” kapcsolattal