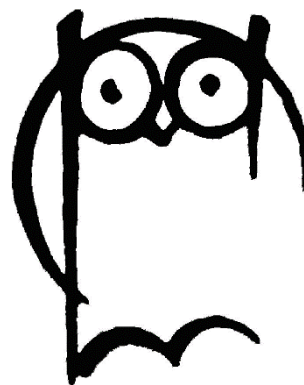


Debreceni Egyetem

Műszaki Kar

Gépészmérnöki Tanszék



**Termikus és mechanikai hatásokra
létrejövő alakváltozás numerikus vizsgálata zárt
rendszerben**

Szerző Tóth Patrik BSc/

Témavezető(k): Dr. Molnár László

Tanszékvezető: Dr Mankovits Tamás

Debrecen

2023

Tartalomjegyzék

<i>Jelölések jegyzéke:</i>	<i>II</i>
1. Bevezetés	1
1.1 A projekt célja	1
2 Módszertan	2
2.1 Az Ansys Workbench 2021 R1 Software rövid ismertetése	3
3 Végeelem vizsgálat	8
3.1 Vizsgálat „bonded” kapcsolattal	8
3.2 Vizsgálat „Beam” kapcsolattal	13
3.3 Kazán vizsgálata	15
3. Eredmények, megállapítások	18
4 Irodalomjegyzék:	20
5 Mellékletek	2

Jelölések jegyzéke:

q [W/m ²]	hőáram
d [mm]	falvastagság
T [C°]	hőmérséklet
λ [W/mK]	hővezetési tényező
σ [MPa]	mechanikai feszültség

1. Bevezetés

A munkahelyemen 2022-ben technológia váltás történt, ahol egy olajkazánról az üzem átállt két darab melegvizes egy lángcsöves háromhuzamú kazánra.

Mivel itt kémiaiilag nem tiszta anyagok elégetése, hanem veszélyes hulladék megsemmisítése történik, ezért a kazán lángcsöve, nem maga a tűztér. Az égés egy külön kemencében, úgynevezett utóégetőben megy végbe, ezért a kemence és a kazán egy füstelvezető rendszerrel van összekapcsolva. Ezek az 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

Ezek az elemek belülről kétrétegű betonnal vannak kiöntve, mindegyik betonréteg más hőátadási tényezővel és vastagsággal rendelkezik, valamint van egy harmadik kerámia gyapot réteg is, hogy az acélszerkezetet ne érje túlzott hő. Erre a rétegezett megoldásra azért van szükség, mivel az üzemelés során a hőmérséklet (1150 ± 50 C°), nagyobb, mint az acél folyáshatára.

1.1 A projekt célja

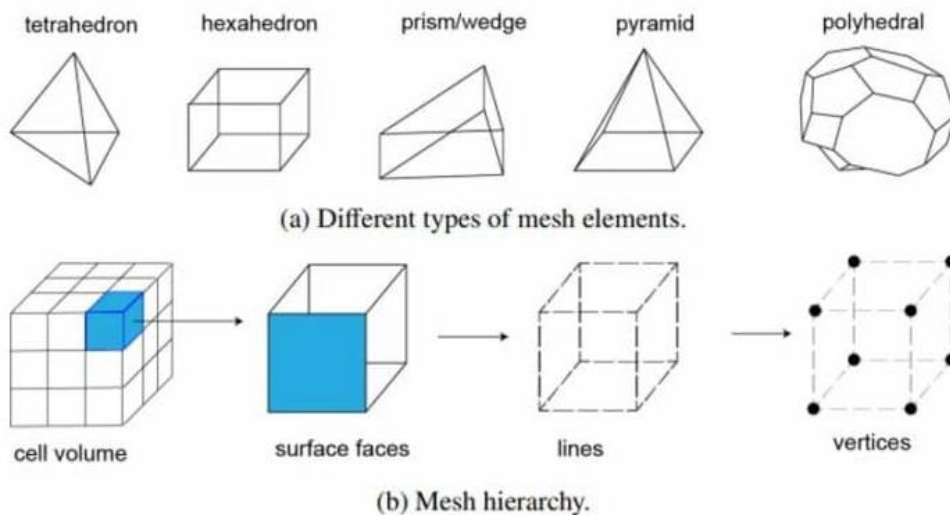
A munkám célja az, hogy megtaláljam a probléma gyökér okát, valamint a legnagyobb alakváltozás helyét. A kapott adatok összegzése és kiértékelése után döntést lehetne hozni arról, hogy a berendezésben hova és milyen kompenzátor beépítése lenne javasolt. Ezzel hosszú távon kikönnyítést adhatnánk az acélszerkezetnek, hogy ne kelljen önnön, valamint a betonok súlyát is tartania.

Ehhez a megoldáshoz, végeselem módszert alkalmaztam, melynek rövidebb ismertetőjét a következő fejezetben foglaltam össze, szakirodalom felhasználásának segítségével.

2 Módszertan

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.



2. ábra különféle típusú hálóelemek és a hálózás szintjei

Egy bonyolult alakzatnál, ez a futási idő, már lényegesen hosszabb és nagy teljesítményű számítógépre van szükség, hogy kivitelezhető legyen. [1]

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

Döntési rész – Itt kell megfogalmaznunk a vizsgálandó problémát és eldönteni a megoldáshoz használni kívánt eljárási folyamatot

Előkészítés – 3D-s modellezés, adatok gyűjtése, előkészíteni a végeselem modellt

Megoldás – A végeselem szimuláció, ez az a rész, amit a kiválasztott program végez el

Kiértékelés – Az eredmény kritikus értékelése, a kapott diagramokon vagy 3D-s modelleken

A kiválasztott vizsgált test vagy testek digitális reprezentációjának egy a számítógép által létrehozott geometriai alak, amelyet végeselem 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 végeselem 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. [2]

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

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 közelíthetők 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. [3]

2.1 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 szoftverben, a végeselem 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 közé
- 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. [4]

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 szoftverében készítettem el és ezt helyeztem át az Ansys Workbench 2021 R1 szoftverébe.

A végeleemes 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

3. ábra végelelemek és csomópontok száma szimmetria alkalmazásával

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	759332
☐ Elements	371801
Show Detailed Statistics	No

4. ábra végelelemek 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.

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

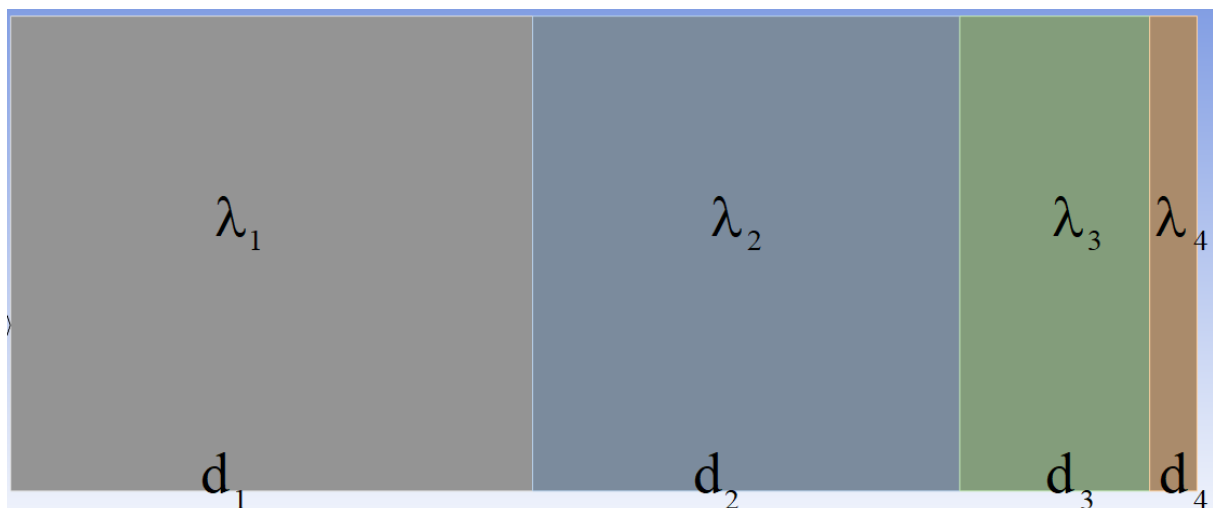
Mivel a rendszerbe bejövő áram megegyezik a távozóval, valamint ez útközből nem változik, kijelenthetjük, hogy:

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

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 5. 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. [5]



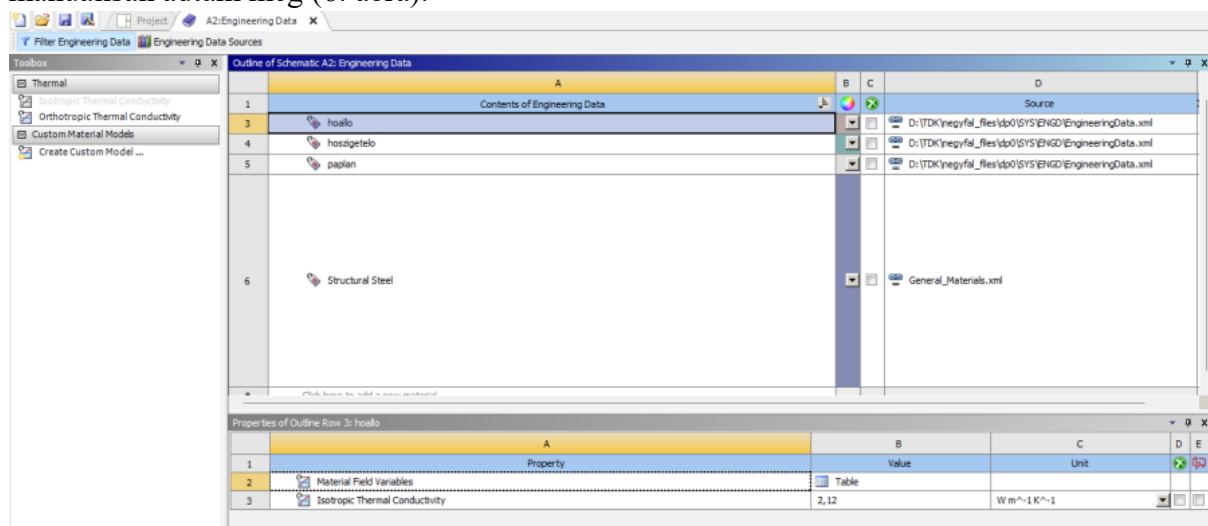
5. ábra négyrétegű fal, méreteinek eloszlása és a hozzájuk tartozó hővezetési tényezők jelölése

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	Ansysisban megadott	10	60,5

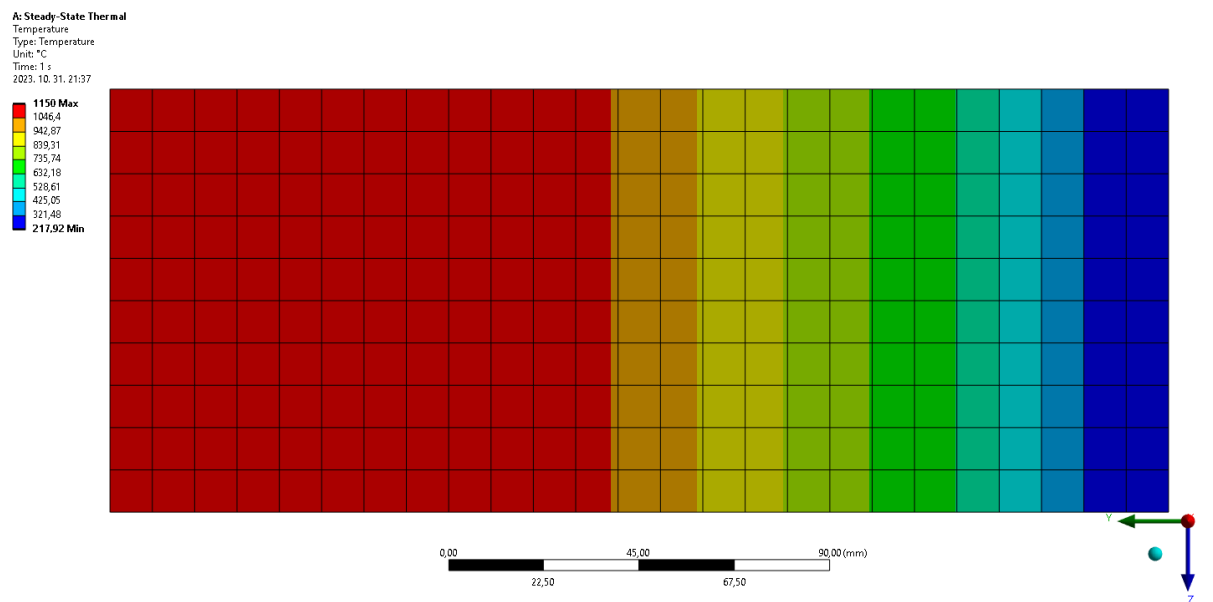
A fentiek alapján, ezért kétféle képen szimuláltam le a hőátadást, az egyiknél a falak párhuzamosak és egyenesek (7. ábra), még a másiknál párhuzamosak, de az alapsíkjuk görbék (8. ábra), mindkét esetben más-más eredményeket kaptam.

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 (6. ábra).

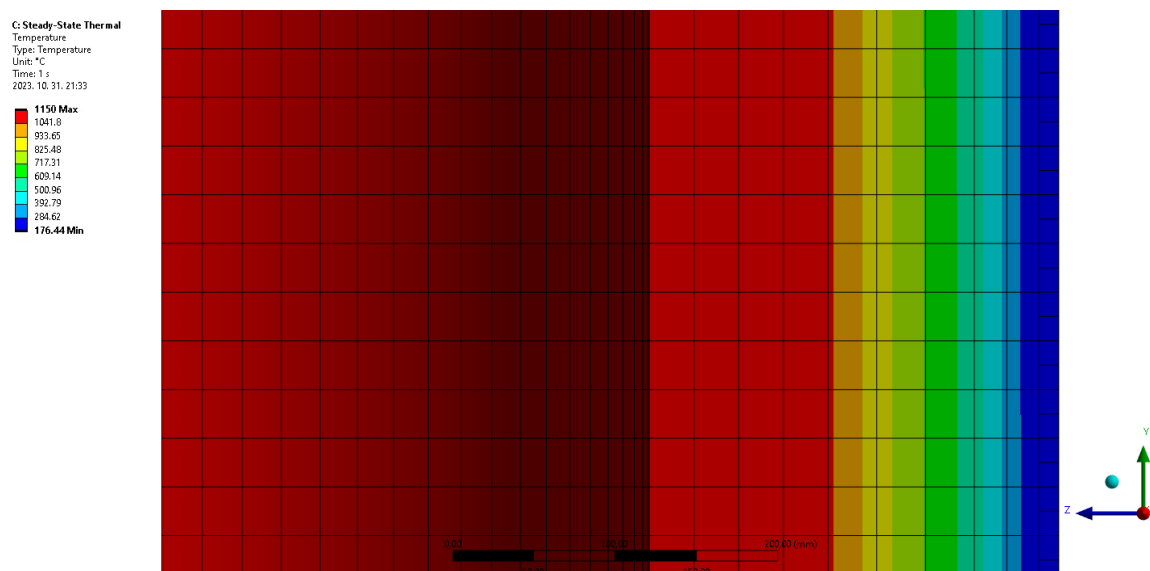


6. ábra hővezetési tényezők megadása az Ansysban

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.



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



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

3 Végeelem vizsgálat

A 6. és 7. ábrából kiindulva, tehát az egyenes alapvonalú elemeknél, a belső hőmérséklet 218 [C°] még a görbe alapú elemeknél 176 [C°] adódott.

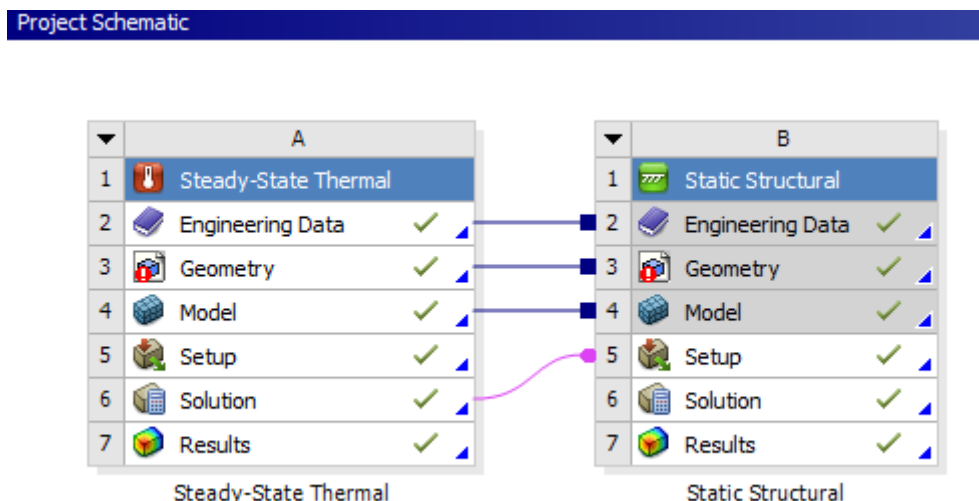
Az elemzést kétféleképpen készítettem el a füstelvezető rendszeren, az első elemzés során bonded (kötött) kapcsolatot alkalmaztam, ahol az elemek közvetlen kapcsolódnak egymáshoz, míg a másik elemzés már beam kapcsolattal történt, ami már a valós csavarkötéseket adja vissza. Az alap 3D-s modellek mindkét 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 szerkezetéről volt információgyűjtés.

3.1 Vizsgálat „bonded” kapcsolattal

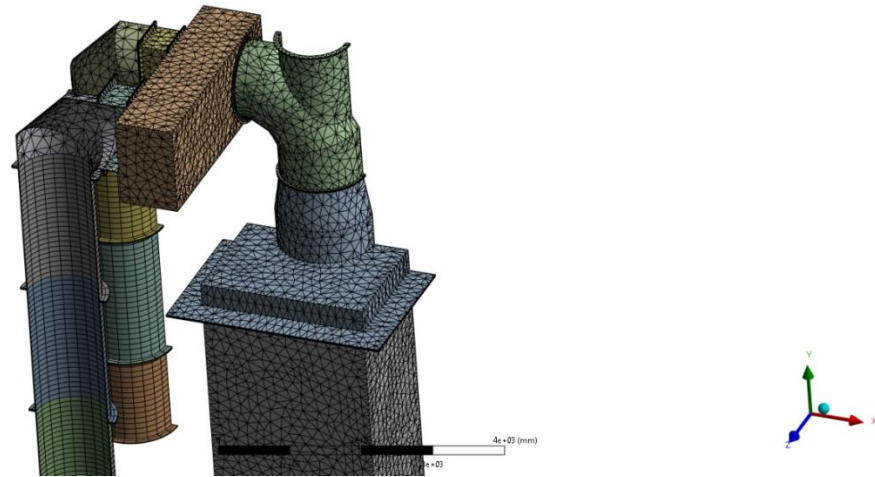
A vizsgálat során a feszültség, illetve a deformáció elemzésében, szekvenciális terhelésátvitelt alkalmaztam két lépésben (9. ábra). Az első egy hőtani elemzés, amelyet az Steady State Thermal opciójával készült, ahol az acélszerkezeten a hő indukálta változását vizsgáltam. Itt kerültek integrálásra 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 (14. és 15. ábra).



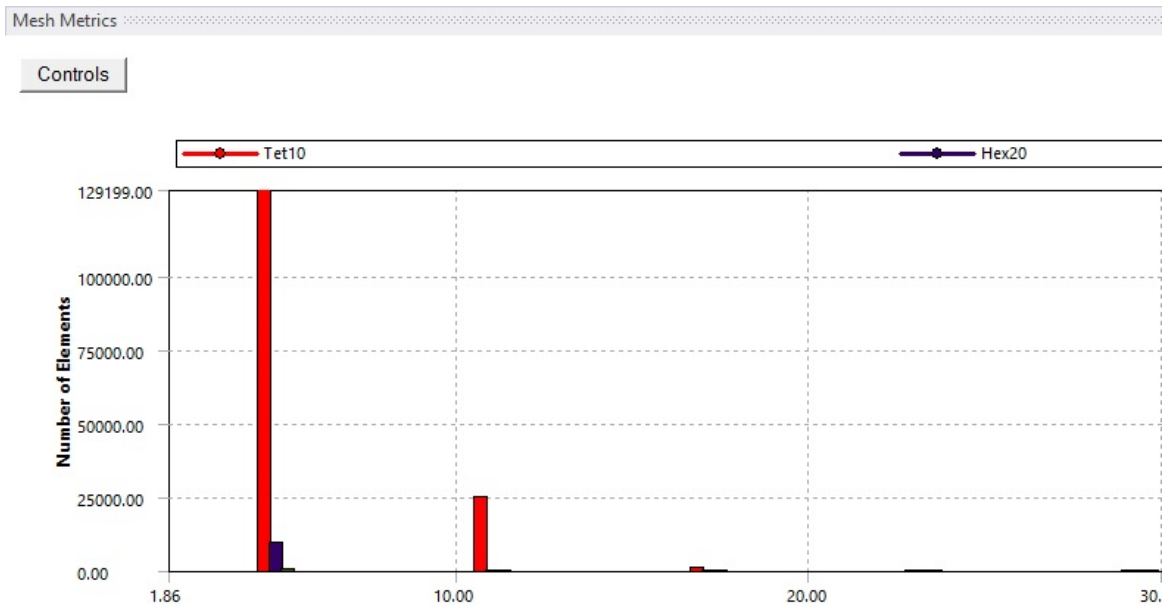
9. ábra a vizsgálat sematikus ábrája a szekvenciális terhelésátvitelhez

Figyelembe véve az összeállított berendezés nagyságát, az elem méreteket 70 mm-re állítottam (3. ábra), ettől kisebb méret nem volt indokolt. Nagyobb méret esetén, pedig nem lett volna arányos és jól látható a különböző elemeken megfigyelhető változás (10. ábra).



10. ábra behálózott berendezés

A háló fajtáján nem változtattam, az alap program vezérelt funkció futott így az egyaránt tartalmaz tetraéder, illetve hexaédereket elemeket is, melyek eloszlása a 10. 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%.

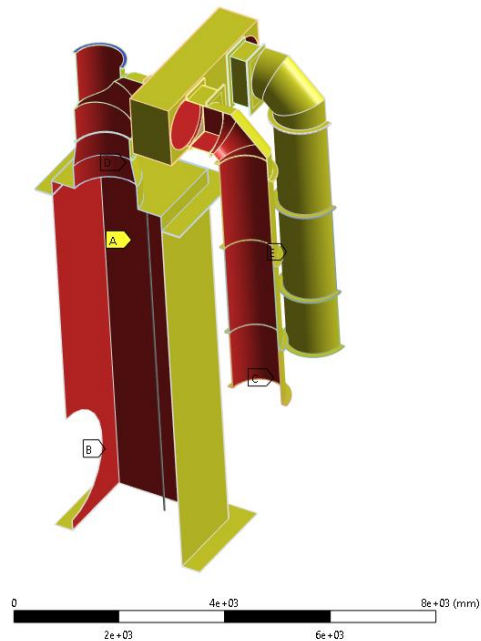


11. ábra a tetraédes és a hexaédes elemek eloszlása

A 12. 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

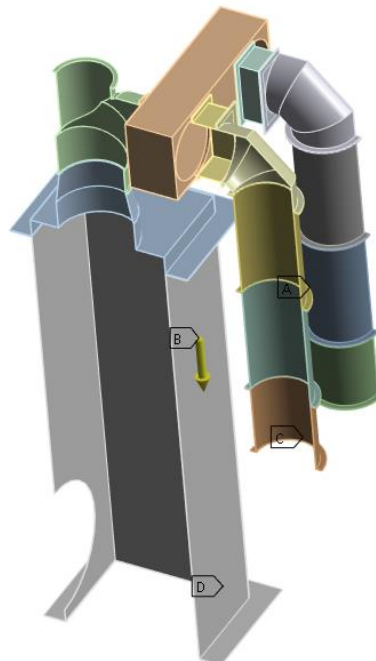


12. ábra a termikus analízis során megadott hőhatások

A következő lépésben (13. 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 füstgázvezető csövek alján súrlódásmentes támasztás lett alkalmazva. Mivel gravitációs erő is fellép, ezért ez a fajta kényszer is integrálásra történt.

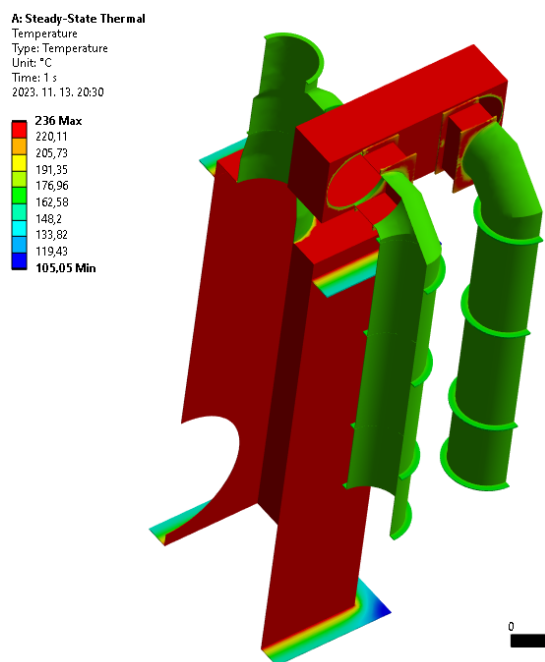
B: Static Structural
 Fixed Support
 Time: 2, s
 2023. 11. 01. 18:29

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



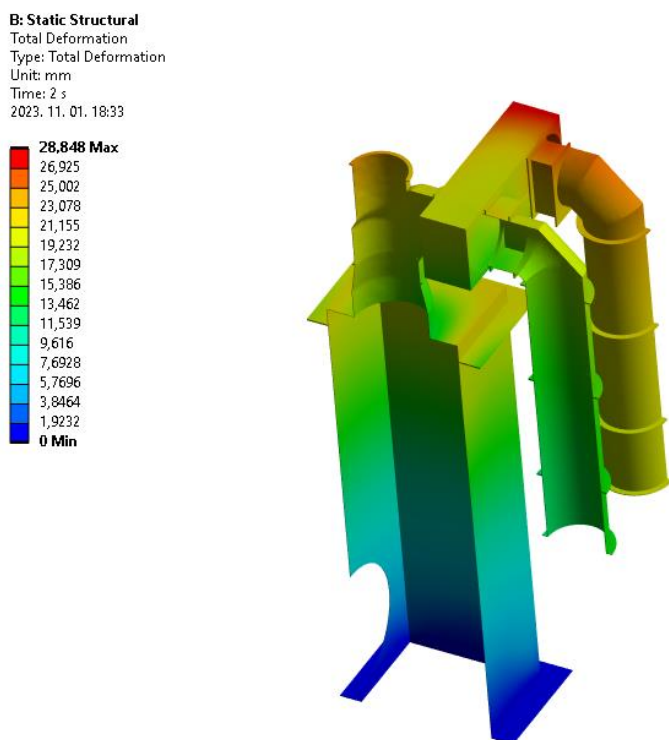
13. ábra a mechanikus analízis során megadott peremfeltételek és kényszerek.

Az így kapott termikus eredményeket a 14. ábra mutatja be, amiket a 8. ábra alapján, tovább importáltam. A mechanikus szerkezeti vizsgálat, eredményeit pedig az 15. ábrán kaptam meg, ahol a teljes deformációs kép látható, a 16. ábrán pedig, a feszültség eloszlása.



14. ábra hőmérsékleteloszlás

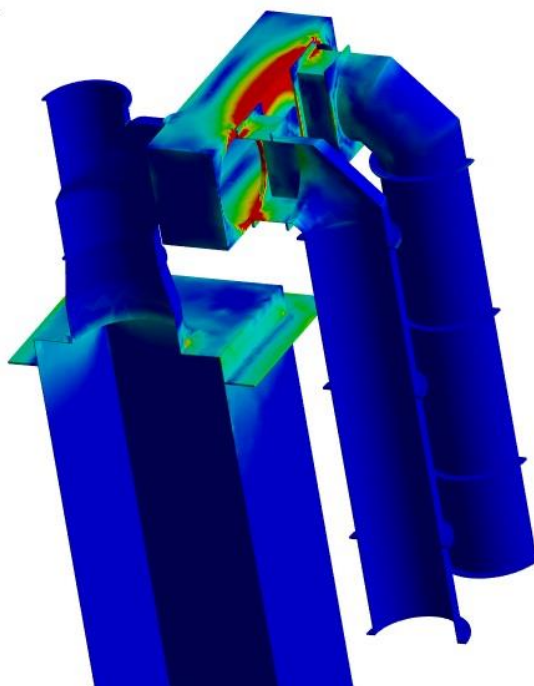
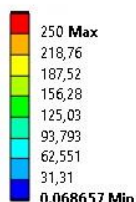
A numerikus elemzés eredményei azt mutatják, hogy a legnagyobb deformáció az elosztódoboznál lép fel, melynek nagysága 28,848 mm, de az alakváltozás már az alsó füstgázelvezető csövek, magasságában megkezdődik.



15. 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, füstgázelvezető 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.

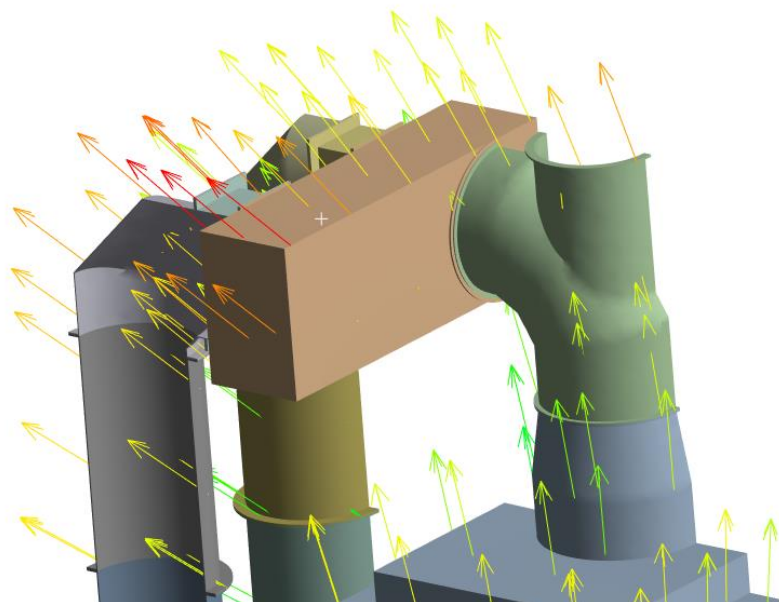
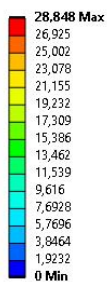
B: Static Structural
Equivalent Stress 2
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1 s
2023. 11. 01. 18:48



16. ábra feszültség eloszlás

Az 1. vizsgálat végén pedig, az erővektorok iránya látható (17. 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 vészkémény szimmetriájával. Ezért hajlító erő is fellép a húzó erő mellett.

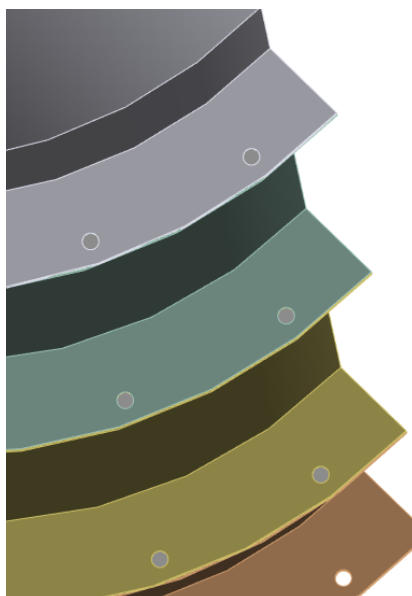
B: Static Structural
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 2 s
 2023. 11. 01. 19:17



17. ábra vektor ábra a teljes alakváltozás során

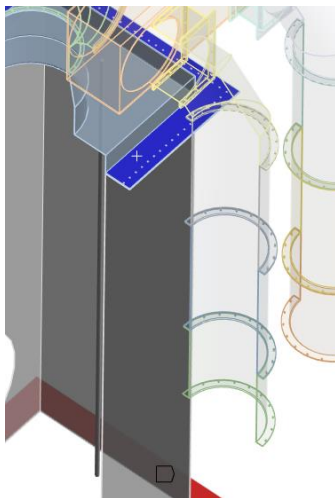
3.2 Vizsgálat „Beam” kapcsolattal

A második vizsgálat során az egyes elemeknél nem Bonded kontaktot (kötött érintkezés), hanem „beam” kapcsolatokat 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 (18. ábra), valamint az I-gerendákat (19. ábra) melyek az utóégetőt és a födémet rögzítik „beam” kapcsolattal helyettesítettem.



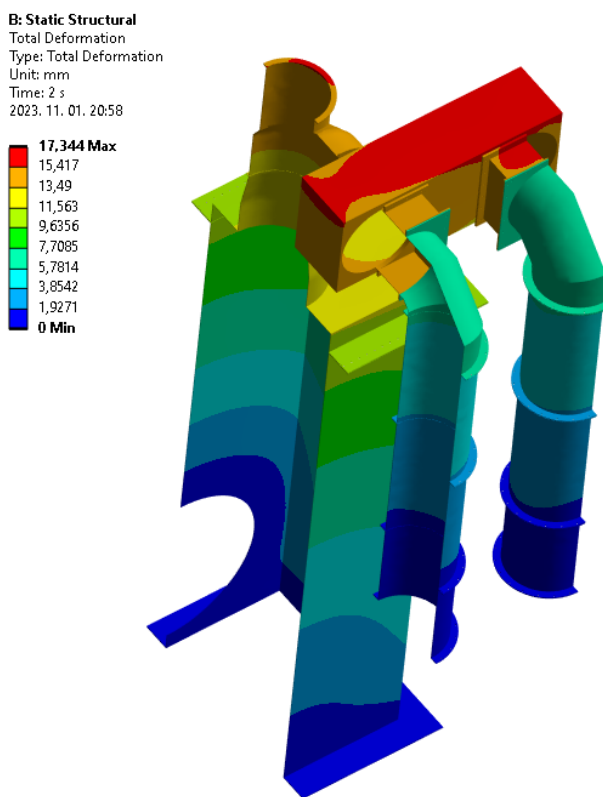
18. ábra „beam” elemek alkalmazása, csavarkötéseknél

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



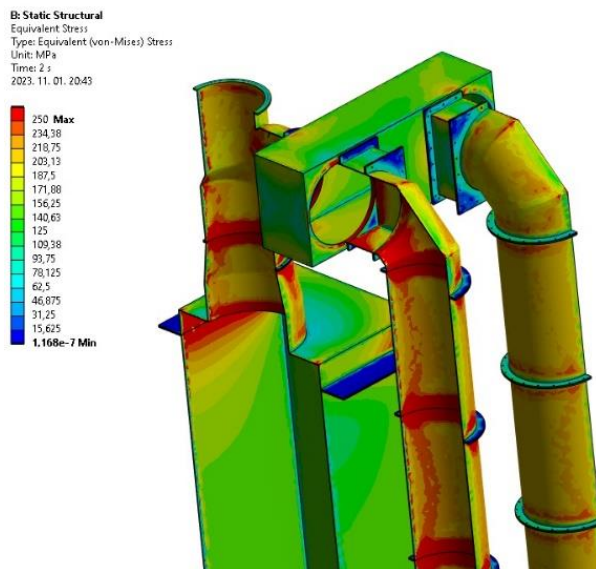
19. ábra „beam” elem alkalmazása I-gerendaként

Az így megkapott statikus szerkezeti modellek (20. 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.



20. ábra teljes alakváltozás beam elem alkalmazásával

A feszültségeloszlásnál (21. 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.



21. ábra feszültségváltozás „beam” elem alkalmazásával

3.3 Kazán vizsgálata

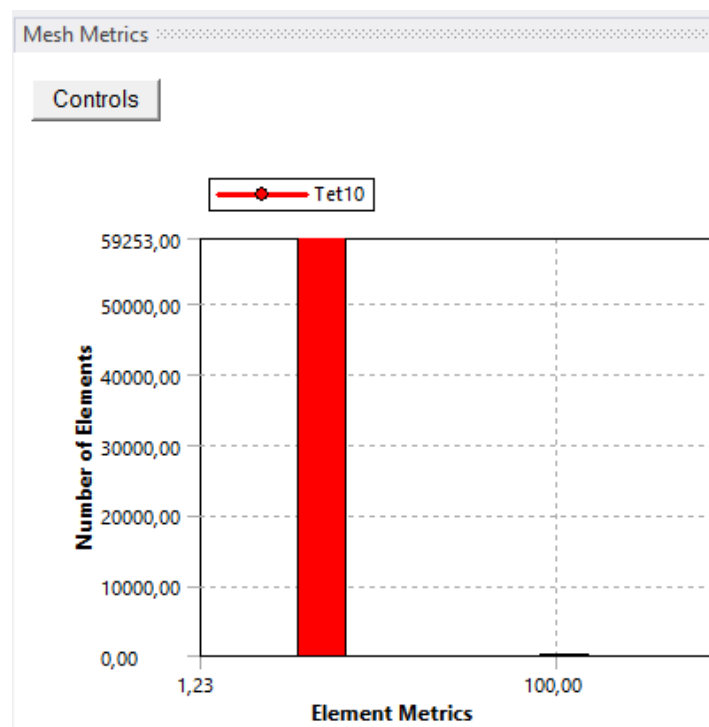
A másik feltételezés a deformáció kialakulására a kazán által indukált nyomás. Mivel a klasszikus lángcsöves kazánokkal ellentétben, nem fektetve vannak, hanem állítva lettek telepítve így egyedül csak a talplemezekon van teljese megtámasztás. A kazán modelljét külön készítettem el, hogy látható legyen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



22. behálózott kazán ábra

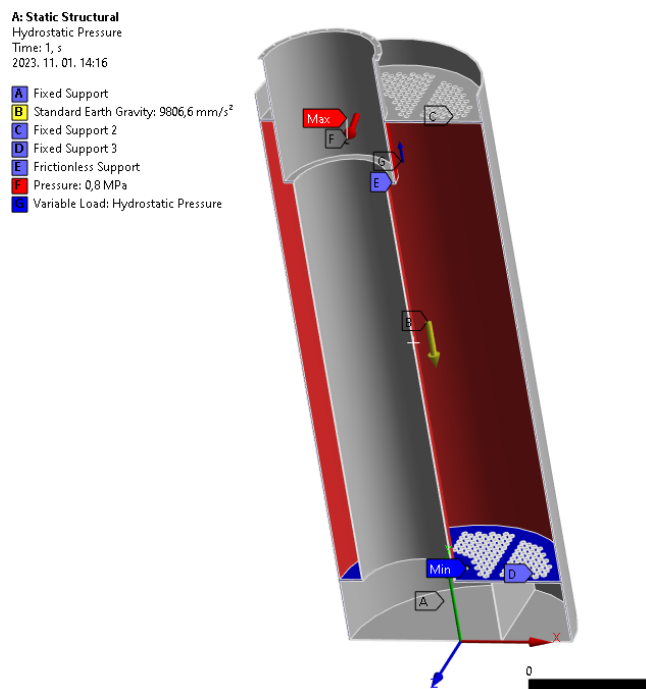
Ahogy az előző vizsgálatokban, itt is program vezérelt hálózást (22. ábra) alkalmaztam, az elem méretet a duplájára 140 mm-re növeltem, viszont itt már csak tetraéder elemeket kaptam, az elemszám pedig közel 60.000 lett (23. ábra).



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

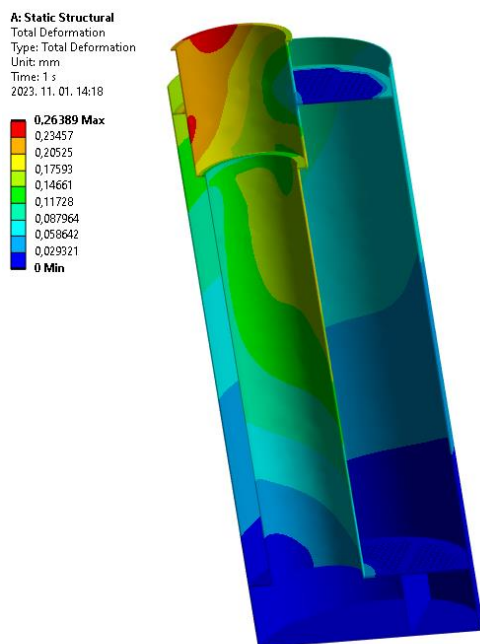
A 24. ábrán a statikus szerkezeti elemzés során alkalmazott terhelések, kényszerek és peremfeltételek kerülnek bemutatásra. Az elemek közötti kapcsolatok, hegesztési eljárással vannak létrehozva. A kazánnak nincs külön talapzata, amivel meg van emelve a betonlaptól. Az alsó talplemez az egyetlen felület, ahol felfekszik az alatta lévő betonlapra. 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.



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

A 25. 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.



25. ábra teljes alakváltozás

3. Eredmények, megállapítások

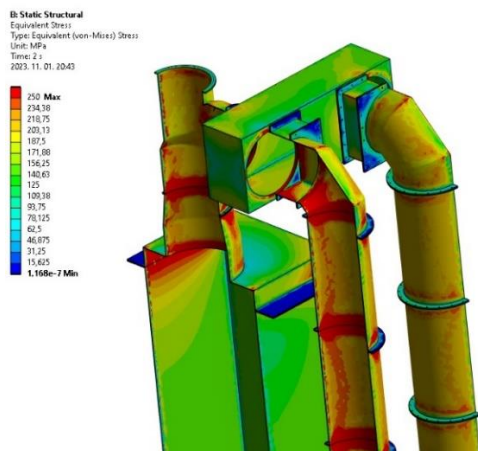
Mindkét numerikus vizsgálat kimutatta, hogy a legnagyobb deformáció a füstgázelosztódoboz felső lemezénél jön létre és a döntő tényező a termikus hatás. Ennek fő oka az, hogy a kazánban létrejövő nyomás nem fejt ki akkora erőt, amivel az ténylegesen befolyásolná a felette található alkatrészeket.

Ezen kívül kirajzolódik az is, hogy az elosztódoboz azon részén a legnagyobb az alakváltozás, ahol a kilépő csomak szimmetriasíkja nem egyezik a vészakéménykilépő csomak szimmetria síkjával (26. ábra), így nem csak húzó, de hajlító igénybevétel is keletkezik.

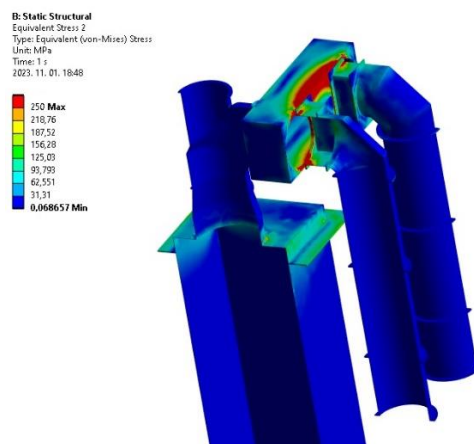


26. ábra elmozdulás szemléltetése az alakváltozás során

Az egyenértékű feszültség eloszlásnál (27. és 28. ábra) már lényeges különbség figyelhető meg a két modellezési megközelítéssel. Közel sem annyira koncentrált, mint a „bonded” kapcsolatnál, hanem szinte a teljes füstgázvezető szakaszoknál eloszlik.



27. ábra feszültség eloszlás beam kapcsolattal



28. 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.

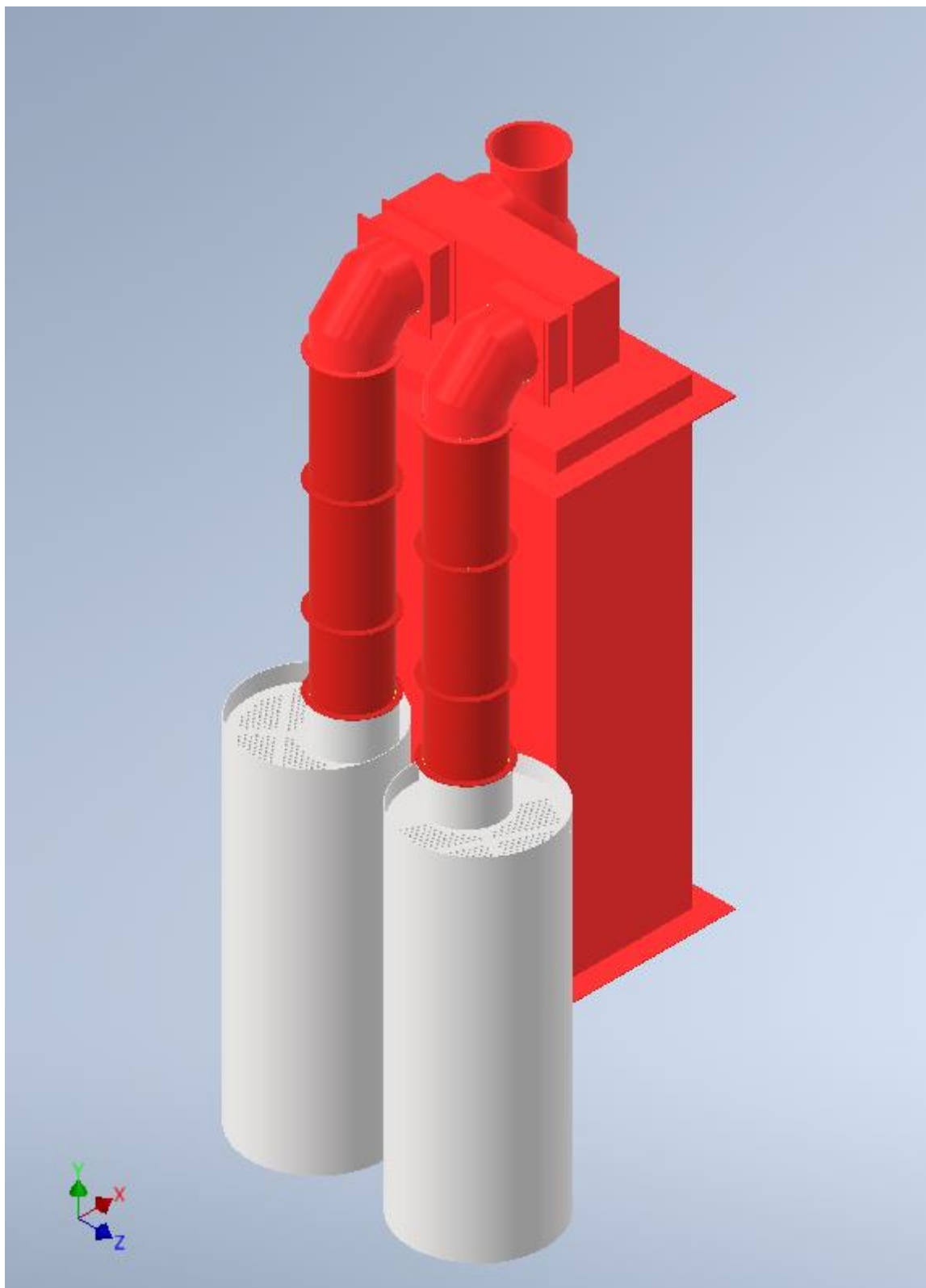
A felépítményt is figyelembe véve, pedig a kompenzátornak a legjobb helye az elosztódoboz belépő és a vészkémény kilépő részén lenne tekintve, hogy a terhelés ne húzza magával, az utóégető és a földem szerkezetét, melynek hatására az megrogyhatna, ezzel pedig a betonelemek károsodhatnak, melyek javítása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

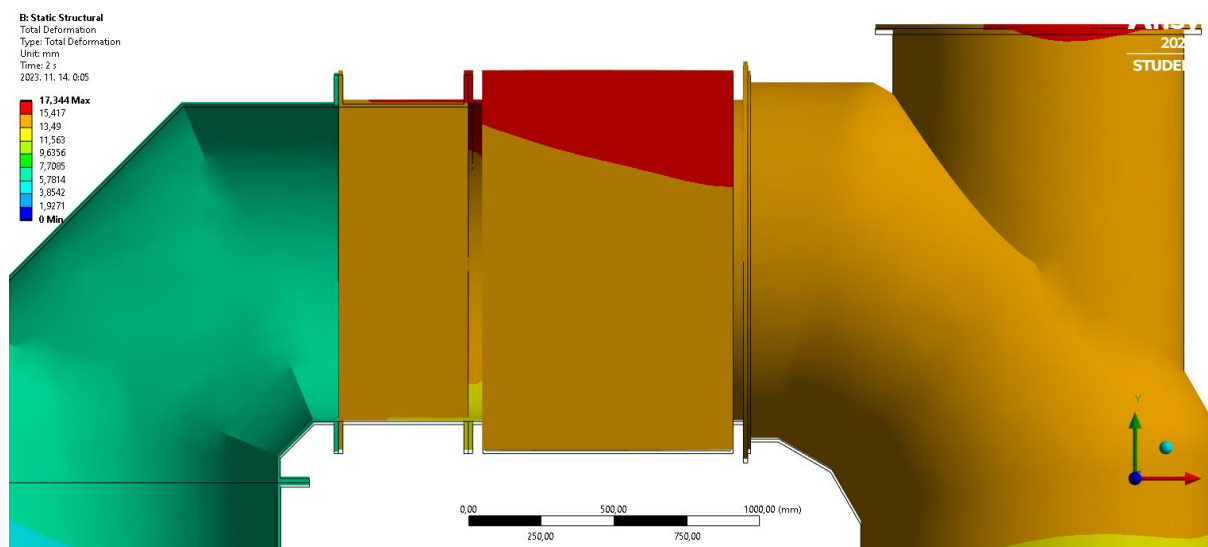
4 Irodalomjegyzék:

- [1] S. F. T. Z. B. Z. Dr. Szabó Ferenc János, Numerikus analízis, szimuláció, termékminősítés.
- [2] Végeselem módszerek - Dr. Tamás, Péter, Bojtos, Attila, Décsei-Paróczy, Annamária, és Dr. Fekete, Róbert Tamás
- [3] Molnár L., Halas J.:Szerkezetek számítógépes mechanikai analízise/ e-learning tananyag, „Felsőfokú CAE képzés” projekt keretében 2005
- [4] ANSYS Theory Reference ANSYS Inc, Canonsburg, PA 15317, USA.
/www.econengineering.com/
- [5] <https://www.nordikal.hu/letolt/epuletfizika.pdf>

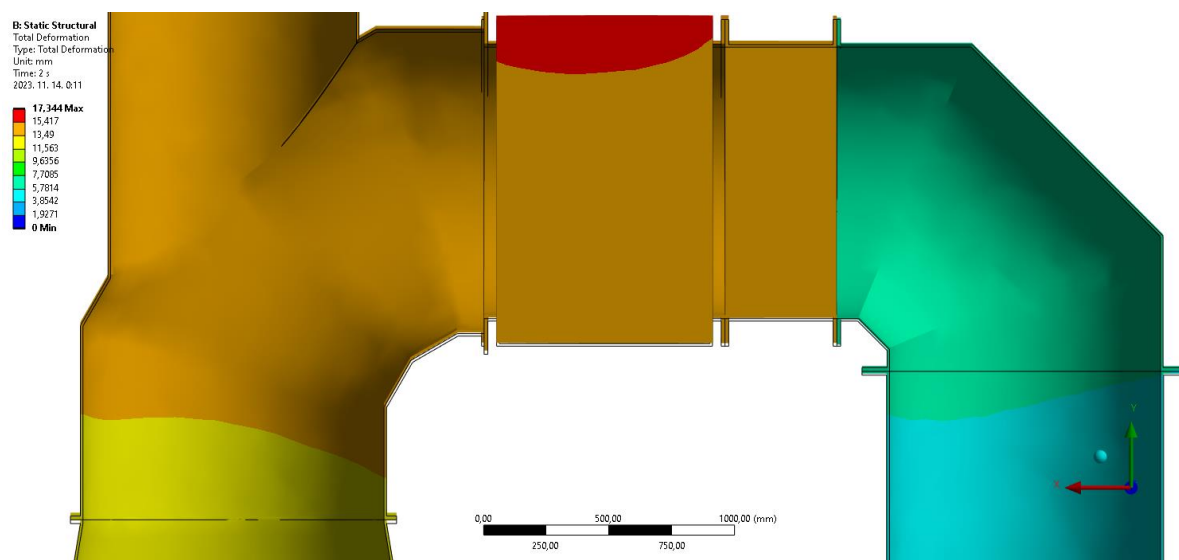
5 Mellékletek



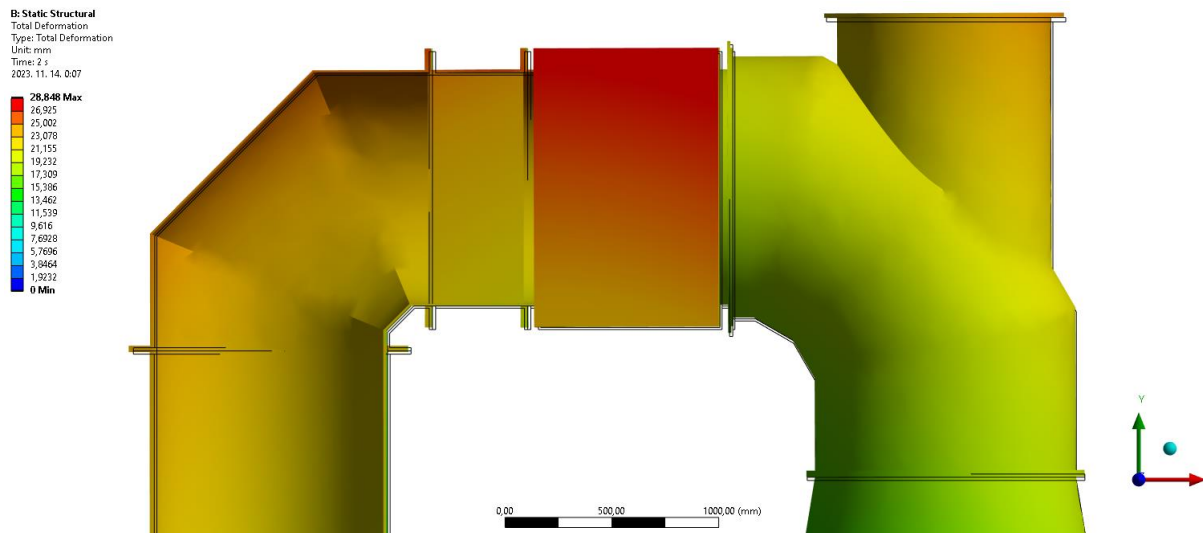
1. melléklet A berendezés teljes összeállítása az Autodesk Inventor Softwareban



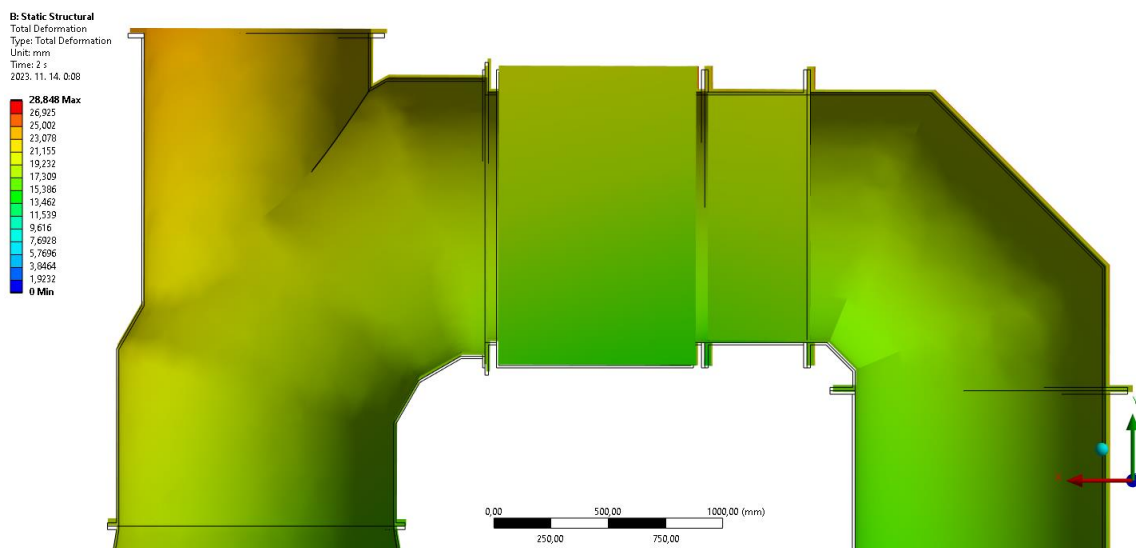
2. melléklet a legnagyobb deformáció létrejötte az eredeti állapothoz képest + Z irányból „beam” kapcsolattal



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



4. melléklet legnagyobb deformáció létrejötte az eredeti állapothoz képest + Z irányból „Bonded” kapcsolattal



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



6. melléklet a tartógerenda és a ráülő I-gerenda, összehasonlításképpen egy 10 milliméteres lemez van a hézagba helyezve