



MISKOLCI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

VÉGESELEM ANALÍZIS ALKALMAZÁSA SZERSZÁMGÉPEK STATIKUS MEREVSÉGVIZSGÁLATÁHOZ

NYERGES DÁVID

IV. éves Gépészmérnök BSc hallgató

Konzulensek:

DR. SZILÁGYI ATTILA

egyetemi docens

Miskolci Egyetem Szerszámgépek Tanszéke

DR. TAKÁCS GYÖRGY

egyetemi docens

Miskolci Egyetem Szerszámgépek Tanszéke

MISKOLCI EGYETEM, 2012

1. Tartalomjegyzék

1.	Tartalomjegyzék	2
2.	Bevezetés	3
3.	A végeselem-módszer kialakulása.....	4
3.1.	Egy valóságos szerkezet idealizált szerkezeti modelljének a kiválasztása.....	5
4.	A merevség fogalma.....	6
5.	Lemezhengerítő gép végeselemes vizsgálata	8
5.1.	Az eredeti szerkezet.....	11
5.1.1	Az eredeti szerkezet végeselem ábrái	12
5.2.	Külső merevítés	13
5.2.1	Külső merevítés végeselem ábrái	14
5.3.	Belső merevítés	15
5.3.1	Belső merevítés végeselem ábrái.....	16
5.4.	Kombinált merevítés	17
5.4.1	Kombinált merevítés végeselem ábrái.....	18
5.5.	A harmadik legjobb megoldásváltozat	19
5.5.1	A harmadik legjobb megoldásváltozat végeselem ábrái	20
5.6.	A megvalósított megoldásváltozat.....	21
5.6.1	A megvalósított megoldásváltozat végeselem ábrái.....	22
5.7.	Az általam legjobbnak ítélt megoldásváltozat.....	23
5.7.1	A legjobb megoldásváltozat végeselem ábrái	24
6.	Összegzés	25
7.	Felhasznált irodalom	26
8.	Képek forrása.....	26

2. Bevezetés

Nyári szakmai gyakorlatom során egy nagyméretű lemezhengető berendezés statikus merevségvizsgálatával foglalkoztam. Dolgozatomban ezt a munkát mutatom be röviden. A vizsgált berendezéssel nagyméretű nyomástartó edények lemezeinek megmunkálását lehet megvalósítani. Ezek a lemezek igen vastagok is lehetnek (>100 mm), így ezek megmunkálása során igen nagy terhelés éri a berendezést. Ennek következtében a berendezés vázszerkezete a több évtizedes üzemnek köszönhetően maradó alakváltozást szenvedett.

Feladatom elvégzése során ezt a maradó deformációt vizsgáltam meg végeselemes analízis alkalmazásával. Az említett nagy terhelések hatására a szerkezet elcsavarodott, elhajlott, illetve annak vezetéksíkjai behorpadtak. Feladatom során vizsgálatokat végeztem a szerkezet deformált felületének kijavítására, és javaslatokat tettem a vázszerkezet statikus merevségének növelésére. A statikus merevség növelhető a vázszerkezeten belül és azon kívül pótlólagosan elhelyezett merevítő lemezek segítségével. A merevítő lemezek elhelyezését a vázszerkezet vizsgált tartományában meghatározott legnagyobb elmozdulások helyei határozták meg.

Dolgozatom megírása során törekedtem a berendezésen végzett javítási és szerkezetmerekítési megoldásvázlatok széleskörű bemutatására. Elsőként az eredeti vázszerkezet szilárdságtani vizsgálatát végeztem el, ezek után a különböző megoldásváltozatok deformált állapotát hasonlítottam össze az eredetivel, és az összehasonlítás alapján rangsorolva, a feltárt megoldásváltozatokat, kiválasztottam a legjobbat.

Feladatom során NX 7.5 modellező szoftver, valamint Pro/MECHANICA végeselem program segítségével végeztem vizsgálatokat az említett szerkezeten.

3. A végeelem-módszer kialakulása [1]

A mérnöki gyakorlatban jelentkező szerkezetek nagy része rugalmas anyagból készül, s a terhelés bizonyos intervallumában lineárisan viselkedik. A klasszikus rugalmasságtan számos módszert dolgozott ki a homogén, izotróp anyagok viselkedésének számítására. A rugalmas kontinuum (a test térfogata folytonosan anyaggal kitöltött) viselkedését leíró parciális differenciál-egyenletrendszer megoldását a vizsgált testekhez tartozó peremfeltételek különbözősége nagymértékben megnehezíti. Nem sikerült – és nem is sikerülhetett – általános, bármilyen feladat megoldására alkalmas, pontos (egzakt) megoldást adó módszert kidolgozni. Sok esetben a mérnöki gyakorlat is megelégedett a közelítő megoldásokkal. A századunk elején kidolgozott variációs elvek (Rayleigh, Ritz, Timoshenko, Bubnov-Galjorkin), majd a későbbiekben kifejlesztett más (Kantorovics, Reissner stb.) elvek már lehetővé tették az olyan feladatok közelítő megoldását is - a mérnöki gyakorlatot kielégítő pontossággal - amelyek korábban nem voltak elérhetők, megoldhatók.

A digitális számítógépek megjelenése, majd az 1964-ben megszülető BASIC programozási nyelv, stb. gyökeresen megváltoztatták és kiszélesítették a feladatok megoldhatóságának körét.

Az elmúlt ötven évben a módszer látványos fejlődésének vagyunk szemtanúi. A 60-as évekre a rugalmasságtani feladatainak megoldását szolgáló elemcsaládok kifejlesztése, sokoldalú modellezési lehetőséget nyújtó végeelem-programok (ASKA, NASTRAN, SAP) megjelenése a jellemző. A CAD rendszerekkel összekapcsolt végeelemes rendszerek alakulnak ki az 1980-as években, amelyeknek a fejlődése mind a mai napig tart (CATIA, Pro/Engineer, Pro/MECHANIKA, I-DEAS stb.). A kapcsolt feladatok (szilárdságtani, hőtani, áramlástani, villamosságtani stb.) megoldására szolgáló programok nyernek kidolgozást 1990-es évek óta (FLUENT, ProCast stb.).

A széleskörű kutatások eredményeképpen a végeelem-módszer már ma is hatékony eszközként áll a mérnökök rendelkezésére, amennyiben mechanikai ismereteire alapozva képesek az eredményeket helyesen értékelni. A közeljövőben pedig az adaptációs rendszerek kifejlesztésével olyan sokrétű rendszerek jönnek majd létre, amelyekkel a mechanikai modell megalkotása után, a számítógépi program felügyelete mellett, megbízhatónak tekinthető eredményeket lehet nyerni.

3.1. Egy valóságos szerkezet idealizált szerkezeti modelljének a kiválasztása [2]

Egy valóságos szerkezet általában különböző, folytonos anyagú, gyakran szabálytalan kontúrú részek kapcsolatából áll, amelyet még sok diszkrét szerkezeti sajátosság teszi igen bonyolulttá, mint pl. diszkontinuitások, megerősítések, csuklók, egyoldalú kapcsolatok stb. A VEM-nek éppen az a nagy előnye, hogy a geometria, illetve a terhelés megtámasztás bonyolultsága nem okoz különösebb elvi nehézséget. Azonban, a VEM-mel történő szerkezeti analízis csak akkor tekinthető sikeresnek, ha a modell megfelelően képes jellemezni a szerkezet fizikai állapotát. Ezért az elemek kiválasztásánál fontos szempont hogy az elemek geometriája (amennyiben csak lehet) hűen kövesse az egyes alkatrészek geometriáját, másrészt a szerkezeti részek mechanikai modellje helyesen legyen definiálva. Ennek a kíváncsúnak a teljesítése azt is jelenti, hogy egy feladaton belül többfajta elemet lehet használni.

4. A merevség fogalma [3]

A megmunkálás során fellépő erők, melyek egy része a megmunkálásból, más része a járulékos mozgásokból ered, deformálják a szerszámgépet. A vizsgálatokat, méréseket úgy kell tervezni, hogy a munkadarab, a szerszám és a készülék hatásai elhanyagolhatóak legyenek. A deformáció a megmunkálás során változik, minél kisebb a megmunkálás során fellépő deformáció, annál nagyobb pontosságú munkadarab állítható elő a szerszámgépen.

A szerszámgépek megítélésére a deformáció képességét vezették be, és ezt merevségnek nevezték el. A merevség legáltalánosabban a következőképpen fogalmazható meg:

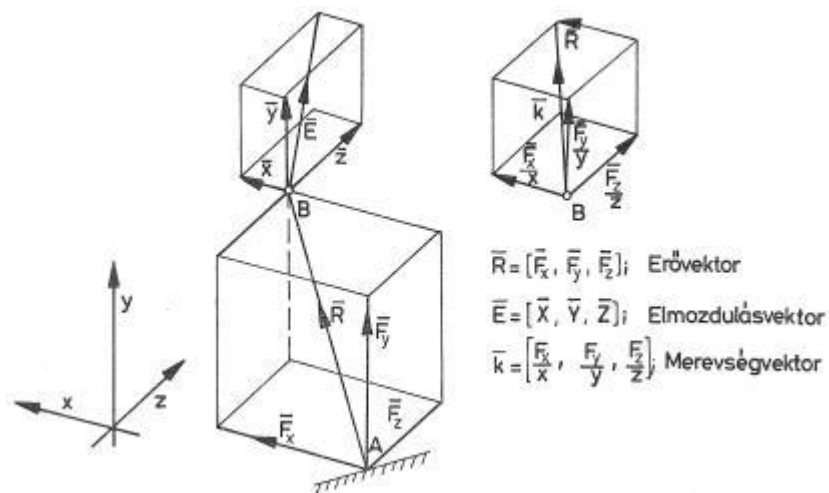
$$\text{merevség} = \frac{\text{igénybevétel}}{\text{alakváltozás}}, \quad k(t) = \frac{F(t)}{y(t)} \text{ időfüggvényként.}$$

Merevség az egységnyi alakváltozást (deformációt) létrehozó igénybevétel. Lehet:

$$\text{statikus merevség} = \frac{\text{statikus erő}}{\text{deformáció}} \quad \frac{N}{\mu m'}$$

amely azt fejezi ki, hogy mekkora erő hoz létre 1 μm elmozdulást.

Egy vektort négy jellemzője határoz meg: iránya, értelme, abszolút értéke (nagysága) és támadáspontja. Tehát a merevség is tekinthető vektornak, ha az erő- és az elmozdulás támadáspontja egybeesik. Vagyis a merevség definiálható, mint elmozdulás-egységvektor létrehozásához szükséges erővektor. (1. ábra)



1. ábra
A merevség fogalmának értelmezése

A merevség vagy a merevségvektor adott terhelési állapotnál – attól függően, hogy a teherviselő lánc milyen elemeket tartalmaz – az idő függvényében változhat. Azonkívül a terhelés nagysága is befolyásolhatja a merevséget. Szerszámgépek esetében általában a merevség időtől való függése nem játszik lényeges szerepet és a nemlineáris viselkedést is csak néhány speciális esetben kell vizsgálni. Így bevezettek a merevségre egy általános fogalmat, amely lehetővé teszi a gépek korrekt összehasonlítását. Ez a fogalom a merevségi tényező, amely megegyezik a merevség fogalmával, azzal a különbséggel, hogy általában a gép főkoordinátái irányában határozzák meg.

A szerszámgép több egymással kapcsolódó részegységekből áll, amelyeket szilárd vagy mozgó illesztések kötnek össze betöltött szerepük szerint. A kiválasztott pont elmozdulása a következőkből adódhat:

- az egyes alkatrészek rugalmas alakváltozásából;
- az érintkező felületek deformációiból;
- hézagváltozásokból.

A rugalmas alakváltozás lineáris, a kontakt deformáció exponenciális, és a hézagváltozásokból adódó elmozdulás közel lineáris formában írható le. Az itt elmondottakból következik az előzőekben már megállapított tény, hogy a szerszámgép, mint összetett rendszer deformációja és a hatóerők közötti kapcsolat nem lineáris.

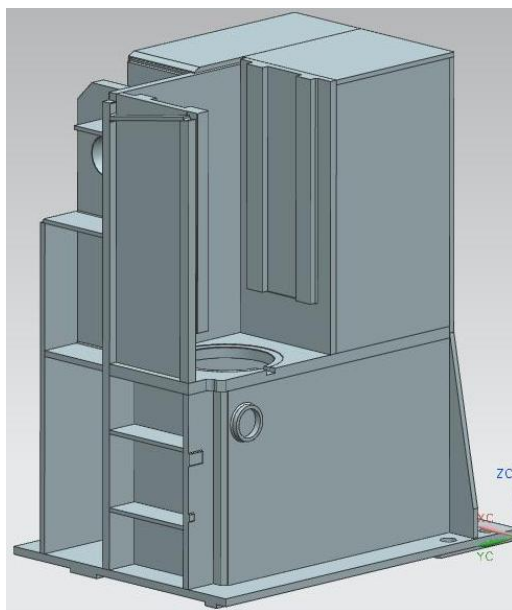
A szerszámgépek statikus merevségét

- számítással, analitikai úton, vagy
- méréssel lehet meghatározni.

A statikus merevség számítással való meghatározása, a matematikai modell felállítására többféle módszer áll rendelkezésre. A legelterjedtebben és talán legjobb közelítéssel a végeselemes számítási módszert alkalmazzák.

5. Lemezhengerítő gép végeselemes vizsgálata

Elsőként a vizsgált vázszerkezet geometriai modelljét készítettem el NX 7.5 3D-s CAD szoftver segítségével. Mivel a konstrukció mellett a kényszerek, valamint a hengerítésből adódó terhelések is tükör szimmetrikusnak tételezhető fel, így elég volt a vizsgált konstrukciónak csak az egyik felét felmodellezni. Így jelentősen csökkenthető a számítási idő, ezáltal időegység alatt dupla annyi modellváltozat is elkészíthető. A lemezhengerítő berendezés vázszerkezete hegesztett lemezekből épül fel. Ezért a geometriai modell megalkotása során a lemezfelületek találkozásának élei mentén – ahol szükségesnek ítéltam (pl. nagy mechanikai feszültséggel bíró helyek) – hegesztési varratot is figyelembe vettem. Egyébként a hegesztési varrat mérete a konstrukció egyéb – például befoglaló – méreteihez képest igen kicsi, és túlzott figyelembevétel esetén a végeselemes háló fölöslegesen sok elemet tartalmazna, ami a számítási idő jelentős növekedését eredményezné. A modellalkotás során elkészítettem a vázszerkezet minden egyes lemezalkatrészének 3D-s CAD modelljét, majd ezek alapján előállítottam a vizsgálatba vont konstrukció összeállítási modelljét.



2. ábra
Az eredeti szerkezet összeállítási modellje

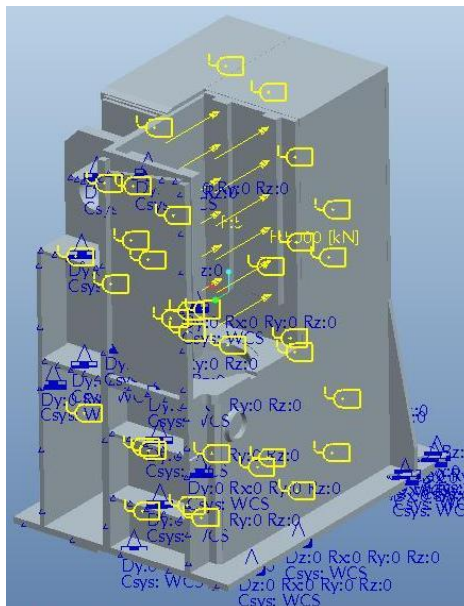
A továbbiakban ennek a modellnek a szilárdságtani állapotát vizsgáltam a Pro/MECHANICA végeselem szoftver segítségével.

Elsőként definiáltam a modell anyagjellemzőit: rugalmassági modulusz, Poisson-tényező.

Rugalmassági modulusz: $E = 2 \cdot 10^5 \text{ MPa}$

Poisson-tényező: $\mu = 0,27$

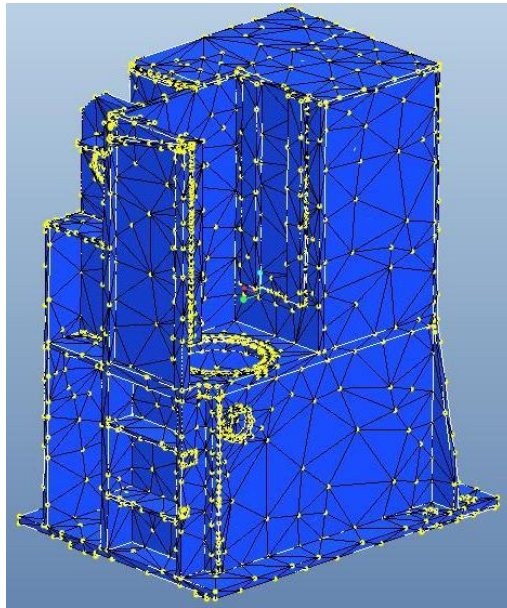
Mivel a vázszerkezet anyaga acél, ezért a szoftver beépített alapanyagkönyvtárából egy ehhez hasonló tulajdonságú acélanyagot választottam ki.



3. ábra
Az eredeti szerkezet mechanikai modellje

Ezek után definiáltam a modell megfogási peremfeltételeit. A vizsgált szerkezet egy alaplemezen keresztül érintkezik a talajjal. Ezen a lemezen különböző, kisebb lemezek találhatók, amelyek biztosítják a berendezés biztosabb érintkezését a talajjal, illetve négy darab furat, melyek a szerkezet rögzítését szolgálják. Az első megfogást a talajjal érintkező lemezekon végeztem el, ahol a szerkezet „xy” irányú elmozdulását szabadon hagytam, „z” irányú elmozdulását rögzítettem (3. ábra). A második megfogást az alaplemezen lévő furatokon végeztem, ahol a szerkezet „xy” irányú elmozdulását rögzítettem, „z” irányba viszont elmozdulhat a berendezés. A harmadik megfogás a szerkezet szimmetriája miatt kellett elhelyezni. A szimmetriasíokban elhelyezkedő összes lemezfelület elmozdulására kényszereket írtam elő: ezek a felületek „xz” irányokban elmozdulhatnak, de „y” irányban nem (3. ábra). Ezek után a berendezésre ható terhelőerőt helyeztem el a modellen. A berendezést jelentős terhelés érheti a megmunkálás során. Előzetes számítások alapján feltételeztem, hogy ennek maximális értéke az 5000kN-t is elérheti. Ez a terhelés a vezetékek felületén fejt ki hatását. Definiáltam továbbá a terhelés irányát, amely „y” tengely negatív irányba mutat (3. ábra).

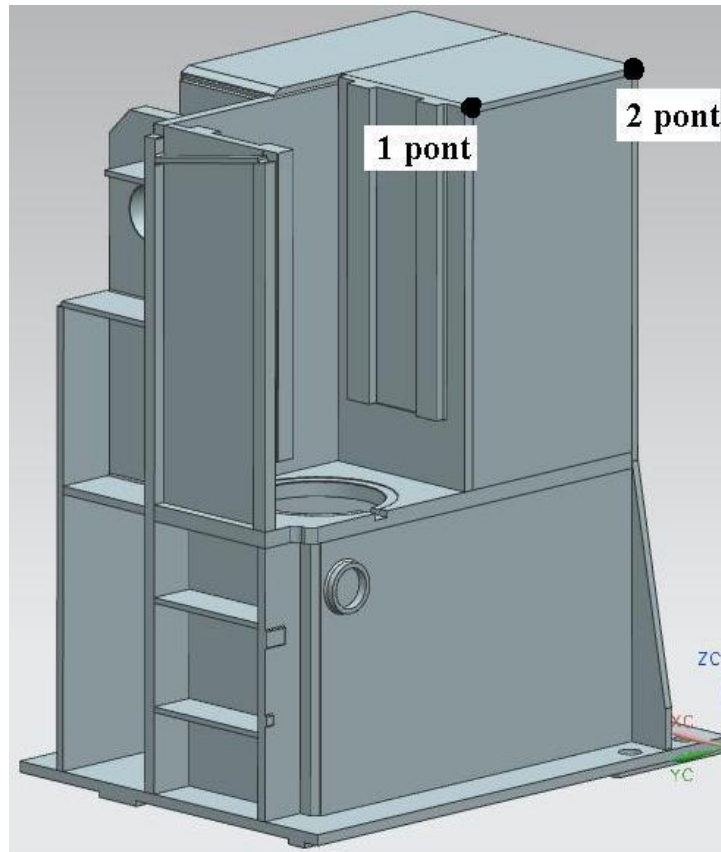
Ezt követően előállítottam a modell végelem hálóját. Az eredeti vázszerkezet modelljének behálózása után több mint 13000 elemet kaptam, míg az általam legjobb változatnak ítélt modell végelem hálója több mint 23000 tetraéder elemet tartalmazott (4. ábra).



4. ábra
Az eredeti szerkezet végelem hálója

Az első szilárdságtani szimulációt az eredeti szerkezeten futtattam le, majd ezt követően a különböző megoldásváltozatokra. Összesen 28 különböző megoldásváltozatot vizsgáltam meg. Ezek a megoldásváltozatok három csoportba sorolhatók: csak belső, csak külső, illetve belső és külső merevítő elemet egyaránt tartalmazó változatok. A továbbiakban jellegzetes megoldásváltozatok geometriai, valamint szilárdságtani modelljeit, illetve a számítások eredményeit mutatom be.

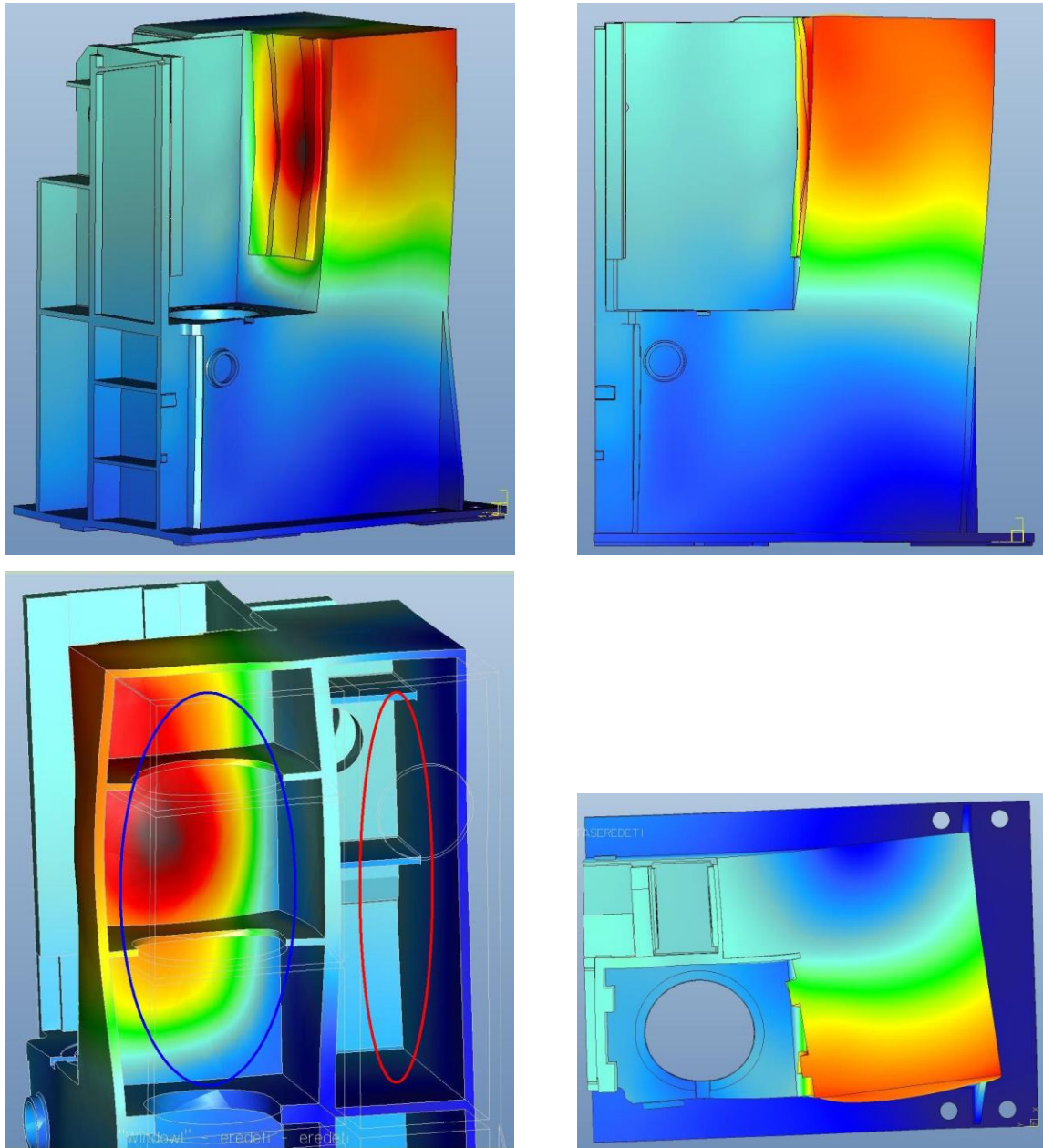
5.1. Az eredeti szerkezet



5. ábra
Lemezhengerítő gép állványzata

Az 5. ábrán látható a lemezhengerítő gép eredeti állványzata. A vizsgálatok során három jellemző értéket vettem figyelembe. Az első érték, a szánszerkezet horpadási mélységét mutatja, a többi, vagyis az „1 pont” és „2 pont” pedig a jelölt pontok elmozdulásait. A két jelölt pontban, valamint a vezetékek síkjában meghatároztam az elmozdulás értékeket, ugyanezeket az értékeket a többi megoldásváltozatnál is kiszámoltam, majd százalékos eltérés segítségével ítélt meg, hogy az egyes megoldásváltozatok mennyivel merevebbek, esetleg kevésbé merevebbek, min az eredeti konstrukció. A szerkezetet 5000kN (500t) erővel lett megterhelve. A lenti ábrákon jól látható, hogy a szerkezet mind horpadásra, és mind elcsavarodásra és kihajlásra nagy alakváltozást szenved.

5.1.1 Az eredeti szerkezet végeselem ábrái



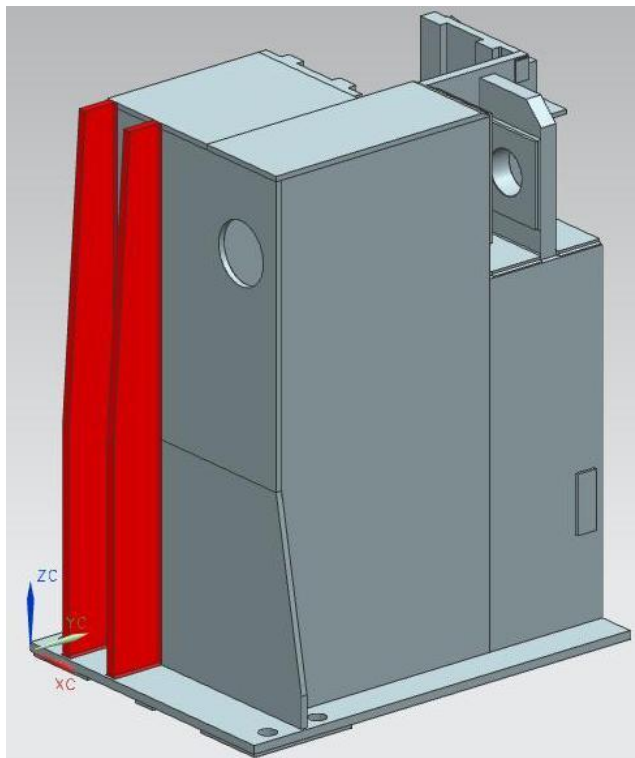
6. ábra

A vizsgált megoldásváltozat deformált alakja különböző nézetekben, illetve CT-technikával megjelenítve

Ahogy a 6. ábra bal alsó képén is látható, a toronyban a vezetékek mögötti „kamrában” elhelyezett merevítések jelentős mértékben eldeformálódtak, ebből a terhelésből kifolyólag a szerkezet váza horpadást szenvedett el. Ezalatt a deformálódott kamra melletti másik elhatárolt terület a merevítések hiánya miatt, szintén eltorzult.

A továbbiakban különböző külső és belső és ezek kombinációjából álló merevítésekkel egészítettem ki a szerkezetet, és ezeken a merevített szerkezeteken végeztem szilárdságtani számításokat.

5.2. Külső merevítés



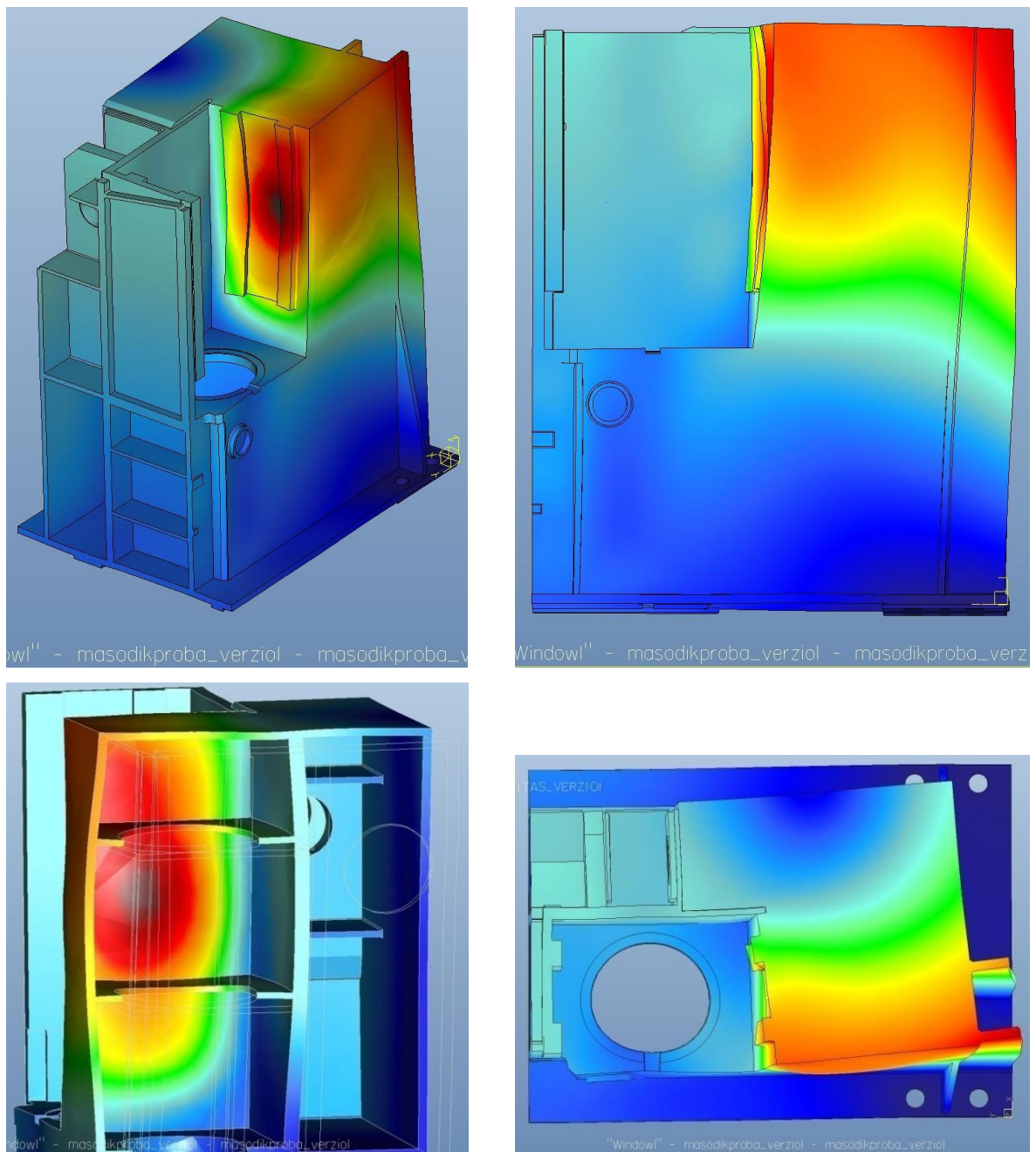
7. ábra
Külső merevítés

Javulás mértéke a horpadásnál	[%]	3,468
Javulás mértéke az 1 pontnál	[%]	6,478
Javulás mértéke a 2 pontnál	[%]	1,817

1. Táblázat
Szerkezet javulásának mértéke

Ennél a változatnál a szerkezetet csak külső merevítéssel lett ellátva a fenti ábra alapján. Ekkor ugyanis – amennyiben ez a fajta merevítés jelentős mértékben növeli a vázszerkezet merevségét – elkerülhető a teljes szerkezet megbontása. A szerkezet 2db függőleges elhelyezkedésű 40mm vastag bordával lett megerősítve. Ez a megerősítés a szerkezeten, mind horpadásnál, mind kihajlásnál és elcsavarodásnál is jelentéktelen mértékű javulást eredményezett.

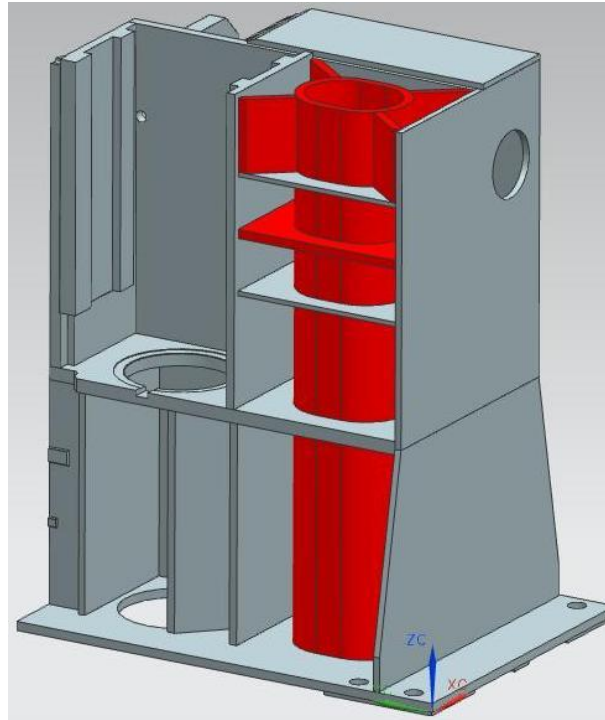
5.2.1 Külső merevítés végeselem ábrái



8. ábra

A vizsgált megoldásváltozat deformált alakja különböző nézetekben, illetve CT-technikával megjelenítve

5.3. Belső merevítés



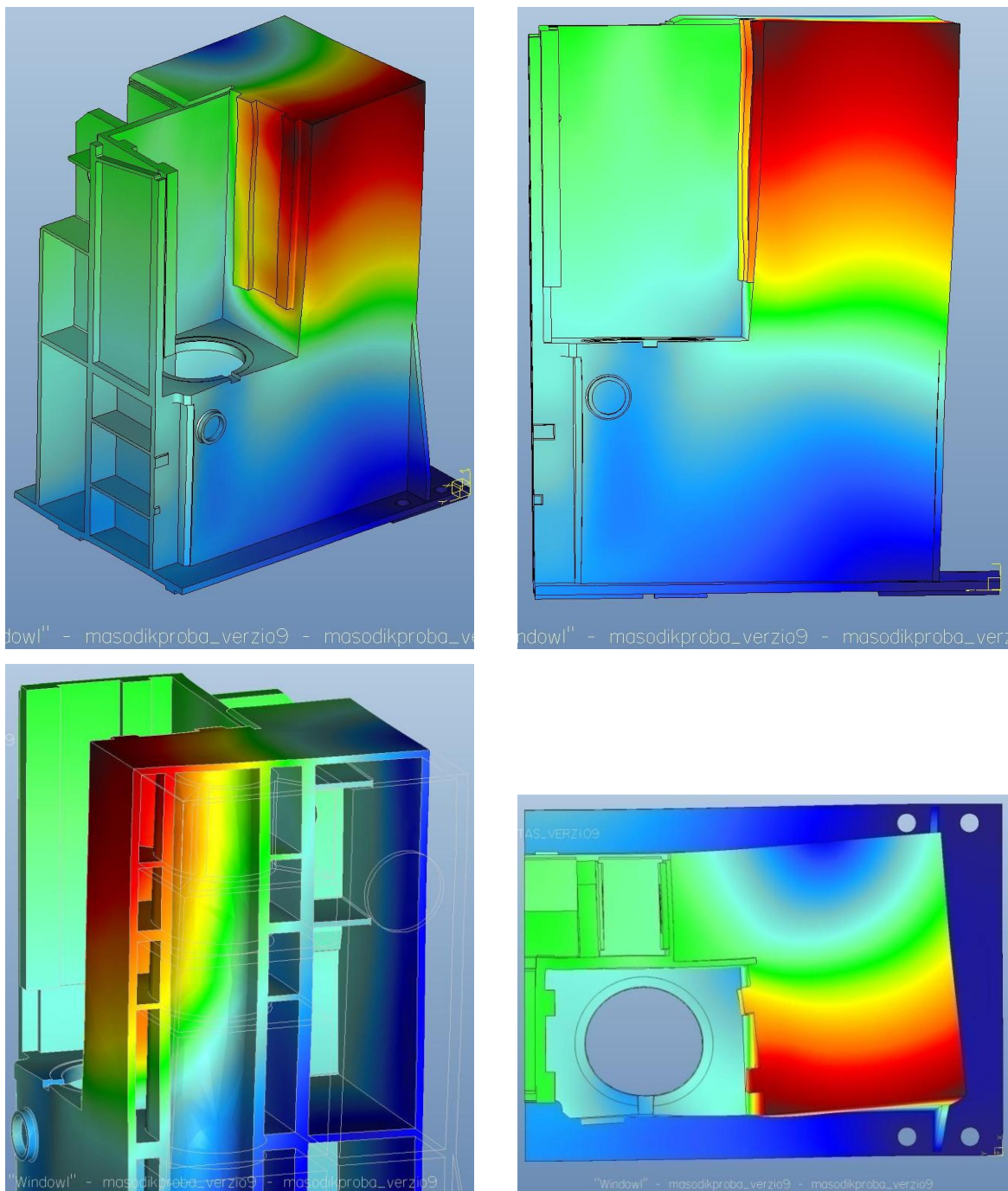
9. ábra
Belső merevítés

Javulás mértéke a horpadásnál	[%]	27,514
Javulás mértéke az 1 pontnál	[%]	7,560
Javulás mértéke a 2 pontnál	[%]	8,886

2. Táblázat
Szerkezet javulásának mértéke

Ennél a változatnál a szerkezetet csak belső merevítéssel láttam el a fenti (9. ábra) ábrának megfelelően. A szerkezet megerősítésekor a szánszerkezet mögötti részben egy 40mm vastagságú ovális cső lett behelyezve, amely közepén egy 40mm vastag vízszintes merevítéssel van megerősítve. A torony felső részén 40mm vastag, kereszt formájú lemezeket helyeztem el. Ez a megerősítés a horpadás csökkentését segíti. Ezek a megerősítések a szerkezeten horpadás ellen jelentős javulást eredményeznek (10. ábra, bal alsó képe), de a kihajlás, és elcsavarodás csak kis mértékben javult.

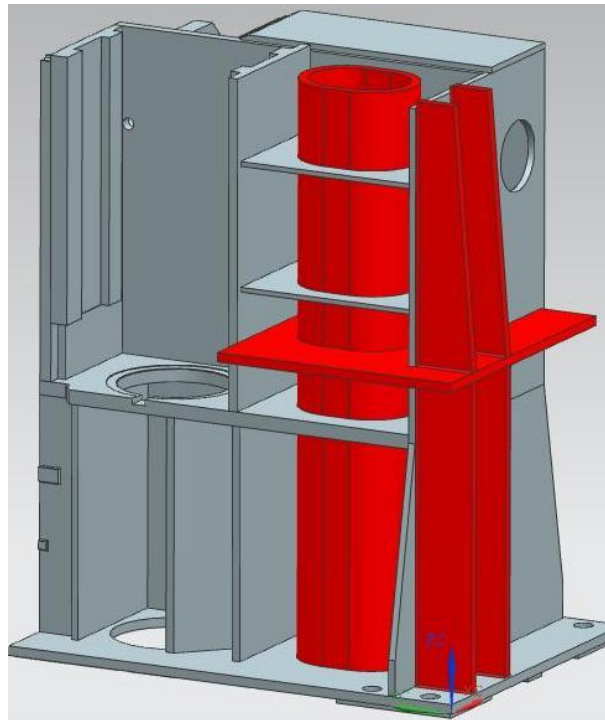
5.3.1 Belső merevítés végeselem ábrái



10. ábra

A vizsgált megoldásváltozat deformált alakja különböző nézetekben, illetve CT-technikával megjelenítve

5.4. Kombinált merevítés



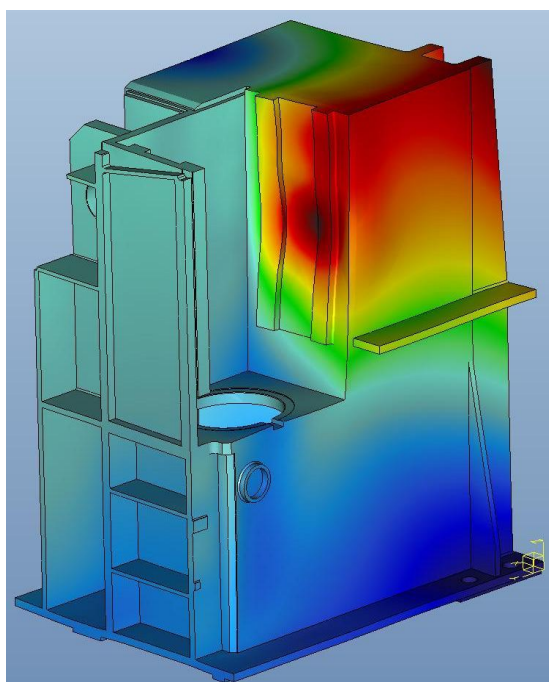
11. ábra
Kombinált merevítés

Javulás mértéke a horpadásnál	[%]	24,798
Javulás mértéke az 1 pontnál	[%]	14,760
Javulás mértéke a 2 pontnál	[%]	10,698

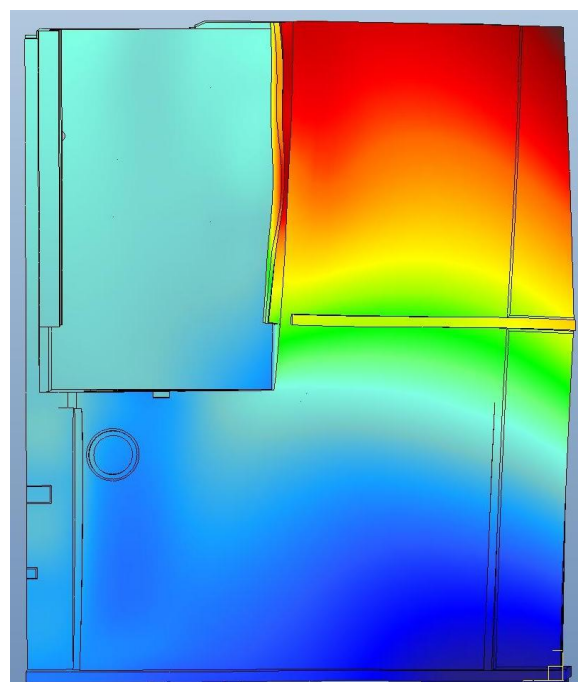
3. Táblázat
Szerkezet javulásának mértéke

Ennél a változatnál a szerkezetet kombinált merevítéssel lett ellátva a 11. ábra alapján. A szerkezet megerősítésekor a szánszerkezet mögötti részben egy 40mm vastagságú ovális cső lett behelyezve. A szerkezet külsőleg is meg lett erősítve 2db függőleges elhelyezkedésű 80mm vastag bordával. A bordákat teljesen és a szerkezet egy részét el metszi egy 40mm vastag vízszintes merevítés. Ezek a megerősítések a szerkezeten mind horpadás ellen, mind pedig kihajlás és elcsavarodás ellen is jelentősnek mondható javulást eredményeztek.

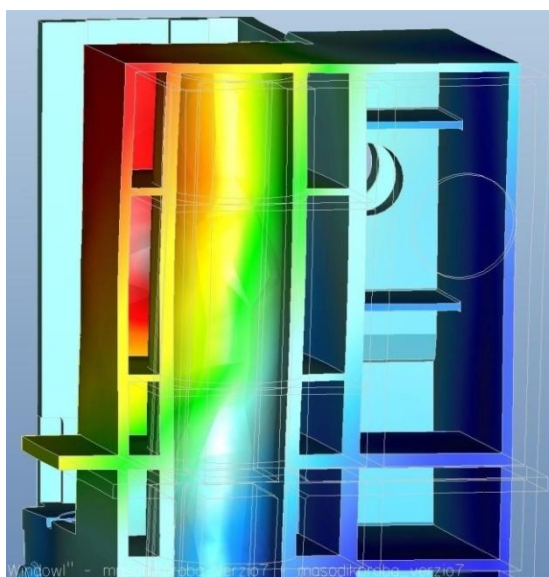
5.4.1 Kombinált merevítés végeselem ábrái



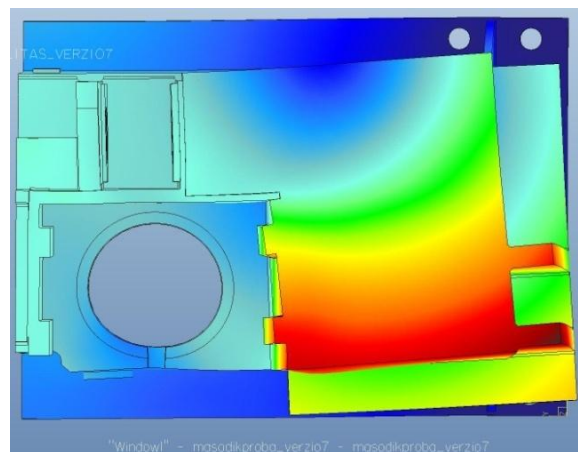
"Window" - masodikproba_verzio7 - masodikproba_verzio7



"Window" - masodikproba_verzio7 - masodikproba_verzio7



"Window" - masodikproba_verzio7 - masodikproba_verzio7

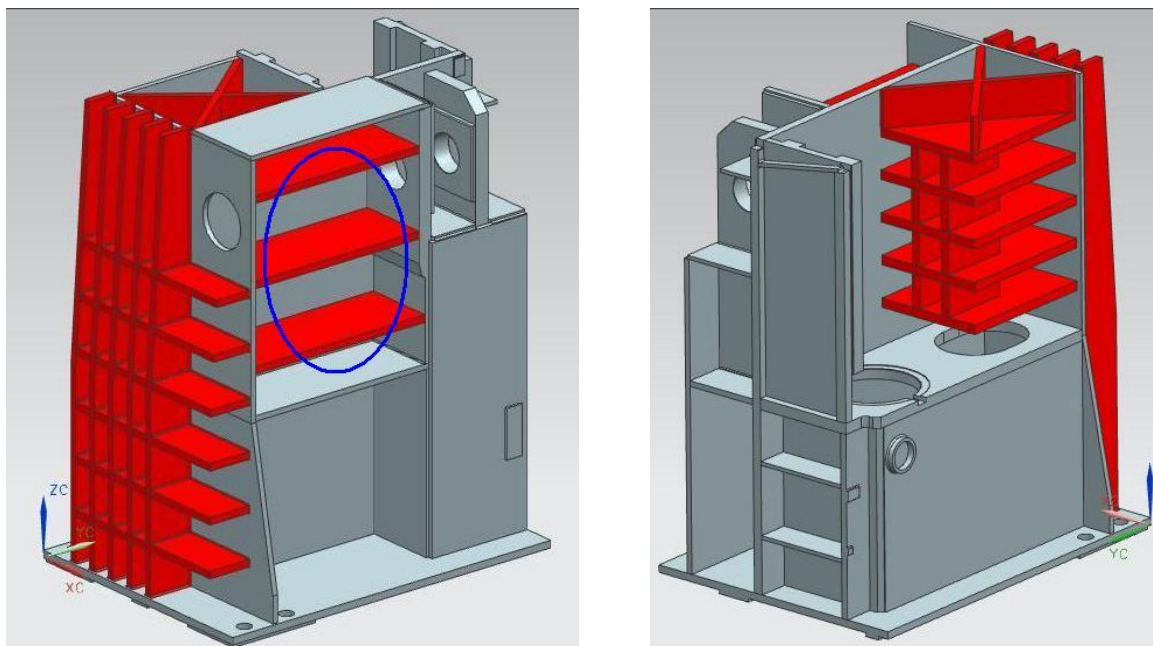


"Window" - masodikproba_verzio7 - masodikproba_verzio7

12. ábra

A vizsgált megoldásváltozat deformált alakja különböző nézetekben, illetve CT-technikával megjelenítve

5.5. A harmadik legjobb megoldásváltozat



13. ábra
Kombinált merevítés

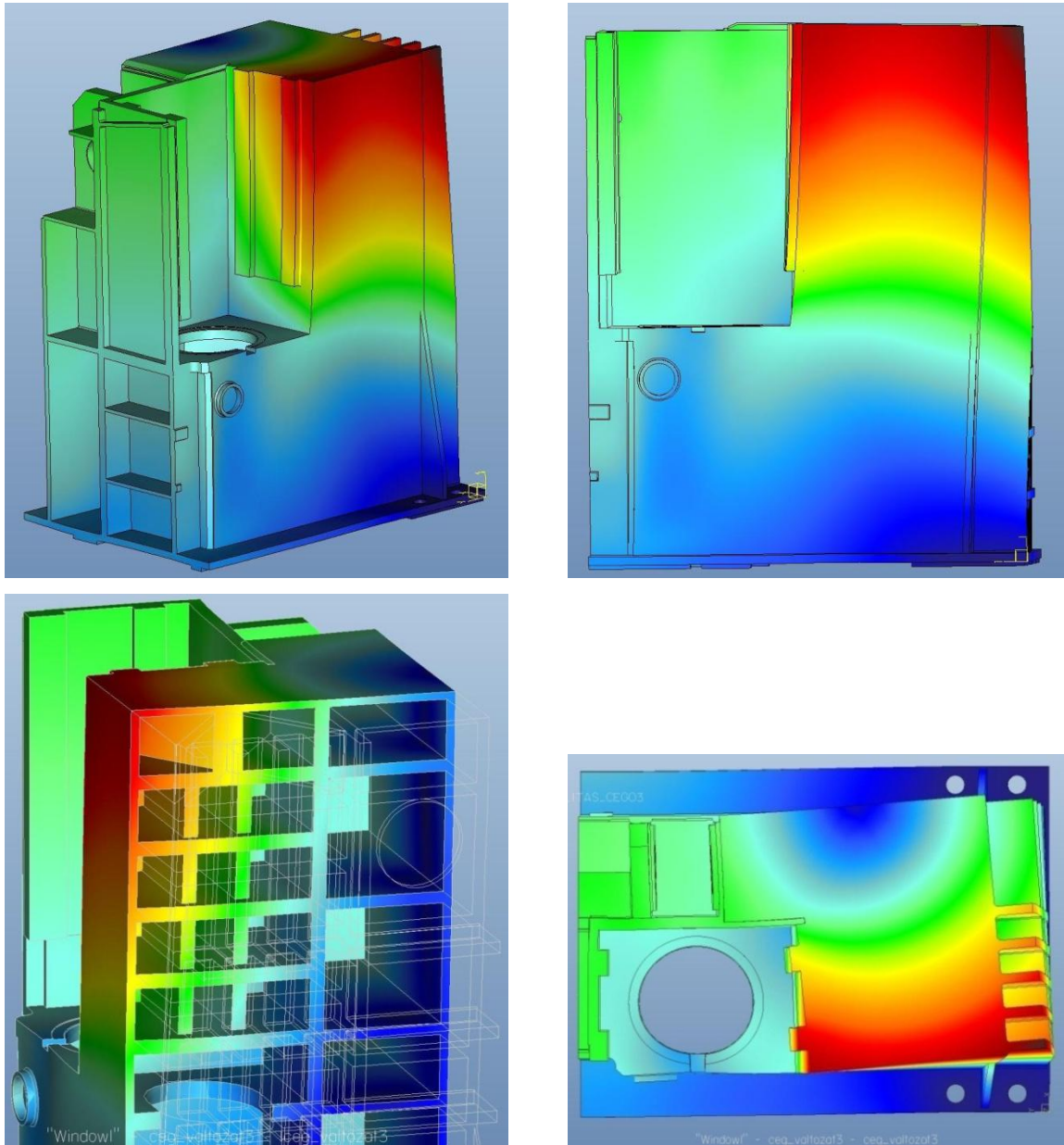
Javulás mértéke a horpadásnál	[%]	37,977
Javulás mértéke az 1 pontnál	[%]	20,141
Javulás mértéke a 2 pontnál	[%]	19,621

4. Táblázat
Szerkezet javulásának mértéke

Ennél a változatnál a szerkezetet kombinált merevítéssel lett ellátva a 13. ábra alapján. A szerkezet megerősítésekor a szánszerkezet mögötti részben a meglévő lemezek el lettek távolítva, és helyettük 5db vízszintes 50mm-es lemez lett beépítve, amik függőleges bordákkal lettek összekötve. A bordák szintén 50mm vastagságúak. A torony felső részében egy András kereszt formában összehegesztett lemezek lettek elhelyezve. Ezek a megerősítések a horpadást jelentősen csökkentették. A torony deformációja jelentős mértékben csökkenthető, ha a szerkezet első részében lévő „kamrában” további merevítő elemeket helyezünk el (13. ábra bal oldali képén látható). Az itt lévő lemezek el lettek távolítva, és helyettük 3db 40mm vastag vízszintes lemezek lettek elhelyezve, úgy hogy a szánszerkezet mögötti vízszintes bordákkal egybeessenek (14. ábra, bal alsó képe). Ezáltal csökken a szerkezet elcsavarodása, és a két részt szétválasztó lemez eldeformálódása. A szerkezet külső bordákkal is el lett látva, 5db függőleges, és 6db vízszintes elhelyezkedésű 40mm vastag borda van felhegesztve. A vízszintes bordák a szerkezet teljes szélességében

vannak felhelyezve, hogy ezzel is csökkentse a szerkezet elcsavarodását. Ez a megerősítés elcsavarodásra és kihajlás ellen jó. Ezek a megerősítések a szerkezeten, mint horpadásnál, mint kihajlásnál és elcsavarodásnál is jelentős javulást eredményeztek.

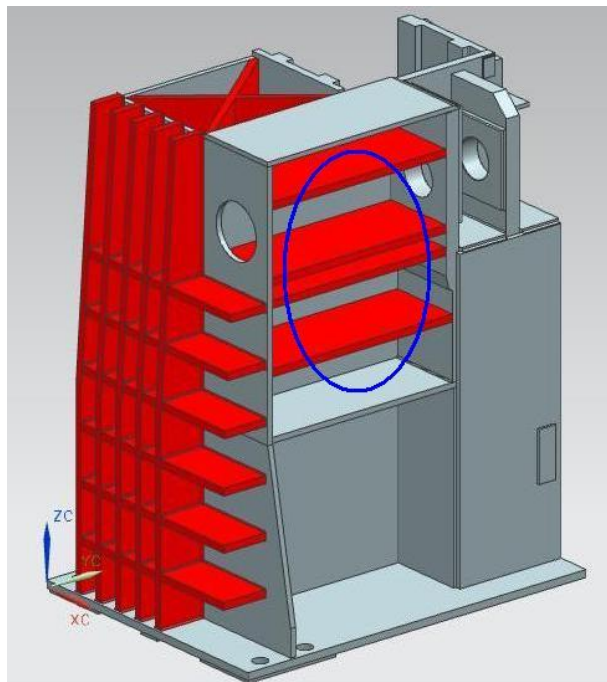
5.5.1 A harmadik legjobb megoldásváltozat végeselem ábrái



14. ábra

A vizsgált megoldásváltozat deformált alakja különböző nézetekben, illetve CT-technikával megjelenítve

5.6. A megvalósított megoldásváltozat



15. ábra
Kombinált merevítés

Javulás mértéke a horpadásnál	[%]	38,728
Javulás mértéke az 1 pontnál	[%]	21,053
Javulás mértéke a 2 pontnál	[%]	20,409

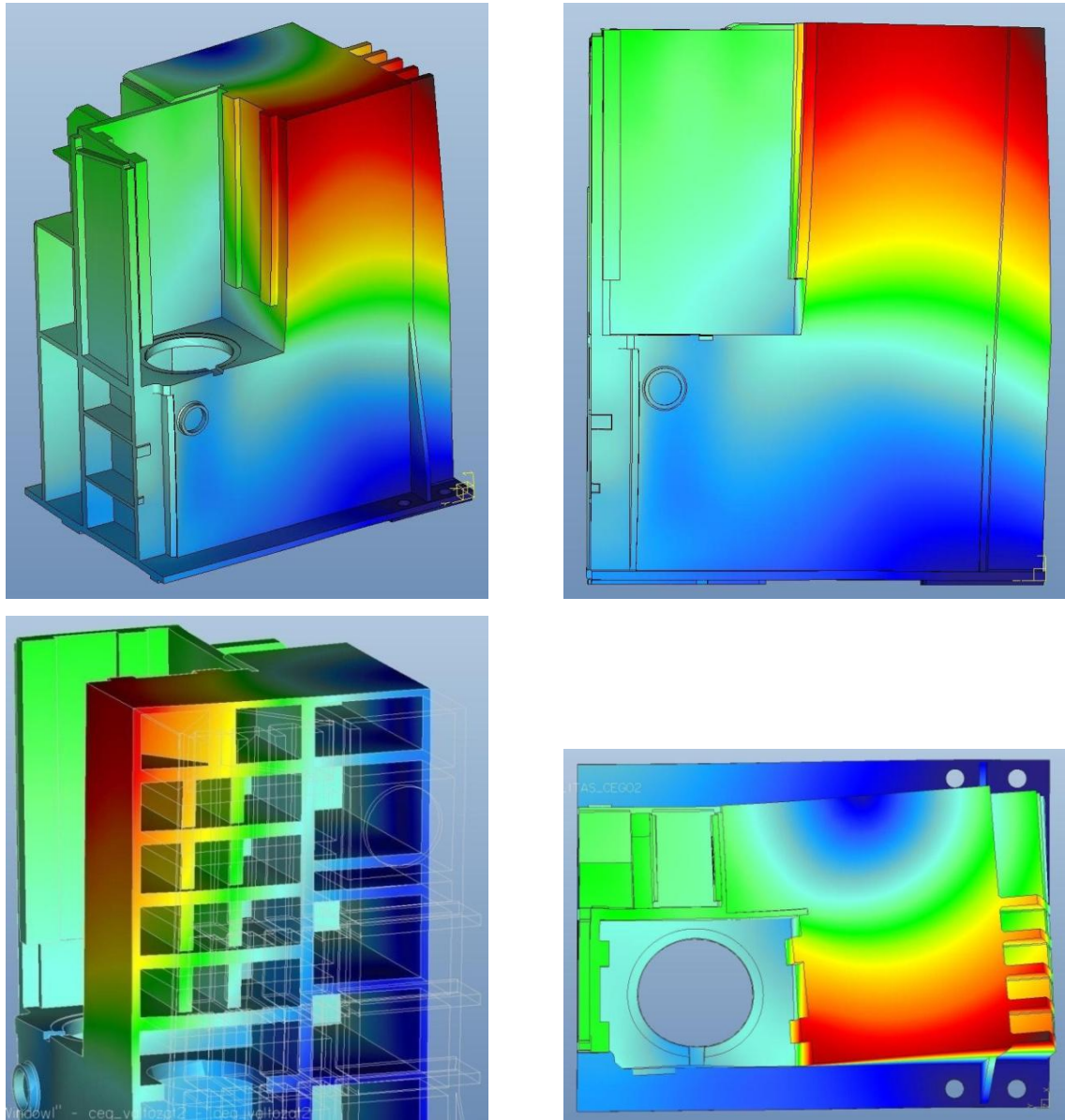
5. Táblázat
Szerkezet javulásának mértéke

Ennél a változatnál a szerkezetet kombinált merevítéssel lett ellátva a fenti ábra alapján. A szerkezet megerősítésekor a szánszerkezet mögötti részben a meglévő lemezek el lettek távolítva, és helyettük 5db vízszintes 50mm-es lemez lett beépítve, amik függőleges bordákkal lettek összekötve, amelyek szintén 50mm vastagságúak. A torony felső részében egy András kereszt formában összehegesztett lemezek lettek elhelyezve. Ezek a megerősítések a horpadást jelentősen csökkentették. A szerkezet első részében lévő „kamrában” eredetileg nem helyeztek le számottevő merevséget nyújtó lemezt, így ott elég nagy deformációk lépnek fel, ezért ezt a részt is meg kell erősíteni. Az itt lévő eredeti lemezek el lettek távolítva, és helyettük 4db 40mm vastag vízszintes lemez lett elhelyezve (15. ábra, ellipszissel jelölt rész), ezáltal csökken a szerkezet elcsavarodása, és a két részt szétválasztó lemez eldeformálódása. A szerkezet külső bordákkal is el lett látva, 5db függőleges, és 6db

vízszintes elhelyezkedésű 40mm vastag borda van felhegesztve. A vízszintes bordák a szerkezet teljes szélességében vannak felhelyezve, hogy ezzel is csökkentse a szerkezet elcsavarodását. Ez a megerősítés elcsavarodásra és kihajlás ellen jó.

Ezek a megerősítések a szerkezeten, mint horpadásnál, mint kihajlásnál és elcsavarodásnál is jelentős javulást eredményeztek.

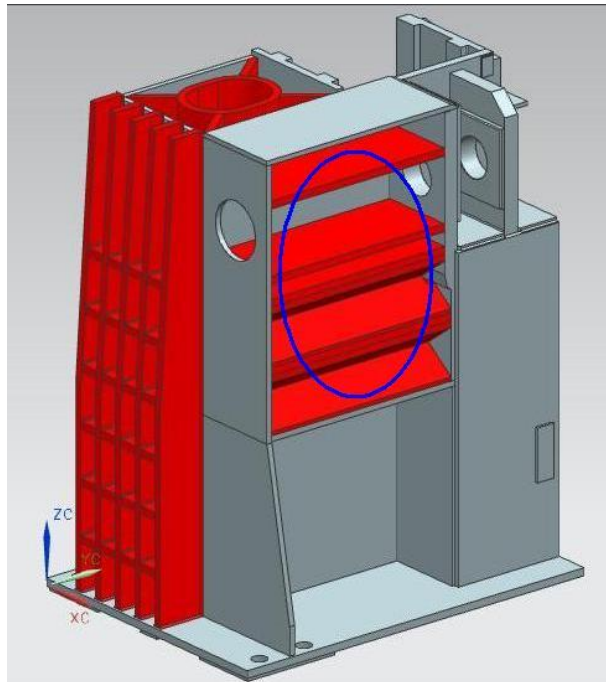
5.6.1 A megvalósított megoldásváltozat végelem ábrái



16. ábra

A vizsgált megoldásváltozat deformált alakja különböző nézetekben, illetve CT-technikával megjelenítve

5.7. Az általam legjobbnak ítélt megoldásváltozat



17. ábra
Kombinált merevítés

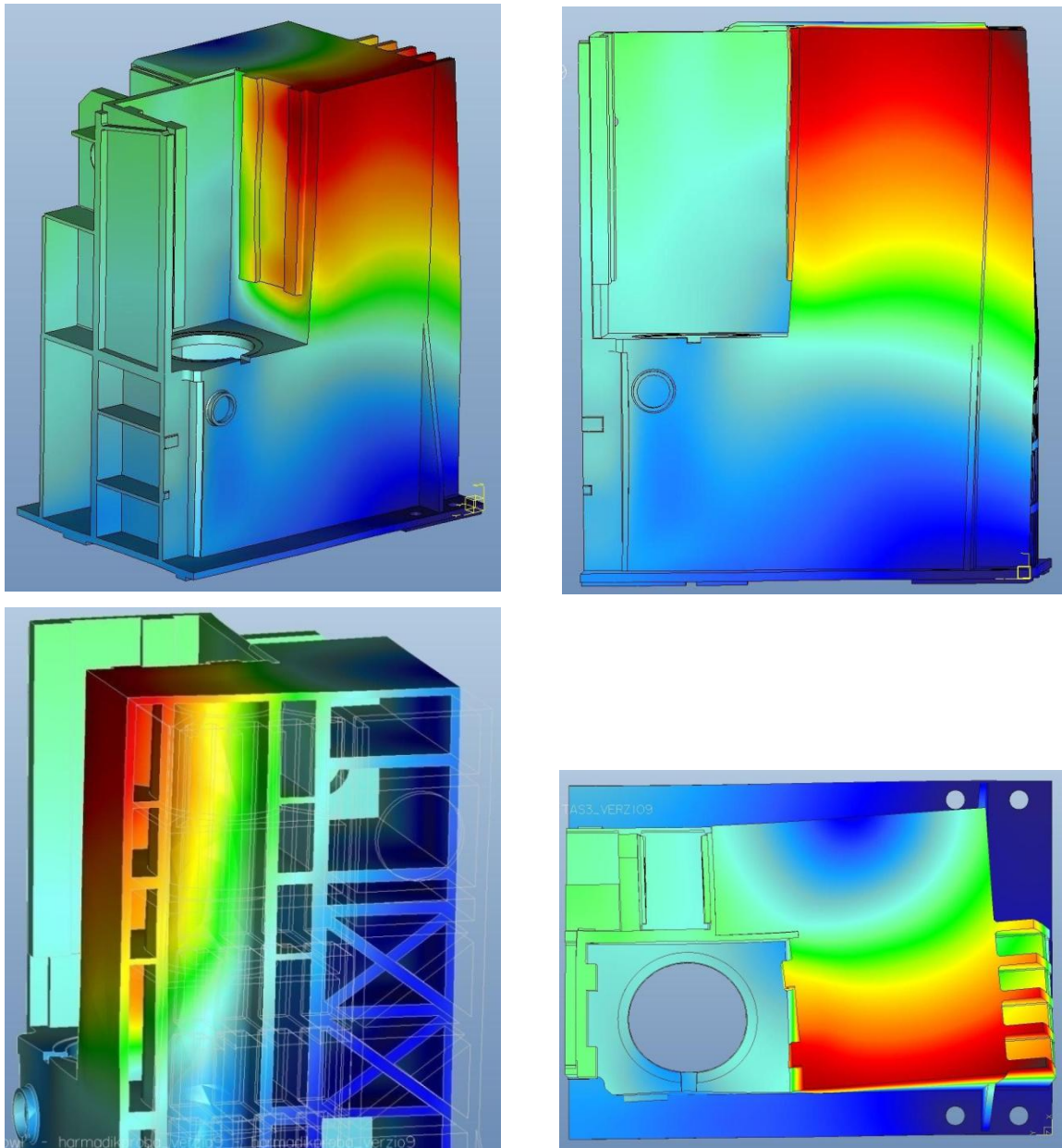
Javulás mértéke a horpadásnál	[%]	39,191
Javulás mértéke az 1 pontnál	[%]	22,773
Javulás mértéke a 2 pontnál	[%]	21,283

6. Táblázat
Szerkezet javulásának mértéke

Ennél a változatnál a szerkezetet kombinált merevítéssel lett ellátva a fenti ábra alapján. A szerkezet megerősítésekor a szánszerkezet mögötti részben egy 40mm-es vastagságú ovális cső lett behelyezve, amely közepén egy 40mm vastag vízszintes merevítéssel van megerősítve. A torony felső részén 40mm vastag, kereszt formájú lemezek lettek behegesztve. Ez a megerősítés a horpadás csökkentését segíti. A szerkezet első részében lévő „kamrában” nincs sok merevítés, így ott elég nagy deformációk lépnek fel, ezért ezt a részt is meg kell erősíteni. A meglévő lemezek el lettek távolítva, és helyettük 40mm vastag lemez lett elhelyezve, majd további két ugyanolyan vastagságú lemez lett beépítve, alul pedig két kereszt alakú lemezzel van megerősítve (17. ábra, ellipszissel jelölt rész). Ezáltal csökken a szerkezet elcsavarodása, és a két részt szétválasztó lemez eldeformálódása. A szerkezet külsőleg is meg lett erősítve. 5db függőleges, és 6db vízszintes elhelyezkedésű 40mm vastag

borda van felhegesztve. A vízszintes bordák csak a két szélső függőleges borda között helyezkedik el. Ez a megerősítés elcsavarodásra és kihajlás ellen jó. Ezek a megerősítések a szerkezeten, mint horpadásnál, mint kihajlásnál és elcsavarodásnál is a legnagyobb javulást eredményezték.

5.7.1 A legjobb megoldásváltozat végelem ábrái



18. ábra

A vizsgált megoldásváltozat deformált alakja különböző nézetekben, illetve CT-technikával megjelenítve

6. Összegzés

Feladatom elvégzése során egy lemezhengerítő berendezés végeselemes analízis segítségével történő statikus merevségvizsgálatát végeztem el. Ezzel a berendezéssel nagyméretű nyomástartó edények lemezeinek megmunkálását lehet megvalósítani. A megmunkálendő lemezek igen vastagok is lehetnek ($>100\text{mm}$), így ezek megmunkálása során igen nagy terhelés éri a berendezést. Az említett terhelések hatására a szerkezet elcsavarodott, valamint elhajlott, illetve annak vezetéksíkjai behorpadtak. Feladatom során vizsgálatokat végeztem a szerkezet deformált felületének kijavítására, és a szerkezet megerősítési lehetőségeire. Az utóbbi kivitelezése során pótlólagos merevítő lemezek lettek elhelyezve a szerkezeten belül, valamint azon kívül is. A merevítő lemezek elhelyezését a legnagyobb elmozdulások helyei határozták meg.

Dolgozatomban részletesen megvizsgáltam a lenyitható oldali eredeti vázszerkezet merevségi tulajdonságait. Ezek figyelembe vételével megoldásváltozatokat dolgoztam ki a tovább merevítés lehetőségeit illetően. Egy-egy megoldásváltozat jellemzőit először mindig az eredeti szerkezet hasonló jellemzőivel vettem össze, és ennek alapján a feltárt megoldásváltozatokat rangsoroltam. Megállapítottam, hogy a merevített szerkezet horpadási és statikai merevségben 40, illetve 20 %-kal múlta felül az eredeti konstrukciót. Noha szilárdságtani szempontból jobb megoldásváltozat is született, mint a ténylegesen megvalósult változat, kivitelezési és gazdasági szempontból, valamint a megbízó vállalat lehetőségeit és véleményét is figyelembe véve, a 15. ábrán bemutatott megoldásváltozatnak megfelelően módosult az eredeti vázszerkezet.

7. Felhasznált irodalom

- [1] Páczelt István, Szabó Tamás, Baksa Attila A végeselem-módszer alapjai 2007
- [2] Véges elemek módszerének elméleti, gyakorlati és számítógépes problémája 1. szemináriumi előadásai 1978
- [3] Dr. Baráti Antal Szerszám gép vizsgálatok 1988

8. Képek forrása

- [1. ábra] Dr. Baráti Antal Szerszám gép vizsgálatok 1988