



DEBRECENI EGYETEM
MŰSZAKI KAR
GÉPÉSZMÉRNÖKI TANSZÉK

UNIVERSITY OF DEBRECEN
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF MECHANICAL
ENGINEERING

HEGESZTŐASZTALI VERTIKÁLIS
SZORÍTÓ

SZAKDOLGOZAT

Nagy Gábor

Gépészeti szimulációs szakmérnök

Debrecen

2026.



DEBRECENI EGYETEM
MŰSZAKI KAR
GÉPÉSZMÉRNÖKI TANSZÉK

UNIVERSITY OF DEBRECEN
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF MECHANICAL
ENGINEERING

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzések	1
2. Eszköz bemutatása	2
2.1. Eszközzel szemben támasztott elvárások	3
2.2. A vizsgálati terület	4
2.3. A vizsgálati megközelítés	4
2.4. Szimmetrikusság használata	5
3. Szerkezeti elemek vizsgálata és szempontjai	7
3.1. Automatikus hálózás minőségének ellenőrzése	7
3.2. Egyszerűsítés és elhanyagolható alkatrészek	8
3.3. Próbaftuttatás és kritikus pontok feltárása	10
3.4. Hálózás módszere és minőségének javítása	11
3.4.1. Söpörhető alkatrészek hálózása	12
3.4.2. Hegesztési varratok hálózása	13
3.4.3. Tartószerkezet zártszelvények hálózása:	14
3.4.4. Hegesztési varrat kapcsolata	16
3.5. Szingularitás vizsgálat	19
4. Szerkezetek közötti kapcsolatok és modellezési megfontolások	22
4.1. Geometriai egyszerűsítés	24
4.2. Kapcsolatok meghatározása	26
4.3. Állítható kar csatlakozásának vizsgálata	26
5. Trapézorsó ellenőrzése	32
6. Kiértékelés:	35
6.1. Erőhatások kiértékelése	36
6.2. Elmozdulások kiértékelése	38
6.3. Kritikus pont kiértékelése:	39
7. Összefoglaló	41
Irodalomjegyzék:	43



DEBRECENI EGYETEM MŰSZAKI KAR GÉPÉSZMÉRNÖKI TANSZÉK

UNIVERSITY OF DEBRECEN
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF MECHANICAL
ENGINEERING

1. Bevezetés és célkitűzések

A hegesztőasztali vertikális leszorító a C-típusú szorítók bizonyos helyeken történő helyettesítésére használatosak. Sokkal zömökebb szerkezetű és legfőbb előnye, hogy nagyobb a benyúlása és nem hajlamos a lelazulásra. Könnyebb használatot és precízebb beállíthatóságot biztosít. Előfeszítésre is alkalma, használható azokban az esetekben, ha az előgyártmány előfeszítésére van szükség a hegesztési folyamat során.

A vertikális szorítót előfeszítjük, így szorító erőt hozunk létre, ami kialakul az alapszerkezet két pontja között és ez a fő feladata a vizsgált szerkezetünknek. A hegesztőasztali vertikális leszorító további feladata, gyorsan rögzíthető függőleges hatásvonalú nyomóerőt biztosítson. Forgatható hegesztőasztalokon feladata, hogy a hegesztendő előgyártmányt pozícionálja a beállított pozícióban rögzítse a hegesztés teljes folyamata során, az elemek pontos pozícióban tartása. Jelen szakdolgozatban nem vizsgálom az elforgatott pozíciókat és a gravitációból eredő erőhatásokat. A hegesztési folyamat során az alapanyagban történő deformáció csökkentése jelentős befolyásolja a kialakuló végtermék minőségét.

A szakdolgozat célja végeelem módszerrel és különböző szempontok szerint megvizsgálni a szerkezetet abban az esetben, ha a leszorító kar hosszát 80mm-el megnöveljük. Elviseli-e a megnövelt erőkarral a célterhelést anélkül, hogy maradó alakváltozást szenvedne a szerkezetben ébredő feszültségek hatására. El tudja-e látni feladatát a mozgástartományának teljes szakaszán.

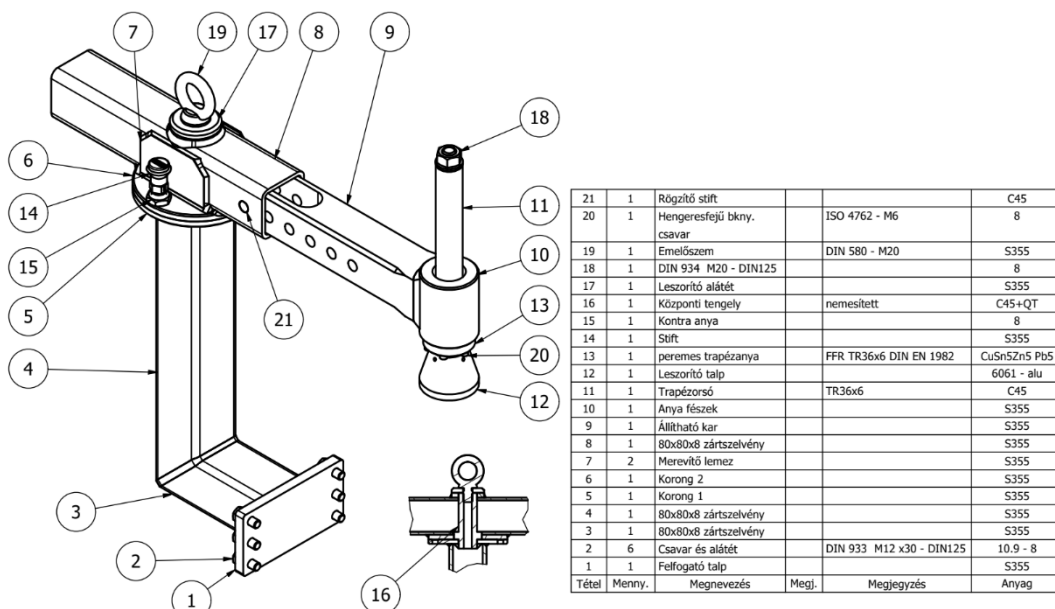
Feltárom a szerkezet gyenge pontjait, ami a leghamarabb károsodást szenvedhetnek és rámutatok azokra a pontokra, amik esetleg megerősítést vagy különös odafigyelést kívánnak. A kapott eredmények lehetőséget adnak a konstrukció megerősítésére és továbbfejlesztésére és rámutatnak a kritikus pontokra, amik esetlegesen beavatkozást kívánnak.

A bemutatásra kerülő geometriai modell már a megnövelt hosszúsággal kerül kiértékelésre és STP formátumban használom fel véges elem szimulációhoz. A működési körülményeknek megfelelő peremfeltétellel látom el. Kiemelt figyelmet fordítok a kritikus pontok keresztmetszeteiben fellépő feszültségcsúcsokra és vizsgálom, hogy az alkalmazott alapanyag eléri-e a folyáshatárt.

2 Eszköz bemutatása

Hegesztő asztali szorító alapvetően egy rögzítési feladatot lát el. A munkadarabot leszorítja az asztal felületére és végig a beállított méreten tartja a hegesztett kötés kihűlésig.

A hegesztőasztali vertikális leszorítót a szükség szerint a munkafolyamatnak megfelelően felszerelik az asztalra és a megadott méretre állítják. Alap helyzetben a központi forgó csapnak köszönhetően ki lehet fordítani oldal irányba, hogy ne akadályozza az egyéb beállítási folyamatokat és a munkadarab bepakolását. Bepakolást és beállítást követően oldani kell a forgótárcsán lévő stifttel és a felfogatás síkjával merőlegesen a leszorítási pozícióba kell mozgatni és lereteszelni. Reteszelés után lehet csak használatba venni, amikor munkapozícióba kerül. hegesztőasztali vertikális leszorító axonometrikus rajza és tételjegyzékében található, (lásd 1. ábra.).



1. ábra. Hegesztőasztali vertikális leszorító axonometrikus rajza és tételjegyzék



DEBRECENI EGYETEM MŰSZAKI KAR GÉPÉSZMÉRNÖKI TANSZÉK

UNIVERSITY OF DEBRECEN
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF MECHANICAL
ENGINEERING

A rögzített alsó egységet egy központi csap segítségével lehet elforgatni, ami két tárcsa egymáson való elfordulásával tud megtörténni. A felső állítható egységre egy csavarkötéssel rögzítik az alsó részhez. Ez a rögzítési pont szolgál emelési pontként is, hogy mozgatásnál és felszerelésnél daruval emelhető legyen.

A trapézorsó forgatásához egy csavaranyán keresztül lehet forgatónyomatékok átadni, amivel a leszorítás történik. A csavaranya hegesztett kötéssel van rögzítve az orsóhoz.

Az alakja terhelésátviteli szempontból egyáltalán nem ideális mert nagy erőkarokon keresztül halad az erő és a kihajlások is

A trapézorsós szorító nem érzékeny a rezonanciákra mert nem csúszó kontakton keresztül történik a leszorító erő közlése, hanem fix kapcsolatokon keresztül. Hagyományos szorítóknál a használat során kopás keletkezik és egyre gyengébb lesz az alakkal záró kapcsolat. Munkavégzés során rezonancia keletkezik, ami elősegíti a fellazulást. Ez végzetes hiba a hegesztési kötés minőségét nagyban befolyásolja mert az ömledék hűlés során keletkező zsugorodását nem tudja befolyásolni. A trapézorsós fix kapcsolatú konstrukcióknál ez a hiba nem fordulhat elő míg nem szenved folyáshatáron túli erőhatást.

Trapézmenet hatalmas előnye, hogy az axiális erőhatásra nem tud fellazulni a kötés. Olyan geometriai tulajdonsággal rendelkezik, ami nagyobb súrlódási erőt generál, mint a kitekeredéshez szükséges. Kenőanyag használata során is fennáll ez a tulajdonság, ami elkerülhetetlen több szempontból is. Az egyik a hegesztés során keletkező fröccsenő anyag betapadásának megakadályozása. A másik a menetfelület berágódásának megakadályozása miatt szükséges. Önzáróság megvalósul mert a menetemelkedési szög kisebb, mint a súrlódási szög

2.1 Eszközzel szemben támasztott elvárások

A leszorításon túl további funkciókkal kell rendelkeznie. Állítható kihúzható kar teszi lehetővé, hogy nagyobb mozgástartományban használható legyen. Könnyedén eltávolíthatónak kell lennie a munkaterületről, ami egy központi csapon történő elforgatással valósul meg és 90° -os pozíciókban reteszelve. A felfogatási felületre merőlegesen munkapozícióban használható szorításra, 90° -os osztással furatok vannak az alaptárcsán. A tárcsa furataiba egy rugós csap tud csatlakozni,



DEBRECENI EGYETEM MŰSZAKI KAR GÉPÉSZMÉRNÖKI TANSZÉK

UNIVERSITY OF DEBRECEN
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF MECHANICAL
ENGINEERING

ami a kívánt helyzetben rögzíti és megakadályozza a nem kívánt elfordulást. Vizsgálatot a legnagyobb méretre állított állapotban vizsgálom, ahol a legnagyobb az erőkar és legnagyobb az igénybevétel.

Az eszköztől azt várjuk el, hogy 5000N lezorító erőt biztosítson adott forgatónyomaték bevitelével a trapézorsón keresztül és tartsa fent a művelet végéig. Orsó irányú pozícióban tartás mindaddig megvalósul, míg a szorító erő nagyobb, mint az ellenerő. Amennyiben az ellenerő nagyobbá válik valamilyen külső tényező megváltozása során a szerkezet az előfeszítése tovább nő mindaddig még a két erő ki nem egyenlíti egymást. Feladata, hogy a technológia által meghatározott maximum 5000 N mérvadó orsó irányú eredő erőt és az ellenerőt szorító szerkezete el tudja viselni maradó alakváltozás nélkül.

2.2 A vizsgálati terület

A rendszert az alapszerkezetre rögzített 190mm*100mm 10mm vastagságú lemez csatlakozási felülete, ami 6db M12-es csavarkötéssel valósul meg és a lezorító tappancs felülete közötti szakaszon vizsgálom.

Alapszerkezetet nem vizsgálom és deformációmentesnek tekintem ebben a szakdolgozatban, mivel alapvető elvárás a robusztus öntöttvas szerkezettől.

2.3 A vizsgálati megközelítés

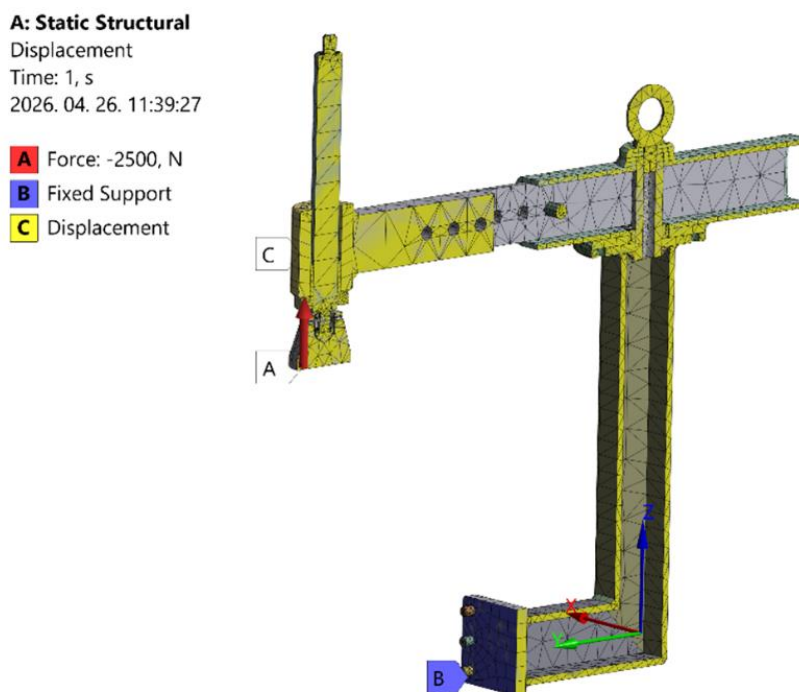
A szerkezet felfogási pontjánál egy központi egységhez rögzítem csavarkötéssel, amit a főszerkezet vizsgálati fázisában merev befogással rögzítem a csatlakozó felületet az X-Z síkban. A csavarkötés vizsgálatát külön fejezetben vizsgáljuk.

A bemenő erőt a csavarorsón lévő lezorító talp felületére terhelem egyenletes eloszlással. Az erőt egy bronzanyán keresztül egy trapézmenetes orsó továbbítja az anya fészekre. A trapézkötésre ható igénybevételeket, valamint nyomaték bevitelével kialakuló nyomóerő kialakulását is külön fejezetben tárgyalom. A lezorító fej sík felületére nem hat mérvadó (x,y) oldal irányú külső erő és a kihajlásból eredő elmozdulás is elhanyagolható, mivel a két anyag közötti súrlódásos kapcsolat nagyságrendekkel nagyobb.

Összesítésre kerülnek kiértékelésnél a fejezetekben lévő eredmények, hogy komplex képet láthassak. Meg szeretném tudni, hogy a leszorító elviseli-e maradó alakváltozás nélkül az elvárt leszorító erőt. Azt is szeretném megtudni, hogy előfeszítés során mekkora forgatónyomatékot kell bevinni a rendszerbe és milyen mértékben befolyásolja ezt a súrlódás és a kihajlás.

2.4 Szimmetrikusság használata

Szimmetria feltételei teljesülnek modellen és egy fél síkszimmetriát alkalmazhatok, mivel a terhelések az y-z síkon koncentrálnak és erre a síkra. Modellem terhelés szempontból releváns geometriai alkatrészei teljesen szimmetrikusak, anyagukban megegyeznek. Nincs olyan peremfeltétel vagy terhelés, ami síkkal ne lenne párhuzamos és időbeni lefutásuk is azonos, (lásd 2. ábra.). Előnyös az áttekinthetőség szempontjából és előnyös a matematikai számítási idő lecsökkentésében is, ha kevesebb elemmel dolgozok.



2. ábra. Egyszerűsített paraméterezett fél modell



DEBRECENI EGYETEM MŰSZAKI KAR GÉPÉSZMÉRNÖKI TANSZÉK

UNIVERSITY OF DEBRECEN
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF MECHANICAL
ENGINEERING

A szimmetria síkkal metszett felületeket elmozdulás kényszerrel látjom el mert a szimmetriából adódóan nem várható x irányú elmozdulás. Ez azért nagyon fontos, mivel a félbevágott szerkezet inerciája (másodrendű nyomaték) és megváltozik hajlításnál a merevsége és kihajlás jönne létre. A forgó alkatrészek se mozdulhatnak el mert a program futtatásánál elfordulás esetén megváltozna a felfekvő felület mérete és pozíciója. Egyensúlyi helyzet keresésére nagy gépigényt kell fordítani és nem is fedi a valós fizikai viselkedését a rendszernek. Gyakorlatilag egy kényszerített mozgáspályára helyezem, szükség esetén adott értéket is be lehetne állítani, ami megengedett elmozdulást eredményezne.

A későbbiekben és a leszorító fejet is fele erővel terhelem szimuláció során, hogy ne teljes terhelés érje a lefelezett szerkezetet és hasznos is lesz mert azonnali betekintést nyerhetek a szerkezet belsejében lezajló folyamatokra.

A merev megfogással kényszerrel kapcsolom az asztalhoz a szerkezetet és nem engedünk semmilyen elmozdulást. Sárga színnel látható az elmozdulás kényszer, aminek az x irányú elmozdulását nem engedélyezzük és piros színnel a leszorítást pótló ellenerő. (lásd 2. ábra.).

A továbbiakban geometriailag módosított fél modellel dolgozok és szoftveres végeelem számításához az Ansys 2025 R2-t használjuk és az ANSYS Workbench Mechanical modulban.

3 Szerkezeti elemek vizsgálata és szempontjai

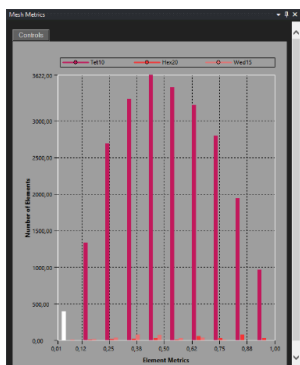
Céлом, hogy feltárjam azokat az alkatrészeket, ami a vizsgálat szempontjából irreleváns, helyettesíthetők paraméterezéssel, geometriai szinten egyszerűsíthetők. Ezzel csökkenteni tudom kiinduló modell csomópontjainak és aktív alkatrészek számát. A felesleges alkatrészek lelassítják a szimuláció lefutását és a csúcsheszültségek kiértékelésénél is zavaró lehet.

Vizsgálat megkezdése előtt szükséges egy hálórendszer, amit a program automatikusan legenerált. A globális automatikus hálózás módszere a teljes modellre vonatkozó összes alkatrészt egyforma beállítási paraméterekkel zajlik és geometria sajátosságaihoz igazítja a kialakítandó hálórendszert. Ez a struktúra nem tartalmaz lokális finomításokat, ami igazodna a kialakulandó feszültségek megfelelő vizsgálatához.

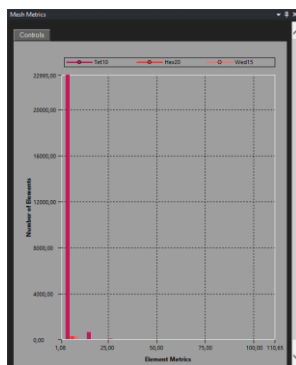
3.1 Automatikus hálózás minőségének ellenőrzése

Az egyszerűsített fél modell automatikus hálózás elvégzése után az alábbi beállításokkal az alábbi eredményeket kaptam. Lásd az (1) összehasonlító táblázatban.

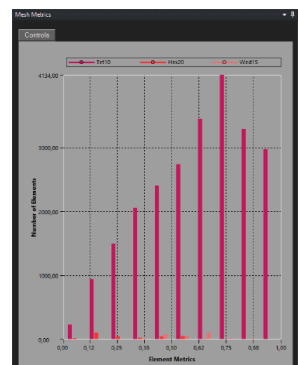
Láthatjuk, hogy 3 fontos kiértékelési szempontok szerint az elemek minősége az oldalarány értéke kivételével elfogadhatatlan eredményt hozott, (lásd 3. ábra.).



3. ábra (a) elem minőség



3. ábra (b) Oldalarány



3. ábra (c) torzulás

A kezdeti hálónk legfőképp Tet10 elemből áll és tartalmaz kismértékben Hex20 és Wed15 elemeket, de mind másodrendű megközelítések és hajlítási igénybevételnél előnyös leképezést ad a lineárisal szemben. Relatív kevesebb elemből áll, ami a negatívan hat a hálóminőségre. A hálóminőség kiértékelő táblázat kimutatja legkritikusabb kiértékelési szempontokat, piros mezőben szerepel a megengedett maximális sarokszög- minimális elemél-hossz- maximális torzultság és a maximális vetemedési szög is, (lásd 1. táblázat.).

1. táblázat. Automatikus hálózás minőségét kiértékelő táblázat

Mesh Quality Worksheet								
☒ Advanced View ☒ Sheet ☒ Solid ☒ Solid - Surface								
Quality Criterion	Warning Limit	Error (Failure) Limit	% Warning	# Warning	% Failed	# Failed	Average	Worst
Max Aspect Ratio	Default (5)	Default (1000)	21,575 %	5227	0 %	0	4,048	110,45
Min Element Quality	Default (0,05)	Default (5e-04)	0,149 %	36	0 %	0	0,527	0,014
Min Jacobian Ratio (Corner Nodes)	Default (0,05)	Default (0,025)	0,442 %	107	0 %	0	0,852	0,025
Min Jacobian Ratio (Gauss Points)	Default (0,05)	Default (0,025)	0 %	0	0 %	0	0,924	0,225
Max Element Edge Length	Default (554,42 mm)	Default (1108,839 mm)	0 %	0	0 %	0	5,681 mm	67 mm
Max Corner Angle	Default (150 °)	Default (170 °)	5,721 %	1386	0,264 %	64	114,395 °	176,5 °
Min Element Edge Length	Default (5,544 mm)	Default (0,554 mm)	58,806 %	14247	13,72 %	3324	4,057 mm	0,031 mm
Max Skewness	Default (0,9)	Default (0,999)	11,801 %	2859	0,516 %	125	0,622	1
Min Tet Collapse	Default (0,1)	Default (1e-03)	1,081 %	262	0 %	0	0,468	0,034
Max Warping Angle	Default (20 °)	Default (30 °)	4,1e-03 %	1	8,3e-03 %	2	0,345 °	30,287 °

További egyszerűsítést követően a hálózás-minőségén és módszerén feltétlen javítani kell.

3.2 Egyszerűsítés és elhanyagolható alkatrészek

Bronzanya geometriai egyszerűsítése során trapézmenet geometriáját 36mm átmérőjű furattal pótolom, ami illeszkedik a trapézorsó egyszerűsített külső henger felületéhez és ragasztott kötéssel rögzítem a palást belső felületéhez. A trapézkötés ellenőrzését külön fejezetben tárgyaljuk

Trapézanya felfogató csavarok szerepe mindössze annyi, hogy a helyén tartsa függőleges irányban a trapézanyát. Terhelés közlésében a trapézanya válla vesz részt. Így elhanyagolhatók a csavarok és egy ragasztott kötéssel helyettesíthető a trapézanya válla és a fészek homlok felülete között. Geometriai módosítással a furatok kitöltése további elemszám csökkenést eredményez.



DEBRECENI EGYETEM

MŰSZAKI KAR

GÉPÉSZMÉRNÖKI TANSZÉK

UNIVERSITY OF DEBRECEN
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF MECHANICAL
ENGINEERING

A trapézorsó végén lévő csavar és alátét a nyomaték közlésében vesz részt, alapszerkezet vizsgálatában nem vesz részt aktívan.

Az elforgatásnál használt retesz és kontraanyája sem vesz részt a terhelés továbbításában csak funkcionális szerepe van, így a továbbiakban ezt is elhanyagolom.

A fenti egyszerűsítésekkel jelentős mértékben tudom a csomópontok számát 27340db-ra és az elemek számát 10610db-ra csökkenteni. Így 53%-ra elem és 44%-ra a csomópontok száma, az aktív alkatrészek 29db-ra csökkent, (lásd 2. táblázat.), viszont az elemek minősége továbbra se kielégítő minőséget eredményezett.

2. táblázat. Különböző hálózási beállítások összehasonlítása

Elemek generálása	Aktív elem	csomó-pont	Elemek
Automatikus	37	51110	24227
Globálisan átalakított	29	27340	10610
Átalakítás hatásának kimutatása	78%	73%	44%

Hálóminőség kimutatásában elemminőség kimutatással készült, ahol 327db elem van 0,2 mutató alatt. A minimális elemél-hossz statisztika a hibát eredményezett 175db elem esetén az összesített hegesztési csoport statisztikájában, (lásd 3. táblázat.).

3. táblázat. Elhanyagolás utáni minőségét kiértékelő táblázat

Quality Criterion	Warning Limit	Error (Failure) Limit	% Warning	# Warning	% Failed	# Failed	Average	Worst
Max Aspect Ratio	Default (5)	Default (1000)	0,791 %	272	0 %	0	1,61	16,81
Min Element Quality	Default (0,05)	Default (5e-04)	0 %	0	0 %	0	0,657	0,115
Max Tri Angle	Default (160 °)	Default (170 °)	0 %	0	0 %	0	82,193 °	154,41 °
Min Element Edge Length	Default (5,495 mm)	Default (0,35 mm)	71,233 %	24510	0,509 %	175	5,08 mm	0,137 mm
Max Skewness	Default (0,9)	Default (0,999)	0,064 %	22	0 %	0	0,185	0,982

3.3 Próbaftertattás és kritikus pontok feltárása

Jelenleg még nem foglalkozok a kapcsolatokkal és meghagyom az alapértelmezett ragasztott kötéseket. Céloom, hogy kapjak egy kezdeti képet a szerkezetről, figyelem a teljes alakváltozást, Von-Mises feszültségi értékeket és alakváltozási értékeket. Így a veszélyes keresztmetszeteknél tudok foglalkozni a háló minőségével, hogy közelítsek a valós feszültségcsúcsokhoz.

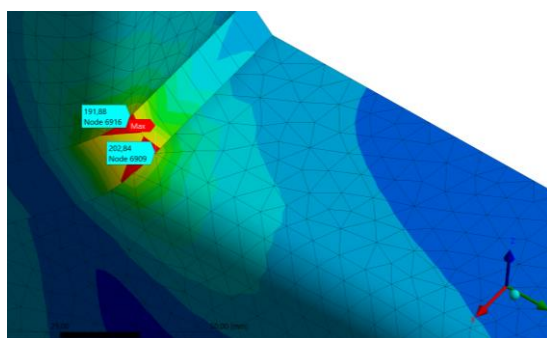
Elmozdulás kényszerrel korlátozom a felezésnél metszett elemek felületek elmozdulási szabadságfokát x irányban. Erőt adok a leszorító talp felületére függőleges irányba mivel fél modelltől van szó a terhelés értéke fele, azaz 2500N, amit a teljes megmaradt felületen oszlik szét.

Lefuttatás után az feszültség és a teljes deformáció eredményeit feljegyzem a későbbi kiértékeléshez, (lásd 4. táblázat.).

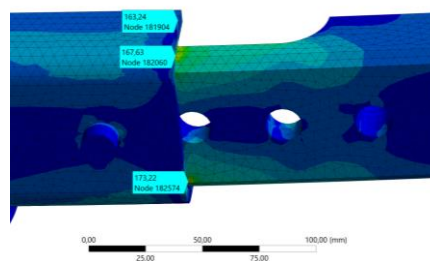
4. táblázat. feszültségérték táblázat

Feszültségérték	Mértékegység	Mérőszám	Mértékegység	Elemen szám
191	MPa	0,0389	mm	6916
202	MPa	0,0315	mm	6909
167	MPa	1,5714	mm	182060
163	MPa	1,5709	mm	181904
173	MPa	1,3200	mm	182574

Magasabb feszültségcsúcs a tartószerkezet látható pontjainál lép fel, ami teljesen reális helyen van mivel az erőkar és a zártszelvény függőleges fala indokolja. 182574. csomópontban fellépő húzófeszültség nem fog kialakulni az adott pontban mivel ott a két anyag el tud válni egymástól és ez a felette lévő 182060 csomópont környékét fogja terhelni a zártszelvényt a felfekvő felületen. Ezekre biztosan figyelnem kell hálózás során, (lásd 4. táblázat.) és (lásd 4. ábra. (a-b))



5. ábra. (a) Feszültség csúcs a hegesztésben



4. ábra. (b) Feszültség a karban

3.4 Hálózás módszere és minőségének javítása

Egyik legfontosabb, hogy a geometriai formához igazítom a hálózási stratégiám. Vizsgálom a Show Sweepable Bodies segítségével a söpörhető alkatrészeket és megpróbálok tökéletes alaphálózást kialakítani. A központi hálózást az alábbi beállítási módosításokkal futtatom, (lásd 5. táblázat.).

5. táblázat. Beállítási paraméterek

Elemminőség	Program vezérelt
Elemméret	5, mm
Adaptív elemméret használata	Igen
Hibahatár	Agresszív mechanikai
Smoothing	Közepes

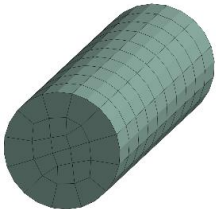
Az alacsonyra van véve az elem méretet, hogy már az első számítás során meg tudjam közelíteni a leginkább terhelt alkatrészeket és elősegítsem számítás lefutását, amit megpróbálok a jó hálómínőséggel ellensúlyozni.

Az alap hálózás nem hozott rossz eredményeket, de szükséges rajta javítanom főleg, ha folyáshatár közeli értékeket kapok előzetes vizsgálatkor. Részletes hálózásnál vizsgálom az apró éleket és geometriai hibákat.

3.4.1 Söpörhető alkatrészek hálózása

Söpörhető alkatrészek általában a kihúzott alkatrészek vagy forgástestekre alkalmazható. Előnye, hogy csökkenti az elemszámot és hexaéder elemekkel tölti fel a testet, (lásd 6. táblázat.).

6. táblázat. Söpörhető alkatrész elemméret

	Minőségi kritérium	Figyelmeztetés	átlag	Átlag
	Oldalarány értéke	Default (5)	1,182	1,277
	Min elem minőség	Default (0,05)	0,972	0,903
	Max élszög	Default (160 °)	65,674 °	66,514 °
	minimális elemél-hossz	Default (0,4 mm)	3,618 mm	1,789 mm
	Min élszög	Default (20 °)	22,5 °	53,258 °
	Max torzultság	Default (0,9)	0,058	0,373

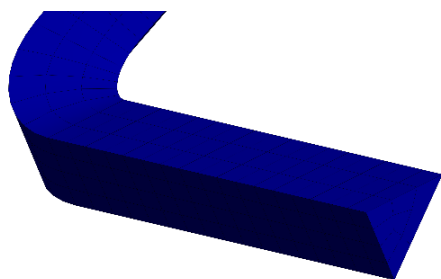
[1] „Söpörhető alkatrészekre mind elvégzem a söpört metódust a rögzítő stift, központi tengely, hogy minél jobb minőség jöjjön létre. Kisebb átmérőknél bekapcsolom a Quadratic beállítást és egyelőre nem változtatok az 5mm hálóméreten még nem indokolt. Ugyan ez igaz az anyafészek hálózási stratégiájára.

A központi csap hálózásánál lehet, hogy a későbbiekben geometriai változtatást kell eszközölnöm, mert a kis méretű letörés miatt a söprés nem hozott jó eredményeket a hálósűrítéssel és élek/felületek átméretezésével sem. A multi zóna + hexaéder beállítással sikerült jó eredményt elérni az oldalarány értéke kivételével. Itt a Hálóminőség-kiértékelő táblázat kimutatása szerint 2,35% -ban 6,6% -os mutatót eredményezett, ami csak sárga jelzésre elegendő.”, (BME MOGI; 2014)

Egyelőre nem nyomom el a program általi méret beállításával a letörést. Azért lehet ez a későbbiekben probléma, mert egy vélhetően erősen terhelt alkatrész külső peremén helyezkedik el.

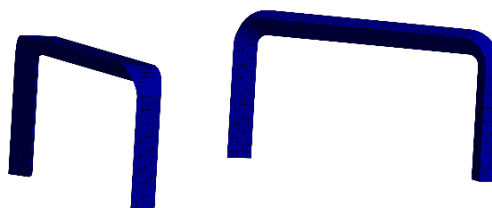
3.4.2 Hegesztési varratok hálózása

Következő lépésként a hegesztési varratoknál a geometriát ellenőrzöm. A cél, hogy az alacsony minőségű elemeket feljavítsak és piramis elemek arányát csökkentsem. Kritikus pont a véges elem számításban a mivel éles szögeivel nehezen hálózható hexaéder elemekkel. Hegesztés és hegesztési csoport geometriáját (lásd 5. (a-b) ábra.).



0,00 0,50 20,200 (mm)

5. ábra. (a) Hegesztési varrat hálózás



0,00 50,00 100,00 (mm)

5. ábra. (b) Hegesztési csoport hálózás

Itt is törekszem a hexaéder elemekre és a hálót is besűrítettem az alábbi három lépéssel táblázat szerinti lépésekkel az össze hegesztési varratnál, (lásd 7. táblázat.).

7. táblázat. Hálózási beállítás lépései

lépés		hexa domináns	söpört metódus	méret
1.	Metódus	hexa domináns	söpört	
2.	Szabad felületi hálózás	összes kvadratikus	kvadratikus-piram.	
3.	Elelem méret			2mm

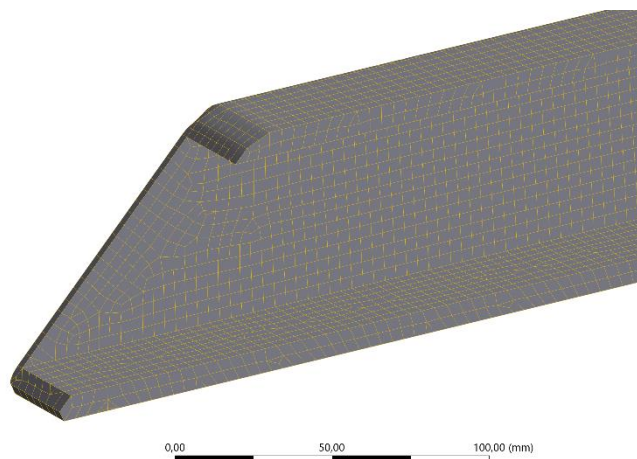
Hálóminőség-kiértékelő statisztika alapján a maximum oldalarány értéke 1,514 átlagosan, ami teljesen rendben van, 0,715% -ban kapott figyelmeztetést. Elenyésző mértékben vannak erősen megnyúlt alakzatok, amik jelenleg elfogadhatók. Elemminőség átlagos értéke 0,883, ami kitűnő, legrosszabb elem is csak 0,115 egyesített mutató, aminek jó minősége szükséges a lefutáshoz is. Háromszögek szöge maximum 154,41°, 170°-nál kapott volna figyelmeztetést. minimális elemél-hossz figyelmeztetést 0,424%-ban kapott figyelmeztetést, a legrosszabb érték 0,137, ami még messze van a 0,05%-os hibahatártól. Torzultság átlag érték 0,158, ami jónak mondható. Nagyon kis mértékben haladta meg a 0,9%-os torzultság értékét és minden elem hibahatár alatt maradt.

3.4.3 Tartószerkezet zártszelvények hálózása:

Legcélszerűbb lenne a söpört vagy a hexaéder domináns (Quad/Tri) hálót használni a falakban ébredő hajlítási igénybevétel miatt. A jelenlegi megközelítésben feltétlen az a célom, hogy hexaéder elemekből álljon a legnagyobb mértékben főleg a hegesztés közelében. Hajlított elemeknél feltétlen kerülni kell a TET 4 elemeket és csakis TET10 másodrendű quadratik elemeket fogadhatok el. Hajlított elemeknél feltétlen kerülnöm kell a TET 4 elemeket mert hajlításra rosszul reagálnak és sokkal pontatlanabb eredmény születik. A pontatlanság abból is ered, hogy az íveket nem tudja lekövetni mert kevesebb a csomópont, cserében gyorsan lefut. A TET10 élei mentén az elmozdulás alakfüggvény parabolikus is lehet, ha a geometria megkívánja.

Geometriailag nem szeretném módosítani a letörést mivel a valójában nem tud olvad be az anyag teljes keresztmetszetben a teljes hosszon a csatlakozó szelvényekbe. Geometria korrigálásával és ragasztott kötéssel nagyobb felület érintkezne, mint valójában, ezért a hegesztés hitelesebb felületét veszem figyelembe ebben a megközelítésben, ami a valós geometria.

Vizsgálom az alsó tartószerkezet függőleges alkatrész hálózását a fenti szempontok szerint, (lásd 6. ábra.).



6. ábra. zártszelvény hexa domináns hálózása

A program vezérelt metódust és az általam meghatározott 5mm hálómérettel, TET10 elemekkel építette meg a globális hálózást jó minőségben és minimális figyelmeztetéssel készült.

Átalakítom hexa domináns és szabad felületi hálózás Quad/Tri beállítással. Itt megengedem, hogy tervezzen háromszög hálót is. A kezdeti 5mm hálóméret hibás hálózás eredményezett, de 4mm-re csökkentve nem állt le hálógenerálás közben, (lásd 8. táblázat.).

8. táblázat Elemminőség javulás a hálózási metódus változtatásával

	Átalakítás előtt	Átalakítás után	Kiértékelés
csomópontok	114711	49973	43%-ra csökkent
Elemek	47514	19534	41%-ra csökkent
Elemek minősége	Average 0,868 Worst 0,115 Warning 0	0,988 0,378 0	Javut Jelentősen javult -
Jacobian mérőszám	Average 0,925 Worst 0,028 Warning 3	0,743 0,063 0	Javut Jelentősen javult Figyelmeztetés mentes
Oldalarány érték	Average 1,563 Worst 1681 Warning 174	1,053 525,48 0	Javut Jelentősen javult Figyelmeztetés mentes
Torzultság	Average 0,171 Worst 0,982 Warning 16	0,052 0,667 0	Jelentősen javult Javut Figyelmeztetés mentes

A hexaéder domináns hálózás jó eredményt hozott hálóminőségi szempontok alapján. Ezzel viszont olyan probléma van, hogy a letörés miatt pont a hegesztésnél alakulnak ki a piramis elemek, amik torzíthatják a feszültségcsúcsok értékét és szingularitást válthatnak ki.

Befektetett hálózási munka meghozta a várt eredményét. Az elemek és a csomópontok darabszáma tekintetében több mint 50%-os csökkenést

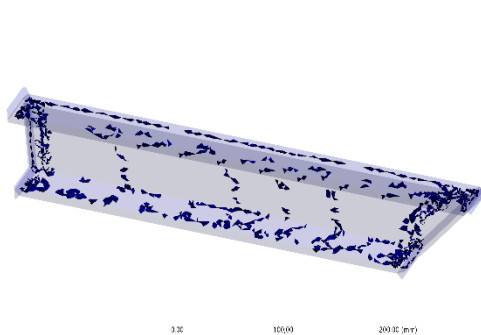
eredményezett. A hálómínőségi mutatók minden vizsgálati szempont tekintetében javultak és egy elem se érte el a figyelmeztetési határértéket.

Rá lehetne erőltetni a hexa domináns metódust a szabad felületi hálózás kizárólag négyszög elemekkel beállításával amennyiben mind a 3 zártszelvény alkatrészen a globális hálóméretet leveszem 2mm-re. Ez jelentősen megnöveli az elemek számát, ami jelenleg indokolatlannak látszik. Iterációs vagy szingularitási probléma esetén lehet, hogy alkalmazni kell a későbbiekben. A vizsgálat folytatásához a fenti stratégiát alkalmazok 4mm-es hálómérettel és kismértékű TET10 másodrendű quadratik elemekkel.

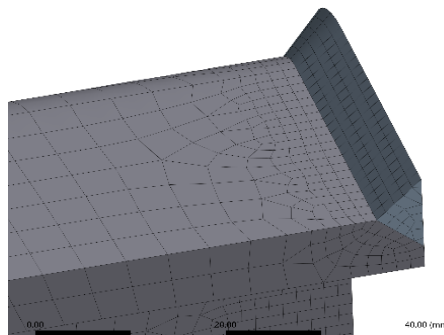
Fontos, hogy vizsgáljam a rosszabb mutatókkal rendelkező elemek elhelyezkedését. Optimális lenne, ha minden elem lényegesen a figyelmeztetés szint alatt maradjon. Figyelembe kell venni, hogy egy kedvezőtlen geometriánál ez nem mindig megvalósítható. Jelen esetben szükséges volt a hexa erőltetése még akkor is, ha kedvezőtlen más szempontból. Továbbra is figyelnem kell, TET4 elemünk ne legyen és elvégezzük az alsó tartószerkezet vízszintes alkatrész hálózását.

3.4.4 Hegesztési varrat kapcsolata

Besűrítem a hálózást 2mm-es méretre és közös pontokkal segítem elő a pontosabb számítást és gyorsabb lefutást. Folytonos háló két érintkező felület között segíti a konvergenciát mert nem kell két pont között interpolálni és pontosabban viszi át a terheléseket, de a szingularitási problémán nem segít, (lásd 7. ábra. (b)).



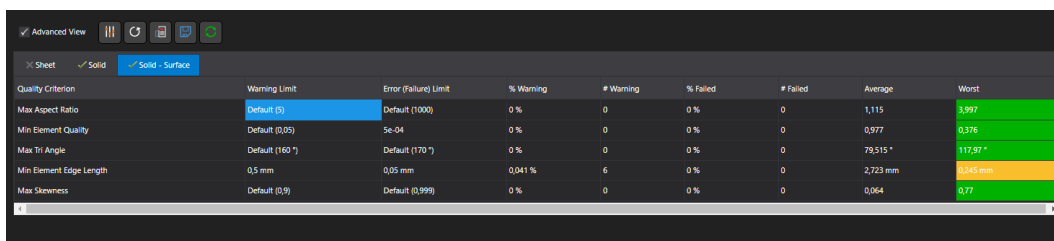
7. ábra. (a) Piramis elemek elhelyezkedése



7. ábra. (b) kialakult folyamatos háló

Kontakt hálózasi felbontásnál helyi hálófinoítást végzek a hegesztés és a zártszelvény kapcsolódó felülete között. A felbontás egy relatív értékű felbontás, ami automatikusan csatlakoztatja a felületeket és igazítja a hálóméretet. Az eredeti 4mm-es értékkel, a 2mm -re méretezett hegesztési varrathoz sűríti zártszelvény hálóját. További hálófinoításhoz csak a varrat hálóméretét kell állítani és ha nem fut hibára akkor nem is kell a zártszelvény központi hálóméretéhez nyúlni, (lásd 9. táblázat.).

9. táblázat. Háló minőség mutató

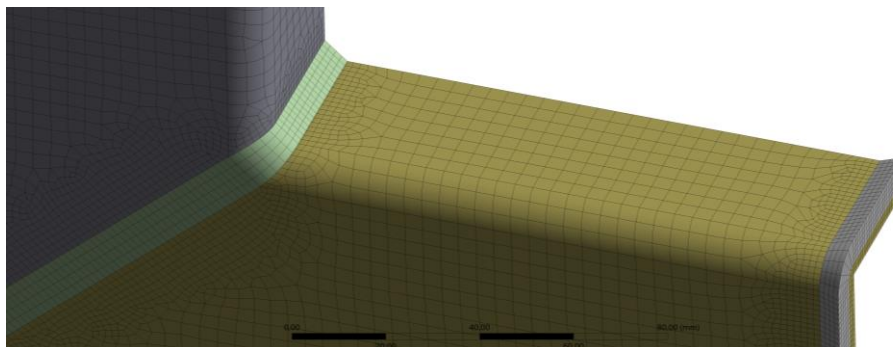


Quality Criterion	Warning Limit	Error (Failure) Limit	% Warning	# Warning	% Failed	# Failed	Average	Worst
Max Aspect Ratio	Default (5)	Default (1000)	0 %	0	0 %	0	1,115	3,997
Min Element Quality	Default (0.05)	Se-04	0 %	0	0 %	0	0,977	0,376
Max Tri Angle	Default (160 °)	Default (170 °)	0 %	0	0 %	0	78,515 °	117,90 °
Min Element Edge Length	0,5 mm	0,05 mm	0,041 %	6	0 %	0	2,723 mm	0,245 mm
Max Skewness	Default (0.9)	Default (0.999)	0 %	0	0 %	0	0,064	0,77

Hálóminőség-kiértékelő táblázat összefoglaló alapján biztonságos tartományban vannak. Jelen statisztikában az alsó tartószerkezet függőleges zártszelvény és kapcsolódó varratai kerülnek kimutatásra.

Elemminőség átlaga 0,977, ami szinte tökéletes és a maximum oldalarány értéke 1,115, a legmagasabb 3,997-es érték is jócskán a figyelmeztetési határ alatt van. Torzultság átlag érték 0,064, ami nagyon jónak mondható. A maximális 0,77 érték nem éri el a 0,9%-os figyelmeztetési határt. Viszont az minimális elemél-hossz sárga jelzést kapott mivel 6db esetén (0,041%-ban) alá ment a 0,5mm -es figyelmeztetési határnak, de az átlagérték 2,73 összességében jó tekintve a 4mm-es hálót, ami 2mm-re be van sűrítve a szelvények végéinél és a varratban is.

A 6. ábra. (a) látható a TET10 elemek elhelyezkedése. Ezek a geometriai elemek elkerülhetetlenek amikor különböző számú hexa elemet kell összekapcsolni. Ez kötelező mivel a koncepció az, hogy minél több hexa elemet szeretnék használni, emellett sűrítést is alkalmazok és nem szeretném növelni az elemszámot indokolatlanul a szelvény teljes hosszában. Ebből következik a jó hír, hogy a piramis elemek elhelyezkedése a kritikus zónáktól távolabb helyezkednek el és nem befolyásolják az eredményeket akkora mértékben, mint ha a kapcsolódási pontnál lennének.



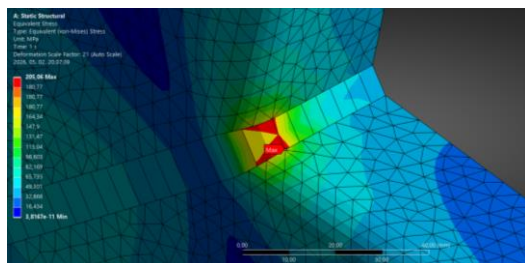
8. ábra Lokális sűrítés a varratoknál és kapcsolódó alkatrészeinél

Az érintett öt alkatrész hálómínőségi statisztikája hasonló eredményt hozott, mint a részvizsgálat de a minimális elemél-hossz figyelmeztetés stagnál és 0,026%-os értékre csökkent. Sajnos le kellett mondanom a teljesen hexa elemekről és keletkezett 20,2%-ban piramis elem is, (lásd 8. ábra.).

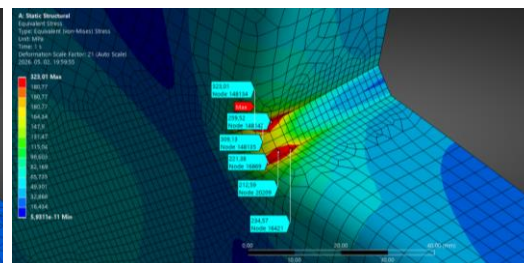
Lefuttatjuk a szimulációt hálózás módosítással és összehasonlítjuk a kapott eredményeket.

Első tájékozódó futtatásnál a hegesztések geometriáját ragasztott kontakttal rögzítjük hálósűrítés nélkül. Mivel a kiinduló modell tartalmazza a hegesztési varratok és a varratelőkészítési gyökök kialakítását ezért kiinduló módszerben felhasználjuk ezeket.

Lefuttatás után két hegesztési varratnál tapasztalhatunk feszültségcsúcsokat. Tisztában vagyok azzal, hogy a varrat sarokpontjaiban szingularitási jelenség lép fel és a kapott eredményeket fenntartással kell kezelni, (lásd 9. ábra. (a))



9. ábra (a) alsó egység kritikus feszültsége hálózás előtt



9. ábra (b) alsó egység kritikus feszültsége hálózás után

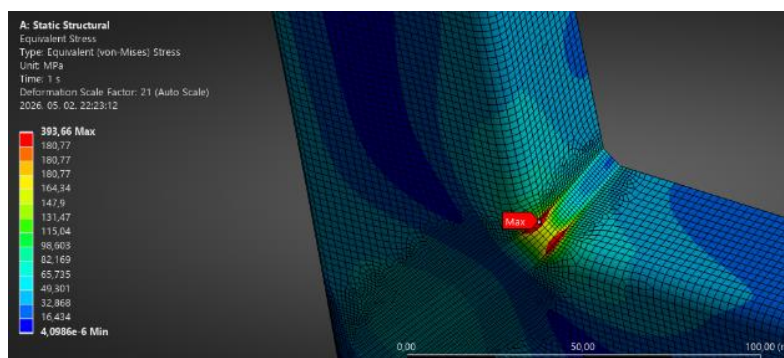
Két számítás között jelentős különbséget tapasztalhatunk, hálósűrítéssel a 205,6 MPa-os érték 323 MPa-ra változott.

Ami utalhat szingularitási problémára, ami bizonyos geometriánál alakulhat ki és itt a feszültség elméleti értéke végtelen. Ha hálósűrítéssel továbbra is ekkora mértékben nő maximális feszültség akkor biztos, hogy szingularitási probléma.

3.5 Szingularitás vizsgálat

Amennyiben nem nő az érték 2-3%-nál nagyobb értékben akkor közelebb jutottunk a pontos értékhez, ami a sűrűbb és pontosabb hálóelemből adódik.

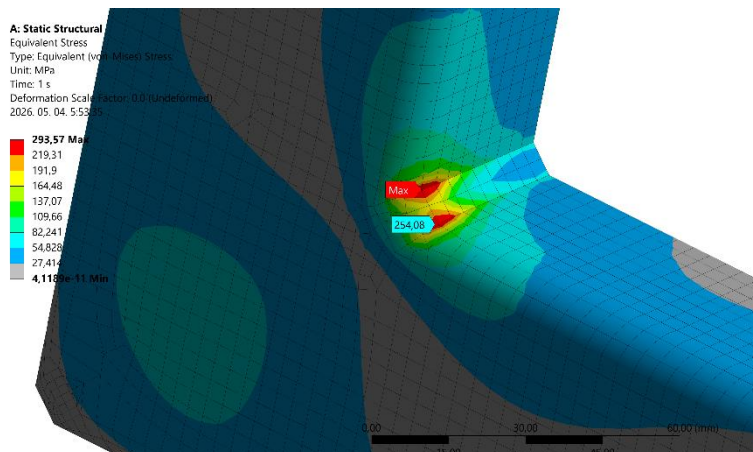
A 60%-os hálósűrítés elkészítése és futtatás után további feszültségnövekedést eredményezett. 323 MPa-ról 393MPa-ra növekedett, (lásd 10. ábra.). Így bebizonyosult, hogy szingularitási problémával állok szembe.



7. ábra. Szingularitás vizsgálat, feszültség eloszlás

[2], „A de Saint Venant elv szerint a szingularitás csak lokálisan torzítja az eredményt. Tőle távolabb az elmozdulások és feszültségek pontosak maradnak, így ott figyelmen kívül hagyható.”

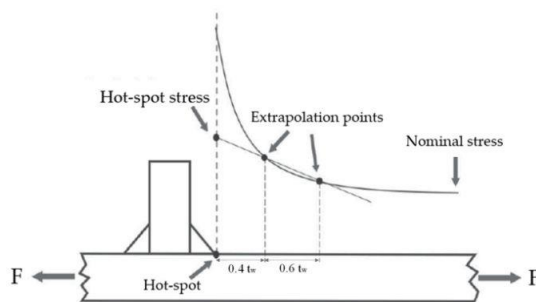
Felmerül a kérdés, hogy a háromszög keresztmetszetű hegesztési varrat szomszédos alkatrészeivel való integrálásával meg tudnám-e oldani ezt a problémát. Azt letudom ellenőrizni egy geometriai módosítással, ami a csatlakozó felületek mentén egy testté összeolvasszuk a két zártszelvényt és a hegesztési varratot. A szimuláció lefolytatása után megvizsgált eredmény vizuális képe és mérési eredménye is hasonló eredményt hozott, (lásd 11. ábra.).



8. ábra Alsó egység kritikus hegesztése összevonás után

A szerkezeti feszültség módszerrel (Hot-spot stress) lehet ez esetben megoldáshoz jutni. Az alsó egység kritikus hegesztésénél nem a szingularitási pontban nézi a maximális feszültséget, hanem attól távolabb a lemezvastagság függvényének távolságban. Hot spot számítással matematikailag stabil értéket kapunk, értékelhető eredménynek tekinthetem, (lásd 11. ábra.).

[3] „Hot-Spot Stress Method elemelte leírja hogy extrapolációs pontokkal hogy lehet meghatározni a szerkezetben fellépő valós feszültséget a hegesztési varrat közelében. A forrópont-feszültség módszer a hegesztési varrat széléhez közeli anyagban lévő maximális főfeszültségen alapul, figyelembe véve a geometria miatti feszültségkoncentráció hatásait és kizárva a lokális hegesztési varrat geometriájából adódó nemlineáris hatásokat, (lásd 12. ábra.)



12. ábra. Hot-Spot feszültség módszerének szemléltetése

A forrópont-feszültség kiszámítására szolgáló egyik elvet mutatja be a szingularitási probléma kiküszöbölésére. A hegesztési varrattól 0,4 és 1 lemez vastagság távolságra lévő feszültségértéket veszi figyelembe. Figyelmen kívül hagyva a nemlineáris csúcsot és linealizált szerkezeti feszültséget lineáris extrapolációjával kiszámítható kiszámíthatóvá teszi a varrat tövében.” (A. Hobbacher, 2016)

Kutatási eredmények alapján lineáris feszültségcsúcs meghatározásához sarokvarrat esetében a varrattól szélétől kell mérni $L_v \cdot 0,4$ és $L_v \cdot 1$ távolságban, esetemben 3,2mm és 8mm távolságban kell mintát venni a varrat síkjától merőlegesen, Az alábbi eredmények a maximális feszültség x-z síkjában mérve.

$$\sigma_{0,4t} = 86,7 \text{ MPa} \quad (1)$$

$$\sigma_{1,0t} = 116,1 \text{ MPa} \quad (2)$$

$$\sigma_{hs} = \sigma_{0,4t} + \frac{0,4}{0,6} \cdot (\sigma_{0,4t} - \sigma_{1,0t}) \quad (3)$$

$$\sigma_{hs} = 1,667 \cdot \sigma_{0,4t} - 0,667 \cdot \sigma_{1,0t} \quad (4)$$

$$\sigma_{hs} = (1,67 \times 116,1) - (0,67 \times 86,7) = 193,9 - 58,1 = 135,8 \text{ MPa} \quad (5)$$

A számított Hot-spot feszültség 135,8 MPa feszültség csúcs helyén. Ezt az értéket figyelembe vehetem, ami ebben a zónában a maximális érték

Korábban modellezett hegesztési varratra meghatározva az alábbi eredmény jönne ki, amit most ellenőrzésként használok fel. 393,6 MPa-t mutatott.

$$\sigma_{0,4t} = 67,25 \text{ MPa} \quad (6)$$

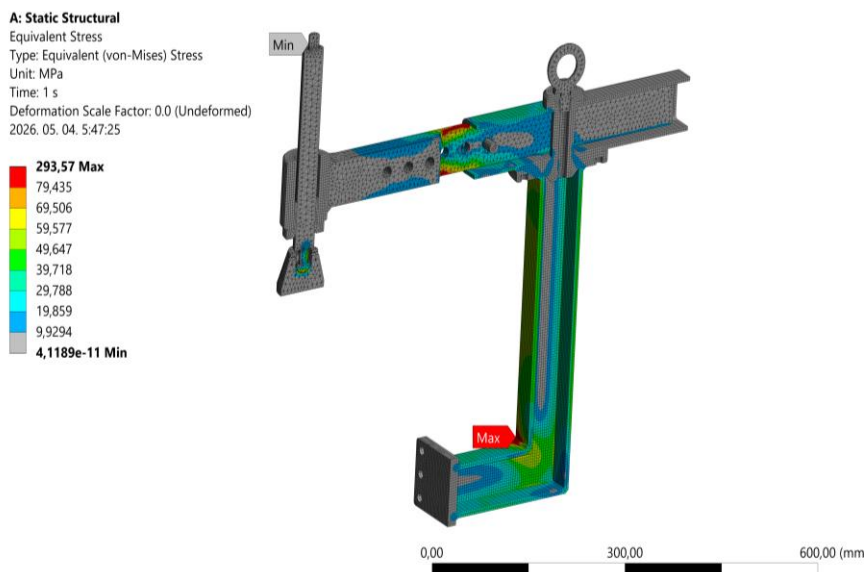
$$\sigma_{1,0t} = 89,32 \text{ MPa} \quad (7)$$

$$\sigma_{hs} = (1,67 \times 89,32) - (0,67 \times 67,25) = 149,1 - 45,0 = 104,1 \text{ MPa} \quad (8)$$

Figyelembe véve a durva hálózás alacsonyabb értékét akkor megfelelőnek tekintem összehasonlításként.

4 Szerkezetek közötti kapcsolatok és modellezési megfontolások

Célom, hogy valóságghű szimulációt hozzunk létre mivel több alkatrész modellezési analízisét valósítsak meg. Életszerűen kell beállítani a kontaktokat mert ez tükrözi az alkatrészek közötti kölcsönhatásokat, amivel a szerkezet is találkozni fog a gyakorlati életben. Ezek a kötések továbbítják vagy éppen nem továbbítják a terhelést, (lásd 12. ábra.).



12. ábra. Kontaktos beállítása előtti feszültségviszonyok

Esetemben egy komplex jelenségről van szó, ahol felületek részben nyomják egymást és egy másik pontban szétválnak egymástól. Eddigi vizsgálataim során során az automatikusan generált ragasztott kötéseken nem változtattam és meg is figyelhetjük, hogy jelentős különbségek alakulnak ki miután realizáljuk a kontaktok segítségével a valós anyagi viselkedéseket. Több alkatrészből és kontakt kapcsolat



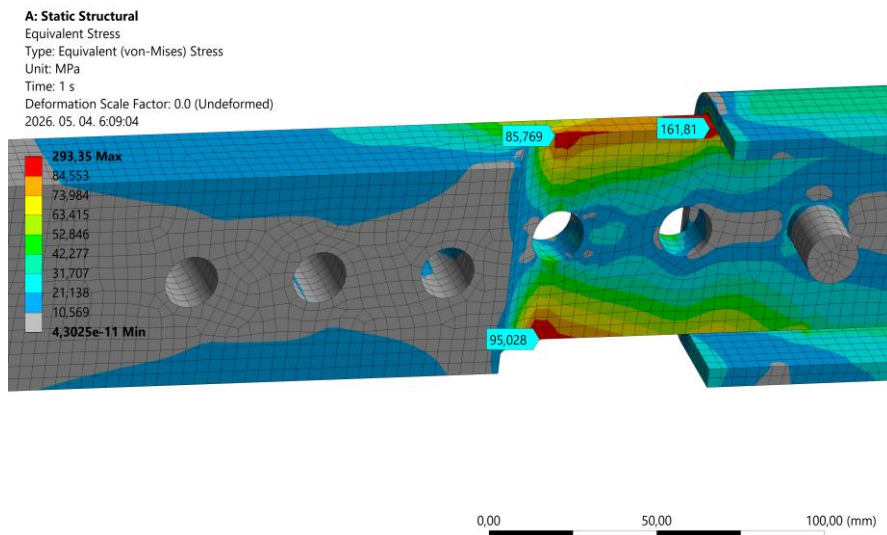
DEBRECENI EGYETEM MŰSZAKI KAR GÉPÉSZMÉRNÖKI TANSZÉK

UNIVERSITY OF DEBRECEN
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF MECHANICAL
ENGINEERING

esetén határozatlanná válhat modellünk, ami instabillá teheti és roppant módon megnöveli a számítási időt, esetleg az iterációk során nem is hoz egyáltalán eredményt. A ragasztott és leválásmentes kötésen a lineáris típus, ami könnyű számolást tesz lehetővé. A súrlódásos, a súrlódásmentes és az érdes felületű kapcsolat már nemlineáris, ami jelentősen befolyásolja. A nemlineáris kapcsolat esetén iterációnként újra kell számolnia és meg kell keresnie a jó megoldást, ez nagyon sokáig tart és lehetséges, hogy nem is következik be. Amikor a két felület elválik egymástól pl. súrlódásos kapcsolatnál akkor változik a felület, változik az erőhatások szöge és iránya. Eddigi vizsgálataink során lineáris számításokkal szimulációt, ami egyszerű mátrix művelettel megoldható.

A nem-lineáris kapcsolatok elkerülhetetlenek esetünkben. Alapjában véve annyiban tudjuk elősegíteni a számítást, hogy előterhelésekkel építjük fel a terhelést mert így könnyebben elkerülhető a matematikai instabilitás. A számítások mennyiségét lehet csökkenteni az egymáson elmozduló felületek hálóméretével. Ahol nem keletkeznek nagy feszültségek ott nem is érdekel minket a pontos érték mert irreleváns, így vigyázunk a túlsűrített hálózással és csak lokális sűrítést végzünk ameddig lehetséges. Amennyiben túlbonyolítjuk akkor előfordulhat, hogy elakad a számítás és nem fog konvergálni. Ezesetben is fontos szempont lehet az egyszerűsítés.

Meg tudjuk könnyíteni a sikeres lefutást, ha csatlakozó felületek hálózása jól viszonyul egymáshoz és érintkezik. Itt is előjön a hexa elemek tulajdonságának most is kihasználjuk, mint a hajlított alkatrészeknél, a stabilabb és könnyeb számolhatóság miatt, (lásd 13. ábra.).



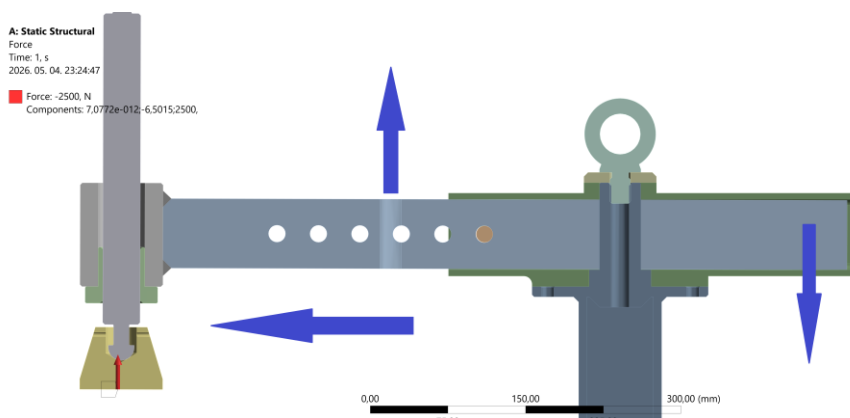
13. ábra. Kihúzható kar tömöranyaga és a zártszelvény feszültségviszonyai

Szimuláció futtatása előtt megfigyelhetjük az alapértelmezett ragasztott kötés alapvető problémáját. A kihúzható kar tömöranyaga erőt közöl a zártszelvény alsó részére is. A gyakorlatban az erő csak a szelvény felső felületére fog hatni, ráadásul a jelenlegi erőhatást kizárólag a felső érintkező felületnek kell elviselni. Megközelítőleg a jelenlegi duplájára lehet számítani, ami kritikus is lehet, így már most sűrítsem a hálót a kapcsolatokkal ellátott szimuláció során. A két anyag között fizikálisan hézagnak kell lennie, hogy mozgatható legyen a feladat igényei szerint. Érintkezésig történő igazítás parancs egymás felé igazítja a kijelölt felületeket, hogy az illesztési hézagok virtuálisan megszűnjenek és mihamarabb megvalósuljon a két felület közötti érintkezés.

4.1 Geometriai egyszerűsítés

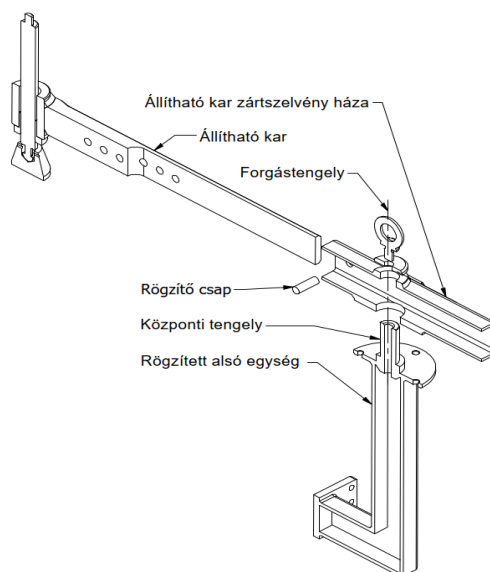
Modell szinten kihúzható kar egy érintkezésmentes fizikális kapcsolatban van a zártszelvényvel mivel 1-1mm -el kisebb a külső befoglaló mérete, mint a zártszelvény belső mérete. Az automatikus generálás ragasztott kötésekkel készített elő, ami nem fedti a valóságot.

Jelen pillanatba úszik a levegőben, ami instabilitáshoz vezethet. Meg tudja oldani a program a feladatot, de indokolatlan időbefektetéssel jár és instabilitást hordoz magában, (lásd 14. ábra.).



14. ábra. CAD által elmozdított geometria

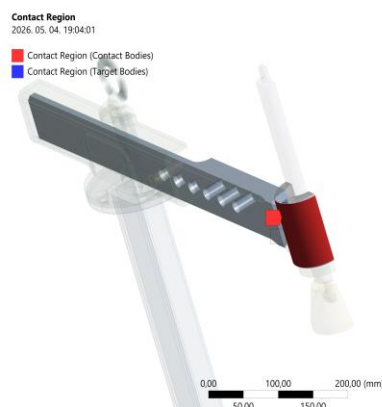
CAD program segítségével elmozdítom és kényszerezem felütköztetett állapotba Z irányba. A kart kihúgom Y irányba az állítható kart, hogy felvegye a térben a stabilitását. 14. ábrán láthatók a geometriai kényszerek iránya. Átláthatóság érdekében az alábbi ábra mutatja a fő egységeket, (lásd 15. ábra.).



95. ábra egyszerűsített szerkezet robbantott rajza

4.2 Kapcsolatok meghatározása

Az állítható kar és az anyafészek alkatrészek kapcsolatára az automatikusan két kötést is készített a program. A hegesztett kötésekre esetben minden ragasztott kötést állítok be. Ez esetben is de a tömör anyagok belsejében ez a valóságban nem jön létre. Egyelőre kizárom a szimulációs folyamatból mert egyrészt nem valós és feleslegesen terheli a számítást. Amennyiben feszültségcsúcs vagy szingularitás jön létre akkor változtatnom kell és megvizsgálom, addig is a körbe ölelő hegesztési varrat felületének kapcsolatát hagyom csak meg, (lásd 16. ábra.).

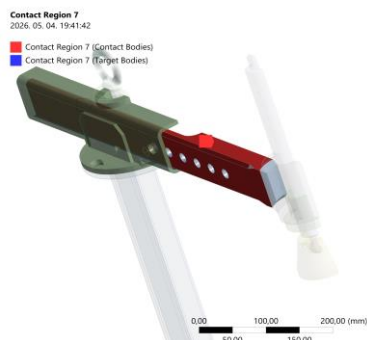


16. ábra. Állítható kar és anyafészek kapcsolata

4.3 Állítható kar csatlakozásának vizsgálata

Továbbá ragasztott kötéssel látjom el az anyafészeket, leszorítótálpát és peremes trapézanya alkatrészek kapcsolatát. Az egyik kapcsolat a trapézorsó és a trapézanya kapcsolata, amit a későbbiekben meg lehet vizsgálni, jelenleg egyszerűsítési okokból ragasztott kapcsolatot létesítek. Hasonlóan járok el a ház és a trapézanya kapcsolatával, mivel csak axiális erőhatás éri a vizsgálat során és a menetes kötés vizsgálatával ellenőrzöm. Ezeknél a kötéseknel a kihajlásból eredő csavaró nyomaték annyira elenyésző, hogy el is hanyagolom.

A próbafuttatás során minden kapcsolatot ragasztott kötésként hagytam meg, hogy a kontaktmodell komplexitása ne torzítsa a kezdeti feszültségeloszlást. A cél a kritikus zónák feltérképezése volt, nem a végleges eredmények meghatározása.

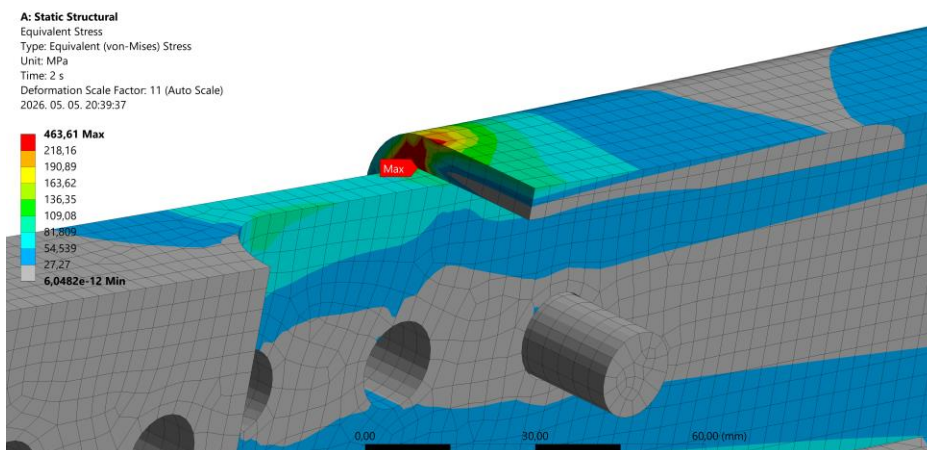


17. ábra. állítható kar és zártszelvény ház kapcsolata

Az állítható kar és zártszelvény ház kontaktjának kialakításánál fokozott figyelmet kell fordítani mivel feszültségcsúcs alakul ki.

A két felület érintkezik egymással, de csak a zártszelvény terhelés felőli oldalán és a kihúzható kar végénél Ezt a kapcsolatot súrlódásmentes kötéssel alakítom ki mindkét érintkező pontban. Kontakt felületnek mindig a kisebb rádiuszú alakelemet kell választani egyforma keménységű anyagoknál. Az erő oldalán a kontakt felület a zártszelvény, mivel az élben csatlakozik, a hátsó oldalon viszont a tömör anyag felülete mert ott annak az éle fekszik fel, (lásd 17. ábra.).

[4] „A beállítási lehetőségénél használok a Lagrange-szorzó és a büntető módszer kombinációja (Augmented Lagrange) beállítást, ennek előnye a matematikai stabilitás melynek köszönhetően gyorsan lefut és kevesebb iterációval pontos eredményt ad. 463,3 MPa feszültség eredmény mutatkozik a felső kapcsolódási pontnál, (lásd 18. ábra.).” (Burman, Hansbo, Larson; 2019)



18. ábra. Kihúzható kar zártszelvény kapcsolata

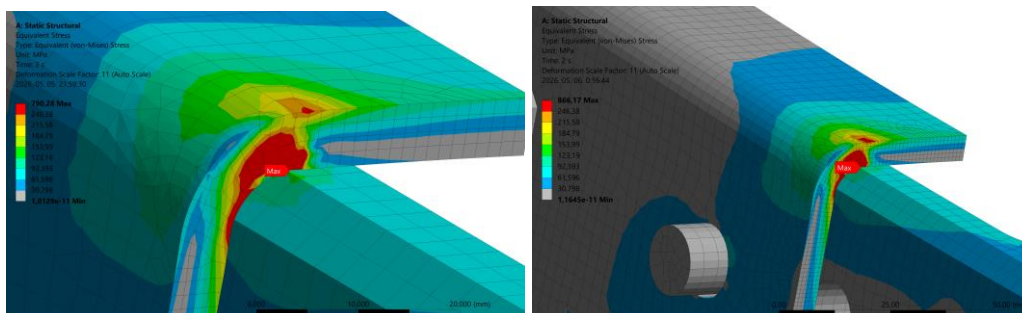
Valamint láthatjuk az alacsony feszültségi szintet a rögzítőtíft környezetében, így biztos lehetek benne, hogy mérvadóan részt vegyen az erőátvitelben.

A súrlódási együttható értékét 0,2-re veszem, ami fém és fém között a javasolt maximum. Ennél a kapcsolathoz nem vagyunk kíváncsiak a súrlódásra, ami valószínűleg csak azért van, hogy elősegítse a stabilizálódást. Kiküszöböljük azt, hogy iteráció során keresse az egyensúlyi helyzetet mert ez esetünkben szignifikáns.

Normálirányú merevségi tényező az Ansys korábbi hibaüzenete miatt emeltem magasabbra 10-re az egymásba hatolás csökkentése érdekében. Gyorsabb eredményre számíthatok viszont a csatlakozó felületek egymáson pattogása konvergencia hibát eredményezhet. Pontosabb eredményt várok egy alacsonyabb érték használatával. Kritikus szempont ez a szimulációban és nagyban befolyásolja a kapott értékeket.

Kezdeti áthatolás kezelése beállításnál a hozzáigazítás az érintkezéshez beállítást választom. Kényszerek hatására a CAM programban az alkatrész geometriailag összeér viszont ez nem biztos, hogy a solver futtatásánál meg is valósul. Többszöri átalakításon megy át a modell és a hálózásnál is megváltozik az alkatrész matematikai körvonala. Biztonsági szempontból ezt választom mivel nincs szükségem Offset-re és extra terhelést se akarunk adni rá, (lásd 19. (a) ábra.).

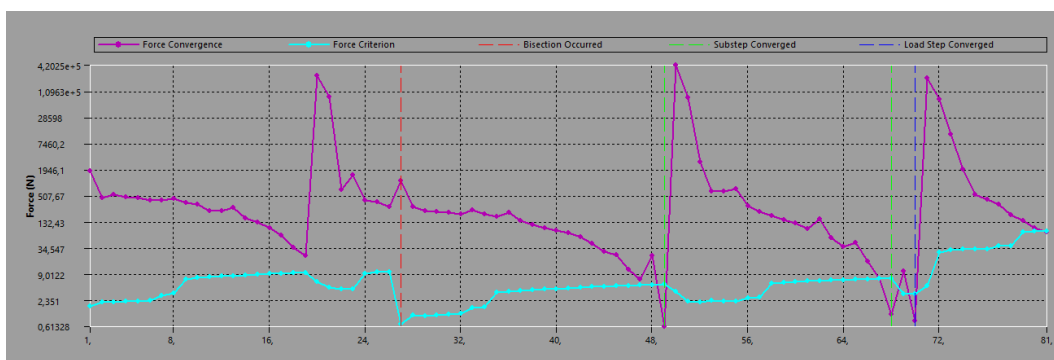
Elvégezve egy 1,5mm-es felületi háló sűrítést és újra futtatva a szimulációt jóval magasabb eredményt kapok. 790,28 MPa feszültséget mutat a csatlakozási pontban, (lásd 19. (b) ábra.).



19. ábra. (a) Feszültség eloszlás előtte

19. ábra. (b) Feszültség eloszlás után

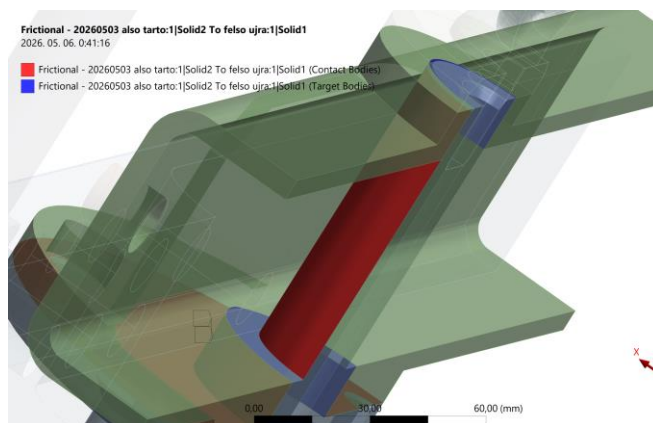
A homlokfelület további hálósűrítésével nem tapasztaltam jelentős feszültségnövekményt. 1mm-es felületi hálózással a maximális feszültségérték 866,17 MPa, ami 9,6%-os érték, normálirányú merevségi tényező 1-es értékre való állításával 516,09 MPa értéket mutat, ami közelebb van a valósághoz és ennél az értéknél már elhanyagolható a behatolás. Az iterációs lépéseknél is látszik, hogy nehezen konvergál, keresi a megoldást és igyekszik stabilitást találni, (lásd 20. ábra.).



20. ábra. Iterációs lépések

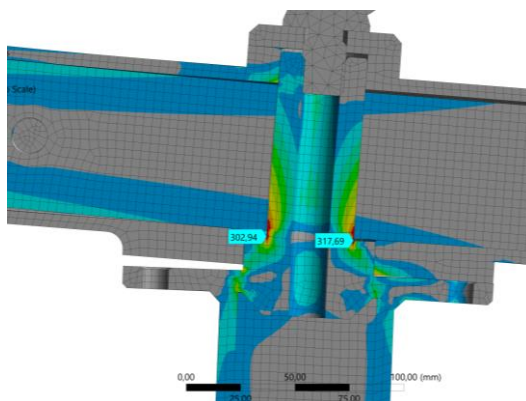
Az egymáson elmozduló alkatrészek nagyban befolyásolják mert az egymáson elmozduló kontaktok szimuláció során folyamatosan változnak. A fűrészfog csúcsán a program észleli, hogy nem tud konvergálni mert hirtelen változás történik és túl sok erő marad a rendszeren. Ilyenkor a rendszer próbálkozik kisebb időlépéssel dolgozni, hogy megtalálja matematikailag az erők egyensúlyát. Az erőkonvergencia lila vonala mutatja, hogy milyen kiegyenlített erők vannak a rendszerben. Akkor talál a Solver megoldást amikor találkozik a maradó erő világoskék vonalával, ami egy elvárt küszöbérték.

Súrlódásos kötéssel kapcsolom össze az alsó fix egységet a felső elforgatható résszel. Az alsó tartószerkezet egy központi tengellyel csatlakozik, amin el tud fordulni. A súrlódásos kötést alkalmazom, mivel itt elmozdulás fog történni teherátadás közben. Ez esetben is engedélyezett az elválás, de a behatolás nem és itt valós egymáson történő elmozdulás. Beállítási változók súrlódási együttható 0,2 és beállításra került a kezdeti átfedés kezelése és az érintkezésig történő igazítás, (lásd 21. ábra.).



21. ábra. Forgó alkatrész kapcsolat

Terhelés alatt álló szerkezeti elemek láthatóan elmozdulnak egymástól és feszültségcsúcs keletkezik a tengely tövében. Az erő továbbításával párhuzamos síkban a nyomóerő által 302,94 MPa húzófeszültség keletkezik a tengelyben, (lásd 22. ábra.).



22. ábra. Központi tengely feszültségviszonya és kihajlása



DEBRECENI EGYETEM
MŰSZAKI KAR
GÉPÉSZMÉRNÖKI TANSZÉK

UNIVERSITY OF DEBRECEN
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF MECHANICAL
ENGINEERING

Erre szimmetrikusan 317,69 MPa nyomófeszültség lép fel a központi tengelyben. Mivel a két tárcsa felfekszik egymáson a kialakult erők hatására egyik oldalon szétnyílnak egymástól, míg a másik oldalon összenyomódnak. Ebből eredően a tengelyt egyszerre éri hajlítás és húzó igénybevétel is. A tárcsa felfekvő felülete elkezd felfelé kényszeríteni a kart, ami a tengelyen húzó erővel hat.

A kar zártszelvény szerkezeti részében nem lép fel jelentős deformáció a tengely környékén és az egyenértékű feszültség értéke is 75MPa alatt marad. További hálósűrítés és kiemelt vizsgálatot most nem látok indokoltnak.

[5] „Figyelembe kell venni, hogy a központi csap anyaga C45QT. Az alapanyagra jellemzően hőkezelési eljárás miatt egy elég nagy tartományról beszélhetünk. A két szénacél anyagjellemzői összefoglalva találhatók, (lásd 10. táblázat.).

10. Táblázat. Anyagmodell összehasonlítása

Anyagtulajdonságok	S355		C45QT	
	Érték	Egység	Érték	Egység
Density (Sűrűség)	7850	kg m ⁻³	7850	kg m ⁻³
Szakítószilárdság	470-630	MPa	700-850	MPa
Folyáshatár	355	MPa	490	MPa
Izotróp hőtágulási együttható	1,2E-05	1/K	1,15E-05	1/K
Rugalmassági modulus	206	GPa	210	GPa
Poisson-tényező	0,3		0,3	
Kompresszió-modulus	172	GPa	175E	GPa
Nyírórugalmassági modulus	79,23	GPa	80,76	GPa

"(MetalData.info,2020)

Kiértékelés során egy középértéket veszek figyelembe, folyáshatár 550 MPa-t.

A folyáshatár és szakítószilárdság tekintetében van jelentős eltérés, egyéb felhasznált anyagtulajdonság alapján véve közel azonos. Így kezelhetem egyesített modellként a szimuláció során.



DEBRECENI EGYETEM
MŰSZAKI KAR
GÉPÉSZMÉRNÖKI TANSZÉK

UNIVERSITY OF DEBRECEN
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF MECHANICAL
ENGINEERING

5 Trapézorsó ellenőrzése

A menetes anya-orsó kapcsolat teherviselését a Miskolci Egyetem oktatási segédlete alapján ellenőrzöm megfelelőségét [3]. Céлом, hogy megbizonyosodjak alkalmazhatóságáról és a végeelem lefuttatását egyszerűsítsem. A számításnál az általam használt katalógus méreteket használom fel. Az anyagjellemzők is azonosak így teljesen megbízható következtetést tudok levonni a különböző igénybevételek kapcsán és megállapítani, hogy véges elem számítás során a kötésnél használhatok-e ragasztott kötetést.

[3] „Terhelhetőségi vizsgálat

Az ismert geometriai méretek, és anyagjellemzők ismeretében a különböző igénybevételek alapján meg kell határozni a menetes orsó-anya kapcsolat terhelhetőségét. Vizsgálni kell a kapcsolatot: felületi nyomásra, menettő hajlításra (orsó, anya), és az orsót összetett igénybevételre.

Ellenőrzési feladat meghatározni az adott paraméterekkel rendelkező orsó és anya terhelhetőségét.

- felületi nyomás;
- menettő hajlítás;
- összetett igénybevétel alapján.

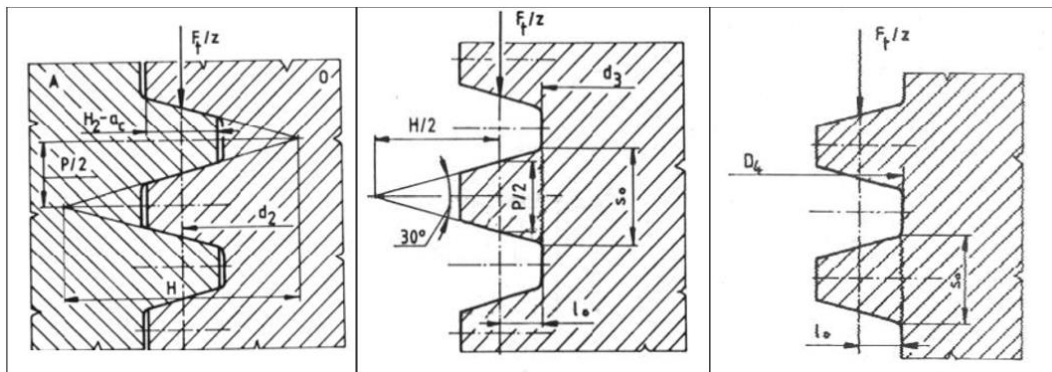
Az ellenőrzést az elkészített rajz paramétereivel kell elvégezni. A számított terhelések minimális értéke adja a szerkezet teherbírását! „,

A tényleges terhelhetőség meghatározása A különböző igénybevételekre kapott terhelhetőségi értékek közül a felületi nyomásra adódik a legkisebb, ezért a szerkezeti elemkapcsolat maximális terhelést a felületi nyomás adja: Kerekítve a megengedhető terhelés: 9 200 N.” (Dr. Kamondi László)

A fenti levezetés alapján elkészítem az általam használt trapézprofilnál az orsó terhelhetőségét felületi nyomásra.

Menet mérete Tr 36 x 6

Névleges méret: d 36 mm
Orsó magátmérője: d_3 29 mm
Menet közepes átmérője: d_2 33 mm
Anyamenet mag átmérője: D_1 30,3 mm
Anyamenet külsőátmérője: D_4 37 mm
Menetemelkedés: P 6 mm
Profilszög: β 300 fok
Anyamagasság: h_a 54 mm



23. ábra Trapézmenet méretei

$$\text{Érintkező menetek száma: } z = \frac{h_a}{P} = \frac{54 \text{ mm}}{6 \text{ mm}} = 6 \text{ db} \quad (9)$$

Hasznos anyamagasság: $h_a = 54 \text{ mm}$
Az anyamenet magátmérője: $D_1 = 30 \text{ mm}$
Az anyamenet külső átmérője: $D_4 = 37 \text{ mm}$
A menet középátmérője: $d_2 = 33 \text{ mm}$
Az orsó magátmérője: $d_3 = 29 \text{ mm}$

Menető hajlítási karja:

$$l_0 = \frac{d_2 - d_3}{2} = \frac{33 \text{ mm} - 29 \text{ mm}}{2} = 2 \text{ mm} \quad (10)$$

Menető vastagság:

$$s_0 = \frac{P}{2} + 2l_0 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\beta}{2}\right) = \frac{6}{2} + 2 \cdot 2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{30^\circ}{2}\right) = 4,07 \text{ mm} \quad (11)$$

Másodrendű nyomaték:

$$I = \frac{d_2 \pi s_0^3}{12} = \frac{33 \text{ mm} \cdot \pi \cdot (4,07 \text{ mm})^3}{12} = 582,16 \text{ mm}^4 \quad (12)$$

A terhelést felvevő menetfelület:

$$A = \pi \frac{d^2 - D_1^2}{4} = \pi \frac{(33 \text{ mm})^2 - (29 \text{ mm})^2}{4} = 194,779 \text{ mm}^2 \quad (13)$$

A felületi nyomásra megengedett terhelés:

$$F_t = p_{\text{meg}} \cdot A \cdot z = 5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 194,779 \text{ mm}^2 \cdot 6 = 5843 \text{ N} \quad (14)$$

[6] „Felhasználva a segédlet igazolását, miszerint a kombinált igénybevételek közül a felületi nyomás értékére a legkisebb a megengedett érték, így nagy biztonsággal fel tudom használni.” (Dr. Kamondi László)

Így a ragasztott kötés alkalmazható mert a P_{meg} értéke majd 10szerese az 5000N-nak, amit elvárhatunk a szerkezettől.



DEBRECENI EGYETEM
MŰSZAKI KAR
GÉPÉSZMÉRNÖKI TANSZÉK

UNIVERSITY OF DEBRECEN
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF MECHANICAL
ENGINEERING

6 Kiértékelés:

A megnövelt kinyúlási hosszall és 5000N erővel terhelt modellen ellenőrzöm a feszültségcsúcsokat és a kritikus pontokat.

Fő célom azt megvizsgálni, hogy a megnövelt kinyúlási hosszall az S355 és C45QT a maximális terhelés hatására folyáshatár közeli állapotba kerül-e és leszorító alapanyaga szenved-e maradó alakváltozást és rávilágítsak a kritikus pontokra.

A legnagyobb feszültség a kihúzható kar csatlakozásánál ébred. Ez a legkritikusabb pontja a szerkezetnek és itt ébrednek a legnagyobb feszültségek a bevitt erőtől függetlenül. A bevitt erő mértékétől függ, hogy az anyag eléri-e a folyáshatárt. Ez egy lokális pontban fog megtörténi, ami látható a 32. ábrán.

Egyértelműen kijelenthetem, hogy a vertikális szorítót nem lehet az 5000N-os célterheléssel megterhelni teljesen kihúzott állapotban.

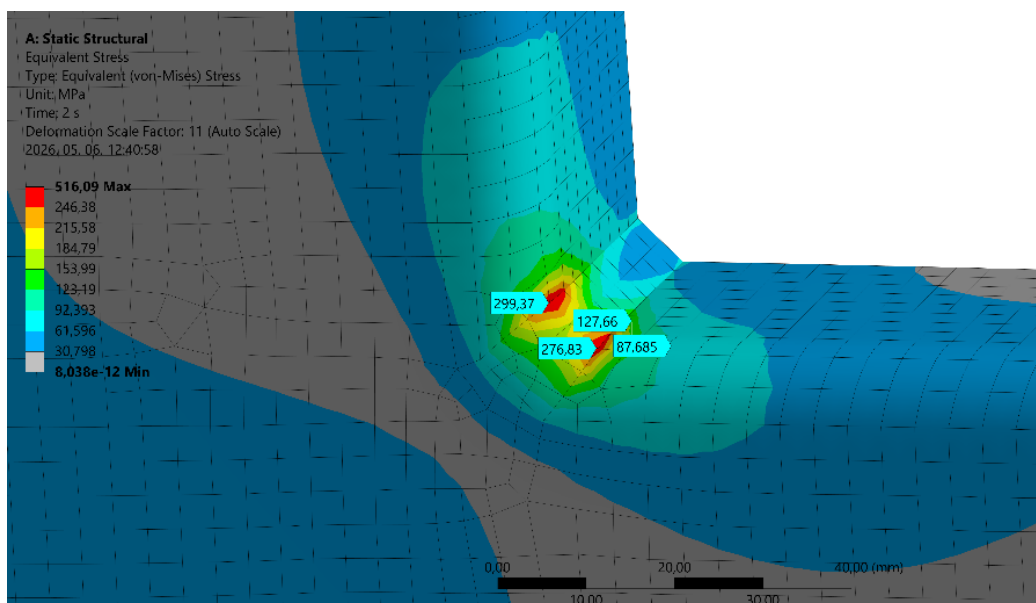
A vizsgált kinyúlási hosszon korlátozni kell a leszorító erőt, amit jelölni is kell a trapézorsó végén lévő anyára kifejthető lehúzó nyomaték feltüntetésével. Itt számításba kell venni a nyomatékkulcs pontatlanságát is, amik megközelítőleg 30%-os hibahatárral működnek. Nyomatékra történő lehúzás meghatározását célszerű helyszíni méréssel elvégezni mert nagyban befolyásolja az egyediség. Függ a kenés mértékétől, a felhasznált kenőanyagtól és a menetes kötés gyártási pontosságától.

A felhasználónak kell meghatározni a biztonsági tényezőt az elvárt élettartam és a karbantartás függvényében. Javaslatom szerint legalább 1,2-1,4 biztonság tényező javasolt. Amennyiben az 5000N leszorító erőt feltétlen biztosítani kell akkor néhány megerősítést el kell végezni az alábbi pontokon és az állítható karon.

Új egység beszerzése esetén mindenképp érdemes megfontolni az alábbi szempontok figyelembevételével az áttervezést a magasabb biztonsági tényező elérése érdekében. Jelentősen megnövelhető a szerkezet teherviselő képessége és élettartama.

Az alsó tartószerkezeten a sarokvarrat hegesztés környezetében feszültségi pont lép fel. A legmagasabb mért feszültségi pont 299,37 MPa értéket mutat, ami a 31. ábrán is látható. Ez alapján véve is feszültséggyűjtő hely és szingularitás miatti erdő is kedvezőbb, viszont a hegesztési hibák lehetősége miatt itt ezt az értéket javasolom figyelembe venni.

Nem éri el a folyáshatár értékét, de érdemes megerősíteni az eseti nem várt külső behatás vagy egy nem megfelelő felhasználás következtében történő tönkremenetel megelőzéseként, (lásd 24. ábra.).



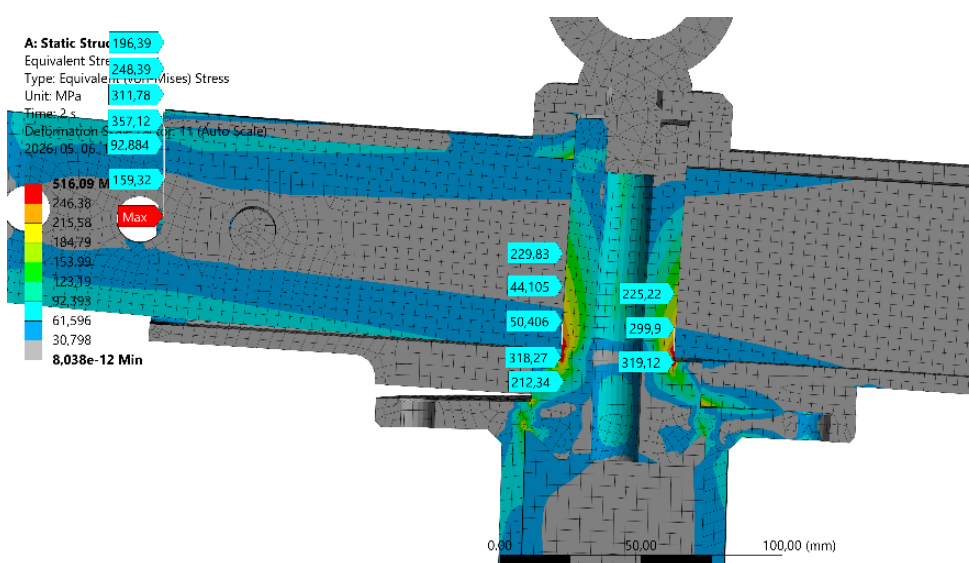
24. ábra. Egyesített alkatrész feszültség eloszlása

Javasolt a zártszelvény mindkét oldalát szimmetrikusan rálapolással megerősíteni, a szelvény lemezvastagságának megfelelő háromszög alakú lemezzel. Nagymértékben tehermentesítené a sarokvarratot, kihajlásra nem lesz túl nagy hatással.

6.1 Erőhatások kiértékelése

A központi csap fontos szerepet tölt be az erőhatás átadásában, amiben nagyrészt húzófeszültség ébred. Anyaga C45QT, aminek minimum 700 MPa a folyáshatára.

A mért legmagasabb feszültségi érték 319,12MPa, így ez a szerkezeti elem se éri el normál körülmények között a folyáshatárt, (lásd 25. ábra.).

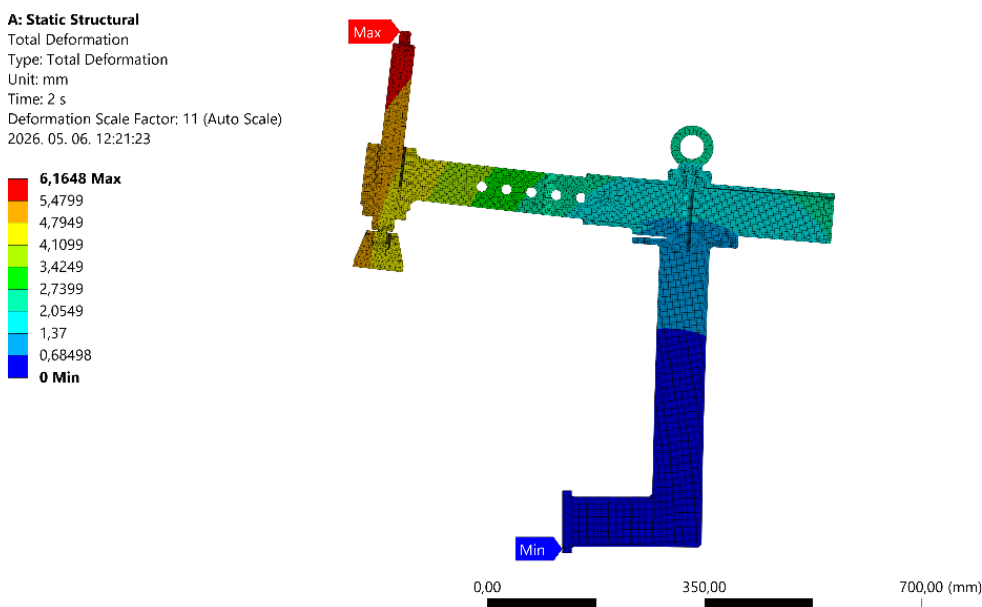


25. ábra. Központi tengely feszültség eloszlása

Karbantartásnál érdemes figyelni a kialakult résre az egymáson elforgó tárcsáknál. Amennyiben terheletlen állapotban is rés marad akkor az nagy valószínűséggel a központi csap károsodására utal. A rögzítésért felelős csavar tönkremenetelétől nem kell tartani mert maximum 100MPa terhelés éri, viszont lehúzott állapotáról gondoskodni kell akár biztosítással is. Kilazult állapotban megváltoznak az erőviszonyok, elmozdul az állítható kar. A megnövekedett erőkarok és a csökkenő felfekvő felületek miatt meg fog emelkedni a terhelt pontok felületi nyomása.

6.2 Elmozdulások kiértékelése

Folyáshatár alatti megnyúlás esetén rugalmas alakváltozásról beszélünk. Amennyiben nem terheljük szerkezetet magasabb erővel akkor visszanyeri eredeti alakját, (lásd 26. ábra.).



26. ábra Szerekezeti elmozdulásának kihajlásának mértéke (valóság 11x)

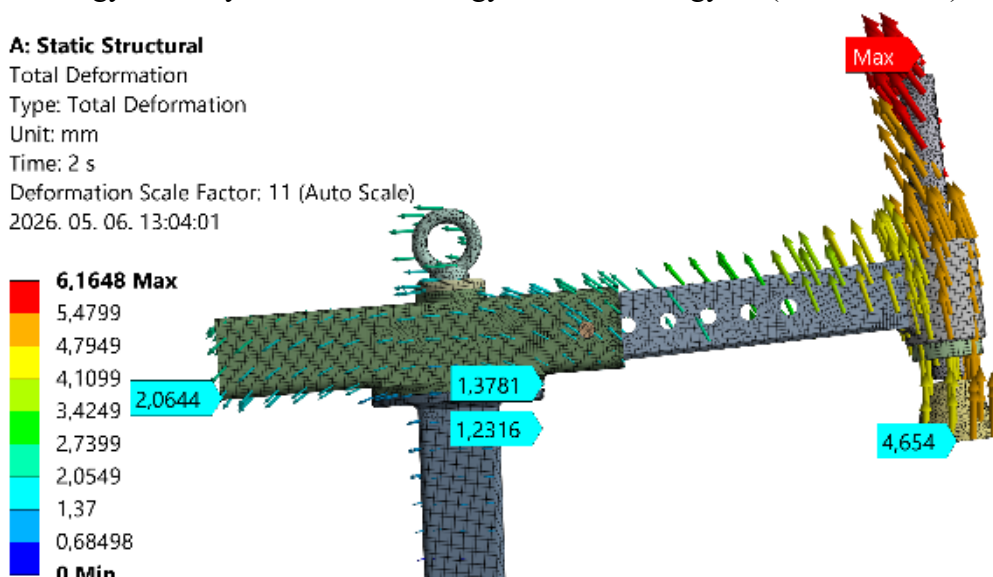
A szimuláció szerint a maximális kihajlás 6,16mm, az elmozdulás a szerkezeti elemek hajlításából származnak és vizuális megjelentetése 11x-es nagyításban játható.

Felfogatási pontot látjuk minimum értéknek és a trapézorsó terheletlen végét pedig maximum érékként, ami teljes mértékben a kihajlás abszolút értéke és leszorítás való távolságtól függ. Amennyiben az állítható kar nem a maximálisan kihúzott állástól bentebb van rögzítve akkor ez az érték csökkenni fog.

További deformációk is felléphetnek amennyiben a hegesztési ömledék hűléséből adódó erők hatnak a leszorító talpra, ami tovább kényszeríti szerkezetünket a tovább nemlineáris kihajlásra. Jelen vizsgálatom kizárólag a

trapézorsón kifejtett nyugalmi állapotban való 5000N megterhelést mutatja be, további terhelések nélkül.

Az elmozdulás irányát és mértékét a 33. ábra mutatja. A leszorítási pontnál 4.6 mm elmozdulás jönne létre, ha az elvárt leszorítóerővel leterheljük. A fenti ábra is 11x-es nagyítási tényezővel készült, hogy szemléletes legyen, (lásd 27. ábra.).



27. ábra: Szerekezeti elmozdulásának iránya

6.3 Kritikus pont kiértékelése:

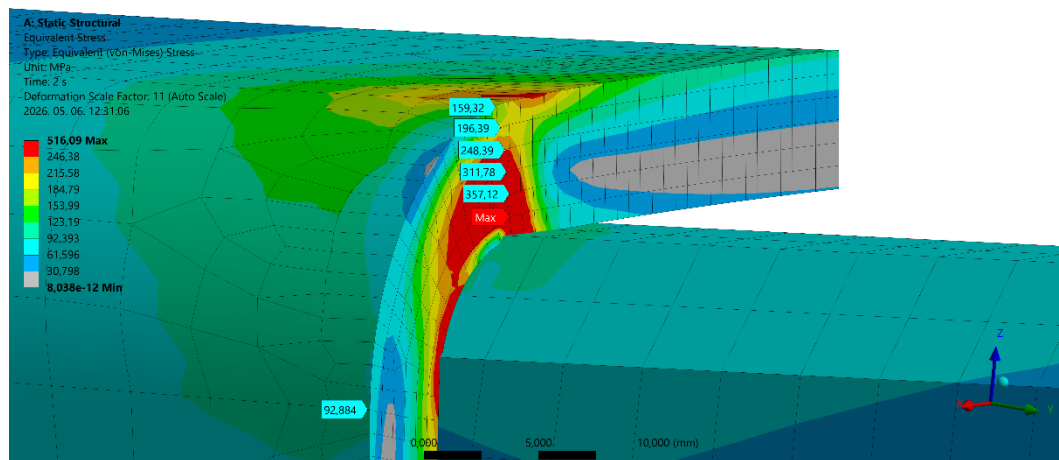
A zártszelvény terhelt peremén 516 MPa nyomófeszültség keletkezik, 5000N-os leszorító erő kialakulásánál, ami nagy mértékben meghaladja a folyáshatárt és átlépi az S355 alapanyag 355MPa-os rugalmas alakváltozás határát.

A kialakításnak köszönhetően a csatlakozási pont egy rövid szakasza, ahol koncentrálódik az erőátadás és lokálisan megterheli az érintkező felületeket.

A folyáshatár átlépése után a kritikus csatlakozó felület mérete kezd megnőni mivel az anyag kihajlik és ezzel egyidőben az alapanyag is felkeményedik. A megnőtt felületre kisebb felületi nyomás esik és a felkeményedett átalakult

szövetszerkezettel kell számolni, ami egy más típusú nemlineáris anyagi szimulációt kíván.

Hosszútávú élettartam és üzemeltetési szempontok miatt mindenféle kepén célszerű az 355 MPa érték alatt maradni, (lásd 28. ábra.).



27. ábra. Feszültségviszony a csatlakozó pontnál

A feszültségmező képen megfigyelhető, hogy az állítható kar tömör anyagában megközelítőleg 150MPa nyomófeszültség ébred, ami nem éri el a felét se a terhelhetőségének. A kar csatlakozó felületének mérete okoz problémát, de globálisan szemlélve nem szükséges a megerősítése.

Kérdésként merült fel a kezdetekben, hogy meg lehet-e tartani a teljes működési tartományt, mert a központi csap miatt a hosszirányú kimunkálás első ránézésre meggyengíti a szerkezetünket. A teljesen betölt állapot megkívánja a kimunkás hosszát, ami a vizsgált állapotban kis felfekvő felületet eredményez.

A valóságban a zártszelvény ki fog hajolni és a terhelés megszűnése után se tér vissza eredeti állapotába, nagymértékű globális kihajlás nem fog bekövetkezni. Rugalmas alakváltozás végbemenetele után további komponens is vesz át a terhelésből. A kar tömör anyagában ébredő maximális feszültség 108,89 MPa így van még tartalék, ami meggátolja a teljes tönkremenetelt.

Megerősítése mindenképpen javasolt, ami egyszerű átalakítással megvalósítható. A szelvény felső síkját kell megerősíteni úgy, hogy a függőleges fal is vegyen részt a teherviselésben és a központi csap felé tudja továbbítani.

7 Összefoglaló

A hegesztőasztali vertikális leszorító megnövelt kinyúlási hosszal már nem tudja elviselni az elvárt 5000N-os célterhelést.

A teljes szerkezetben jelentkező feszültségcsúcs az állítható kar zártszelvényén jelenik meg a peremen terhelés oldalon. Az itt mérhető feszültségcsúcs 516,09MPa, ami egy S355 anyagminőségű zártszelvényt terhel. A gyártó erre az anyagminőségre vállalja, hogy 355MPa a minimum feszültség, amit elvisel és nekünk ezt kell figyelembe venni.

Az elvárt terhelés alkalmazása esetén a zártszelvény belső felületén 45%-kal túllépi a folyáshatárt, ahol megtörténik a maradó alakváltozás és torzulást szenved. Ez nem törést jelent, hanem az anyag megfolyását. Az S355 alapanyagra a gyártó min 470MPa értékű szakító szilárdságot garantál. Eurocode3 szabvány szerint 376MPa-al kell kalkulálni szakítószilárdság ellenőrzése esetén. Várhatóan zártszelvény pereme megreped és lecsökken a leszorító erő mivel túllépjük a szakítószilárdságot a 6.2 -és pontban láthatóan.

A feladat során a leszorító talpra az ellenerő terheléssel nyomtam függőlegesen felfelé, ami megegyezik az elvárásként támasztott leszorító erővel. Fix pontként a felfogató talp lett rögzítve. A három kritikus pontot, ahol feszültségcsúcs keletkezik tönkremeneteli sorrendben a 6. fejezet részletezi, (lásd 11. táblázat.).

11. táblázat kritikus pontokat felsoroló táblázat

		Mért feszültség [MPa]	Minimum Folyáshatár [MPa]	Biztonsági tényező
1.	Állítható kar	516,09	355	0,69
2.	központi csap	319,12	490	1,54
3.	Tartószerkezet sarokvarrata	154,44	355	2,30



DEBRECENI EGYETEM
MŰSZAKI KAR
GÉPÉSZMÉRNÖKI TANSZÉK

UNIVERSITY OF DEBRECEN
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF MECHANICAL
ENGINEERING

Leszorításnál a kívánt nyomóerő elérésénél a kar végén 4,8mm lenne a kihajlás, ha az 516 MPa-os feszültséget a szerkezet kibírná. A 4,8 mm kihajlási értéket csak a megerősítés után tudjuk csak tartani, jelenlegi konstrukcióval ennél többre kell számítani.

A szerkezet kihajlását a 6.1 fejezt járja körül.

Hasznos lehet terhelési csúcs mértékének csökkentésére, ha a kihúzható kar a teljes szélességében fel tudna feküdni mert akkor más tehereloszlási képre számítani és a feszültségcsúcs értéke is alacsonyabb lenne. Ezesetben el kell fogadni, hogy a minimális kinyúlás geometriai ütközés miatt nem tud megvalósulni.

További vizsgálat javasolt, hogy elegendő mértékben változtatja-e meg a feszültségeloszlást

A leszorító szerkezetében meglehetősen sok tartalék rejlik és érdemes foglalkozni a lokális megerősítésekkel mert növelhető a leszorító erő és a biztonsági tényező.

Megerősítési lehetőségeket részletesen a 6-os fejezet taglalja.

Összeségében kijelenthetjük, hogy a hegesztőasztali vertikális leszorító **NEM** tudja teljesíteni károsodás nélkül a tőle elvárt 5000N leszorítóerőt.



DEBRECENI EGYETEM
MŰSZAKI KAR
GÉPÉSZMÉRNÖKI TANSZÉK

UNIVERSITY OF DEBRECEN
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF MECHANICAL
ENGINEERING

Irodalomjegyzék:

- [1] BME MOGI 2.3. Hálókészítés; 2. fejezet - A végelemek rendszerek működésének alapjai; (2014) hozzáférés: 2026.03.15.
- [2] Wikipedia, [Online].: De Saint-Venant-elv, Elérhetőség: https://hu.wikipedia.org/wiki/De_Saint-Venant-elv, hozzáférés: 2026.04.20.
- [3] A. Hobbacher.: *Recommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components*, Springer International Publishing IIV Collection, Section 2.1: Hot Spot Stress Method, 2016
- [4] Burman, Hansbo, Larson AUGMENTED LAGRANGIAN FINITE ELEMENT METHODS FOR CONTACT PROBLEMS <https://www.numdam.org/item/10.1051/m2an/2018047.pdf>; 2019; hozzáférés: 2026.04.08.
- [5] MetalData.info. C45 EN 10083-2 – Quenched and tempered steel. <https://www.metaldata.info/reports/C45.pdf> ; 2020; [hozzáférés: 2026.04.07.].
- [6] Dr. Kamondi László.: *Segédlet a menetes orsó - anya feladathoz*, Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Gépelemek Tanszék
- [5] MetalData.info. C45 EN 10083-2 – Quenched and tempered steel. <https://www.metaldata.info/reports/C45.pdf> ; 2020; [hozzáférés: 2026.04.20.].