



MISKOLCI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR
SZERSZÁMGÉPEK TANSZÉKE
3515 Miskolc-Egyetemváros



TDK DOLGOZAT

KÜLÖNLEGES ESZTERGA GÉPÁGY TERVEZÉSE

GÖRÖGH IMRE

*BSc szintű, gépészmérnök szakos
Szerszámgépészeti és Mechatronikai szakirányos hallgató*

2013/2014 TANÉV, 1. FÉLÉV

Konzulensek:

DR. VELEZDI GYÖRGY

*egyetemi adjunktus
Miskolci Egyetem Szerszámgépek Tanszéke*

OLÁHNÉ LAJTOS JULIANNA

*mérnökstanár
Miskolci Egyetem Szerszámgépek Tanszéke*

ALKALMAZOTT JELÖLÉSEK

γ	.....	homlokszög
λ_s	.....	terelőszög
h	.....	forgácsvastagság
$k_{c1.1}$	.....	fajlagos főforgácsoló erő alapértéke
z	.....	korrekciós tényező
a	.....	fogásnagyság
F	.....	forgácsoló erő
F_c	.....	főforgácsoló erő
F_f	.....	előtoló erő
F_p	.....	fogásvétel irányú erő

ALKALMAZOTT RÖVIDÍTÉSEK

NC:	.....	Numerical Control
CNC:	.....	Computer NC
VEM:	.....	Végeselemes módszer

SUMMARY

In determining the topic of my thesis I tried to choose one, which related to machine tools.

In addition I want to use industrial solving elements, which I could not learn before.

I want to make a plan of a CNC lathe for students. First of all I will design a bed of machine.

Nowadays the most of sold machine tool bed made by cast iron, but the special versions are not widespread, despite the advantages.

The two important functional requirements of machine tool bed are high structural stiffness and high damping. I want to compare the alternatives based on them.

To start I must consider all the design factors. I define the requirements. I chose a machine structure that is most able to adapt to the imposed working tasks. With further analysis I determined the angle of lathe bed in 60 degree, which improved workspace sight alignment, and weight reduction. I determined the cutting and weight forces, after materials and tools chosen by calculations.

Furthermore I created some CAD model from parts which have essential to the finite element analysis. I did these with Creo Parametric and Simulate. From the CAD models I made the mechanical models with idealizations. I chose linear guides from catalog, and I checked its loading capacity. The most critical element is the cutting system, which include the tool system, the linear guides, the adapter -which provide the 60 degree angle-, the feeding motor, etc.

After some static analysis I recognised that the cutting system does not have sufficient stiffness. Due to that I made a structural optimization. With the best variation, I made three version of the lathe's bed.

With these I ran static analysis for check the stiffness's change.

The aim of the thesis was to find the optimal material of my CNC lathe's bed. In results I don't get large differences between the version's values.

The solution of the task can be further improved by optimizing the mechanical model.

1. BEVEZETÉS

A modern ipar egyik alapfeltétele a folyamatos megújulás.

A rohamosan növekvő fogyasztói társadalomban - mely fogalom csak a XX. és XXI. század óta ismert - az egyre növekvő számú árucikkek és szolgáltatások birtoklása és használata közel elsődleges kulturális törekvés, mely az egyéni boldogsághoz, társadalmi státuszhoz és nemzeti sikerességhez vezető legbiztosabb út. [1] A fogyasztása a szükségletek kielégítése helyett inkább a társadalmi státuszkülönbségek megjelenítésének eszközévé válik. Különösen jellemző ez a fejlett országokban.

Az iparnak nagyméretű átalakuláson kellett átmennie a szabad verseny piac és a fogyasztói társadalom megjelenése óta. Nem elsősorban hosszú életű termékek előállításáról kell gondoskodni, hanem olcsóbb, modernebb termékekkel kell előállni jóval nagyobb választékban és mennyiségben, mint korábban. Ezt követeli a piaci versengés is.

Ezzel szemben a Föld tartalékainak rohamos apadása az elmúlt évtizedek alatt túlzott méreteket öltött, kiemelten fontos szemponttá vált a *gazdaságosság* és a *pontosság* a növelt volumenű termelés mellett.

A szerszámgépek általános célja a gépgyártás változó megmunkálási feladatainak időben, minőségben és költségekben történő *optimális* megoldása. A tömegtermelés megjelenésekor forgácsolással munkálták meg a legtöbb műszaki alkatrészt. A megnövekedett termelési mennyiséggel a selejtelek száma is arányosan növekedett. Az intenzív termelés mellett nehéz volt tartani az egységes megmunkálási pontosságot, főként azért, mert leginkább a dolgozó pontossága befolyásolta a gyártmánysorozat minőségét. Ebből eredően elsősorban a pontosság növelése volt a fejlesztések célja, melyet a termelés felgyorsítása követett.

Először 1952-ben alkalmaztak számjegyvezérlésű szerszámgépet a repülőgépiparban, a bonyolult szárny-geometria nagy pontosságú megmunkálására melyet sok éves fejlesztés előzött meg. Ez a technikai irányzat új utat mutatott a fejlődésnek, hiszen itt már nem elsősorban a kezelőn múlott a megmunkálás pontossága. A kiadott vezérlőjelek alapján mozdultak el a szerszámok a legenerált út mentén viszonylag nagy pontossággal.

Különösen magas költségeik és az elektronika megbízhatatlansága miatt csak 1960 és 1970 között terjedtek el általánosan is az NC gépek. A számítástechnikai eszközök ugrásszerű

fejlődésével, valamint a félvezetők gyártásának és alkalmazásának technológiai megújulásával, újabb lehetőségek nyíltak a számjegyvezérlés területén.

Döntő fordulatot hozott a számítógép betörése erre a területre, a 80-as évek elejétől megjelentek a számítógép vezérlésű szerszámgépek, mely eredményeképp új szerszámgép már csak CNC vezérléssel készült. [2]

1.1. CNC gépek előnyei

A CNC gépek termelékenysége lényegesen jobb lett, mint a hagyományos gyártóeszközöké. Jelentősen lecsökkentek mellékidők, a pozicionáló rendszerek sebessége növekedett, automatikus szerszám- és/vagy munkadarab cserélőket alkalmaztak. Nagy előnyt jelent a gép saját útmérő rendszerének léte is, amivel elhagyhatóak a műveletközi kezelői méretellenőrzések. Ezen gépek szabványosított utasítások bevitele útján kapják meg mindazon információt, amelyek a munkadarab automatikus megmunkálásához szükségesek. A különböző módokon bevihető információt a vezérlés automatikusan feldolgozza és azok alapján létrehozza a megmunkáláshoz szükséges elmozdulásokat.

A hagyományos szerszámgépek csak egyszerűbb kontúrok kis sorozatszámú, vagy egyedi gyártásánál előnyösek. A célgépek pedig egy adott munkadarab(család) igen nagy sorozatú gyors megmunkálására alkalmasak, míg más alkatrészekre bonyolult az átállítás.

Egy CNC szerszámgép különösen gazdaságos közepes sorozatnagyság és bonyolult kontúrú munkadarabok esetén. Emellett napjainkra lassan átveszik a célgépek szerepét is a rendkívüli előtolási és megmunkálási sebességeknek köszönhetően, míg továbbra is rugalmasak maradnak.

A folyamatos fejlesztések által nagyobb termelékenység, egyenletesebb és jobb gyártmányminőség, megbízhatóság lett jellemző rájuk kevesebb emberi jelenlét mellett. Ezen előnyöket csak megfelelően képzett kezelőszeméllyel lehet kihasználni. A tudást oktatással, vagy autodidakta módon lehet megszerezni. Képzettség és képesség szerint megkülönböztetünk CNC gépkezelőket és programozókat.

A gépkezelőknek tudnia kell:

- üzembe helyezni a szerszámgépet,
- egy adott termék gyártását előkészíteni,
- felszerszámozni a gépet az adott feladathoz, korrekciókat beállítani,
- technológiai sorrendtervet készíteni a munkadarabok gyártásához,
- egyszerűbb kontúr megmunkálására programot írni 2,5D-ig,
- stb.

A programozóknak tudnia kell az előbbieken kívül:

- több gyártó egyéni vezérlőrendszerében programozni,
- ismernie kell a rendelkezésre álló gépek paramétereit,
- a megmunkálási feladatokhoz gépet, szerszámot választani,
- bonyolult munkadarabok megmunkálási programját létrehozni 3D fölött,
- a váratlan problémákat rugalmas megoldani,
- stb.

A Miskolci Egyetem Felnőttképzési Regionális Központja a munkaerő-piaci igényekre reagálva bizonyos időközönként elindítja valamely típus képzését. Az egyetem megfelelő oktatási-kutatási kapacitásának és a központ magas színvonalú oktatási infrastruktúrájának segítségével minőségi oktatást nyújt. Általánosan a CNC gépkezelők képzésére jelentkezik nagyobb igény. A gépkezelők a tanfolyamon megszerzik a megfelelő elméleti tudást, és mivel mindenképp tudniuk kell a gyakorlatban is alkalmazni azt, ezért a gépkezelési gyakorlat teszi ki a tanfolyam nagyobb részét.

1.2. Igények

Egy rutintalan hallgató könnyen tévedhet, és komoly károk származhatnak belőle. Egy rosszul beírt előjel, vagy elírt szám miatt komoly károk keletkezhetnek a megmunkáló gépben, de az emberi élet is veszélybe kerülhet a gondatlanság miatt.

Az egyetem szerszámgépei igen nagy értéket képviselnek és az oktatási célok mellett külső megrendeléseket is rendszeresen teljesítenek. Ezeket figyelembe véve nem engedhető meg egyetlen ütközés sem. Ilyenkor nem csak a látható elemek sérülhetnek, mint szerszám, szerszámbefogó, hanem a főorsó is deformálódhat lerontva a pontosságot. Ezek javítása már lényegesen nagyobb költség, valamint az alkatrészek utánpótlása is hosszú idő lehet.

Az ütközés kockázatának csökkentésére, vagy a gyakorlólhelyek számának kibővítésére egy kisebb, lényegesen olcsóbb szerszámgép beszerzés lenne optimális. A piacon léteznek oktatási célra szánt gépek, de ezek ára esetenként túlzó, vagy a velük szemben támasztott elvárásnak nem felelnek meg. Ezért fogtam egy *CNC eszterga* tervezésébe, mely kizárólag oktatási célt szolgálna. A megtervezése összetett feladat, melyet először a gépágygal kezdek. A gépágy az eszterga alapja, bázisa a rá épített szerkezeti elemeknek. Kialakításuk igazodik a megmunkálás típusához. Legjelentősebb feladatuk a megmunkálásból származó terhelések felvétele, azok deformáló hatásának csökkentése a megmunkálás pontosságáért.

2. ALAPKONCEPCIÓ KIDOLGOZÁSA

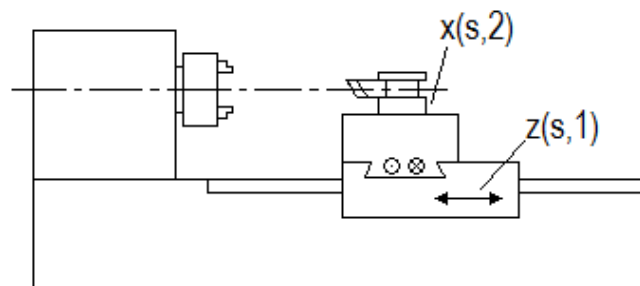
A műszaki fejlődés egyik főbb mozgatóeleme a felmerülő igényeinek kielégítése. Ezeket követelmények formájában fogalmazhatjuk meg. A termék megtervezése során törekedni kell ezek kielégítésére az adott kor műszaki lehetőségeinek kihasználásával a gazdaságosság keretein belül.

2.1. A gépágy struktúrája

A gépágy geometriáját elsősorban a megmunkálandó munkadarabok *mérete* és *alakja* határozza meg. A CNC gyakorlatok során jellemzően 40-50 mm átmérőjű és 80-150 mm hosszúságú hengeres munkadarabok készülnek el. Ezekből kiindulva határoztam meg egy átlagos munkadarab méretet, mely: $\varnothing 50 \times 150 \text{ mm}$.

Ezt követően a *bázisfelületek* helyzete, kiváltképp a lineáris elmozdulást biztosító vezetékek elhelyezése a meghatározó. Fontos már a korai fázisban megválasztani a gép struktúráját. A lehetséges elrendezési változatok közül csak egyetlen építhető meg, ezt az igényeknek megfelelően kell kiválasztani. A változatokat a főbb egységek egymáshoz viszonyított mozgása, térbeli elhelyezkedése, és az egymásra épülésük sorrendjének variálása adja.

Főként kis tömegű és méretű tengelyszerű munkadarabok lesznek megmunkálva. Alapelv, hogy mindig a kisebb tömegű elemeket mozgassuk a pontosság, energiatakarékosság, anyagtakarékosság, stb. érdekében. Ezeket szem előtt tartva a kiválasztott struktúra:

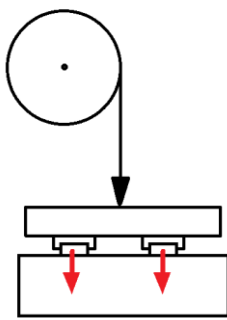


1. ábra

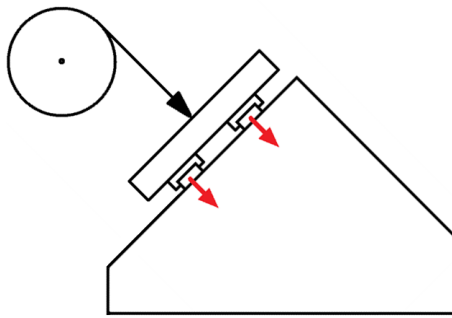
Általános elrendezésű eszterga struktúra

Ez egy szuperponált felépítés, mely esetén csak a szerszám végez pozicionáló mozgás, a munkadarabnak a főhajtás ad át nyomatékot a forgácsleválasztás megvalósításához.

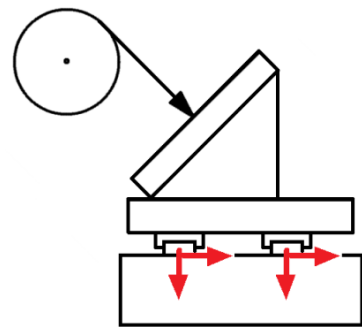
A vezetékek elhelyezését tekintve megkülönböztetünk vízszintes (2. ábra), vagy döntött (3. ábra, 4. ábra) gépágyakat. A vízszintes változat volt kezdetben a legelterjedtebb. A megmunkálásból származó erők, nyomatékok közel egyenesen a gépágyba vezetődnek le, onnan pedig az alapozásra. A jó szemléltethetőség érdekében egy egyszerű modellt használok, amelyen csak a munkadarab, gépágy és Z irányú vezetékek láthatóak.



2. ábra
Vízszintes kivitel



3. ábra
Hagyományos ferdeágyas kivitel



4. ábra
Adapteres kivitel

Az oktatás során fontos a jó ráláthatóság a megmunkálási folyamatra, melyet a döntött kivitelekkel lehet biztosítani. Előnyként hozható fel a forgácsoktól öntisztuló munkatér is, ami a tárolóba hullik, így nem okoz magas hőmérséklete miatt hődeformációt a gépágyon.

A megdöntés miatt a *főforgácsoló erő* nem csak függőlegesen támadja a gépágyat, nem egyenesen az alapba vezetődik le. Merevebb, nagyobb kiterjedésű konstrukció szükséges azonos forgácsolási erő felvételéhez, mint vízszintes kivitel esetén.

A 4. ábra látható változat korszerűbb konstrukció. A vízszintes bázisfelületre lineáris vezetékeket helyeznek. Erre egy viszonylag kis méretű merev adaptert szerelnek, mely biztosítja a 30-60 fokos döntött helyzetet. Ez bázisa lesz a továbbiakban ráépített keresztszánnak és a kiegészítő elemeknek. Könnyebb szerelhetőség, kisebb előtoló erőszükséglet, valamint anyagtakarékosság hozható fel előnynek. Hátránya pedig a kisebb merevség. Ezen elem jelentős befolyással bír az egész gép merevségére.

A döntésem az *adapteres* kivitel mellett szól.

A gép prezentációs célokat is szolgálhat a CNC technika elemeinek bemutatására. Ezen elemek jelentős része a gép hátsó burkolati elemeinek eltávolítása után könnyen bemutatható. Mivel a gép csak oktatási célra lesz alkalmazva, nem kell jelentős megmunkálási igénybevételekkel számolni. Kisebb forgácsoló erők és nyomatékok esetén nem jelent gondot a kedvezőtlenebb erőfolyam az adapteren.

2.2. Arányos modell megalkotása

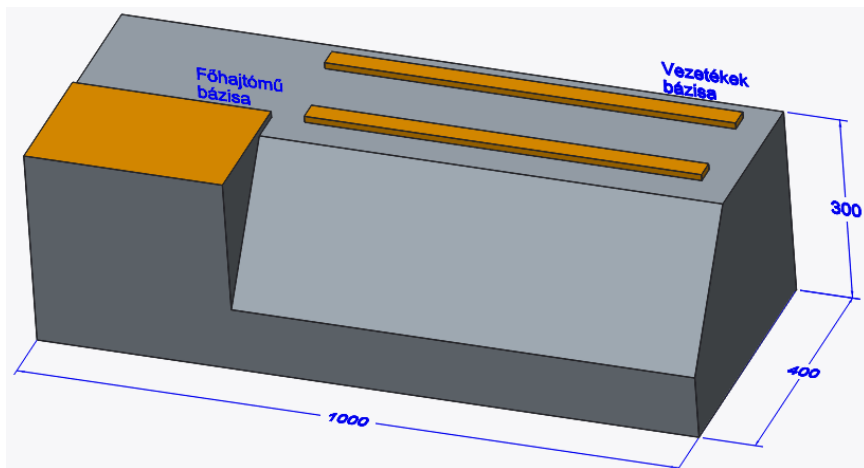
Az alapkoncepció létrehozása előtt piackutatást végeztem az oktató esztergák között. Csak a gépágy tervezéséhez szükséges paramétereket foglaltam össze:

1. táblázat

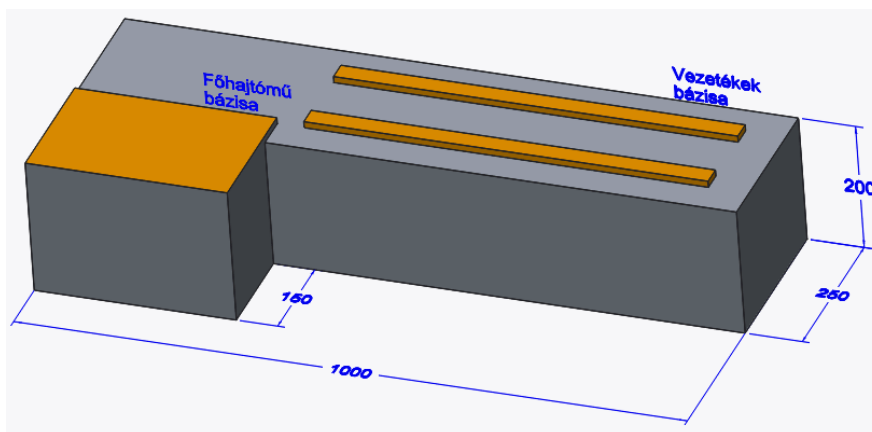
Piackutatás eredménye

Géptípus Paraméter [mm]	EDUTURN 200	EMCO CONCEPT TURN 55	MINITURN 320	EMCO CONCEPT TURN 105	HHT CK6140
Szán felett elforduló átmérő	100	52	160	75	214
X irányú elmozdulás	150	48	170	55	5
Z irányú elmozdulás	250	215	340	121	121
Méret (HxSzxM)	1000x 780x 565	400 x 695 x 840	1520 x 990 x 1440	1135 x 1100 x 1030	2010 x 1070 x 1400

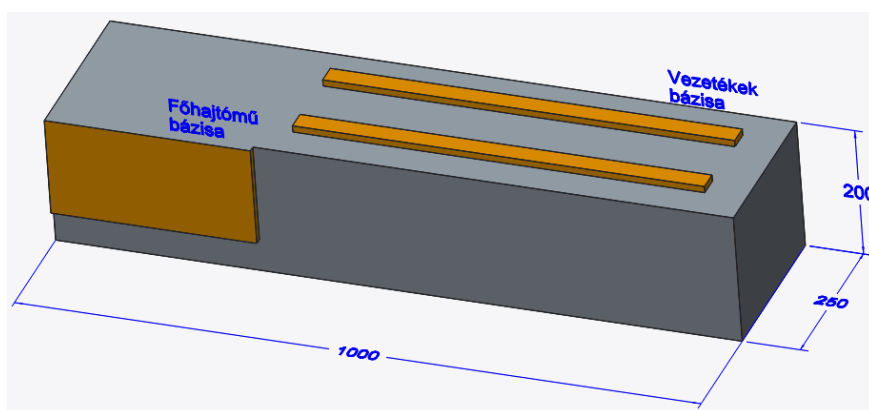
A lehetséges változatok létrehozásánál figyelembe vettem ezen értékeket, valamint a műhelycsarnok adottságait. Az esztergát asztalra rögzíthető kivitelben tervezem az igényeknek megfelelően. A maximális gépágy méretet (HxSZxM): 1000x400x400 mm-ben határoztam meg. A kiindulási adatokból generált változatokat arányos modellek formájában szemléltetem a következőekben. Kizártam minden olyan elrendezési lehetőséget, mely bonyolítaná a gyártást, vagy gyengítené a konstrukciót. Méreteiket a későbbiekben módosíthatják a szilárdsági méretezések, gyárthatósági előírások és a rá épülő alkatrészek.



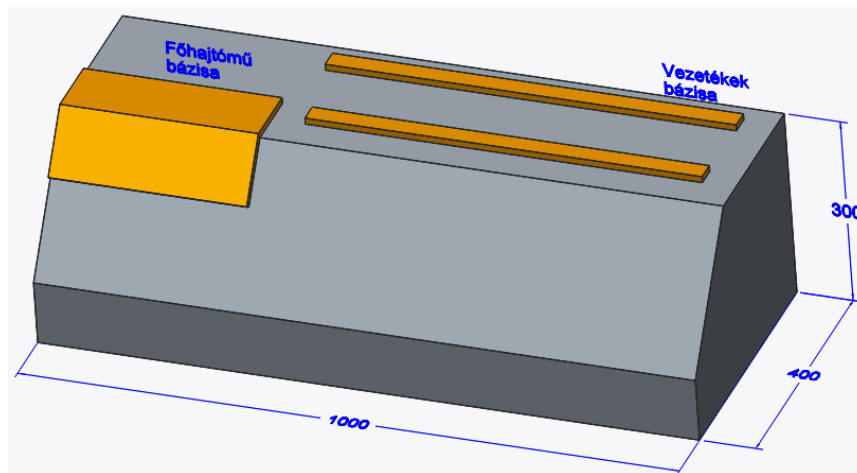
5. ábra
1.arányos változat



6. ábra
2.arányos változat



7. ábra
3.arányos változat



8. ábra
4.arányos változat

3. KONCEPCIONÁLIS TERVEZÉS

A tervezés során folyamatosan ellenőrizni kell, hogy az adott termék megfelel-e a követelményeknek. A koncepcionális tervezés során feltárom a lehető legtöbb olyan peremfeltételt, amely a részletes tervek kidolgozásához szükséges. Egy gépággal szemben támasztott legfontosabb követelmény a megfelelő *statikus* és *dinamikus* merevség.

3.1. Merevség

A forgácsoló megmunkálás során fellépő erők, amelyek egy része a forgácsolási folyamatból, más része a járulékos mozgásokból ered, deformálják a szerszámgép rugalmas rendszerét.

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:

$$\text{merevség} = \frac{\text{igénybevétel}}{\text{alakváltozás}}$$

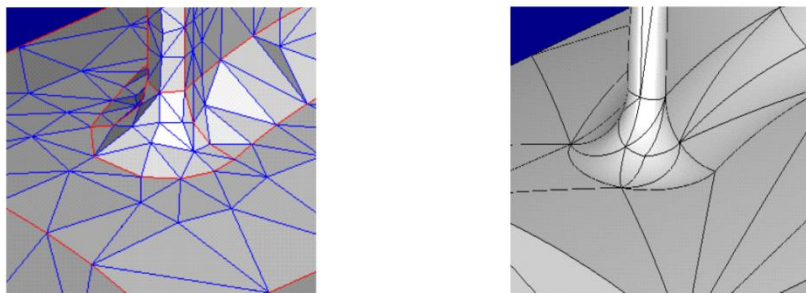
A szerszámgépek korrekt összehasonlíthatóságára a merevségi tényezőt használjuk, mely a gép főkoordinátáinak irányában jellemzi a merevséget. Ezt főként a terhelés nagysága és a teherviselő láncban szereplő elemek befolyásolják. [3]

3.2. CAD módszerek

A rugalmasan viselkedő gépágy és a hozzá kapcsolódó forgácsoló rendszer statikai és dinamikai megfelelésének vizsgálata *egzakt* módszerrel lehetetlen. A *végeselem-módszer* (VEM) lényege abban rejlik, hogy a vizsgált test elemi testekre való felbontása után megoldjuk a vonatkozó geometriai -, anyag-, és egyensúlyi egyenleteket a peremfeltételek függvényében. Az építőelemek viselkedését leíró parciális differenciál-egyenletrendszerek megoldását a vonatkozó peremfeltételek különbözősége és az egyenletek száma nagymértékben megnehezíti. A vizsgálatokat számítógéppel támogatott VEM programmal végzem, melyhez a Creo 2.0 akadémiai változat *Parametric* és *Simulate* moduljait használom. Az analízist közvetlenül a programmal készített cad modellen tudom lefuttatni.

A megoldás konvergenciája legnagyobb mértékben a hálózason múlik, azaz milyen elemi testekre bontjuk fel a vizsgált testet. Az elemméret csökkentésével (h-típusú hálózás) bővül az egyenletek száma, javul a pontosság, de nő a számítási igény.

Ha az elemméretet nem változtatjuk, hanem az interpolációs függvények fokszámát növeljük, akkor p típusú közelítésről beszélünk. A p típusú közelítés sokkal gyorsabb konvergenciát mutat, mint a h típusú, ezt alkalmazza a creo is.



9. ábra

Hagyományos H-típusú és P típusú adaptív hálózás [4]

Amennyiben nem megfelelő szilárdsági és merevségi értéket kapok egy vizsgálat után, *optimalizálhatom* a geometriát.

Az optimalizálási eljárásoknak jelentős szerepe lett a termék kifejlesztési idejének csökkentésében. A kiinduló modellt használjuk föl egy szisztematikus keresési eljárás

lefolytatásához kedvezőbb szerkezeti modell megtalálása céljából. A keresési eljárás mindaddig tart, amíg az ún. optimálási feltétel ki nem elégül, vagyis megfelelően közel kerülünk az optimális megoldáshoz. [5]

A VEM szimulációk lefuttatásához meg kell határoznom a gépágyra ható terhelőerőket.

3.3. Forgácsoló erők

Esztergálás során a struktúráim szerint a munkadarab forgó mozgást végez, a szerszám pedig az előírt pálya mentén mozdul el. Megfelelő forgácsolószerszámok, erők és nyomatékok alkalmazásával az érintkezés következtében anyagrészecskék válnak le, amelyeket forgácsnak nevezünk. A forgácsolási erők függvényében történik a szilárdsági méretezések nagy része. A kifejezés alatt a munkadarab szerszámra kifejtett hatását értjük.

3.3.1. Anyagválasztás

A munkadarabok anyagának célszerű lágyabb anyagot választani, mivel csak a programozási készség gyakoroltatása a cél. Törekedni kell a rövid, könnyen törő forgács képzésére, ezért forgácsolásra optimalizált acélt választok. Forgácsoláskor töredezett forgácsot és szép felületet biztosítanak.

A választott anyag: 11SMnPb37, 1.0737

- keménység: 112-169 HB,
- szakító szilárdság: 370-570 MPa,
- nem hőkezelésre tervezve,
- húzott köracél formájában,
- könnyen forgácsolható,
- hozzáadott ólommal, mely csak mikrogömbök formájában van jelen az anyagban,
- hűtés nélkül is igen kedvező a forgácsolhatóság

3.3.2. Szerszám választás

Különösen a modern szerszámgépen történő gyártás megköveteli a cserélhető élű szerszámok használatát, amelyeket optimálisan lehet igazítani a forgácsolási követelményekhez. A Sandvik Coromant cég katalógusa alapján szerszámot választok az általam ajánlott anyaghoz. Külső felület megmunkálásához nagyolásra és simításra is alkalmas lapkát választok

hagyományos négyszög alakú szerszámszárhoz (*CoroTurn®RC*). A lapka alakja az elvégzendő művelettől nagyban függ. Az ajánlott anyagom forgácsolására, a Sandvik anyag referencialista alapján D típusú lapka alkalmasabb a fentebb felállított követelmények teljesítésére.

A választott lapkatípus: **DNMG 11 04 08-PM**

A lapkához ajánlott fogásmélységet és előtolási értékeket figyelembe véve meghatározott forgácsolási paraméterek:

2. táblázat

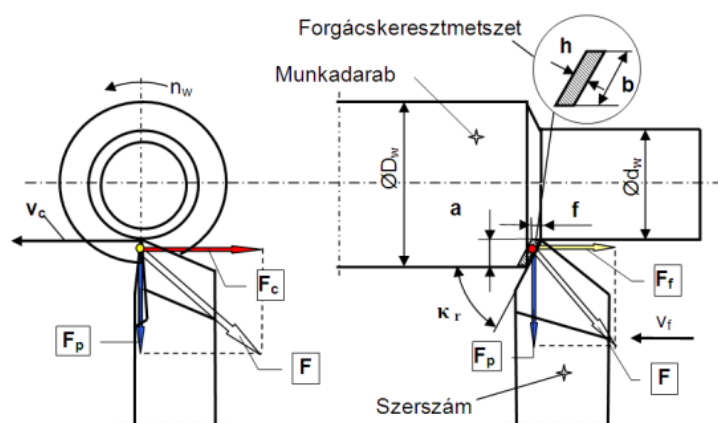
Általam ajánlott forgácsolási paraméterek

	Előtolás [mm/ford]	Elérhető átlagos felületi érdesség $R_A[\mu\text{m}]$	Forgácsolási sebesség v_c [m/perc]
Nagyolásra	0,2	2,5	250
Simításra	0,15	0,4	280

A választott szerszámszár: **DDJNL 2020K 11**

3.3.3. Forgácsoló erő meghatározása

Az F forgácsolási erő általában térbeli erő. Támadáspontját a lapka éllekerekítése miatt a szerszám feltételezett csúcspontjába helyezem. A forgácsolóerő felbontható főforgácsoló (F_c), előtoló (F_f) és fogásvétel irányú (F_p) erőkomponensekre.



10. ábra

A forgácsleválasztás során fellépő erők [6]

A forgácsolás során fellépő erőket az Európában elterjedt Kienzle és Viktor-féle erőszámítási módszerrel fogom meghatározni. A fajlagos forgácsolóerő egységnyi (1mm^2) forgácskeresztmetszet leválasztásához szükséges erő [7]. A számítás 1 mm -es fogásmélység mellett:

$$a=1\text{mm};$$

$$\kappa_r=93^\circ [8]$$

$$z=0,25; [9]$$

$$k_{c1.1} = 1500\text{MPa}; [9]$$

$$h = f * \sin\kappa_r = 0,2 \frac{\text{mm}}{\text{ford}} * \sin 93^\circ = 0,2002;$$

$$F_c = k_{c1.1} * h^{-z} * a * f = 1500\text{MPa} * 0,2002^{-0,25} \text{mm} * 1\text{mm} * 0,2\text{mm} = 448,49\text{N}$$

A térbeli erőrendszer többi komponensének nagyságáról valós mérések nélkül nehéz pontos képet adni. A gyakorlatban ezeket az összetevőket a főforgácsoló erőből származtatják arányossági tényezők segítségével. Figyelembe véve a választott anyag jó forgácsolhatóságát:

$$F_p = (0,3 \dots 0,8) * F_c = 0,5 * 448,49\text{N} = 224,25\text{N}$$

$$F_f = (0,1 \dots 0,4) * F_c = 0,25 * 448,49\text{N} = 112,12\text{N}$$

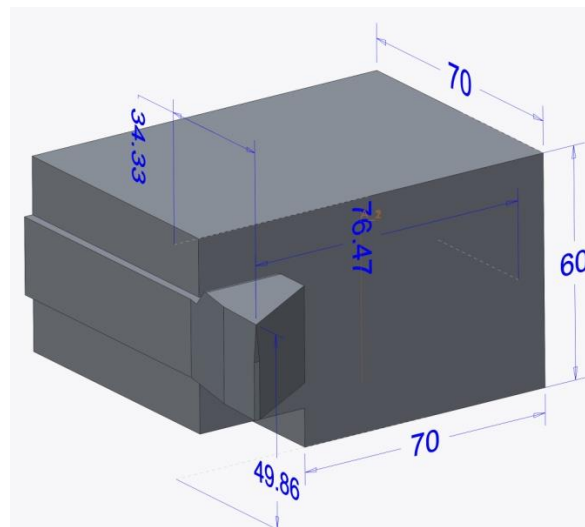
3.4. A gép munkatere

A szerszámgép munkatérének ismerete a gépágy VEM vizsgálataihoz kiemelten fontos. A rá ható terhelőerők, súlyerők hatását csak a rá épülő elemek geometriájának, anyagi jellemzőinek ismeretében tudjuk vizsgálni.

A megfelelő merevség biztosításához, a könnyű gyárthatósághoz és az ergonomikus kialakításhoz kell igazítani a gépágy méreteit. A munkatér elemeit, azok hatékony alkalmazásának feltételeit úgy kell kialakítani, hogy az azokkal kapcsolatba kerülő hallgatók igényei minél jobban kielégüljenek.

Szerszámozási rendszer

A lehető legegyszerűbb megoldásként függőleges tengelyű revolver szerszámtartót választok. A feladat ellátására egy manuálisan, diszkrét szögértékeként forgatható szerszámtartót választok. A szerszám Y irányú korrekciója biztosított. A vizsgálatokhoz egy jóval egyszerűbb modellt hozok létre a számítási hibák csökkentésére.

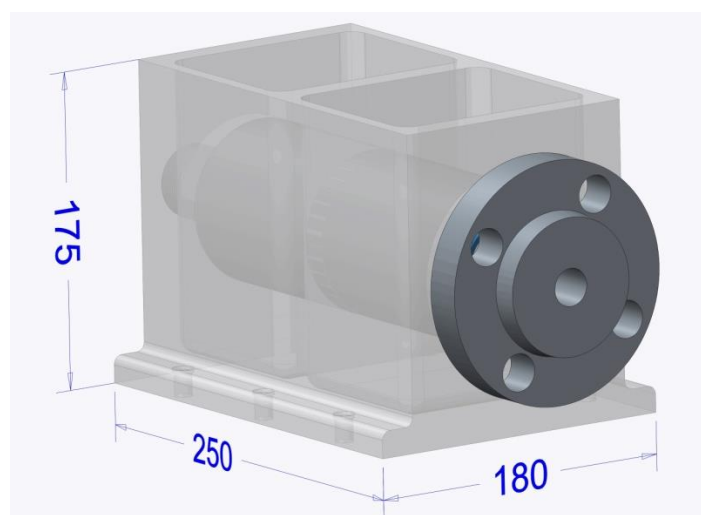


11. ábra

Egyszerűsített szerszámtartó és eredeti szerszám

Főorsó

A főorsó és háza tömegükkel, szíjfeszítő erővel és a forgácsolásból származó hatásokkal hatnak a gépágyra. Az berlini UKF főorsó gyártó cég termékét választottam. Tömege: 8,6kg.



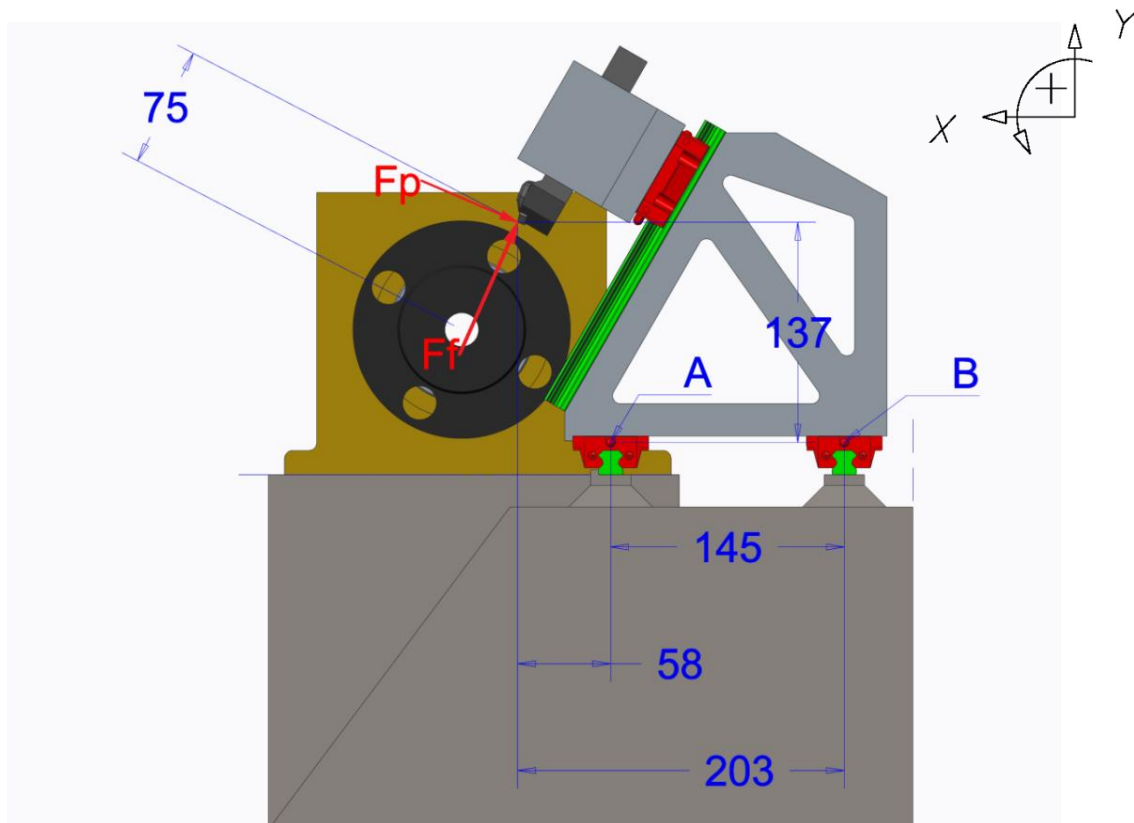
12. ábra

UKF főorsó házzal

Vezetékek

A Hiwin cég termékei közül választok lineáris vezetéket és gördülőelemes papucsot. A forgácsoló erőket ismerve a legkisebb HG_15 jelölésű papucsot választottam. A papucsot szilárdságtanilag ellenőrzöm terhelőerők és ébredő nyomatékok alapján.

A mechanikai modell megalkotásához újabb CAD modellt volt szükséges létrehoznom. A Z tengely vezetékeinek osztástávolságát 145mm-re vettem fel a kedvező struktúra érdekében. Az X szánt jelenlegi elrendezésem szerint 150mm-es átmérőre állítva végzem a vizsgálatokat, fenntartva a tárcsaszzerű alkatrészek megmunkálásának lehetőségét is. A forgácsoló erőket kétszeres biztonsági tényezővel számoltam.



13. ábra

Papucsok ellenőrzéséhez használt modell

A Z tengely papucsain maximálisan 291N eredőjű reakcióerő ébredt. Az X tengely papucsain maximálisan 203N eredőjű erő ébred. Ezek egyike sem lépi túl a megengedett 25310N-os statikus terhelhetőséget még a súlyerő hozzáadásával sem, mely esetben 160N a Z tengelyre.

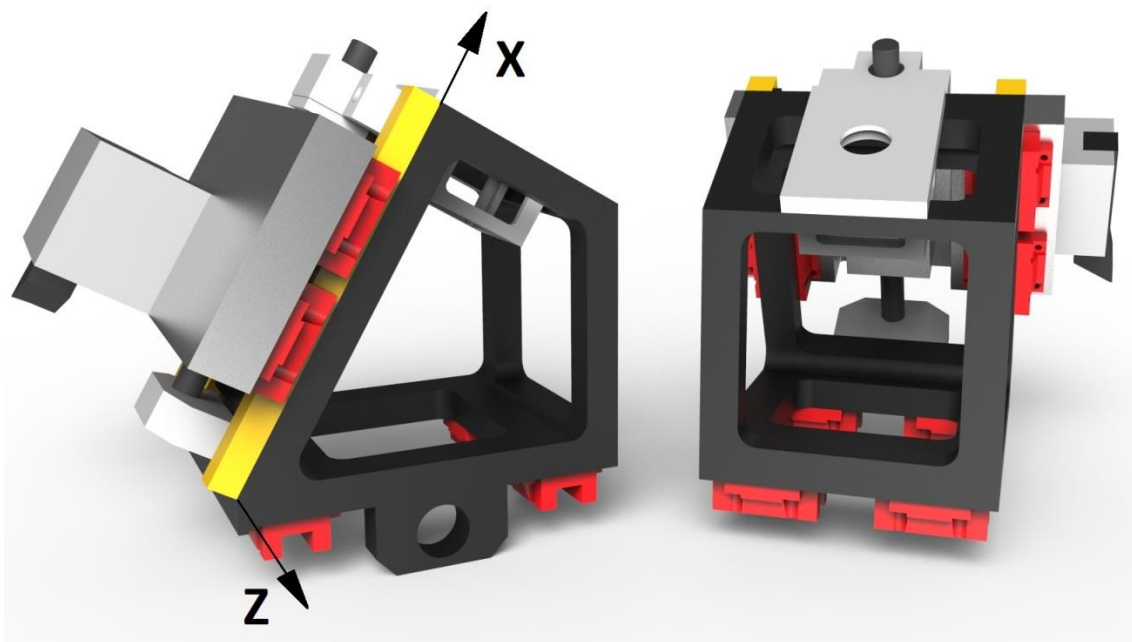
Az X vezeték papucsain a legnagyobb nyomaték-érték a keresztirányú szimmetriatengelyen ébred, értéke 22Nm. Ezen irányban a megengedett érték 67Nm, tehát a papucsok megfelelnek szilárdságtanilag. Ennek ellenére ajánlott az X vezetékekre is 4 papucs elhelyezése a későbbi befeszülések és a gyors kopás elkerülésére.

3.5. Adapter

Ezen elem a gépágy része. Az előtolás hatására Z irányban képes elmozdulni a vezetékeken. Mozgatandó tömegként kell kezelni, ezért célszerű kis tömegűre tervezni elegendő merevség biztosítása mellett. Geometriai méretei nagyban kötöttek. Bázisfelületet kell biztosítani a Z vezeték papucsainak, és 60 fokos bázist az X vezetékeknek. Rendelkeznie kell egy bázisfelülettel az X szánt mozgó előtoló motor számára is, amely fogasszíj hajtással forgathatja az X golyósorsót.

A kötött geometria miatt kevés változatot lehet generálni, vagy azok között minimális eltérés jelentkezne csak. Az ipari gépeken tapasztalt megoldások és a peremfeltételek alapján létrehoztam egy kiindulási változatot az előző továbbfejlesztéséből. A befoglaló méreteket: 150x200x200 mm-re választom meg a gépágy méreteivel arányosan.

Az adapter statikus vizsgálatát fontosnak tartom összehasonlítási alap képzésére a későbbi vizsgálatokhoz, valamint a saját kialakítás helyességének ellenőrzésére.



14. ábra

Adapter a ráépített X szánnal

Peremfeltételek

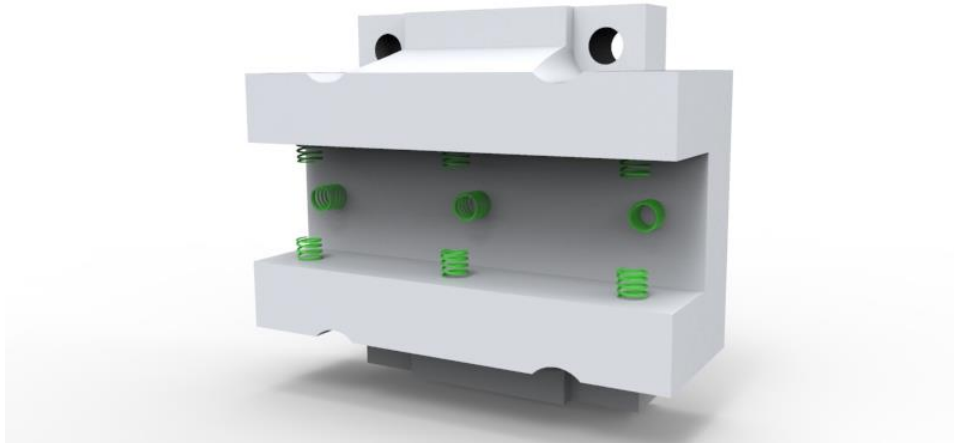
A legjobb közelítésű végeselemes modell előállításához golyósorsót és anyát választottam az X szán mozgatására. 16mm átmérőjű Hiwin orsót és a hozzá ajánlott peremes anyát választottam. Ezek rögzítésére vezető és követő csapágyazást is beépítettem. A szánt mozgó motor felfogatása javít a merevségen, viszont a motor és a szíjhajtás nem, ezért csak az előbbi került a VEM modellre. A vezetékek és papucsok profilját négyszög alakúra egyszerűsítettem a szimuláció gyorsítására. Az adapter anyagát öntöttvasnak ($E=131\text{GPa}$), a szerszámot szerszámacélnak ($E=400\text{GPa}$), a keresztzán anyagát alumíniumnak ($E=69\text{GPa}$), a többi alkatrészt pedig acélnak ($E=200\text{GPa}$) választottam. A szerszámon módosításokat kellett elvégezni a szimuláció végrehajthatóságaért.

Erők

A forgácsoló erőket kétszeres biztonsági tényezővel veszem figyelembe a támadási pontban. Az X szánt úgy kényszerítettem, hogy az ütközésig menjen pozitív X irányban, ahol a legnagyobb deformációt tudják létrehozni az erők. Ezen felül gravitációs erőteret is definiáltam a valóságnak megfelelően.

Megfogások, kapcsolódások

Minden kapcsolódást és kényszert igyekeztem a valóságnak megfelelően beállítani a szimuláció pontosságának növelésére. Az adapter alján elhelyezkedő papucsok Z irányban képesek csak elmozdulni. Az ugyanitt található furat a golyósanya befogadására és rögzítésére szolgál. Ennek minden szabadságfokát lekötöttem. Az X papucsok kényszerítése különleges eljárást igényel. A creo parametricben létrehozott modell azonnal importálódik a simulate modulba annak megnyitásakor. Az összeállítást mereven rögzítettként kezeli alapesetben. A vezetékeket és papucsokat szétválasztottam külön elemekké. A nem X irányú szabadságfokok lekötése érdekében 0,1mm hézagot hagytam ezen elemek között. Ide a felületre merőleges irányban végtelen nagy rugóállandójú rugókat helyeztem megfelelő elosztásban a pontosság növelésére. Az orsó vezető csapágyazása az adapter tetején található, ez fix kényszerítést kap, a követő csapágyazás enged X irányú elmozdulást, kényszerítése szintén rugókkal történt.

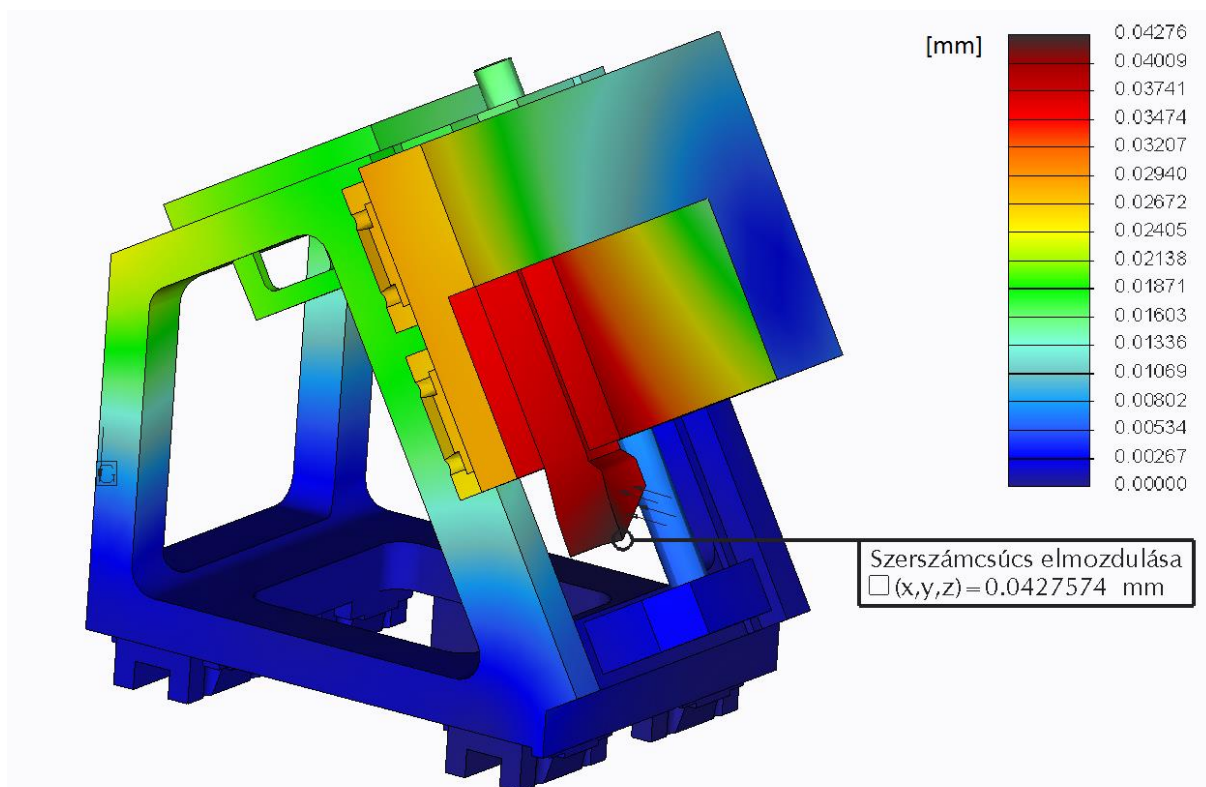


15. ábra

A papucs idealizálása rugókkal

Eredmény

A modell végeselemes hálózását a program által automatikusan felajánlottak alapján végeztem, így 16798 elem és 5163 csomópont jött létre. A statikus merevség vizsgálat szempontjából a szerszámcsúcs elmozdulása a leglényegesebb ezen elem esetén.

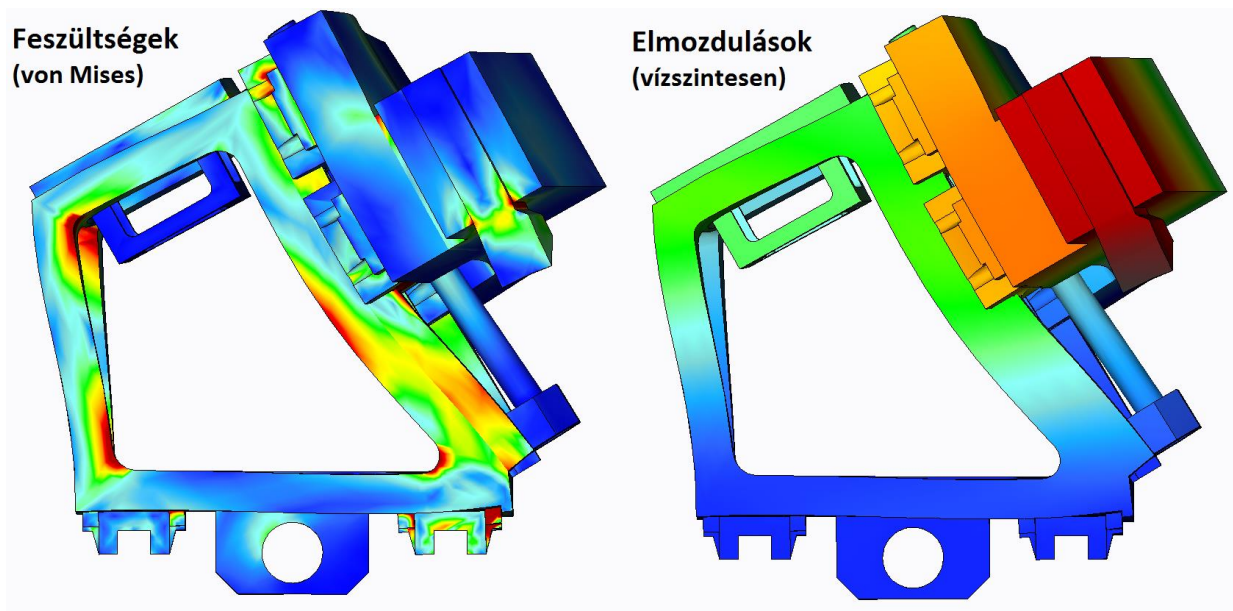


16. ábra

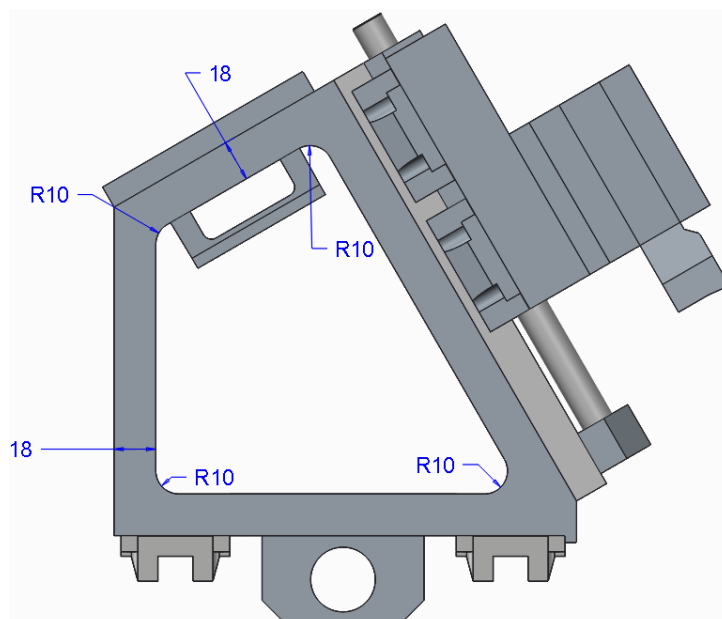
Elmozdulások mm-ben

Optimalizálás

Az adapter jelentős befolyással van az egész gép merevségére. A deformációt kinagyítva észrevehető, hogy a forgácsoló erők mely irányba torzítják a szerkezetet. A lekerekítéseknél jelentős feszültségek ébrednek. A szerszámcsúcs elmozdulásának csökkentése érdekében optimalizálom a szerkezetet. A szerszámozási rendszert, valamint a vezeték-papucspárokat nem módosíthatom, de az adapteren tudok változtatásokat eszközölni.



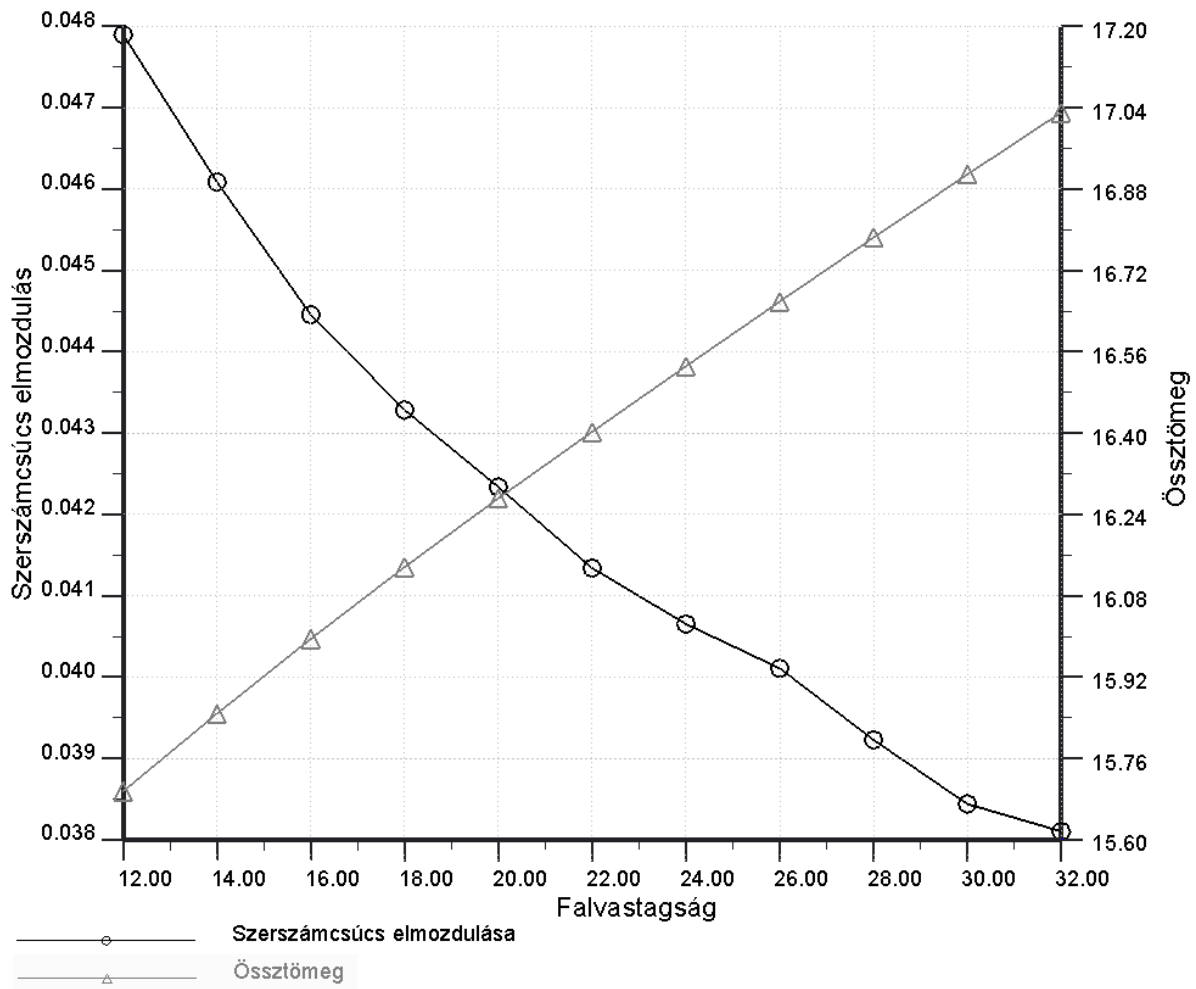
17. ábra



18. ábra

A 18. ábra látható méretek módosítását láttam célszerűnek, ezek változtatásával fogok érzékenységi vizsgálatot végezni. Megvizsgálom, hogy ezek módosítása hogyan befolyásolja a szerszámcsúcs elmozdulását és a tömeget. Több méret módosítását nem láttam célszerűnek a bázisfelületek megvalósíthatósága és önthetőségi okok miatt.

Először a hátsó és felső elemek keresztirányú falvastagságát módosítom 12 és 32 mm között.



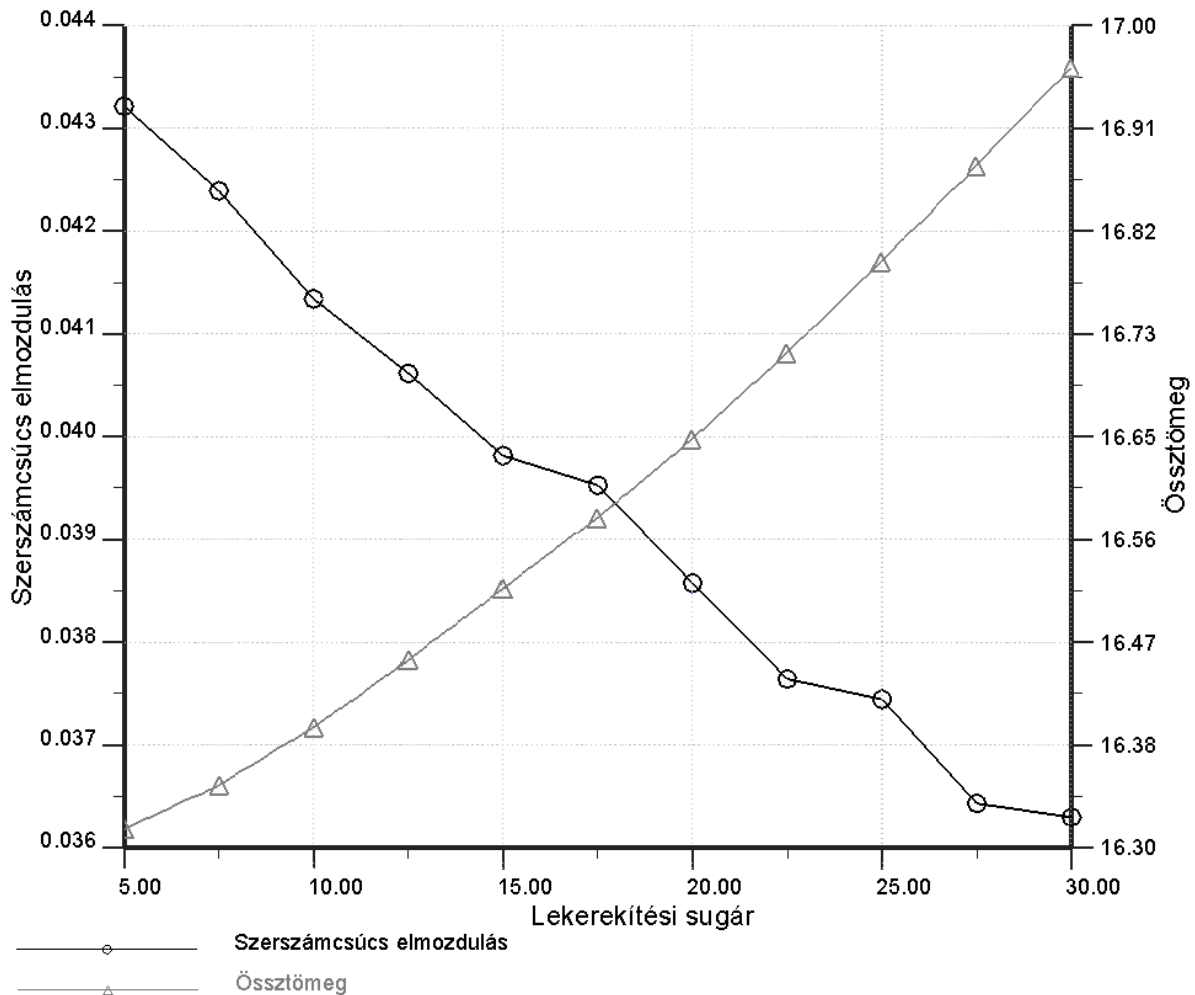
19. ábra
Falvastagság optimalizálása

A vizsgálathoz nagyobb érték felvételét nem láttam célszerűnek.

A grafikonon láthatóan esik az elmozdulás csökkenésének sebessége 22 mm-es falvastagságnál. Nagyobb méretet nem lesz sokkal előnyösebb gyártani, már csak a gyártási technológia korlátai miatt sem. Ezen értékek 10 mm-es belső lekerekítési rádiusz esetén igazak.

A továbbiakban megvizsgálom, hogyan változik a merevség a lekerekítés módosítására 22 mm-es falvastagság mellett. Ezt 5 és 25 mm között vizsgálom.

Megfigyelhető, hogy a lekerekítési sugár módosításának is jelentős szerepe van a merevség növelésében. A további vizsgálatokhoz 20 mm-es lekerekítési sugarat választok.



20. ábra

Lekerekítési sugár optimalizálása

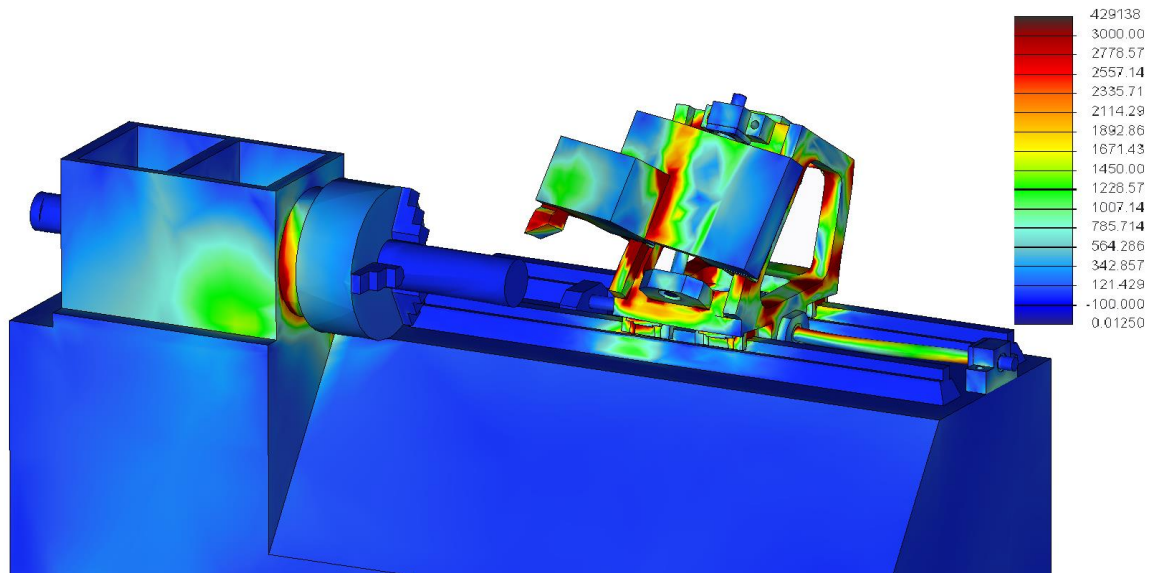
3.6. További vizsgálatok

Az adapter egyéb méreteinek módosításával, valamint merevítő bordák beépítésével tovább javítható a merevség, bár ezek vizsgálatához *önthetőségi* elemzések is szükségesek.

Ezek mellett a merevség tovább javítható a feltételezett szerszámtartó rendszer pontosításával, a jelenlegi modell nem ad megfelelő közelítést.

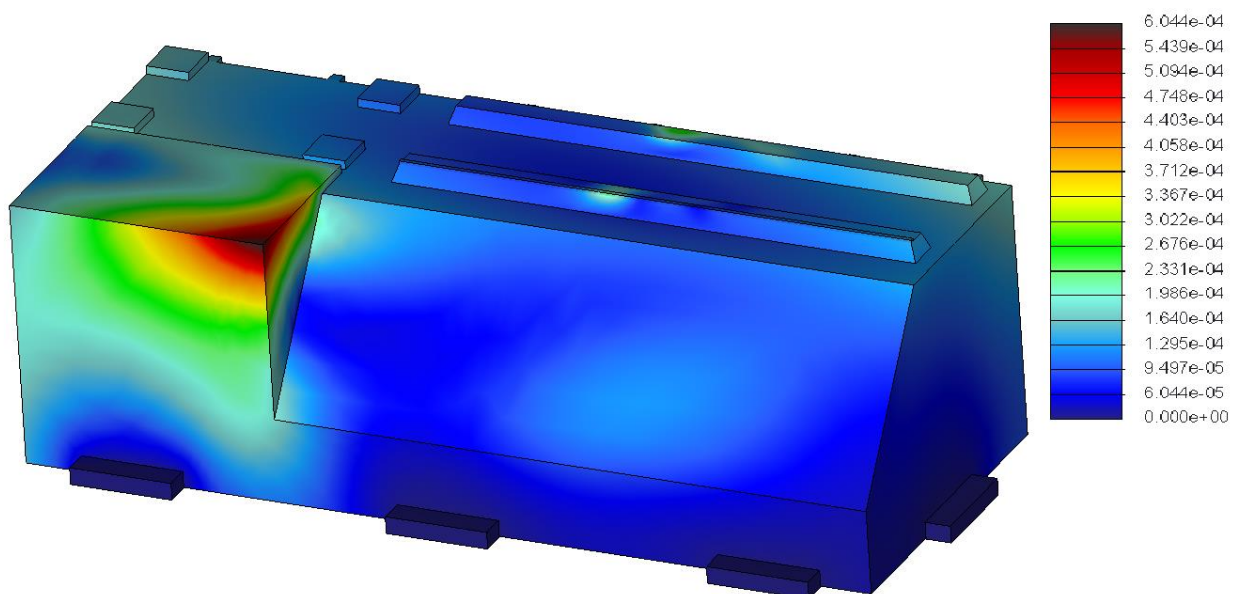
4. ÖNTVÉNY GÉPÁGY

A gépágy modelljének elkészítéséhez az 5. ábra látható változatot használtam alapul. Önthetőség szempontjából ezt ítéltam a legjobbnak.



21. ábra

Torzított feszültségek (Von Mises) [kPa]

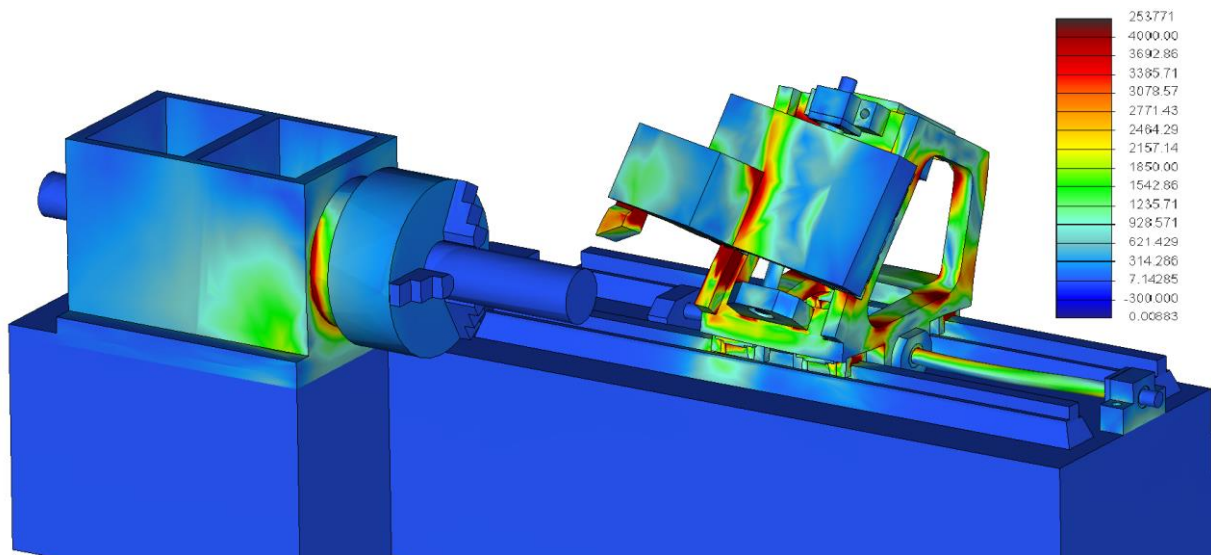


22. ábra

Gépágy elmozdulásai [mm]

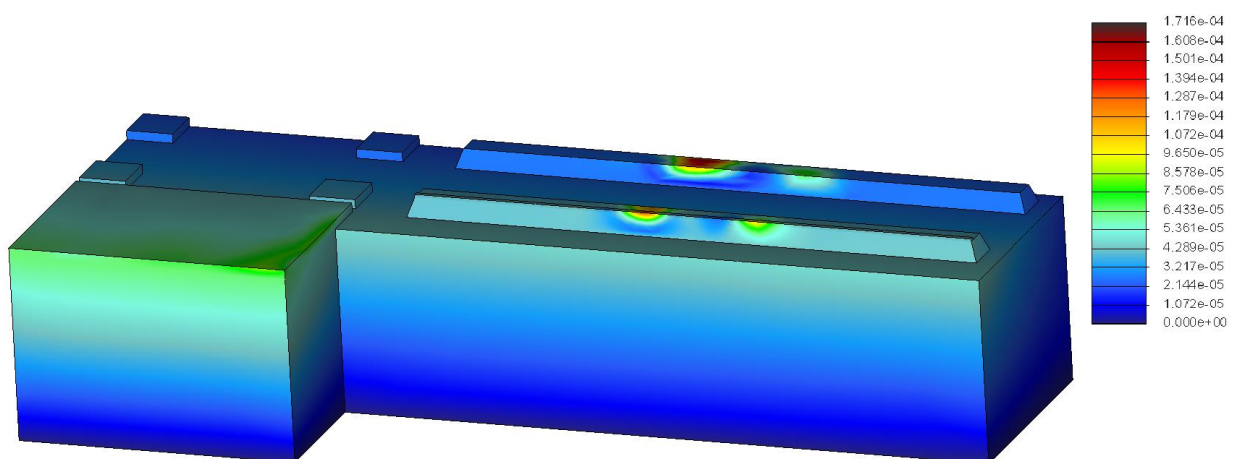
5. POLIMERBETON KIVITEL

A gépágy modelljének elkészítéséhez az 5. ábra látható változatot használtam. Anyagtulajdonságoknak a [10] tanulmányt alapul véve szerszámgépágyak számára kikevert polimerbetont választottam ($E=25,2$ GPa; $G=10,5$ GPa; $\nu=0,2$)



23. ábra

Torzított feszültségek (Von Mises) [kPa]



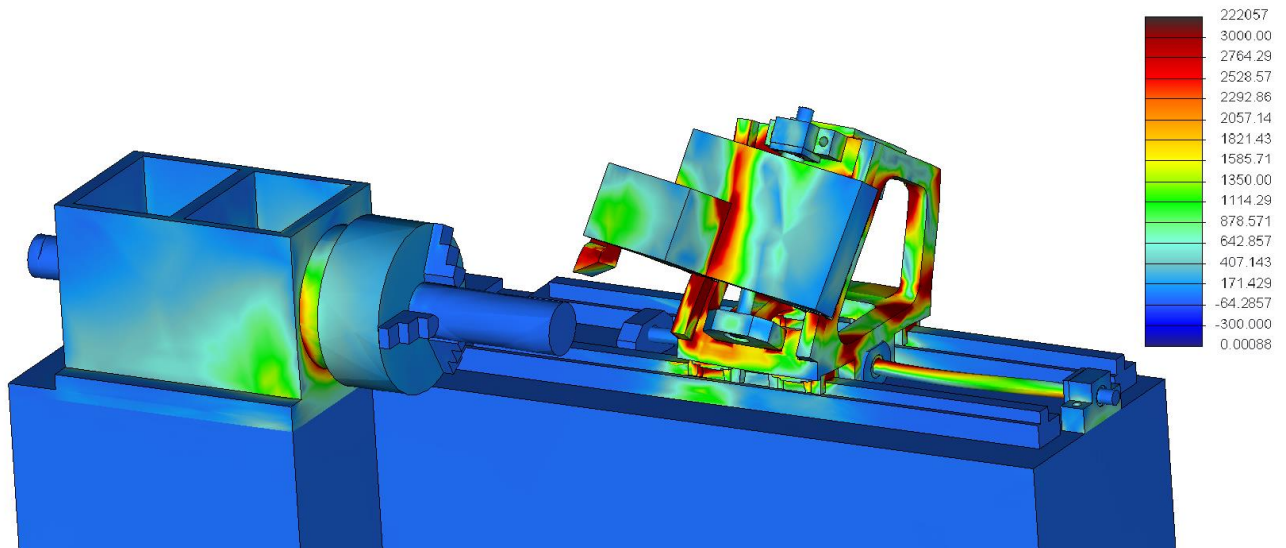
24. ábra

Gépágy elmozdulásai [mm]

A ráépülő elemeknek fém bázisfelületet szükséges önteni a betonba, ez is módosít a merevségi értékeken. A modell alapján csak a felületre vannak öntve ezen fém elemek, nincs megfelelő mélységű cölöpözése.

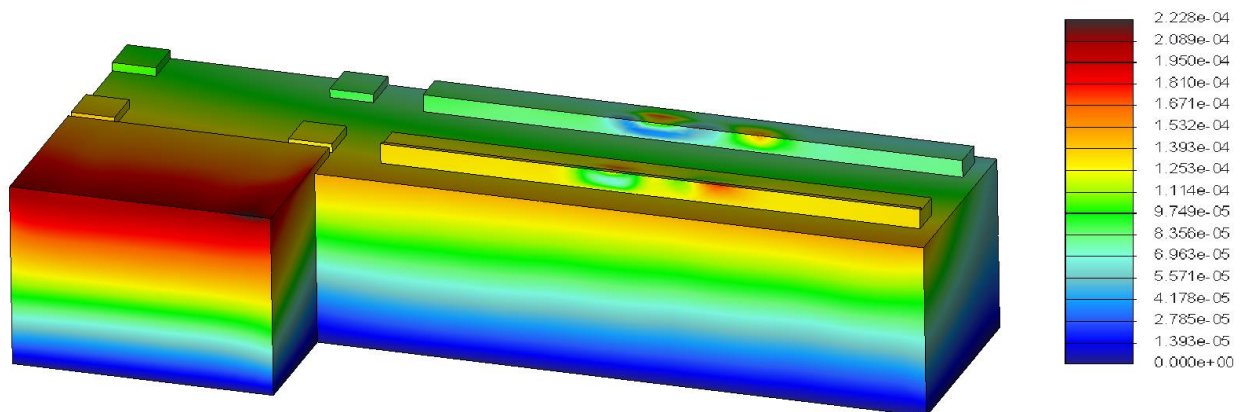
6. HEGESZTETT KIVITEL

A konstrukciót 16 mm vastag kazánlemezről készítettem el. A belső rész függőleges merevítéseket tartalmaz.



25. ábra

Torzított feszültségek (Von Mises) [kPa]



26. ábra

Gépágy elmozdulásai [mm]

A kivitel belső üregeit utólagosan ki lehet önteni polimerbeton, vagy beton keverékkel. Ez tovább növeli az össztömeget és javítja a rezgéscsillapító képességet.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatom témájának meghatározása során törekedtem a szakirányomhoz kötődő témakört választani. Emellett a megoldáshoz fel kívántam használni olyan ipari megoldási elemeket is, melyeket nem tanulhattunk korábban. Egy feltételezett igény hatására kezdtem bele egy oktató CNC eszterga megtervezésébe. Dolgozatomban ennek alapját, a gépágyat vizsgáltam.

A konstrukció kiválasztásának megalapozására szükséges volt egy összehasonlítási alapot képeznem a lehetséges változatok között. Az iparban alkalmazott szerszámgépek jelentős része még mindig öntöttvas alapú gépággal rendelkezik, miközben a különleges kivitelek kevésbé elterjedtek előnyeik ellenére.

Az előzetes kutatások során megállapítottam, milyen követelményeknek kell megfelelnie egy gépágnak, bár ezek kifejtése nem fért dolgozatom keretei közé.

Kiválasztottam a lehetséges NC eszterga gépstruktúrák közül azt, amely a leginkább igazodni képes a kiszabott megmunkálási feladatokhoz.

A struktúra további elemzésével meghatároztam a gépágy döntöttségét 60° -ban, mely következtében javult a munkatérre való ráláthatóság, valamint csökkent az önsúly.

Kiindulva a korábbi piackutatásomból megszabtam a maximális gépágy méretet, mely hatására négy darab arányos változatot hoztam létre. Fontos megjegyezni, hogy a konstrukció asztalra építhető lesz.

A további vizsgálódásaim a gépre ható erők feltárására irányult. Kiválasztottam azt a könnyedén hozzáférhető automata acélt, mely megfelel az oktatás igényeinek, azaz könnyen megmunkálható.

A Sandvik Coromant cég katalógusa alapján szerszámozási rendszert, szerszámszárat és lapkát választottam simításra és nagyolásra, majd az ajánlott paraméterek alapján meghatároztam a forgácsolóerőket.

A továbbiakban CAD modelleket készítettem azon alkatrészekről, melyek a végeselemes vizsgálatokhoz nélkülözhetetlenek. Ezeket a megfelelő elhanyagolásokkal és feltételezésekkel leegyszerűsítettem a számítások csökkentése érdekében.

Megállapítottam, hogy a kiválasztott papucsok szilárdságtanilag megfelelnek még dupla forgácsoló erők mellett is.

A forgácsoló rendszer legkritikusabb elemét, a 60° -os döntést biztosító adaptert részletes elemzésnek vettem alá, ugyanis az egész szerszámgép statikus merevségére nézve nagy jelentőséggel bír.

A geometriát meghatározó kezdeti feltételek meghatározása után létrehozott modellt elláttam a megfelelő kényszerekkel, terhelésekkel, majd végeselemes hálóval. A lefuttatott szimuláció után megállapítottam a vázolt szerkezet statikus merevségét kétszeres nagyságú forgácsolóerő esetén. A megfelelő elemzések után megállapítottam, hogy a szerkezetet optimalizálni kell. A falvastagság és lekerekítési sugár iterációs módszerrel történő módosításával javítottam a merevségen. A kapott eredmények alapján kiválasztottam a tömeg és merevség-javulás függvényében a legjobbnak vélt szerkezetet. A továbbiakban ezt alkalmaztam.

A generált kivitelekre építettem az adaptert és forgácsoló rendszert, majd ezeken végeztem statikus illetve dinamikai elemzést.

Ezek összehasonlítása során megfigyeltem, hogy nem okoz jelentős változást a gépágy módosítása. A pontatlanság nagy része a forgácsoló rendszer deformációjából származik.

Az adapter egyéb méreteinek módosításával, valamint merevítő bordák beépítésével tovább javítható a merevség, bár ezek vizsgálatához *önthatósági* elemzések is szükségesek.

Ezek mellett a merevségről jobb közelítést kaphatunk a feltételezett szerszámtartó rendszer pontosításával, a jelenlegi modell nem ad megfelelő túlzottan torzul.

	Öntvény	Polimer beton	Hegesztett
Szerszámcsúcs elmozdulás [mm]	0,05222419	0,05190097	0,05224175
Munkadarab elmozdulás [mm]	0,005690958	0,004759961	0,004745713
Saját frekvenciák [Hz]	215,8763 293,2192 397,9807 508,6996 584,2353 686,2340	215,9722 295,4351 400,8822 510,1488 685,3189 795,1841	212,1430 286,8045 390,7040 502,3689 556,7058 674,8265
Tömeg [kg]	249,31	204,56	114,934

IRODALOMJEGYZÉK

1. *A sustainable consumer Society: A contradiction in Terms?* **Ekins, Paul.** 1991., International Environmental Affairs 3.4 , old.: 243-258.
2. A szerszámgyártás története. [Online] <http://www.szerszamgepgyartas.hu/hun/story/6-tomegtermeles.htm>.
3. **Dr. Baráti, Antal.** *Szerszámgyép vizsgálatok.* Budapest : Műszaki könyvkiadó, 1988.
4. **Ott, István.** *Végeselem és Szimuláció Akadémia - beszámoló.* [Online] http://www.snt.hu/news/pressroom/P_vs_H_megoldo.pdf.
5. **Körtélyesi, Gábor, és mtsai., és mtsai.** *Mérnöki Optimalizáció.* Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Óbudai Egyetem, Szent István Egyetem : Typotex, 2012. ISBN 978-963-279-538-6.
6. Forgácsolás és szerszámai HU. [Online] http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0007_02-Forgacsolas_es_szerszamai_HU/335f325f315fc3a16272615f756a5f6b.png.
7. **Dudás, Illés.** *Gépgyártástechnológia I.* Debrecen : Műszaki Könyvkiadó Kft., 2009.
8. **Coromant, Sandvik.** Sandvik Coromant katalógusok. [Online] 2012. [Hivatkozva: 2013. 05 05.] <https://www.sandvik.coromant.com/hu-hu/downloads/pages/search.aspx?q=Catalogues&rootsite=%5ehuhu%24>.
9. **Fenyvessy, Tibor, Fuchs, Rudolf és Plósz, Antal.** *Műszaki táblázatok.* Budapest : Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, 2007.
10. **Jung Do Suh, Dai Gil Lee.** *Design and manufacture of hybrid polymer concrete bed for high-speed CNC milling machine.* Springerlink : Springerlink, Springer Science+Business Media , 2006. DOI 10.1007/s10999-007-9033-3.