

SZAKDOLGOZAT

KURUNCZI KRISTÓF

**Gödöllő
2024**



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Gépészmérnöki Szak

Alumínium alkatrészhez öntőszerszám tervezése

Belső konzulens: Dr. Pataki Tamás István
egyetemi docens

Külső konzulens:

Készítette: Kurunczi Kristóf
MCXMLE
Levelező tagozat

Intézet/Tanszék: Műszaki Intézet

Gödöllő
2024

MŰSZAKI INTÉZET
GÉPÉSZMÉRNÖK ALAPSZAK
mérnökinformatika specializáció

SZAKDOLGOZAT

feladatlap

Kurunczi Kristóf (MCXMLE)

részére

A diplomadolgozat címe:

Alumínium alkatrészhez öntőszerszám tervezése

Feladatkiírás:

Az erdészeti fakitermelés egyik elengedhetetlen alapeszköze a döntőék. Az eszköz használatából fakadóan egy fogyó eszköz, ami miatt tartós nagyobb volumenű gyártási igényeket támaszt a termelő cégek felé. A nagynyomású hidegkamrás alumínium-öntészet ideális a gyártási volumen és a termék öntésével járó speciális igények kielégítésére.

A dolgozatomban elvégzem a megfelelő alumínium ötvözet kiválasztását, az öntőszerszám öntéstechnikai, hőtechnikai és gazdasági számításait, valamint ezek végeselem szimulációval történő validálását. Továbbá a végeselem szimuláció segítségével a helyesen kiszámított, de helytelenül megválasztott hűtési paramétereit az öntvény porozítására.

Közreműködő tanszék: Mérnökinformatikai

Külső konzulens: -

Belső konzulens: Dr. Pataki Tamás István egyetemi docens, MATE, Anyagtudományi és Gépipari Folyamatok Tanszék

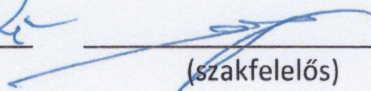
A dolgozat beadási határideje: 2024. év 11. hó 05. nap

Kelt: Gödöllő, 2024. év 10. hó 30. nap

Jóváhagyom

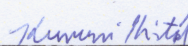


(tanszékvezető)



(szakfelelős)

Átvettem



(hallgató)

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Kelt:,évhónap

(külső konzulens)

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	2
2.	Szakirodalmi feldolgozás	3
2.1.	Nyomásos öntés	3
2.2.	Melegkamrás nyomásos öntés	3
2.3.	Különleges nyomásos öntési eljárások	4
2.4.	Hidegkamrás nyomásos öntészet	5
2.5.	A nyomásos öntészetben alkalmazott alumínium ötvözetek	6
2.6.	Az egyes ötvözők hatása az öntvényekre	7
2.7.	A nyomásos öntészetben használt szerszámok felépítése és anyaga	9
2.8.	Az öntőszerszámok felépítése	11
2.9.	Az ék, mint szerszám	14
2.10.	Minőségbiztosítás az alumínium öntészetben	15
3.	Öntőszerszámhoz tartozó számítások és szimulációk	17
3.1.	Öntéstechnikai számítások	17
3.2.	A szerszámot és a gépet terhelő erők	21
3.3.	Hőtechnikai számítások	23
3.3.1.	A bevezetett hőmennyiség meghatározása	23
3.3.2.	Az elvont hőmennyiség kiszámítása	25
3.4.	Gazdaságszámítás	33
3.5.	A szimulációk eredménye és kiértékelésük	34
3.6.	A szerszámon végzett szimulációk	35
3.7.	Az öntéstechnikai szimulációk	37
3.8.	Használati és karbantartási útmutató	41
4.	Összefoglalás	42
4.1.	Summary	43
5.	Irodalomjegyzék	44
5.1.	Ábrajegyzék	45
5.2.	Táblázatjegyzék	46

1. Bevezetés

Az emberi történelem korszakait meghatározó fémekhez, mint réz-, bronz-, vashoz hasonlóan az alumínium is tekinthető egy korszakhatározó fémnek. Általa lehetővé vált egy széleskörben, globálisan elérhető, energiahatékonyan megmunkálható és főként olcsón (újra-) felhasználható ötvözetek létrehozása, amelyek az ipari termékek nagyon széles palettáját képesek lefedni. Az alumínium első számú felhasználásának az öntvények készítését tekinthetjük, ennek több eljárása közül is választhatunk, az aktuális igényeinknek megfelelően lehet gravitációs öntés, kokilla öntés, precíziós öntés vagy nyomásos öntés. (Fledrich, et al., 2017) Az öntvények tervezése során alkalmazhatunk további forgácsolást igénylő előgyártmányt, vagy már megmunkálást nem, vagy csak kismértékben igénylő méretpontos gyártmányokat is.

A szakdolgozatomban egy alumínium döntőék gyártásához szükséges öntőszerszámot fogom megtervezni, ezt célszerű méretpontos gyártmányként elkészíteni, ebből kifolyólag vízszintes hidegkamrás nyomásos öntési eljárást fogom alkalmazni, ennek és a többi gyártási eljárásnak az előnyeit és hátrányait egy későbbi fejezetben fogom kifejteni. A tervezés folyamán, öntészeti VEM szimuláció segítségével ellenőrzöm az elkészült formaüregben készült öntvény öntésekor lejátszódó termikus- és mechanikai folyamatokat.



1. ábra: Alumínium döntőék
(Forrás: saját munka)

2. Szakirodalmi feldolgozás

2.1.Nyomásos öntés

A nyomásos öntés forradalmasította az alumínium kohászatot azzal, hogy a kokillába és a homokformába öntéshez képest jelentősen lerövidítette az öntés ciklus-idejét köszönhetően a rövidebb öntési és dermedési időnek, valamint az eljárás azon sajátosságának köszönhetően, hogy az olvadékot dermedésig nagy nyomás alatt tartja ezzel megakadályozva a térfogati zsugorodást, az öntvény mechanikai szempontból is jobb minőségű lesz. Ennek az alakadó eljárásnak a lényege, hogy ismétlődő ciklusokban a folyékony halmazállapotú alumíniumot nagy sebességgel és nagy nyomáson juttatjuk az osztott szerszám üregébe. (Dr. Dúl, 2011) ismertetése nyomán, a nagy nyomásnak köszönhetően érhetjük el az eljárásnak azt további igen meghatározó előnyét, hogy komplex geometriájú és vékony falvastagságú (1-8 mm) öntvényeket is készíthetünk. Az öntvények porozítására azonban negatív hatással van a nagysebességű formaüreg töltése, az üregek összes térfogata meghaladtja az egy térfogatszázalékot. (Jorstad & Apelian, 2008/1)

A nyomásos öntészeti eljárásokat három fő osztályra bonthatjuk:

- melegkamrás öntés
- különleges nyomásos öntés
- hidegkamrás öntés

2.2.Melegkamrás nyomásos öntés

A melegkamrás öntészeti eljárást főként alacsony olvadáspontú nehézfémötvözetek öntésére használják, mint például ólom-, ón-, cink-, magnéziumötvözetek. Az alumínium olvadékban, az öntőgarnitúrából kioldódó vas elszennyezi az végső ötvözetet, ennek mértéke akár 2%-ot is elérheti, emiatt alumínium öntvényekre kevésbé alkalmas eljárás. A melegkamrás öntőgépeknél a hőtartó kemence nem csak az olvadékot hevíti, de az öntőegységet is. Az eljárás legnagyobb előnye, hogy az olvadékba merített öntőkamrának köszönhetően az olvadék felszínén keletkező oxidok nem kerülnek az öntvénybe továbbá nincs szükség adagolóberendezésre. Emiatt kizárólag akkor alkalmazható költséghatékonyan az eljárás, ha az öntőkamra anyaga nem oldódik az olvadékfémbe. (Fledrich, et al., 2017)

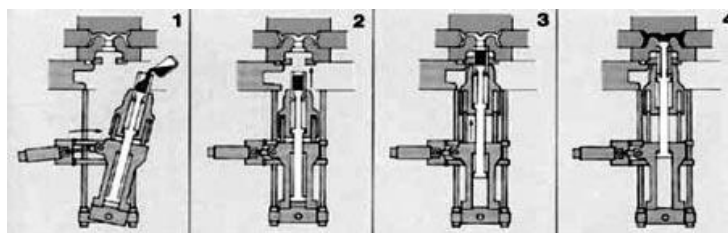
Az eljárásra jellemző főbb technológiai paraméterek:

Öntési idő [ms]:	5-20
Áramlási sebesség a bekötő csatornában [m/s]:	50-120
Fémre ható nyomás a megszilárdulás közben [bar]:	15-400

2.3. Különleges nyomásos öntési eljárások

A nyomásos öntési eljárások legfőbb problémája a nagy formatöltési sebesség okozta turbulens áramlások, amik a gázok káros bezáródását eredményezhetik. Ennek a problémának a kiküszöbölésére többféle átmeneti eljárást is kidolgoztak.

1. Öntve sajtolás: Az olvadékot minimális turbulenciával töltik az alsó szerszámfélbe közvetlen öntve sajtolásnál majd a sajtó a felső szerszámfelet az alsóhoz nyomva hozza létre a szükséges nyomást, míg a közvetett öntve sajtolásnál a gép öntőkamrájába töltik az olvadékot és hagyományos nyomásos öntési eljárásokhoz hasonlóan történik a szerszámüregbe töltés. Az eljárást elsősorban vastag falú és tömör alkatrészek gyártásához alkalmazzák, az alacsony üregtöltési sebesség miatt nem alkalmas vékonyfalú alkatrészek gyártásához. Az így készült öntvények jellemzően tízed térfogat-százalékban mérhető üreget tartalmaznak. Az öntve sajtoláshoz alkalmazható öntvényötvözetek nagyrészt megegyeznek a kokillaöntésnél alkalmazottakkal. Jellemzően kisszeriás gyártásnál alkalmazzák. (Jorstad & Apelian, 2008/2)



2. ábra: Az UBE közvetett öntve sajtoló eljárásának vázlata
(Forrás: (Jorstad & Apelian, 2008/2))

Az eljárásra jellemző főbb technológiai paraméterek:

Áramlási sebesség a bekötő csatornában [m/s]:	<0,5
Fémre ható nyomás a megszilárdulás közben [bar]:	500-3000

2. Kisnyomású-kokillaöntés: Az öntve sajtoláshoz hasonlóan ez az eljárás is elsősorban vastagfalú és tömör alkatrészek gyártásához alkalmazható. Kis sebességgel, de nagy nyomással és nagy térfogatárammal történik a formaüreg töltése.

Az eljárásra jellemző főbb technológiai paraméterek:

Öntési idő [s]:	2-10
Áramlási sebesség a bekötő csatornában [m/s]:	0,5-2,5
Fémre ható nyomás a megszilárdulás közben [bar]:	15-400

3. Mikrogravitációs körülmények között végzett öntészet: Egy olyan öntési eljárás, amelyet mikrogravitációs környezetben hajtanak végre, mint például az űrben vagy egy zuhanó repülőgépen. Az űripari technológia jelenlegi állásában ez még csak a tudományos kutatások szintjére korlátozódik, de a jövőben várhatóan jelentősebb szerepet kaphat a speciális öntvények készítésében. (Downey, 2019) Ezzel az eljárással a jövőben olyan alkatrészeket lehet előállítani, amelyek homogénebb anyagszerkezetűek, kevesebb hibával rendelkeznek, elsősorban amiatt mert a gravitáció hiányában az eltérő sűrűségű anyagok egyenletesen oszlanak el az anyagszerkezetben, míg a földi gravitáció jelenlétében végzett öntésnél a szerkezet makroszkopikus léptékben inhomogénné válik, mivel a sűrűbb anyag olvadék cseppjei lesüllyednek a formaüreg alsó irányába. (Svéda, 2007) A kísérletek során az olvadékot mágneses mező segítségével áramoltatják, a kísérletek során főként alumínium-réz és alumínium-nikkel ötvözeteket alkalmaznak.



*3. ábra: Röntgenfelvétel fémötvözetek Földön (balra) illetve mikrogravitációs (jobbra) körülmények között történő öntéséről.
(Forrás: ESA XRMON)*

2.4. Hidegkamrás nyomásos öntészet

Talán a legsokoldalúbb öntési eljárás a már ismertettek közül, minden alacsony olvadáspontú fémötvözzel készíthetőek öntvények, de elsősorban ólom-, ón-, cink-, magnézium-, réz-, aluimíniumötvözetek. Ez annak köszönhető, hogy a fűtetlen öntőkamra nem merül el a hőtartó

kemencében így elkerülhetők a káros kémiai reakciók, az olvadékot közvetlenül az öntési folyamat előtt töltik az öntőkamrába, így azok csak rövid ideig érintkeznek.

Az öntőkamra elrendezése szerint két főbb altípust különböztetünk meg:

Függőleges hidegkamrás nyomásos öntés: Az elnevezése az öntőkamra függőleges elhelyezésére utal, ami ebben az esetben lehet a szerszámmra merőlegesen, jellemzően felette, vagy mellette elhelyezve egy persellyel a szerszámhoz csatlakoztatva található. Ennek az elrendezésnek előnyei, hogy az olvadék kitölti az öntőkamra teljes keresztmetszetét, így csökkentve a levegő formába jutásának esélyét, továbbá az olvadékot nem a szerszám széleinél vezetjük a formaüregbe, hanem a szerszám közepén.

Vízszintes hidegkamrás nyomásos öntés: Ennél az elrendezésnél az öntőkamra vízszintes elrendezésű. A legáltalánosabban alkalmazott eljárás az alumínium öntvénykészítés területén.

Az eljárásra jellemző főbb technológiai paraméterek:

Öntési idő (ms):	10-50
Áramlási sebesség a bekötő csatornában (m/s):	20-80
Fémre ható nyomás a megszilárdulás közben (bar):	500-1500

2.5.A nyomásos öntészetben alkalmazott alumínium ötvözetek

Az alumínium (Al) a periódusos rendszer 13. csoportjában található kémiai elem, amelynek atomszáma 13, rácsszerkezete lapközepes köbös. Ezüstfehér színű, diamágneses, jól megmunkálható fém, szilárd állapotában a sűrűsége $2,7 \text{ g/cm}^3$, ez alapján könnyűfémnek minősül ($<5 \text{ g/cm}^3$), olvadék állapotban sűrűsége $2,35 \text{ g/cm}^3$. Bár olvadáspontja nem túl magas ($660,4 \text{ }^\circ\text{C}$), levegővel érintkezve azonnal vékony oxidréteggel borítja magát ezzel jelentős korrózióvédelmet biztosítva, aminek olvadáspontja $2045 \text{ }^\circ\text{C}$. Az alumínium kiváló elektromos és hővezető, az alapfém hővezetési tényezője 237 W m K^{-1} , ezen tulajdonságai miatt számos ipari és háztartási termékben hasznosítható.

Felhasználását két fő csoportra bonthatjuk: ötvözetlen és ötvözött alumínium. Ötvözetlen vagy szin alumíniumot akkor alkalmaznak, ha jó elektromos vezetőképességre van szükség, ekkor a fajlagos elektromos vezetőképessége 37 MS m^{-1} . Minimális ötvözőkkel, 0,5% alatt, az élelmiszeripar számára alkalmas csomagolóanyagok készülnek belőle.

Az ötvözött alumíniumokat három fő csoportra bontjuk (Dr. Pék, et al., 2000):

Dural ötvözetek (Al-Cu): A fő ötvöző a réz, ami egy a megmunkálhatóságot és szilárdságot növelő ötvöző. Nehezen önthető alumíniumötvözetek, amiket inkább forgácsolással, vagy melegen képlékenyalakítással munkálnak meg. A réz tartalma miatt romlik a korrózióállósága, viszont nemesítéssel nagy szilárdságú szerkezeti anyagok készíthetők. Nyomásos öntészetben nem jellemző a használata, mivel a magas réztartalom hajlomossá teheti az öntvényt a melegrepedésre. Jellemzően <5,7% rézet tartalmaznak. (Dr. Pilissy, et al., 1976)

Hidronálum (Al-Mg): Ennek a csoportnak a fő ötvözője a magnézium, <17,4% ötvöző tartalommal, ami javítja az anyag szilárdságát és korrózióállóságát (Okayasu, et al., 2013). Si-Al ötvözve nemesíthető, hidegen is alkalmas képlékenyalakításra, kiválóan polírozható, hegeszthető. A fokozott korrózióállóságának köszönhetően a vegyiparban, élelmiszeriparban és a hajóiparban is alkalmazzák.

Szilumin (Al-Si): Fő ötvözője a szilícium, jelentősen fokozza az olvadék fluiditását, kis mértékben növeli az ötvözet szilárdsági tulajdonságát. A kiváló folyékonysága miatt ideális vékonyfalú és összetett öntvények készítéséhez. A legkisebb zsugorodást az AlSi12 eutektikum biztosítja. Nyomásos öntészetben jellemzően 6-12% szilíciumtartalommal alkalmazzák.

2.6. Az egyes ötvözők hatása az öntvényekre

A korábban ismertetett alumínium ötvözetek elsőrendű ötvözőin felül további ötvözőket igényelnek annak érdekében, hogy a kívánt mechanikai, korrózióállósági, vagy megmunkálhatósági tulajdonságokat elérjük.

1. táblázat: Ötvözők csoportosítása hatásuk mértéke szerint (Artinger, et al., 1975)

Ötvözők	Elsőrendű ötvözők: Cu, Mg, Si, Li, Zn
	Másodrendű ötvözők: Mn, Fe, Ni, Cr, Co
	Minőségjavító ötvözők: Ti, Sr, Na, B

Lítium (Li): Javítja az ötvözet szilárdságát és rugalmasságát, de korrózióra hajlamossá teszi az ötvözetet. Szigetekben megjelenő kiválásos keményedést okoz.

Cink (Zn): Kedvezően hat a szilárdságra és keménységre, mert jó hőkezelhető alumíniumötvözeteket eredményez, valamint öregítő hatású rontja az alumíniumötvözet korrózióállóságát.

Mangán (Mn): Növeli a szilárdságot, elsősorban a szennyező vas káros anyagszerkezeti hatásait csökkentve.

Vas (Fe): Kis mennyiségben növeli a szilárdságot, csökkenti az öntvény szerszámhoz tapadási hajlandóságát. Nagy mennyiségben (>1%) ridegedést okoz és rontja az alumíniumötvözet korrózióállóságát.

Nikkel (Ni): Növeli az alumínium hőállóságát, magasabb üzemi hőmérsékleten is használható ötvözeteket eredményez. Körülbelül 0,35%-ig javítja a mechanikai tulajdonságokat is, afölött azonban jelentősen csökkenti. (Manoj & Shiva, 2017)

Stroncium (Sr): Szemcsefinomító hatású ötvöző, továbbá javítja az öntvény mechanikai tulajdonságait is. Túl sok stroncium bevitele azonban fokozza a lunkerképződést, és csökkenti az öntvény korrózióállóságát. Az Al-Si ötvözetek fő nemesítő ötvözője. (Reghunath, et al., 2021)

Titán (Ti), Króm (Cr), Bór (B): Szemcsefinomító hatású ötvözők.

2. táblázat: A legfontosabb Al-öntészeti ötvözetek jelölése és összetétele
(Dr. Dül, 2011)

Ötvözet	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	EN
AlSi8Cu3	7,5-9,5	0,7	2,0-3,5	0,15-0,65	0,15-0,55	0,35	1,2	0,2	AB 46200
AlSi9Cu3(Fe)	8,0-11,0	0,6-1,1	2,0-4,0	0,55	0,15-0,55	0,55	1,2	0,2	AB 46000
AlSi11Cu2(Fe)	10,0-12,0	0,45-1,0	1,5-2,5	0,55	0,3	0,45	1,7	0,2	AB 46100
AlSi7Cu3Mg	6,5-8,0	0,7	3,0-4,0	0,20-0,65	0,35-0,60	0,3	0,65	0,2	AB 46300
AlSi9Cu1Mg	8,3-9,7	0,7	0,80-1,30	0,15-0,55	0,30-0,65	0,2	0,8	0,10-0,18	AB 46400
AlSi9Cu3(Fe, Zn)	8,0-11,0	0,60-1,20	2,0-4,0	0,55	0,15-0,55	0,55	3	0,2	AB 46500
AlSi7Cu2	6,0-8,0	0,7	1,5-2,5	0,15-0,65	0,35	0,35	1	0,2	AB 46600
AlSi12(a)	12,5-13,5	0,4	0,03	0,35	0,05		0,1	0,15	AB 44200
AlSi12(b)	12,5-13,5	0,55	0,1	0,55	0,1	0,1	0,15	0,15	AB 44100
AlSi12(Fe)	12,5-13,5	0,45-1,0	0,08	0,55			0,15	0,15	AB 44300
AlSi12(Cu)	12,5-13,5	0,8	1	0,05-0,55	0,35	0,3	0,55	0,15	AB 47000
AlSi12Cu1(Fe)	12,5-13,5	0,6-1,1	0,7-1,2	0,55	0,35	0,3	0,55	0,15	AB 47100
AlSi11	10,0-11,8	0,15	0,03	0,1	0,45		0,07	0,15	AB 44000
AlSi9Mg	9,0-10,0	0,15	0,02	0,1	0,30-0,45		0,07	0,15	AB 43300
AlSi10Mg(Cu)	9,0-11,0	0,55	0,3	0,55	0,25-0,45	0,15	0,35	0,15	AB 43200
AlSi9	8,0-11,0	0,55	0,08	0,5	0,1	0,05	0,15	0,15	AB 44400
AlSi7Mg0.3	6,5-7,5	0,15	0,02	0,1	0,3-0,45		0,07	0,1-0,18	AB 42100
AlSi7Mg0.6	6,5-7,5	0,15	0,03	0,1	0,5-0,7		0,07	0,1-0,18	AB 42200
AlSi7Mg	6,5-7,5	0,45	0,15	0,35	0,25-0,65	0,15	0,15	0,05-0,2	AB 42000
AlSi5Cu1Mg	4,5-5,5	0,55	1,0-1,5	0,55	0,40-0,65	0,25	0,15	0,05-0,20	AB 45300
AlSi10Mg(a)	9,0-11,0	0,4	0,03	0,45	0,25-0,45	0,05	0,1	0,15	AB 43000
AlSi10Mg(b)	9,0-11,0	0,45	0,08	0,45	0,25-0,45	0,05	0,1	0,15	AB 43100
AlSi10Mg(Fe)	9,0-11,0	0,45-0,9	0,08	0,55	0,25-0,50	0,15	0,15	0,15	AB 43400

2.7.A nyomásos öntészetben használt szerszámok felépítése és anyaga

Az nyomásos öntőgép legfontosabb eleme maga az öntőszerszám. A szerszámból kimunkált két-, vagy több részből álló, alakadó formaüregbe juttatott alumínium olvadék eredményezi a kész terméket. A szerszám többféle felépítéssel készíthető, az eltérő gyártási igények (pl.: darabszám, anyaghasználat, méret) kielégítésére. A szerszámot nagy szívósságú melegalakító szerszámacélból készítik, ami ellenáll az olvadék okozta erózióknak, a formalap, és a hozzá tartozó mozgó elemek megmunkálása az öntvényénél szigorúbb tűrésezést igényel, ezeknek köszönhetően jelentős költséggel jár egy-egy szerszám gyártása.

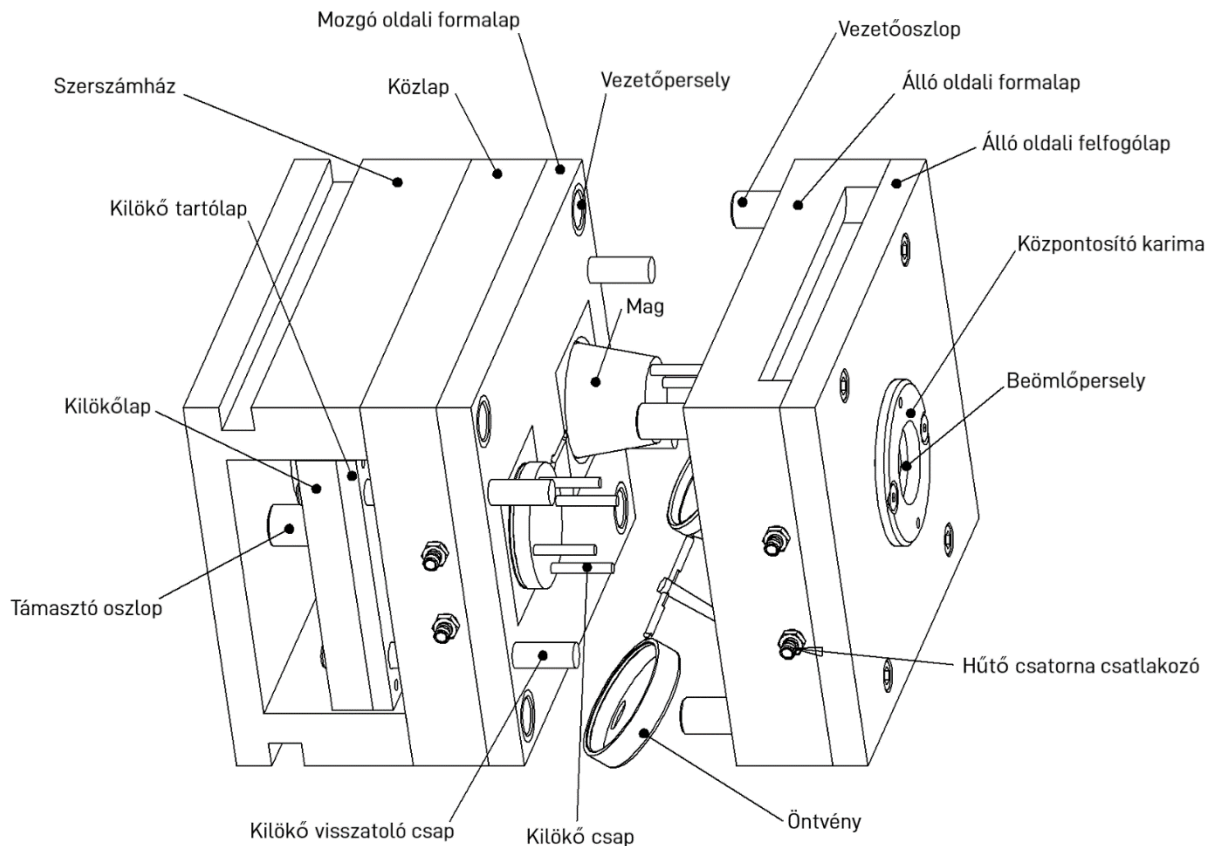
Az öntőszerszámok anyaga

A melegalakító szerszámacélok olyan kiemelkedő tulajdonságokkal bírnak, melyeknek köszönhetően alkalmasak ciklikusan jelentkező magas hőmérsékleten történő igénybevételre anélkül, hogy meglágyulnának vagy eltörnének. Ez a képesség teszi őket ideális választássá más anyagok megmunkálásához és öntéséhez. Ezen acélok melegszilárdságát a fő ötvözőik karbidképző tulajdonságainak köszönhetik, ezek a volfrám (W), molibdén (Mo) és a vanádium (V), ez utóbbi az acél kopásállóságát is fokozza. Az edzésükhöz elengedhetetlen a magas akár 5%-ot is meghaladó króm (Cr) tartalom. Az olvadék okozta erózió csökkentését felületkezeléssel biztosítják, jellemzően nitrálással vagy kromálással. További tulajdonságuk, hogy a rossz hővezető-képességük alkalmassá teszi vékony falvastagságú öntvények készítésére.

3. táblázat: Melegalakító szerszámacélok szabványos jelölései és összetételei
(Dr. Dül, 2011)

Anyag szám	DIN-megjelölés	C [%]	Si [%]	Mn [%]	Co [%]	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	V [%]	W [%]	Egyéb [%]
1.2343	X38CrMoV51	0,36	1,1	0,4	-	5,2	1,3	-	0,4	-	
1.2344	X40CrMoV51	0,39	1	0,4	-	5,2	1,3	-	1	-	
1.2347	X40CrMoVS5-1	0,4	1	0,4	-	5,2	1,3	-	1	-	+ S
1.2365	X32CrMoV3-3	0,32	0,4	0,4	-	3	2,8	-	0,6	-	
1.2367	X38CrMoV5-3	0,38	0,4	0,4	-	5	2,8	-	0,6	-	
1.2567	X30WCrV5-3	0,3	0,3	0,3	-	2,35	-	-	0,6	4,5	
1.2606	X37CrMoW5-1	0,36	1	0,4	-	5,2	1,4	-	0,3	1,4	
1.2678	X45CoCrWV5- 5-5	0,4	0,3	0,4	4,5	4,5	0,5	-	2,1	4,5	
1.2709	X3NiCoMoTi18- 9-5	<0,03	-	-	9,5	-	5,2	18	-	-	Ti 0,95
1.2888	X20CoCrWMo1 0-9	0,2	0,2	0,5	10	9,5	2	-	-	5,5	
1.2311	40CrMnMo7	0,42	0,3	1,5	-	2	0,2	-	-	-	
1.2312	40CrMnMoS8-6	0,42	0,4	1,5	-	2	0,2	-	-	-	0,08 S
1.2738	40CrMnNiMo8- 6-4	0,42	0,3	1,5	-	2	0,2	1	-	-	
1.2323	48CrMoV6-7	0,45	0,3	0,7	-	1,5	0,75	-	0,3	-	

2.8. Az öntőszerszámok felépítése



4. ábra: A nyomásos öntőszerszám főbb részegységei
(Forrás: (Kazmer, 2016))

Felfogólap

Egy összekötő lap, amit egyik oldalon az öntőgép szerszámfelfogó lapjához, a másik feléhez pedig a formalapot rögzítik. Az álló oldali felfogólapon kerül elhelyezésre a központosító karima, valamint a beömlőpersely vagy az öntőkamra. A mozgó oldalra pedig a kilökö mechanizmus. A felfogólap méreteit az öntőgép fizikai méretei határozzák meg, úgymint a vezetőoszlopok által behatárolt terület (5. ábra). (Kazmer, 2016)

Beömlőpersely vagy öntőkamra

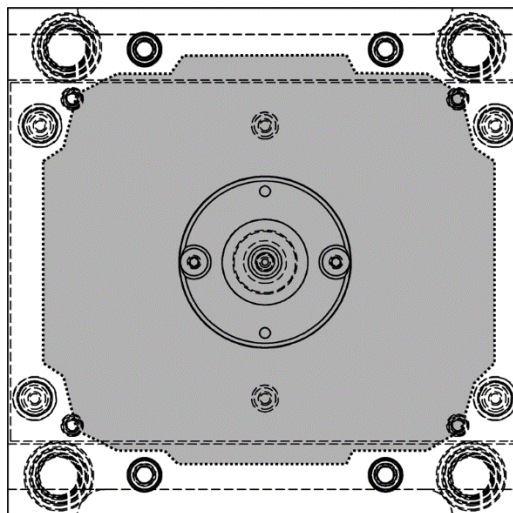
A beömlőpersely vagy öntőkamra összeköttetést biztosít a beömlőrendszer és a formaüreg között az alumínium olvadék számára. A persely szűkítőként is funkcionál, ami belövésnél felgyorsítja az olvadékot.

Központosító karima

A szerszámfelfogó laphoz szerelésnél a szerszám, valamint az öntőcsatorna központosítását biztosítja. Jellemzően meleg kamrás öntőgépeknél van rá szükség.

Formalap

Az álló és mozgó oldali formalapokon kerül kimunkálásra a beömlő és elosztócsatorna, az alakadó formaüreg, ez tulajdonképpen az öntvény negatívja. Az álló oldali formalapon található az öntőkamra bekötése, míg a mozgó oldali formalapon kerülnek elhelyezésre a magok, amik az öntvény üregeit alakítják ki. Mind a két oldal rendelkezik temperáló(hűtő-fűtő) körrel, ami az öntés megkezdése előtt az előmelegítést, majd az üzemi hőmérséklet biztosításáért felel, ez meghatározza a ciklusidőt és az öntvény minőségét. (Mórocz, 2021) A kilökö csapok a mozgóoldalon kerülnek elhelyezésre. A formaüreg kimunkálható közvetlenül a formalapból, ami egy olcsóbban gyártható megoldást kínál, ennek alternatívája a formabetét alkalmazása, ebben az esetben a formaüreg és a temperáló kör egy vagy több külön lapon kerül kialakításra, komplexebb öntvényeknél továbbá szükség lehet oldalmagok és kényszercsapok alkalmazására is, mindezeket a formakeretbe rögzítik. Helyet kapnak továbbá a vezetőoszlop perselyei, valamint a kilökö visszatoló csapok.



5. ábra: A felfogólap formaüreg készítéséhez felhasználható területe
(Forrás: (Kazmer, 2016))

Közlap

A mozgó oldali formalap alatt kerül elhelyezésre, biztosítja a szerszám merevségét, ezen kerül kialakításra a temperáló kör, valamint a kilökö rendszer csapjait is megvezeti.

Kilökölap

A mozgó oldali szerszámfélben, a formalap alatt található a kilökölap, ez működteti a kilökö csapokat, amik a ciklus végén eltávolítják az öntvényt a szerszámból. A kilökölaphoz csatlakoznak a támasztó oszlopok, amik a merevség fokozását szolgálják.

Kilőkő tartólap

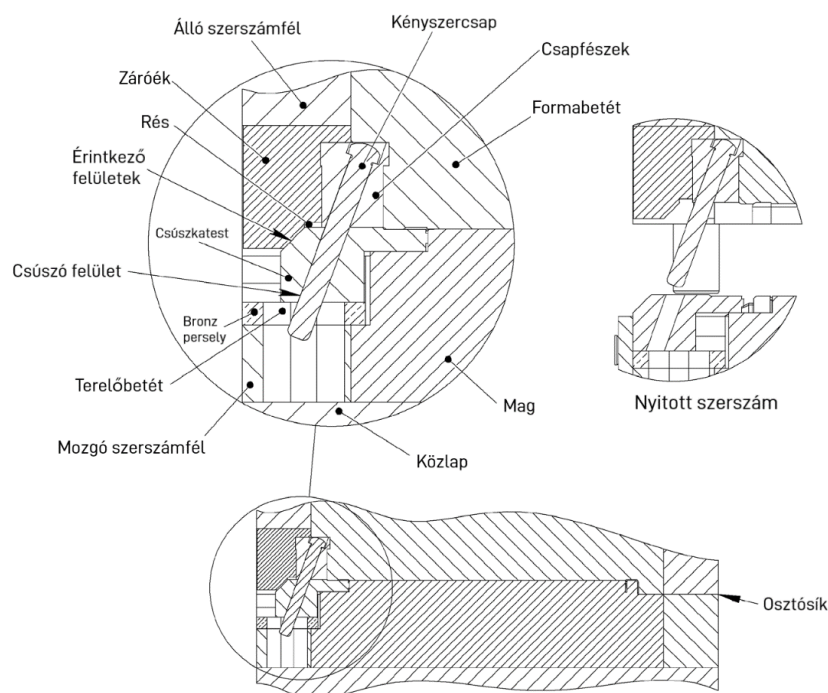
Szintén a mozgó oldali szerszámfélben foglal helyet a kilőkőlaphoz rögzítve. A kilőkő tartólapra kerülnek szorosan illesztve a kilőkést végző csapok.

Vezető oszlopok és perselyek

A vezető oszlopok az álló szerszámfélhez kapcsolódnak, míg a vezető perselyek a mozgó szerszámfélben vannak elhelyezve. jellemzően 4 db vezető oszlop tartja a szerszámot, és további 4 db, kisebb átmérőjű oszlop a kilőkő szerszámok megvezetésére. Az oszlopnégyesből jellemzően 1 db oszlop nagyobb méretű, mint a másik 3 db, hogy a szerszámot csak egyféleképpen lehessen összeállítani.

Oldalmagok és csúszkatestek

Amennyiben az öntvény alámetszéseket is tartalmaz, elkerülhetetlen a komplexebb szerszámok készítése. Ennek oka, hogy az alámetszések miatt pusztán az osztósíkra merőleges elmozdulással nem lenne nyitható a szerszám. A bemetszések kialakításáért felelős szerszám elemek az oldalmagok. A szerszám nyitásakor és zárásakor az oldalmagok elmozdulását a csúszkatestek biztosítják, ezekben kerülnek rögzítésre az oldalmagok. A kényszermozgatásukat az álló szerszámfélben elhelyezett kényszercsapok végzik, míg a záróékek a zárást követően rögzítik az oldalmagokat a végső pozíciójukban.

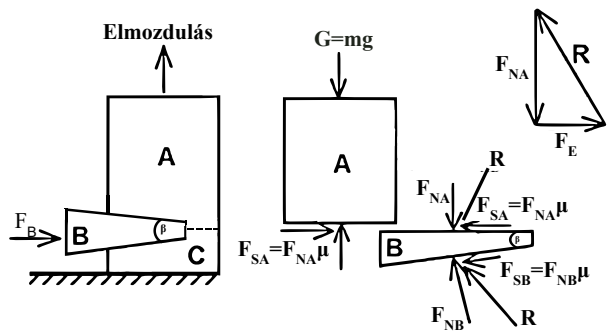


6. ábra: Csúszkatest és kényszercsap metszetben ábrázolva
(Kazmer, 2016)

2.9. Az ék, mint szerszám

A döntőék (B) nagyon fontos szerepet játszik a fakitermelés során, ugyanis ez a legegyszerűbb eszköz arra, hogy kontrollálják a kidönteni kívánt fa (A) dőlési irányát. Az ékeket még azelőtt beillesztik, hogy a döntővágást megejtenék, és baltával vagy kalapáccsal ütik be őket (F_B). Ezek segítenek a fát a hajk irányába dönteni

azáltal, hogy megemelik abba az irányba. Az ékek megakadályozzák azt is, hogy a fa rászoruljon a fűrészgépre, vagy hátrafelé dőljön a vágás során. Ezen kívül az ékek alkalmasak arra is, hogy kiszabadítsák a beszorult láncfűrészlapot. (Ennos, et al., 2020)



7. ábra: A döntés közben fellépő erőhatások illusztrációja

Az ék emelkedési szöge

Alacsonyabb szögek (β) esetén a szétfeszítő erő először viszonylag lassan nő, a maximumát körülbelül a nagyobb szögű ékeknél 2-3-szor nagyobb elmozdulásnál éri el, majd csak lassan kezd csökkenni. Ezzel szemben nagyobb szögeknél a szétfeszítő erő gyorsabban nő egy magasabb csúcserőig, és utána sokkal gyorsabban csökken. Az eltérő szögű ékek között számottevő különbségek mutatkoznak a beütéshez szükséges erő tekintetében is, mivel nagyobb szögű ékek általában nagyobb erőt igényelnek a legmélyebb beütés eléréséhez. Vagyis egy 30°-os döntő/hasító ék maximális szétfeszítő ereje lényegesen nagyobb, mint a 15°, 20° és 25°-os ékeké.

Az ék szélessége

A különböző szélességű ékek esetében jelentős különbségek mutatkoznak a szétfeszítő erő tekintetében. A keskenyebb ék esetén az erő csökkenése hamarabb bekövetkezik, és az elmozdulás végéig magasabb szinten maradt, mint a szélesebb éknél. Az eltérő szélességű ékek között nincs jelentős különbség a beütéshez szükséges erő tekintetében. Jelentős eltérések vannak azonban a repedés terjedésének távolságában: a szélesebb ék lényegesen hosszabb repedést okoz, mint a keskenyebb ék. Ezen kívül jelentős eltérések vannak az egy területegységre ható erő tekintetében is, egy keskenyebb ék esetében jóval nagyobb az egy területegységre ható erő, mint egy szélesebb ék esetében, mivel kisebb keresztmetszetre összpontosul az egységnyi ütéssel bevitt erő.

2.10. Minőisgbiztosítás az alumínium öntészetben

Az alumíniumöntésben a minőisgbiztosítás kritikus szerepet játszik, különösen a porozitás csökkentése szempontjából, amely az anyagminőség, a mechanikai tulajdonságok romlása, valamint az öntvények élettartamának csökkenése miatt különösen káros lehet. A porozitás az öntési folyamat során a fémbe kialakuló légzárványokat, gázzárványokat vagy zsugorodási üregeket jelenti, melyek negatívan befolyásolják az öntvény minőségét. A minőisgbiztosítás tehát nem csupán a végtermék ellenőrzésére irányul, hanem a teljes gyártási folyamat átfogó elemzésére és optimalizálására. (North American Die Casting Association, 2015)

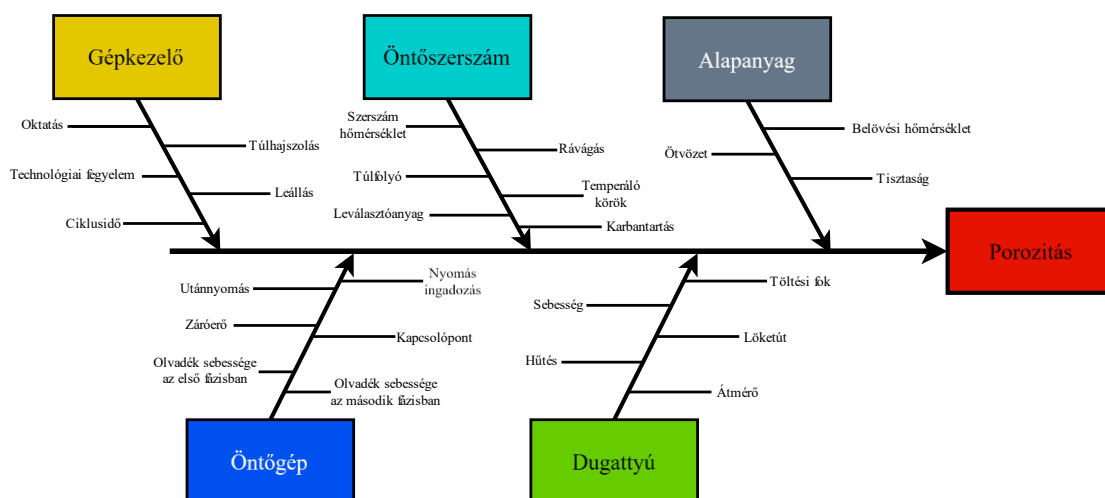
A porozitás az alumíniumöntési folyamat során többféle módon alakulhat ki. Az alábbi fő tényezők járulhatnak hozzá a porozitás kialakulásához:

Gázporozitás: Az alumínium ötvözetek hajlamosak a bezáródó levegővel, vagy hidrogén gázzal telítődésre, amely hűlés során buborékokat képezhet a fémbe. A hidrogén oldódása a folyékony alumíniumban a hőmérséklettel arányosan növekszik, majd hűtéskor a hidrogén kicsapódása gázbuborékok formájában történik.

Zsugorodási porozitás: Az alumínium hűlése közben térfogatcsökkenést szenved el. Ha a fém nem tud megfelelően újra eloszlni a formában, akkor üregek képződhetnek az öntvény belsejében.

Áramlási turbulencia: Az öntési folyamat során, ha a fém túl gyorsan áramlik, örvények keletkezhetnek, amelyek zárványokat hozhatnak létre az öntvényben.

A porozitást fokozó lehetséges probléma forrásokat a (9. ábrán) látható Isikava-diagram szemlélteti:



8. ábra: A porozitást kiváltó okok egy Isikava-diagrammon ábrázolva
(Forrás: saját munka)

A porozitás csökkentésére alkalmas megoldások:

A végesselemez módszer (VEM) és az öntészeti szimulációk, lehetővé teszik a folyamatok és a tervezett alkatrész előzetes vizsgálatát. Ezek a szoftverek segítenek meghatározni a potenciálisan hibás területeket és optimalizálni a szerszámtervezést.

Porozitás-szimuláció: A kohászati felhasználásra specializált szoftverek képesek szimulációk segítségével azonosíthatók a várhatóan porózus területek, és ennek alapján a tervezők módosíthatják a beömlőrendszert vagy az öntési paramétereket.

Hőeloszlás szimulációja: A hőmérséklet-eloszlás vizsgálata segít a kritikus hűlési területek és a túlmelegedés elkerülésében, ezáltal csökkentve az összehúzóási üregek kialakulásának valószínűségét.

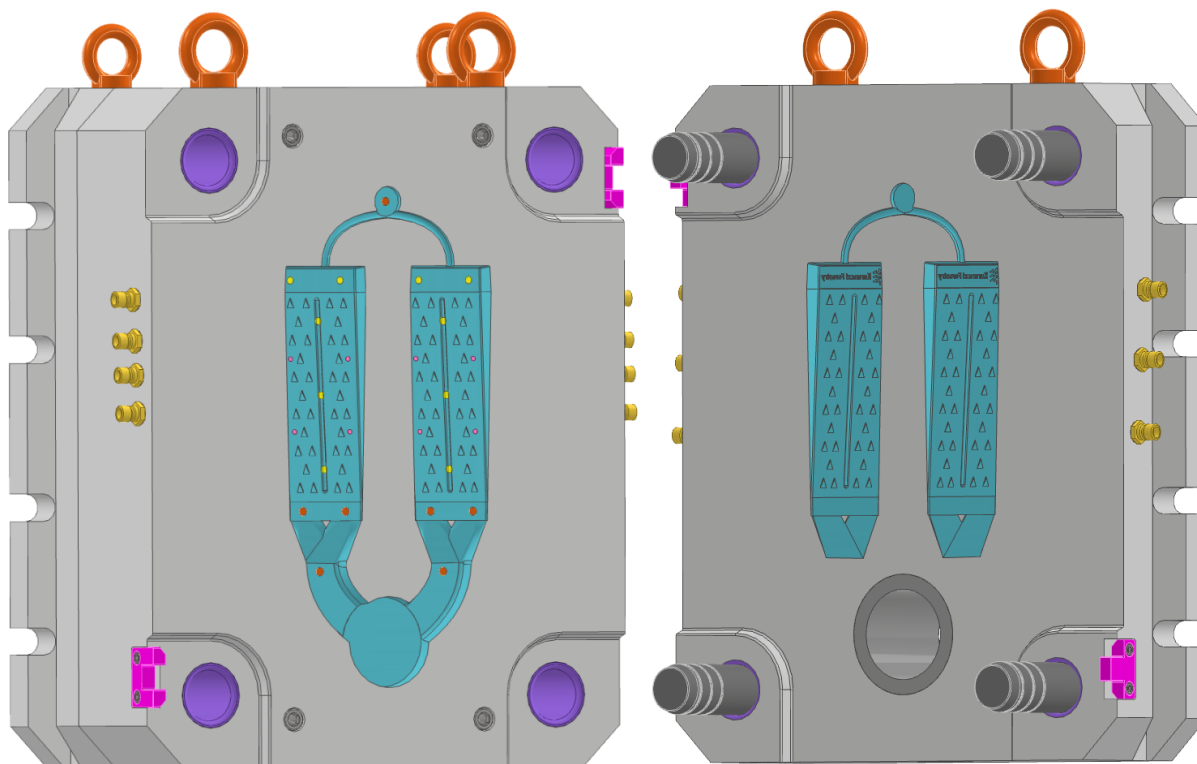
Az ideális öntési paraméterek meghatározása az egyik leghatékonyabb eszköze a porozitás csökkentésének:

Hőmérséklet ellenőrzése: Az olvadék és a szerszám hőmérsékletének szabályozása alapvető fontosságú, mivel a túl magas hőmérséklet fokozza a hidrogén oldódását az alumíniumban. A túl alacsony hőmérséklet okozta viszkozitás inhomogenitás pedig rossz áramlási tulajdonságokat eredményezhet, ami zárványokat hozhat létre.

Hűtési sebesség: A hűtés ütemének optimalizálása kritikus az egyenletes szilárdulás biztosítása érdekében, ami hozzájárul a zárványok és üregek csökkentéséhez.

Öntési nyomás: A magasabb nyomás növeli az öntvény sűrűségét, így csökkentve a porozitás kockázatát. A nyomás fokozásával azonban óvatosan kell bánni, mert a túl magas nyomás káros feszültségeket okozhat az öntvényben.

3. Öntőszerszámhoz tartozó számítások és szimulációk



9. ábra: A két fészkes öntőszerszám 3D-s modellje
(Forrás: saját munka)

3.1.Öntéstechnikai számítások

4. táblázat: Az öntéstechnikai számítások kiinduló paramétereit
(Forrás: saját munka)

Az öntéshez használt alumínium adatai		
Az öntvény anyaga	EN AC-46500 [AlSi9Cu3(Fe)(Zn)]	
Sűrűsége	2,79	g/cm ³
Fémre ható nyomás dermedés közben	920	bar
Dermedési állandó (C ₁)	10	s/cm ²
Legkisebb falvastagság	0,247	cm
Legnagyobb falvastagság	3,1	cm
Fészekszám	2	db
Egy öntvény térfogata	252,935	cm ³
Egy fészekre jutó túlfolyó térfogata	5,464	cm ³
Egy fészekre eső beömlő térfogata	90,791	cm ³
Öntött össztérfogat	698,379	cm ³
Az öntvénycsokor osztósíkba eső vetülete	440,659	cm ²

Az öntőgép adatai		
Típusa	Shibaura DC500R-M/EM	
Záróerő	5000	kN
Maximális belövési nyomás	480	kN
Vezetőoszlopok távolsága	750x750	mm
Minimális szerszámház vastagság	350	mm

Az öntvény demedési és öntési idejének meghatározása

$$t_d = C_1 \cdot M^2 + C_2 = 10 \frac{s}{cm^2} \cdot 0,1235 cm^2 + 0 = 0,152 s \quad (1)$$

ahol:

C_1 - Chvorinov-féle dermedési állandó, a fém és a forma tulajdonságaitól függő érték $\left[\frac{s}{cm^2} \right]$

C_2 - a túlhevített fém folyékony állapotához tartozó hűlés ideje, hidegkamrás öntés esetén 0 másodperc [s]

M - az öntvény kritikus modulja [cm]

$$M = \frac{S_{min}}{2} = \frac{0,247 cm}{2} = 0,1235 cm \quad (2)$$

ahol:

S_{min} - az öntvény legkisebb falvastagsága [cm]

Az öntési idő:

$$t_{\bar{o}} = 0,1 \cdot t_d = 0,1 \cdot 1 s = 0,0153 s \quad (3)$$

A porozitás csökkentése érdekében azonban nem ezzel az öntési idővel végezzük el az öntést, hanem 0,04 másodperces választott öntési idővel.

A térfogatáramok meghatározása

Formatöltés közben

$$\dot{V} = \frac{V_{\bar{o}}}{t_{\bar{o}v}} = \frac{252,935 cm^3 + 5,464 cm^3}{0,04 s} = 6459,964 \frac{cm^3}{s} \quad (4)$$

ahol:

$V_{\bar{o}}$ - az egy bekötőcsatárán átáramló fémtérfogat [cm³]

A rávágás keresztmetszete

$$A_R = \frac{\dot{V}}{v_R} = \frac{6459,964 \frac{cm^3}{s}}{45 \frac{m}{s} \cdot 100} = 1,436 cm^2 \quad (5)$$

ahol:

v_R - az olvadék sebessége a rávágás csatornában $\left[\frac{cm}{s}\right]$

Innen a rávágás választott paraméterei:

A rávágás szélessége: 29,4 mm

A rávágás vastagsága: 2,477 mm

Az elosztócsatorna paramétereinek meghatározása

Az elosztócsatorna keresztmetét jellemzően a rávágás keresztmetszetének 3-5 szörösét vesszük.

$$A_E = 3 \cdot A_R = 3 \cdot 1,436 cm^2 = 4,307 cm^2 \quad (6)$$

Ebből az elosztócsatorna méretei:

Az elosztócsatorna szélessége: 37,14 mm

Az elosztócsatorna vastagsága: 12,38 mm

Áramlási sebesség az elosztóban

$$v_E = \frac{A_R}{A_E} \cdot v_R = \frac{1,436 cm^2}{4,307 cm^2} \cdot 45 \frac{m}{s} = 15 \frac{m}{s} \quad (7)$$

Az öntőkamra térfogata és töltöttségi foka

A kamra keresztmetszete:

$$A_K = \frac{\pi \cdot d_k^2}{4} = \frac{\pi \cdot 7,5 cm^2}{4} = 44,179 cm^2 \quad (8)$$

Az öntött ösztérfogathoz szükséges minimális kamra hossz kiszámítása:

$$L_K = \frac{V_{\text{öt}}}{A_K} = \frac{698,379 \text{ cm}^3}{7,5 \text{ cm}^2} = 15,808 \text{ cm} \quad (9)$$

ahol:

$V_{\text{öt}}$ - a kamrába öntött fém térfogata

A választott kamra hossz: 30 cm.

Az öntőkamra térfogata:

$$V_K = A_K \cdot L_{Kv} = 44,179 \text{ cm}^2 \cdot 30 \text{ cm} = 1325,359 \text{ cm}^3 \quad (10)$$

ahol:

V_K - a kamra térfogata

L_{Kv} - a választott kamra hossz

A töltöttségi fok:

$$F_g = \frac{V_{\text{öt}}}{V_K} = \frac{698,379 \text{ cm}^3}{1325,359 \text{ cm}^3} = 0,527 \rightarrow 52,7\% \quad (11)$$

A kapcsolópontok meghatározása

A fém magassága a kamrában:

$$h_0 = \frac{D_k}{2} - \frac{D_k \cdot \pi}{8} \cdot (1 - 2 \cdot F_g) = \frac{7,5 \text{ cm}}{2} - \frac{7,5 \text{ cm} \cdot \pi}{8} \cdot (1 - 2 \cdot 0,527) = 3,909 \text{ cm} \quad (12)$$

Az első kapcsolópont:

$$L_1 = L_{Kv} \cdot (1 - F_g) = 30 \text{ cm} \cdot (1 - 0,527) = 14,192 \text{ cm} \quad (13)$$

ahol:

L_{kv} – választott dugattyú úthossz,

F_g – kamra töltöttségi foka.

A dugattyú út a formatöltés közben:

$$L_2 = \frac{n \cdot V_{\delta}}{A_K} = \frac{2 \cdot 258,399 \text{ cm}^3}{44,179 \text{ cm}^2} = 11,698 \text{ cm} \quad (14)$$

ahol:

n – fészekszám,

V_{δ} – az öntött térfogat,

A_K – a kamra keresztmetszete.

Az öntődugattyú sebessége az 1. Fázisban:

$$v_{d_1} = \sqrt{2 \cdot g \cdot (D_k - h_0) \cdot \frac{1-F_g}{1+F_g}} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{(7,5 \text{ cm} - 3,909 \text{ cm})}{100} \cdot \frac{1-0,527}{1+0,527}} = 0,467 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (15)$$

A formatöltés közben fázisban pedig:

$$v_{d_2} = n \cdot \frac{\dot{V}}{A_K} = 2 \cdot \frac{6459,964 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}}{44,179 \text{ cm}^2} = 292,447 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 2,924 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (16)$$

3.2.A szerszámot és a gépet terhelő erők

A záróerő a szétfeszítő erő biztonsági tényezővel növelt értéke.

$$F_{\text{záró}} = s \cdot P_{3M} \cdot A_{OS} = 1,2 \cdot 920 \text{ bar} \cdot \frac{440,659 \text{ cm}^2}{100} = 4864,881 \text{ kN} \quad (17)$$

ahol:

s – a biztonsági tényező,

P_{3M} – a fémre ható nyomás [bar],

A_{OS} - az öntvénycsokor osztósíkba eső vetülete [m²]

A géposzlopokra ható erők:

A géposzlopok távolsága egymástól

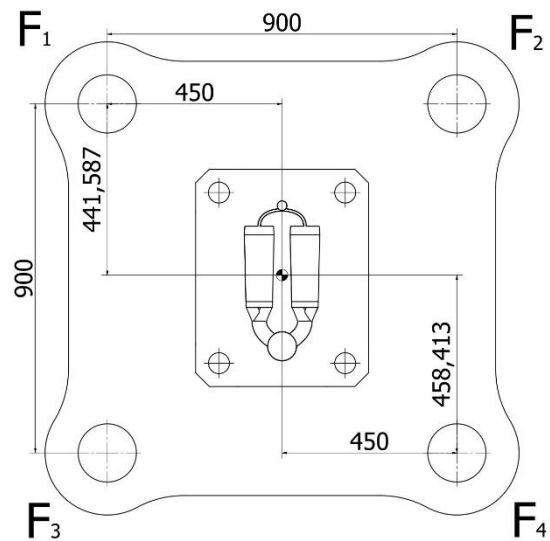
$$Ma_G = Szé_G = 900 \text{ mm.}$$

Az öntvénycsokor tömegközéppontjától való távolságuk a szimmetrikus elrendezésnek köszönhetően nagyrészt azonos:

Vízszintes irányokban: $x_{1,2,3,4} = 450 \text{ mm}$

Függőleges irányokban: $y_{1,2} = 441,587 \text{ mm}$

$$y_{3,4} = 458,413 \text{ mm}$$



10. ábra: Az öntvénycsokor tömegközéppontja a géposzlopokhoz viszonyítva
(Forrás: saját munka)

Az egyes géposzlopokat terhelő erőket az alábbi egyenlettel számítjuk ki:

$$F_i = F_{\text{záró}} \cdot \frac{Szé_{Go} - x_i}{Szé_{Go}} \cdot \frac{Ma_{Go} - y_i}{Ma_{Go}} \quad (18)$$

Ebbe behelyettesítve a korábban megadott távolságokat:

$$F_{1,2} = 4864,881 \text{ kN} \cdot \frac{900 \text{ mm} - 450 \text{ mm}}{900 \text{ mm}} \cdot \frac{900 \text{ mm} - 441,587 \text{ mm}}{900 \text{ mm}} = 1032,465 \text{ kN} \approx 105,246 \text{ tonna} \quad (19)$$

$$F_{3,4} = 4864,881 \text{ kN} \cdot \frac{900 \text{ mm} - 450 \text{ mm}}{900 \text{ mm}} \cdot \frac{900 \text{ mm} - 458,413 \text{ mm}}{900 \text{ mm}} = 994,569 \text{ kN} \approx 101,383 \text{ tonna} \quad (20)$$

Az egyes géposzlopokra eső terhelés megfelelő, amennyiben egyik sem haladja meg az öntőgép záróerejének egynegyedét.

$$F_{\text{géposzlop záróerő}} = \frac{F_{\text{összetartó}}}{4} = \frac{5000 \text{ kN}}{4} = 1250 \text{ kN} \approx 127,421 \text{ tonna} \quad (21)$$

Ez alapján tehát az öntőgép elviseli az öntéssel járó terheléseket.

3.3. Hőtechnikai számítások

5. táblázat: A hőtechnikai számítások kiinduló paraméterei
(Forrás: saját munka)

Stefan–Boltzmann állandó	$5,670373 \cdot 10^{-8}$	$\frac{W}{m^2 \cdot K^4}$
Az AC-46500 öntészeti alumínium tulajdonságai		
Öntési hőmérséklet	965,36	K
Dermedési hőmérséklet	807	K
Nyitási hőmérséklet	563,15	K
Az alumínium hőkapacitása folyékony állapotban	1180	$\frac{J}{kg \cdot K}$
Az alumínium hőkapacitása szilárd állapotban	880	$\frac{J}{kg \cdot K}$
L Láts	520000	$\frac{J}{kg}$
Olvadék hővezetése	120	$\frac{W}{m \cdot K}$
Öntvénycsokor tömege	1,948	kg
A szerszámház anyagi tulajdonságai		
Anyaga	1.2343 (X37CrMoV5-1)	
A szerszám hővezetése	28	$\frac{W}{m \cdot K}$
Sűrűsége	7800	$\frac{kg}{m^3}$
Az acél hőkapacitása	500	$\frac{J}{kg \cdot K}$
A szerszám külső felülete	1,2928	m ²

3.3.1. A bevezetett hőmennyiség meghatározása

$$Q_{\text{összes bevezetett}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \text{ [J]} \quad (22)$$

ahol:

Q_1 – a hőmennyiség, amelyet a folyadék állapotban lévő alumínium a dermedés megkezdéséig lead

Q_2 – dermedési hő, ami a megszilárdulás során felszabaduló hő

Q_3 – a szilárd állapotban lévő öntvény kilökési hőmérsékletének eléréséig leadott hőmennyiség

Q_4 – a súrlódás által leadott hőmennyiség, amely elhanyagolható mértékű

Ezek a részsámítások részletezve:

$$Q_1 = c_{pf} \cdot m_{\text{öcs}} \cdot (T_{\text{öntési}} - T_{\text{derm}}) = 1180 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot 1,948 \text{ kg} \cdot (965,36 \text{ K} - 807 \text{ K}) = 364102,009 \text{ J} \quad (23)$$

ahol:

C_{polv} - az öntött ötvözet fajhője folyékony állapotban $\left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]$,

T_{olv} - az olvadék hőmérséklete a szerszámban [K],

T_{derm} - az ötvözet dermedési hőmérséklete [K],

$m_{\text{öcs}}$ - az öntvénycsokor tömege [kg].

$$Q_2 = L \cdot m_{\text{öcs}} = 520000 \frac{J}{kg} \cdot 1,948 \text{ kg} = 1013208,719 \text{ J} \quad (24)$$

ahol:

L - az ötvözet dermedési hője $\left[\frac{J}{kg} \right]$,

$m_{\text{öcs}}$ - az öntött tömeg [kg].

$$Q_3 = c_{psz} \cdot m_{\text{öcs}} \cdot (T_{\text{derm}} - T_{\text{kibobási}}) = 880 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot 1,948 \text{ kg} \cdot (807 \text{ K} - 563,15 \text{ K}) = 560660,993 \text{ J} \quad (25)$$

ahol:

C_{polv} - az öntött ötvözet fajhője folyékony állapotban $\left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]$,

T_{derm} - az ötvözet dermedési hőmérséklete [K],

$T_{\text{kibobási}}$ - az öntvény szerszám nyitásakor mért hőmérséklete [K],

$m_{\text{öcs}}$ - az öntvénycsokor tömege [kg].

Ezeket az eredményeket behelyettesítve a (21) egyenletbe:

$$Q_{\text{öb}} = 364102,009 \text{ J} + 1013208,719 \text{ J} + 560660,993 \text{ J} = 1937971,721 \text{ J} \approx 1937,972 \text{ kJ} \quad (26)$$

3.3.2. Az elvont hőmennyiség kiszámítása

6. táblázat: Az elvont hőmennyiség kiszámításához szükséges kiinduló paraméterek
(Forrás: saját munka)

A szerszámház felülete	1,293	m ²
A szerszámház hőmérséklete	523,15	K
Környezeti hőmérséklet	303,15	K
Öntési ciklusidő	60	s
Emissziós tényező	0,96	-

Sugárzással elvezetett hő

$$Q_S = \sigma \cdot \varepsilon \cdot A \cdot (T_F^4 - T_K^4) \cdot t_c = 5,670373 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \cdot 0,96 \cdot 1,293 \text{ m}^2 \cdot (523,15^4 \text{ K} - 303,15^4 \text{ K}) \cdot 60 \text{ s} = 280615,769 \text{ J} \approx 280,616 \text{ kJ} \quad (27)$$

ahol:

σ - Stefan-Boltzmann-állandó $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \right]$

ε – a sugárzó felület emissziós tényezője

T_F – a formalap felületének hőmérséklete [K]

T_K - környezeti hőmérséklet [K]

A - a sugárzó felület területe [m²]

t_c - öntési ciklusidő [s]

Konvekcióval elvezetett hő

$$Q_K = \alpha \cdot A \cdot (T_F - T_K) \cdot t_c = 6,194 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 1,293 \text{ m}^2 \cdot (523,15 \text{ K} - 303,15 \text{ K}) \cdot 60 \text{ s} = 29753,345 \text{ J} \approx 29,753 \text{ kJ} \quad (28)$$

ahol:

A - a szerszámkeret felülete [m²],

T_F - a szerszámtest hőmérséklete [K],

T_K - a sugárzó testet körülvevő környezet hőmérséklete [K],

α - konvektív hőátadási tényező $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$

$$\alpha = 1,77 \cdot \sqrt[4]{T_F - T_K} = 1,77 \cdot \sqrt[4]{453,15 \text{ K} - 303,15 \text{ K}} = 6,194 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad (29)$$

Leválasztó anyaggal elvezetett hő

$$Q_L = M \cdot (c_{pFV} + c_{FV} \cdot \Delta T) = 0,47 \text{ kg} \cdot \left(4182 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} + 2256 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 80 \text{ K} \right) = 86791,14 \text{ J} \approx 86,791 \text{ kJ} \quad (30)$$

ahol:

M - a felhasznált leválasztó anyag tömege [kg]

c_{FL} - a leválasztó anyag párolgáshője $\left[\frac{\text{J}}{\text{kg}} \right]$

c_{pFL} - a leválasztó anyag hőkapacitása $\left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$

ΔT - a leválasztó anyag forrási és felszórési hőmérsékletének különbsége [K]

A temperáló körök paramétereinek meghatározása

7. táblázat: A hőközlő folyadékok tulajdonságai
(Forrás: saját munka)

Folyadék	Víz	MOL Thermol 32 ásványi olaj	Mértékegység
Sűrűség	997	786	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Fajlagos hőkapacitás	4182	2360	$\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
Hővezető-képesség	0,58	0,123	$\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$
Belépési hőmérséklet	293,15	423,15	K

A temperáló körök által elvezetett hő kiszámításának alapegyenlete:

$$Q_H = \dot{V} \cdot \psi_t \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{ki} - T_{be}) \cdot t_c \text{ [J]} \quad (31)$$

ahol:

$\dot{V}$ - a hűtőközeg térfogatárama $\left[\frac{\text{l}}{\text{h}} \right]$,

ρ - a hűtőközeg sűrűsége $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$,

c_p - a hűtőközeg fajhője $\left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$,

ΔT - a szerszám és a hűtőfolyadék közötti hőmérsékletkülönbség [K].

ψ_t - a $\frac{\text{l}}{\text{h}} \rightarrow \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ átváltáshoz szükséges váltószám: $2,7 \cdot 10^{-7}$

A temperáló körök által elvezetendő összes hőmennyiség és az ehhez szükséges hűtőtéljesítmény:

$$P_{dissz} = \frac{Q_{\delta b} - Q_S - Q_K - Q_L}{t_c} = \frac{1937,972 \text{ kJ} - 280,616 \text{ kJ} - 29,753 \text{ kJ} - 86,791 \text{ kJ}}{60 \text{ s}} = 25,680 \text{ kW} \quad (32)$$

1. temperálókör paramétereinek meghatározása

Az első hűtőkör a dugattyú hűtését végzi. A hőközlő folyadék ebben a körben hidegvíz.

8. táblázat: Az 1. hűtőkör alapadatai
(Forrás: saját munka)

Az 1. hűtőkör paramétereai		
A hűtőcsatorna átmérője	0,012	m
A hűtőcsatorna hossza	0,578	m
A hűtőcsatorna effektív felülete	0,0218	m ²
Kontúrfelülettől való távolság	0,0085	m
A hűtőközeg térfogatárama	200	$\frac{l}{h}$
A belépő hűtővíz hőmérséklete	293,15	K
A kilépő hűtővíz hőmérséklete	296,3	K

A (31) -es egyenletet felhasználva kiszámítjuk az elvont hő mennyiségét:

$$Q_{H_1} = 200 \frac{l}{h} \cdot 2,7 \cdot 10^{-7} \cdot 997 \frac{kg}{m^3} \cdot 4182 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot 3,15 \text{ K} \cdot 60 \text{ s} = 43779,144 \text{ J} \approx 43,779 \text{ kJ} \quad (33)$$

4. temperálókör paramétereinek meghatározása

Az elosztócsatorna és a pogácsa hűtését szolgáló hűtővíz. A hűtővíz térfogatárama $180 \frac{l}{h}$, a belépő hőmérséklete 20°C míg a kilépő hőmérséklete 55°C .

$$Q_{H_4} = 180 \frac{l}{h} \cdot 2,7 \cdot 10^{-7} \cdot 997 \frac{kg}{m^3} \cdot 4182 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot (328,15 \text{ K} - 293,15 \text{ K}) \cdot 60 \text{ s} = 437791,444 \text{ J} \approx 437,791 \text{ kJ} \quad (34)$$

2.-3. temperálókör paramétereinek meghatározása

A második és harmadik hűtőkör a szerszám álló- és mozgóoldali formalapjait hűti. A fennmaradó elvezetendő hő egyenlően osztjuk el a két formalap hűtőköre között.

$$Q_{fennmaradó} = Q_{\text{öb}} - Q_S - Q_K - Q_L - Q_{H_1} - Q_{H_4} = 1937,972 \text{ kJ} - 280,616 \text{ kJ} - 29,753 \text{ kJ} - 86,791 \text{ kJ} - 43,779 \text{ kJ} - 437,791 \text{ kJ} = 1059,241 \text{ kJ} \quad (35)$$

9. táblázat: A 2. hűtőkör alapadatai
(Forrás: saját munka)

A 2. hűtőkör paramétere – állóoldali formalap		
A hűtőcsatorna átmérője	0,012	m
A hűtőcsatorna hossza	0,58	m
A hűtőcsatorna effektív felülete	0,0219	m ²
Kontúrfelülettől való távolság	0,00779	m
A hűtőközeg térfogatárama	3600	$\frac{l}{h}$
A hőközlő olaj belépőhőmérséklete	423,15	K

Rövid idő elteltével a forma és az öntött fém hőmérséklete stabilizálódik, és a határfelületen olyan értéket vesz fel, amely a forma kezdeti hőmérséklete és a beáramló olvadék hőmérséklete közé esik. Ezt az értéket érintkezési vagy kontakthőmérsékletnek nevezzük, és megközelítőleg a következő képlettel számítható:

$$T_K = \frac{T_{olv} \cdot \sqrt{\lambda_{olv} \cdot \rho_{olv} \left(c_{polv} + \frac{L}{T_{olv} - T_F} \right)} + T_F \cdot \sqrt{\lambda_F \cdot \rho_F \cdot c_{PF}}}{\sqrt{\lambda_{olv} \cdot \rho_{olv} \left(c_{polv} + \frac{L}{T_{olv} - T_F} \right)} + \sqrt{\lambda_F \cdot \rho_F \cdot c_{PF}}} \text{ [K]} \quad (36)$$

ahol:

λ_F, λ_{olv} - a forma, ill. az olvadék hővezető képessége,

ρ_F, ρ_{olv} - a forma, ill. az olvadék sűrűsége,

c_{pF}, c_{polv} - a forma, ill. az olvadék fajhője,

T_F, T_{olv} - a forma, ill. az olvadék kezdeti hőmérséklete,

L - dermedési hő

A (36) egyenletbe minden értéket behelyettesítve:

$$T_K = \frac{965,36 \text{ K} \cdot \sqrt{\frac{120 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot 2790 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \left(1180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} + \frac{520000}{965,36 \text{ K} - 523,15 \text{ K}}\right)} + 523,15 \text{ K} \cdot \sqrt{\frac{28 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot 7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 500 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}}}}{\sqrt{\frac{120 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot 2790 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \left(1180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} + \frac{520000}{965,36 \text{ K} - 523,15 \text{ K}}\right)} + \sqrt{\frac{28 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot 7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 500 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}}}} = 548,257 \text{ K} \quad (37)$$

Ha az öntési ciklus során a formakontúr hőmérséklete exponenciálisan csökken T_K -ról T_F -re, akkor a formaüreg felületének egy adott tartományában a közepes hőmérsékletre (T_{FM}) a következő kifejezés vezethető le:

$$T_{FM} = T_{Hf} + \frac{T_K - T_F}{\ln\left(\frac{T_K - T_{Hf}}{T_F - T_{Hf}}\right)} = 423,15 \text{ K} + \frac{548,257 \text{ K} - 523,15 \text{ K}}{\ln\left(\frac{548,257 \text{ K} - 423,15 \text{ K}}{523,15 \text{ K} - 423,15 \text{ K}}\right)} = 535,235 \text{ K} \quad (38)$$

A hűtő csatorna hosszának meghatározása:

$$Q = \alpha \cdot (\pi \cdot D \cdot L) \cdot (T_{FM} - T_{Hf}) \cdot t_c [W] \rightarrow L = \frac{Q}{\alpha \cdot \pi \cdot D \cdot (T_{FM} - T_{Hf}) \cdot t_c} \quad (39)$$

ahol:

α - konvektív hőátadási tényező $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}\right]$

D – a hűtőcsatorna átmérője [m]

L – a hűtőcsatorna hatásos hossza [m]

t_c - öntési ciklusidő [s]

A szükséges hővezetési tényezőt a gyártói adatok segítségével határozhatjuk meg, először is a Reynolds számot határozzuk meg:

$$Re_{H_2} = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{8,842 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,012 \text{ m}}{0,0000024 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 44209,706 \quad (40)$$

Majd a hőátbocsátási tényezőt:

$$\alpha_{H_2} = \frac{0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,3} \cdot \lambda}{D} = \frac{0,023 \cdot 44209,706^{0,8} \cdot 36^{0,3} \cdot 0,123 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}}{0,012 \text{ m}} = 3595,477 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad (41)$$

A (39) egyenletbe behelyettesítve az ismert értékeket, a hűtőrendszer által elvont hő felét az állóoldalon vezetjük el:

$$L_{H_2} = \frac{\frac{1059,241 \text{ kJ}}{2}}{3595,477 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot \pi \cdot 0,012 \text{ m} \cdot (535,235 \text{ K} - 423,15 \text{ K}) \cdot 60 \text{ s}} = 0,58 \text{ m} \quad (42)$$

A formakontúrtól való távolság meghatározása:

$$Q = \frac{\lambda_{Sz} \cdot A \cdot (T_{FM} - T_{Hf})}{d} \rightarrow d = \frac{\lambda_{Sz} \cdot A \cdot (T_{FM} - T_{Hf}) \cdot t_c}{Q} \quad (43)$$

$$d_{H_2} = \frac{28 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot 0,0219 \text{ m}^2 \cdot (535,235 \text{ K} - 423,15 \text{ K}) \cdot 60 \text{ s}}{\frac{1059,241 \text{ kJ}}{2}} = 0,00779 \text{ m} \approx 7,79 \text{ mm} \quad (44)$$

Az eddig meghatározott adatok segítségével a (30) egyenletből kifejezve meghatározható a hőközlő olaj kimenő hőmérséklete:

$$Q_H = \dot{V} \cdot \psi_t \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{ki} - T_{be}) \cdot t_c \rightarrow T_{ki} = T_{be} + \frac{Q_H}{\dot{V} \cdot \psi_t \cdot \rho \cdot c_p \cdot t_c} \quad (45)$$

$$T_{ki2} = 423,15 \text{ K} + \frac{\frac{1059,241 \text{ kJ}}{2}}{3600 \frac{\text{l}}{\text{h}} \cdot 2,7 \cdot 10^{-7} \cdot 786 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2360 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 60 \text{ s}} = 427,909 \text{ K} \quad (46)$$

A (31) egyenletet felhasználva ellenőrizzük az elvont hő mennyiségét:

$$Q_{H_2} = 3600 \frac{\text{l}}{\text{h}} \cdot 2,7 \cdot 10^{-7} \cdot 786 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2360 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (427,909 \text{ K} - 423,15 \text{ K}) \cdot 60 \text{ s} = 529620,439 \text{ J} \approx 529,620 \text{ kJ} \quad (47)$$

10. táblázat: A 3. hűtőkör alapadatai
(Forrás: saját munka)

A 3. hűtőkör paraméterei – mozgóoldali formalap		
A hűtőcsatorna átmérője	0,01	m
A hűtőcsatorna hossza	0,719	m
A hűtőcsatorna effektív felülete	0,0226	m ²
Kontúrfelülettől való távolság	0,01	m
A hűtőközeg térfogatárama	2300	$\frac{l}{h}$
A hőközlő olaj belépőhőmérséklete	423,15	K

$$Re_{H_3} = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{8,13459 \frac{m}{s} \cdot 0,01 m}{0,0000024 \frac{m^2}{s}} = 33894,108 \quad (48)$$

$$\alpha_{H_3} = \frac{0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,3} \cdot \lambda}{D} = \frac{0,023 \cdot 33894,108^{0,8} \cdot 36^{0,3} \cdot 0,123 \frac{W}{m \cdot K}}{0,01 m} = 3488,374 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (49)$$

A (39) egyenletet felhasználva állapítjuk meg a hűtőkör hosszát:

$$L_{H_3} = \frac{\frac{1059,241 kJ}{2}}{3488,374 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot \pi \cdot 0,01 m \cdot (535,235 K - 423,15 K) \cdot 60 s} = 0,719 m \quad (50)$$

Míg a formaüregtől való távolságot a (43) egyenlet segítségével:

$$d_{H_3} = \frac{28 \frac{W}{m \cdot K} \cdot 0,0226 m^2 \cdot (535,235 K - 423,15 K) \cdot 60 s}{\frac{1059,241 kJ}{2}} = 0,008027 m \approx 8,027 mm \quad (51)$$

A második hűtőkörnél is alkalmazott (45) egyenlettel kiszámítjuk a hőközlő olaj kimenő hőmérsékletét.

$$T_{ki_3} = 423,15 K + \frac{\frac{1059,241 kJ}{2}}{2300 \frac{l}{h} \cdot 2,7 \cdot 10^{-7} \cdot 786 \frac{kg}{m^3} \cdot 2360 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot 60 s} = 430,598 K \quad (52)$$

Ellenőrizzük a kapott eredményt a (31) egyenlet segítségével:

$$Q_{H_3} = 2300 \frac{l}{h} \cdot 2,7 \cdot 10^{-7} \cdot 786 \frac{kg}{m^3} \cdot 2360 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot (430,598 K - 423,15 K) \cdot 60 s = 529620,439 J \approx 529,620 kJ \quad (53)$$

*11. táblázat: A számított paraméterek összefoglalása
(Forrás: saját munka)*

Megnevezés	1. hűtőkör	2. hűtőkör	3. hűtőkör	4. hűtőkör	Mértékegység
A hűtőközeg térfogatárama	200	3600	2300	180	$\frac{l}{h}$
A hűtőfolyadék belépőhőmérséklete	293,15	423,15	423,15	293,15	K
A hűtőfolyadék kilépőhőmérséklete	296,3	427,909	430,598	328,15	K
Az elvont hő	43,779	529,620	529,620	437,791	kJ

Az egy ciklus alatt bevezetett hő és az elvont hő különbségének zérusnak kell lennie, ennek ellenőrzésére alkalmas egyenlet:

$$Q_{\text{különbség}} = Q_{\text{öb}} - Q_S - Q_K - Q_L - Q_{H_1} - Q_{H_2} - Q_{H_3} - Q_{H_4} = 1937,972 kJ - 280,616 kJ - 29,753 kJ - 86,791 kJ - 43,779 kJ - 529,620 kJ - 529,620 kJ - 437,791 kJ = 1059,241 kJ \quad (54)$$

A számítások alapján, és a korábban ismertetett paraméterekkel a hűtrendszer el tudja vezetni a szerszámba bevitt hőt, ezáltal biztosítva annak hőegyensúlyát a termelés folyamán.

3.4. Gazdaságszámítás

Az egy tonna AC-46500 alumínium ára 9 495 781 Ft . Az előírányzott ciklusok száma egy 8 órás műszak alatt 340 db öntvénycsokor. Az egy ciklusra eső költségek kiszámítása:

$$K_{ciklus} = K_{ak} + K_{gk} + K_m \frac{Ft}{ciklus} \quad (55)$$

ahol:

K_{ak} – az öntészeti alumínium költsége $\left[\frac{Ft}{ciklus} \right]$

K_{gk} – a gép működési költsége $\left[\frac{Ft}{ciklus} \right]$

K_m – a gépkezelő munkabére $\left[\frac{Ft}{ciklus} \right]$

Az egyenlet részleteire bontva:

Az egy ciklusra eső anyagköltség kiszámítása:

$$K_{ak} = \frac{K_{alu}}{\left(\frac{1000 \text{ kg}}{m_{öcs}} \right)} = \frac{9\,495\,781 \text{ Ft}}{\left(\frac{1000 \text{ kg}}{1,948 \text{ kg}} \right)} = 18502,323 \frac{Ft}{ciklus} \quad (56)$$

ahol:

K_{alu} – egy tonna alumínium ára [Ft]

$m_{öcs}$ – az öntvénycsokor tömege [kg]

Az egy ciklushoz szükséges energiaköltség

$$K_{gk} = P \cdot \frac{t_c}{60^2} \cdot K_{ák} = 62,720 \text{ kW} \cdot \frac{60 \text{ s}}{60^2} \cdot 52,4 \frac{Ft}{kWh} = 54,776 \frac{Ft}{ciklus} \quad (57)$$

ahol:

P – a gép üzemeltetéséhez szükséges összes teljesítmény [kW]

t_c – a ciklusidő [s]

$K_{ák}$ – az áram kilowattóránként átlagára $\left[\frac{Ft}{kWh} \right]$

Az egy ciklusra eső munkabér költsége:

$$K_m = \frac{K_{mb}}{160 \text{ h}} \cdot \frac{t_c}{60^2} = \frac{565\,000 \text{ Ft}}{160 \text{ h}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{60^2} = 58,854 \frac{Ft}{ciklus} \quad (58)$$

ahol:

K_{mb} – a gépkezelő havi bérköltsége [Ft]

t_c – a ciklusidő [s]

A kapott összegeket (55) egyenletbe helyettesítve megkapjuk az egy ciklusra eső költséget:

$$K_{ciklus} = (18502,323 + 54,776 + 58,854) \frac{Ft}{ciklus} = 18\,615,953 \text{ Ft} \quad (59)$$

Ennek segítségével kiszámíthatjuk az egy műszakra, valamint a 20 munkanapra eső gyártási költségeket egy műszakos munkarend esetén.

$$K_{műszak} = db_{öcs} \cdot K_{ciklus} = 340 \cdot 18\,615,953 \text{ Ft} = 6\,329\,424 \text{ Ft} \quad (60)$$

$$K_{havi} = 20 \cdot K_{műszak} = 20 \cdot 6\,329\,424 \text{ Ft} = 126\,588\,480 \text{ Ft} \quad (61)$$

Az előírányzott havi darabszám a gyártandó termékből:

$$Legyártott \text{ darabszám} = 20 \cdot n \cdot db_{öcs} = 20 \cdot 2 \cdot 340 = 13600 \text{ db} \quad (62)$$

Az 1 darab termékre eső gyártási költség:

$$K_{végösszeg} = \frac{K_{havi}}{Legyártott \text{ darabszám}} = \frac{126\,588\,480 \text{ Ft}}{13600 \text{ db}} = 9299,9 \text{ Ft} \quad (63)$$

3.5. A szimulációk eredménye és kiértékelésük

A szakdolgozatomban az öntőszerszámokat érő feszültségek és az öntési folyamatok szimulációjára fókuszálok. Az öntőszerszámhoz tartozó vége-selemes szimulációkat az Ansys¹ szoftver segítségével végzem, amely lehetővé teszi a szerszámokat érő mechanikai terhelések, feszültségek és deformációk pontos elemzését. Az Ansys rugalmasan alkalmazható különböző feszültségállapotok szimulációjára, ami segíthet a szerszám élettartamának és teljesítményének előrejelzésében.

Az alumínium öntéstechnikai folyamat vége-selemes szimulációjához az Altair Inspire Cast² kohászati szoftvert használom, amely specifikusan az öntési folyamatokra optimalizáltak. Az Inspire Cast részletesen modellezi az öntési ciklusokat, figyelembe véve a hőmérséklet-változásokat, a hűlési folyamatokat, valamint a szilárdulás közben fellépő alakváltozásokat és feszültségeket. A két szoftver integrált használata lehetőséget biztosít az öntési folyamatok

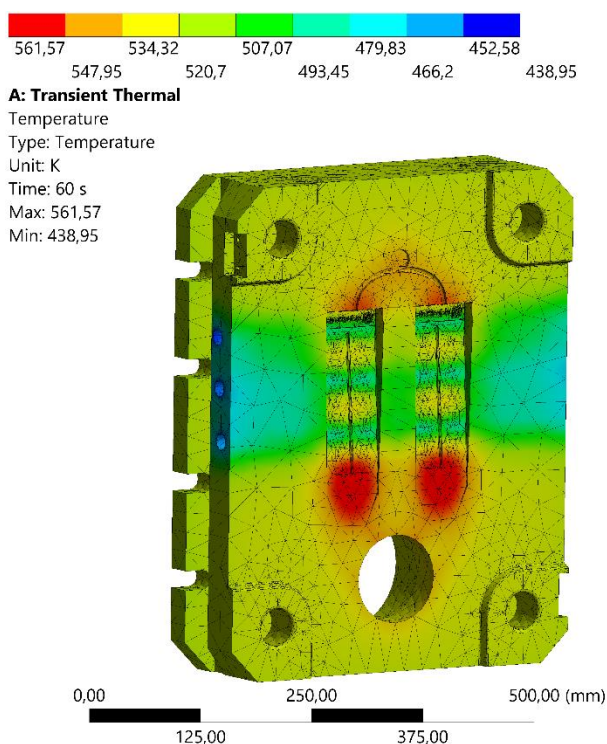
¹ Ansys 2024 R2.6289028

² Altair Inspire Cast 2024.1.5124

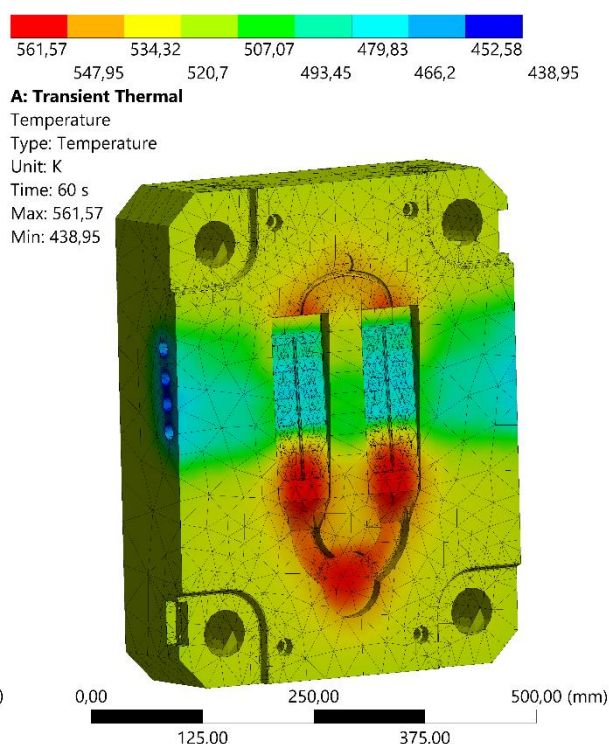
során fellépő termikus és mechanikai igénybevételek pontos szimulációjára, hozzájárulva ezzel a szerszámok élettartamának növeléséhez és a gyártási folyamatok optimalizálásához.

3.6. A szerszámon végzett szimulációk

A szerszám tervezése során külön kihívást jelentett a termék két végén megfigyelhető közel tizenháromszoros eltérés az anyagvastagságban, ami az egyenetlen lehűlés által keltett káros feszültségek miatt jelent gondot. A probléma kiküszöbölésének fő módjaként a temperálórendszer aránytalan koncentrációját választottam, így a szerszámban a hőelvezetés nagyrészt a nagyobb keresztmetszetek felé összpontosul, míg a rávágásnál nincsen belső hőelvezetés, ezzel lassítva a keskeny oldal dermedését. Az elképzelés működését a gyakorlatban jól szemlélteti a (11.-12. ábra), mind az álló, mind pedig a mozgószerszámfélben megfigyelhető az alkatrész keskeny részeinél a magasabb hőmérséklet.



11. ábra: Az álló oldali szerszámfél hőmérséklet eloszlása
 (Forrás: saját munka)

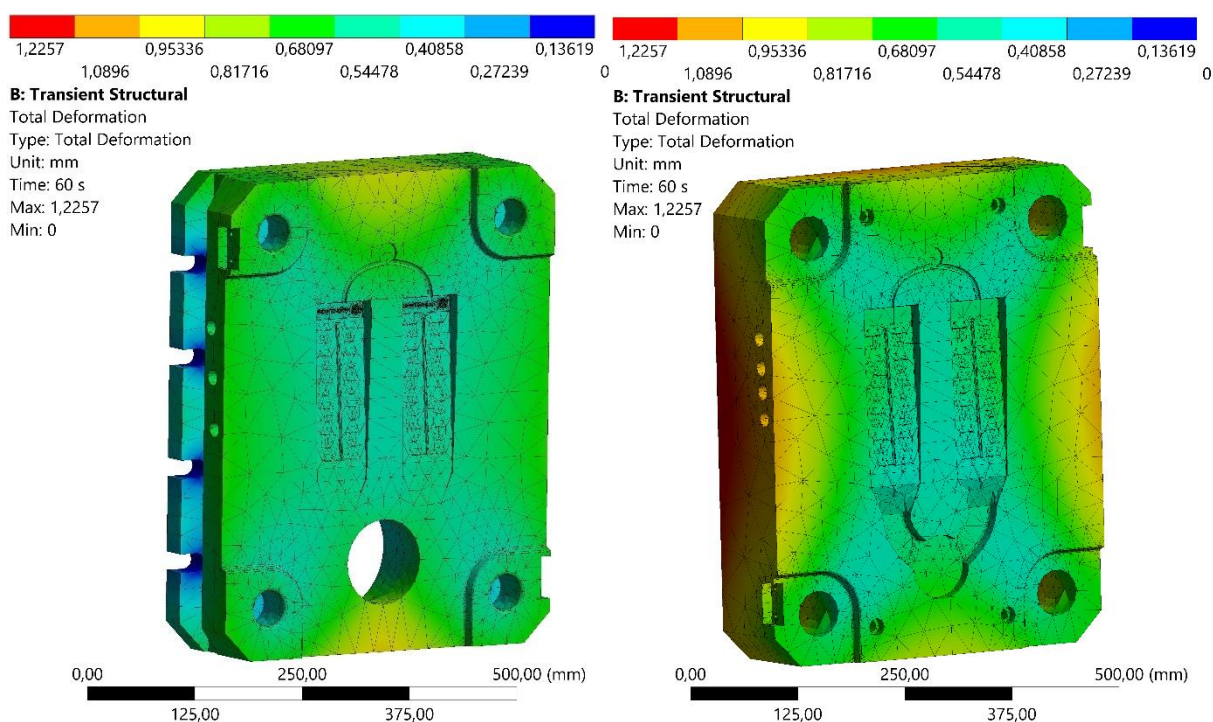


12. ábra: A mozgóoldali szerszámfél hőmérséklet eloszlása
 (Forrás: saját munka)

A korábbi fejezetben már végeztem olyan kalkulációkat, amik az öntőgép szerkezeti integritásának megőrzésére irányultak. Emellett szükségesnek tartom a formalapokat is

megvizsgálni, ennek oka, hogy az öntőszerszám működése során jelentős mechanikai igénybevételnek van kitéve, és ezen tényezők közvetlen hatással vannak a szerszám élettartamára és üzembiztonságára.

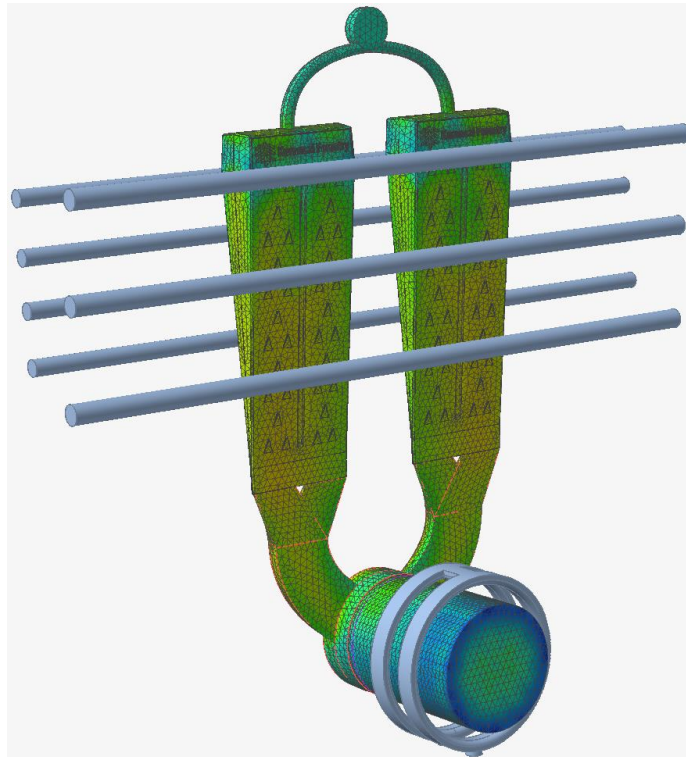
A hajlasi vizsgálat (13.-14. ábra) lehetővé teszi, hogy feltárjuk a szerszám konstrukciós gyengeségeit és azokat a terhelési pontokat, ahol deformációk vagy törések léphetnek fel. A formaüregben 0,3-0,5 mm között változik a formakontúr kihajlása, de mivel az öntvény zsugorodása egy nagyságrenddel nagyobb, így ez az érték még elfogadható.



13. ábra: Az álló oldali szerszámfél torzulásának eloszlása
(Forrás: saját munka)

14. ábra: A mozgó oldali szerszámfél torzulásának eloszlása
(Forrás: saját munka)

3.7. Az öntéstechnikai szimulációk



15. ábra: Az öntészeti szimuláció felépítése, rajta az öntvény és a hűtőcsatornák
(Forrás: saját munka)

Az öntés- és hőtechnikai szimulációk célja a korábbi fejezetben elvégzett számítások megerősítése, tekintettel arra, hogy a véges elemes módszer alkalmas arra, hogy a papír alapú számítások eredményeit megerősítsük, mivel részletesebb és pontosabb képet ad a terhelések, hőmérséklet-eloszlások és egyéb fizikai hatások viselkedéséről a rendszerben. Továbbá még a gyártás megkezdése előtt megállapítható, hogy az öntvényben hol keletkezhetnek zárványok. (Vasilios & Orfanoudakis, 2004)

Az alábbi szimulációs eredmények azt mutatják meg, hogy az öntvényben hol érheti el az akár 90% százalékos porozitást.

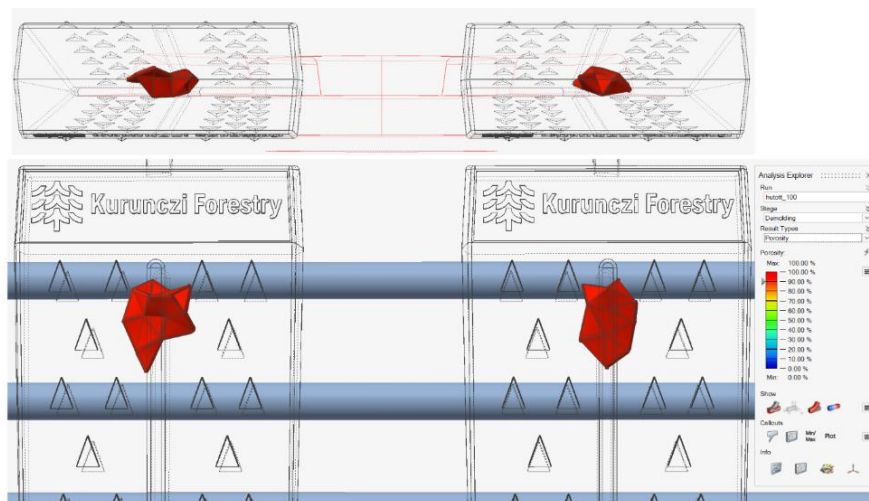
A porozitás kiszámítása a következő képlettel történik:

$$\text{Porozitás} = \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho_0}\right) \cdot 100 [\%] \quad (64)$$

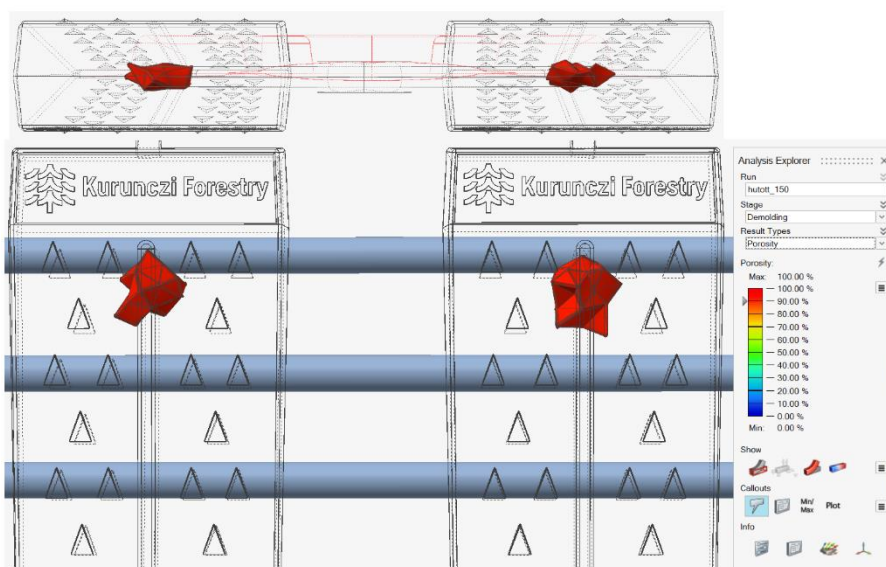
ahol:

ρ_m – a vizsgált anyag sűrűsége

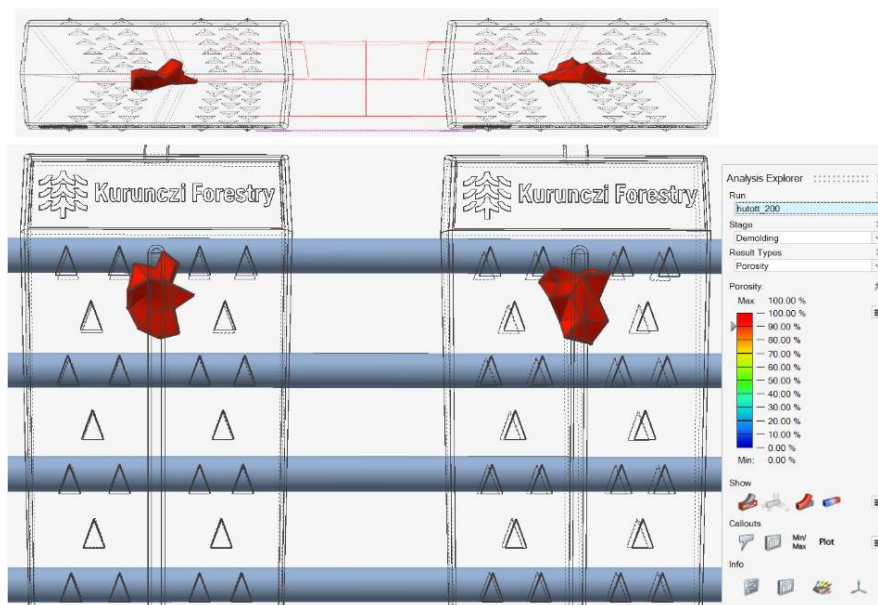
ρ_0 – a hibátlan, homogén anyag sűrűsége



16. ábra: 100°C-os hőközlő olajra méretezett temperálókör esetén



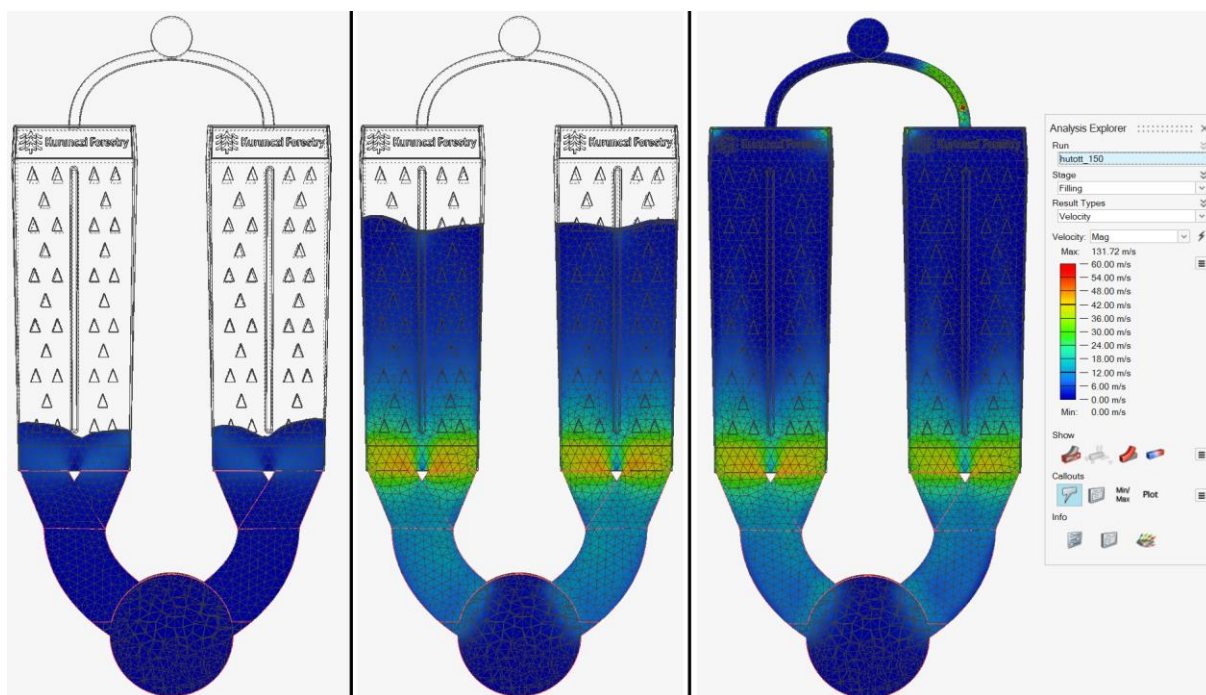
17. ábra: 150°C-os hőközlő olajra méretezett temperálókör esetén



18. ábra: 200°C-os hőközlő olajra méretezett temperálókör esetén

Mint azt a (16.-17.-28.) ábrák is remekül szemléltetik, az öntési hőmérséklet és a temperálókör között hőmérséklet különbség csökkentése, és ezzel a dermedés lassítása kedvezően befolyásolja a zárvány képződést, ám ez a hűtési teljesítmény időbeni eloszlásának elnyújtását is jelenti, ami kedvezőtlenül alakítja a hűlési időt, ezzel is növelve a ciklusidőt. A szimulációk során ez akár 10 másodperces többletet is elért.

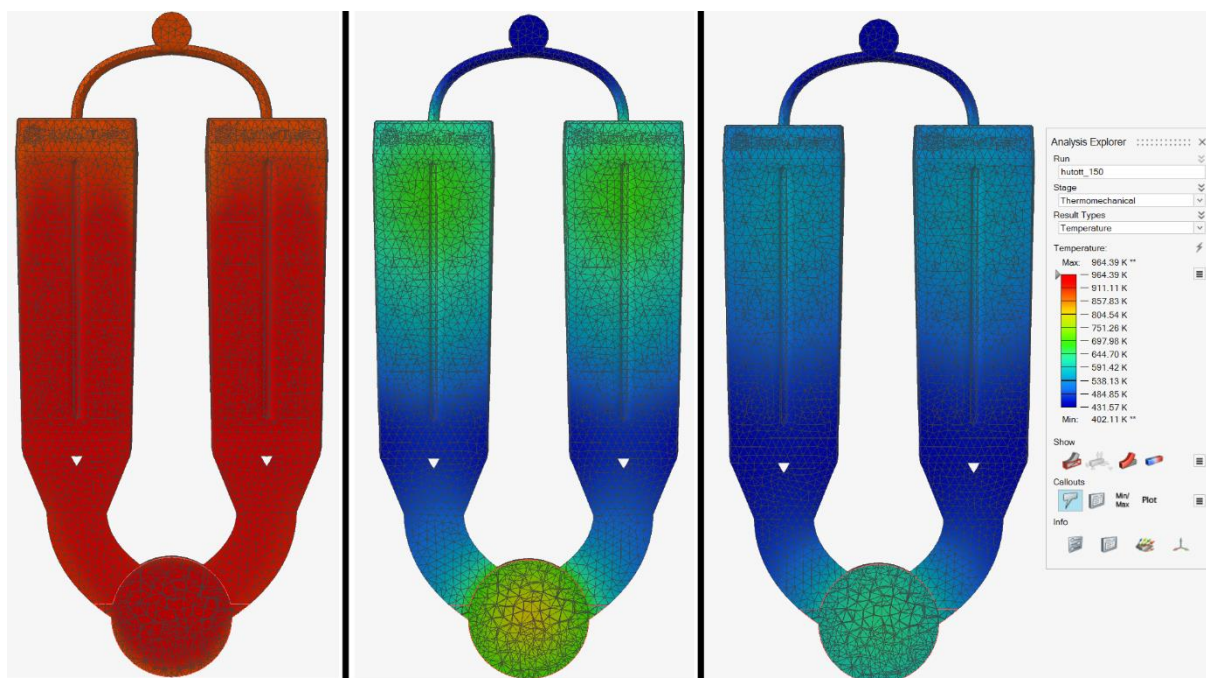
Az olvadék sebessége a (19. ábra) balról-jobbra: a formatöltés elején, a kapcsoló pont után, valamint az öntés végén:



19. ábra: Az olvadéksebesség alakulása az öntvénycsokorban
(Forrás: saját munka)

A tervezés során előírányzott $45 \frac{m}{s}$ -os áramlási sebességet a rávágás csatornájában a vége-selemes szimuláció (19. ábra) igazolta, a formatöltés során végig a meghatározott áramlási sebességgel áramlik az olvadék.

Az alábbi képsor (20. ábra) a dermedés közbeni pillanatnyi hőmérsékletet mutatja balról-jobbra: a dermedés kezdete alatt, 15 másodperc elteltével, valamint a nyitás előtt:



20. ábra: Az öntvény hőmérséklet eloszlása dermedés folyamán
(Forrás: saját munka)

A hőmérsékleti gradiens jól szemlélteti a drasztikus hőmérséklet különbséget a rávágást követő szakaszon, valamint a felsőbb, nagy keresztmetszetű szakaszok között, ami eléri a 200°C -os hőmérséklet különbséget is. Ez a fokozott feszültségkeltő jelenség könnyen deformációkhoz vezethet, emiatt érdemes megfontolni a termék átméretezését, olyan módon, hogy a legkisebb és legnagyobb falvastagság közötti különbség jelentősen csökkenjen, így megelőzve az eltérő zsugorodási ütemből fakadó nagymértékű feszültségeket.

3.8. Használati és karbantartási útmutató

Szigorúan tilos a hideg szerszámmal öntést végezni. A formaüreget kötelező előmelegíteni 200°C - 230°C-os tartományban. Ez elérhető az öntőszerszám temperáló rendszerével, gázos- vagy elektromos melegítő eszközzel. Az öntőszerszám hőmérsékletét az előírt intervallumokon belül kell tartani, lehetőleg homogén módon. Az öntőszerszám működését lehetőleg folyamatosan üzemben kell biztosítani. El kell kerülni a ciklus megszakításokat és a szükségtelen leállásokat, mivel ezek a formaüreg hőmérsékletének csökkenéséhez vezethetnek.

A dugattyú sebességét az előírt sebesség- és nyomástartományokon, vagy alatta kell beállítani. Ellenkező esetben súlyosan károsodhat az öntőszerszám vagy az öntőgép.

Legkésőbb 10000 öntésenként szükséges az öntőforma általános karbantartása. Ennek magában kell foglalnia az öntőforma szétszerelését, tisztítását és alapos vizuális és műszeres ellenőrzését. Különös figyelmet kell fordítani az osztósík kopására. Szükség esetén polírozással kell simára munkálni a kilökő rudakat, biztosítani kell a mozgó alkatrészek újra kenését, és győződjön meg róla, hogy azok szabadon mozognak. Ellenőrizni kell a zárófelületeket és a reteszeket, csapokat.

Minden 20 000 – 25 000 öntés után szükséges az öntőszerszám feszültségmentesítése. Továbbá feszültségmentesítésre van szükség minden olyan javítás vagy módosítás után, amely keretében hegesztést, gépi-csiszolást vagy polírozást, esetleg szikraforgácsolást alkalmaznak. A szerszámot egyenletesen 650°C-ra melegítve és ezen a hőmérsékleten 2 órán át hőntartva stabilizáljuk. Ezt követően lassan 500°C-ra kell hűteni, majd szabad levegőn hagyni kihűlni. Minden 25 000. öntésnél szükséges a formalap keménységének ellenőrzése.

4. Összefoglalás

Mint azt a szakirodalmi kutatás bemutatta, a hidegkamrás nyomásos öntészeti eljárás kiválóan alkalmas gyorsan, nagy mennyiségben történő tömeggyártásra, legyen szó vékonyfalú, kiváló felületi minőséget igénylő alumínium termékek öntéséről, vagy akár vastag, tömör termékekről. Mivel a nagymennyiségben öntendő döntőékben egyszerre megtalálható mind a vékony és vastag falvastagság, továbbá a kis méretű bütykök miatt a kiemelkedő felületi minőség iránti igény, ezért ez az öntészeti eljárás éppen megfelelő.

A döntőék anyagválasztásánál figyelembe kell venni, hogy a láncfűrészsel könnyen bele lehet vágni, és bele is szoktak vágni a már beütött döntőékbe, ezért olyan fémeket kell választani, ami kellően tartós, de ha a fűrészlánc belevág, akkor nem károsítja azt, valamint nem balesetveszélyes az alkalmazása.

Az anyagszerkezet-tani kutatásom során arra jutottam, hogy a cink fokozza az alumínium-ötvözet szilárdságát és keménységét, valamint javítja a hőkezelhetőségét, ezzel is javítva termék minőségét, valamint a vas szilárdságnövelő hatásával tovább javít az ötvözetben. A vasnak az a jótékony tulajdonsága, hogy csökkenti a szerszámhoz tapadási hajlandóságát, ezáltal csökkentve a szerszám kopását, megnövelve ezzel a költséges szerszám élettartalmát, ezek együttes hatása miatt végül az EN AC-46500 [AlSi9Cu3(Fe)(Zn)] magas cink és vas tartalmú szilumin ötvözet alkalmazása mellett döntöttem.

Tekintettel arra, hogy egy döntőék fogyó eszköz, ezért az alacsony ár egy meghatározó szempont, így ennek a szerszámkonstrukcióban is meg kell jelennie. A szerszámbetét alkalmazása a magasabb bekerülési költségek miatt nem ideális, ezért az olcsóbb, de kevésbé költséges formalapból való kimunkálás mellett döntöttem.

A részletes számítások, vége-sele-mes szimulációk, és azok kiértékelése rá-mu-ta-tott a nagy anyagvastagság okozta problémákra, többek között az egyenlőtlen lehűlésből fakadó feszültségek és fokozott való-színű-ség a makroporozitásra. Az öntős-zerszám tervezése során ezeket a problémákat a belső hűtőrendszer koncentráltabb elhelyezésével enyhítettem. Továbbá javaslatot tettem a döntőék fizikai méreteinek felülvizsgálására is. A vége-se-le-m módszerrel végzett szimulációk magukban foglalják az öntős-zerszám és az öntés szimulációját is.

4.1. Summary

As demonstrated by the literature review, the cold chamber die casting process is highly suitable for rapid, large-scale production, whether for casting thin-walled aluminum products that require excellent surface quality or for casting thick, solid products. Given that the components to be cast in large quantities feature both thin and thick wall sections and that the high-quality surface finish is essential due to the presence of small protrusions, this casting process is particularly appropriate.

When selecting the material for the wedge, it is crucial to consider that chainsaws frequently cut into the already driven wedges. Therefore, a metal should be chosen that is durable enough yet does not damage the chainsaw if cut into, while also being safe to use.

In my materials research, I found that zinc enhances the strength and hardness of aluminum alloys and improves their heat-treatability, thereby improving product quality. Additionally, iron further improves the alloy with its strengthening effect. Iron has the beneficial property of reducing the tendency to adhere to the tool, thus reducing tool wear and extending the costly tool's lifespan. For these combined reasons, I opted to use the EN AC-46500 [AlSi9Cu3(Fe)(Zn)] high-zinc and iron-content silumin alloy.

Since wedges are consumable items, low cost is a significant factor, and this should be reflected in the tool design. Tool inserts are not ideal due to higher initial costs, so I chose the less expensive option of machining from a standard form plate.

The detailed calculations, finite element simulations, and their evaluations highlighted issues related to high material thickness, including stresses caused by uneven cooling and an increased likelihood of macroporosity. In the design of the casting tool, I mitigated these problems by concentrating the internal cooling system. Furthermore, I recommended a review of the physical dimensions of the wedge. The finite element simulations include both the casting tool and the casting process simulations.

5. Irodalomjegyzék

- Artinger, I., Kator, L. & Romvári, P., 1975. *Fémek technológiája*. Budapest: Műszaki Könyvkiadó.
- Downey, J. P., 2019. *A Researcher's Guide to: International Space Station - Microgravity Materials Research*. Egyesült Államok: National Aeronautics and Space Administration.
- Dr. Dúl, J., 2011. *Nyomásos öntészeti ismeretek*. Miskolc: Nemzeti tankönyvkiadó.
- Dr. Pék, L., Dr. Pellényi, L. & Dr. Pálinkás, I., 2000. *Anyagszerkezettan és anyagismeret*. első szerk. Budapest: Dinasztia Kiadó.
- Dr. Pilissy, L., Lengyelne Kiss, K. & Pocsaji, L., 1976. Néhány szabványos ipari alumíniumöntészeti ötvözetből vizsgálata mikroszkópos és mikroszondás módszerrel. *Bányászati és Kohászati Lapok - Öntöde*, Január, 27(1), pp. 1-7.
- Dr. Szabó, Z., Sándor, J. & Szíj, Z., 1986. *Öntvények gyártástechnológiája*. Budapest: Műszaki Könyvkiadó.
- Ennos, R., Ventura Oliveira, O. V. & Joao, O. V., 2020. The Mechanics of Splitting Wood and the Design of Neolithic Tools. *Journal of Lithic Studies* 8(3):11-24, 8(3), pp. 11-24..
- Fledrich, G., Kári-Horváth, A., Pataki, T. I. & Zsidai, L., 2017. *Mechanikai technológiák*. Gödöllő: Szent István Egyetem.
- Jorstad, L. J. & Apelian, D., 2008/1. Nyomásos eljárások tömör alumíniumöntvények gyártásához. I. rész. *Kohászat*, 141. évf. 2. sz. kötet, pp. 16-21.
- Jorstad, L. J. & Apelian, D., 2008/2. Nyomásos eljárások tömör alumíniumöntvények gyártásához. II. rész. *Kohászat*, 141. évf. 3. sz. kötet, pp. 13-21.
- Kazmer, D., 2016. *Injection Mold Design Engineering*. második szerk. München: Hanser Publications.
- Manoj, K. & Shiva, K., 2017. The Effect of Nickel on Mechanical Properties of Aluminium Alloy Al - 7075. *International Journal of Materials Science*, 12(4), pp. 627-633.
- Menning, G. & Stoeckhert, K., 2013. *Mold-Making Handbook*. harmadik szerk. München: Hanser Publications.

Mórocz, T., 2021. *Szerszámkészítő - Mestervizsgára felkészítő jegyzet*. első szerk. Budapest: Magyar Kereskedelmi és Iparkamara.

North American Die Casting Association, 2015. *NADCA Product Specification Standards for Die Casting*. kilencedik szerk. Arlington Heights(Illinois): North American Die Casting Association.

Okayasu, M., Shiraishi, T. & Takeuchi, S., 2013. Corrosion and mechanical properties of cast aluminium alloys. *International Journal of Cast Metals Research*, 26(6), pp. 319-329.

Reghunath, N., Shankar, K. V., Doondi, S. & Ganesh, S., 2021. Strontium in Al–Si–Mg Alloy: A Review. *Metals and Materials International*, október, 28. kötet, pp. 1-40.

Svéda, M., 2007. *Monotektikus felületi rétegek létrehozása lézersugaras felületkezeléssel*. Miskolc: Miskolci Egyetem.

Szabó, R., 2012. *Öntéstechnikai és hőtechnikai paraméterek hatása az alumínium nyomásos öntvény szilárdsági tulajdonságaira*. Miskolc: Miskolci Egyetem.

Vasilios, T. & Orfanoudakis, N., 2004. A study of porosity formation in pressure die casting using the Taguchi. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture*, 218(1), pp. 77-86..

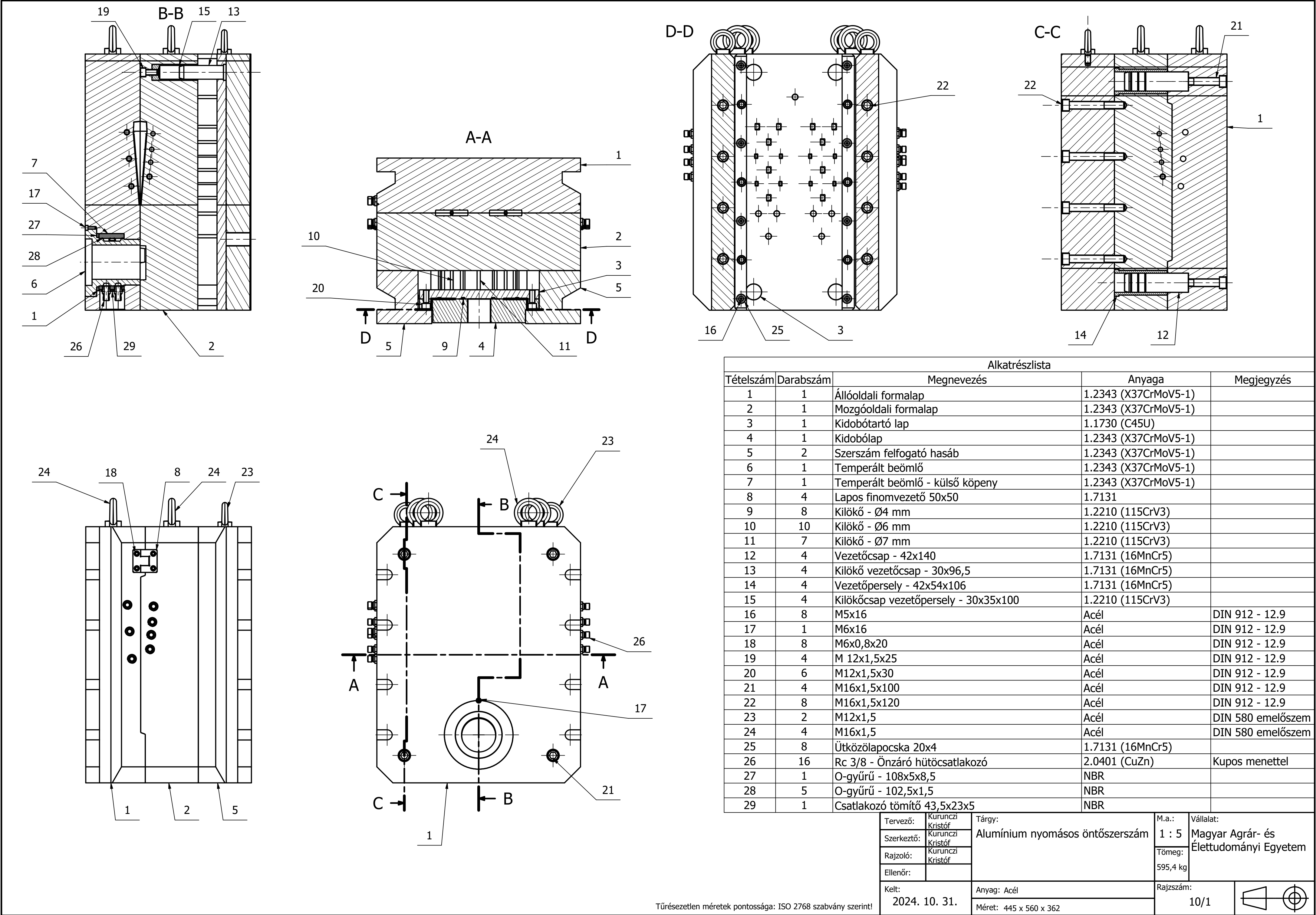
5.1. Ábrajegyzék

1. ábra: Alumínium döntőék (Forrás: saját munka)	2
2. ábra: Az UBE közvetett öntve sajtoló eljárásának vázlata (Forrás: (Jorstad & Apelian, 2008/2))	4
3. ábra: Röntgenfelvétel fémötvözetek Földön (balra) illetve mikrogravitációs (jobbra) körülmények között történő öntéséről. (Forrás: ESA XRMON)	5
4. ábra: A nyomásos öntőszerszám főbb részegységei (Forrás: (Kazmer, 2016))	11
5. ábra: A felfogólap formaüreg készítéséhez felhasználható területe (Forrás: (Kazmer, 2016))	12
6. ábra: Csúszkatest és kényszercsap metszetben ábrázolva (Kazmer, 2016)	13
7. ábra: A döntés közben fellépő erőhatások illusztrációja	14
8. ábra: A porozitást kiváltó okok egy Isikava-diagrammon ábrázolva (Forrás: saját munka)	15

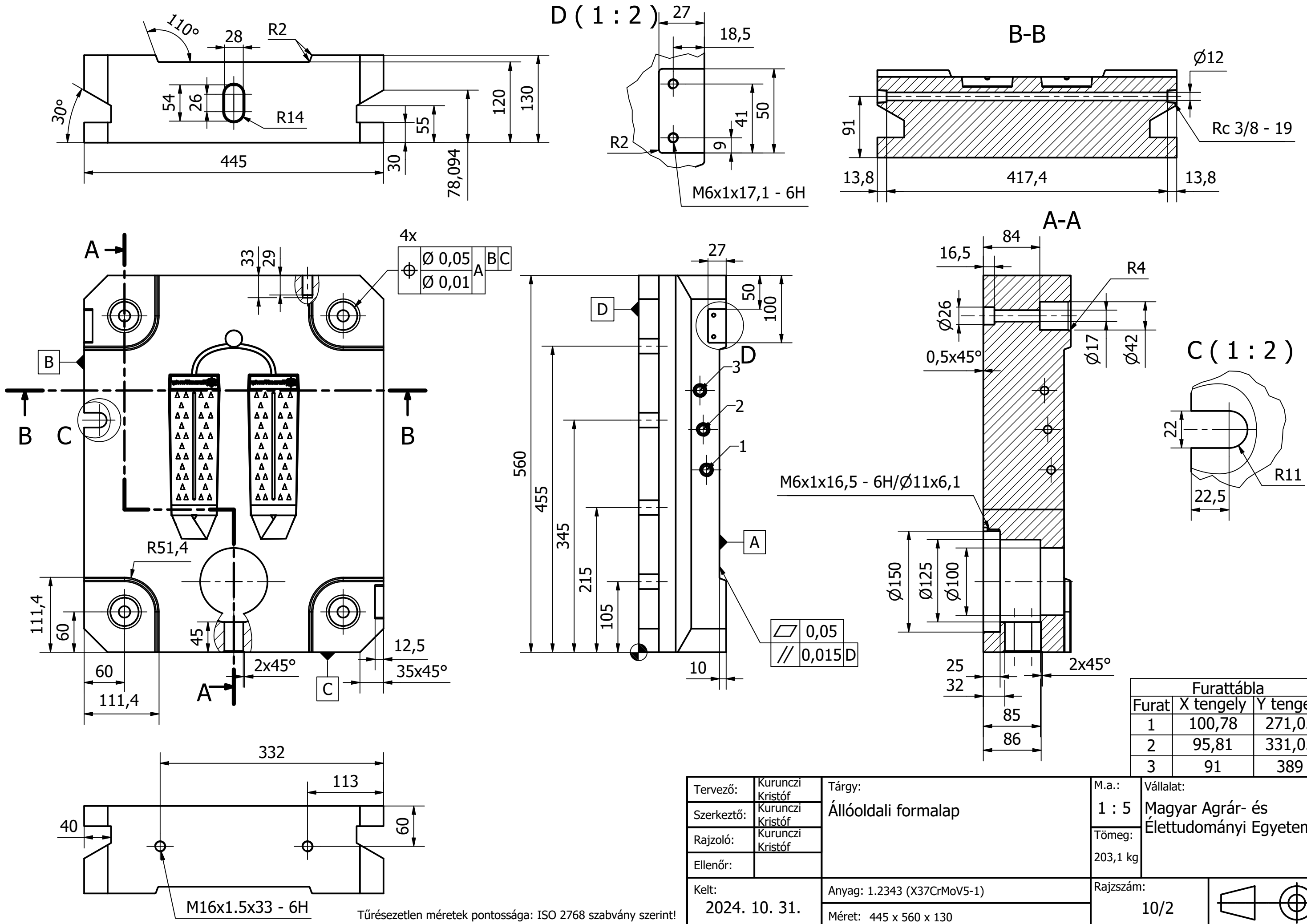
9. ábra: A két fészkes öntőszerszám 3D-s modellje (Forrás: saját munka)	17
10. ábra: Az öntvénycsokor tömegközéppontja a géposzlopokhoz viszonyítva (Forrás: saját munka)	22
11. ábra: Az álló oldali szerszámfél hőmérséklet eloszlása 12. ábra: A mozgóoldali szerszámfél hőmérséklet eloszlása (Forrás: saját munka) (Forrás: saját munka)	35
13. ábra: Az álló oldali szerszámfél torzulásának eloszlása 14. ábra: A mozgó oldali szerszámfél torzulásának eloszlása (Forrás: saját munka) (Forrás: saját munka)	36
15. ábra: Az öntészeti szimuláció felépítése, rajta az öntvény és a hűtőcsatornák (Forrás: saját munka)	37
16. ábra: 100°C-os hőközlő olajra méretezett temperálókör esetén	38
17. ábra: 150°C-os hőközlő olajra méretezett temperálókör esetén	38
18. ábra: 200°C-os hőközlő olajra méretezett temperálókör esetén	38
19. ábra: Az olvadásebesség alakulása az öntvénycsokorban (Forrás: saját munka)	39
20. ábra: Az öntvény hőmérséklet eloszlása dermedés folyamán (Forrás: saját munka)	40

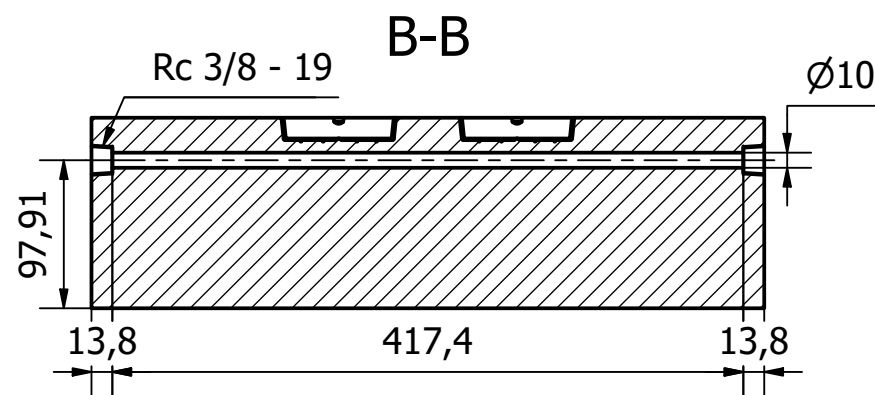
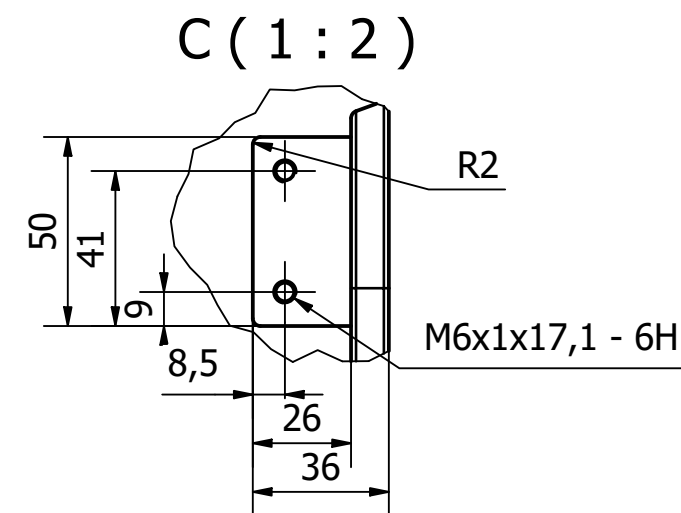
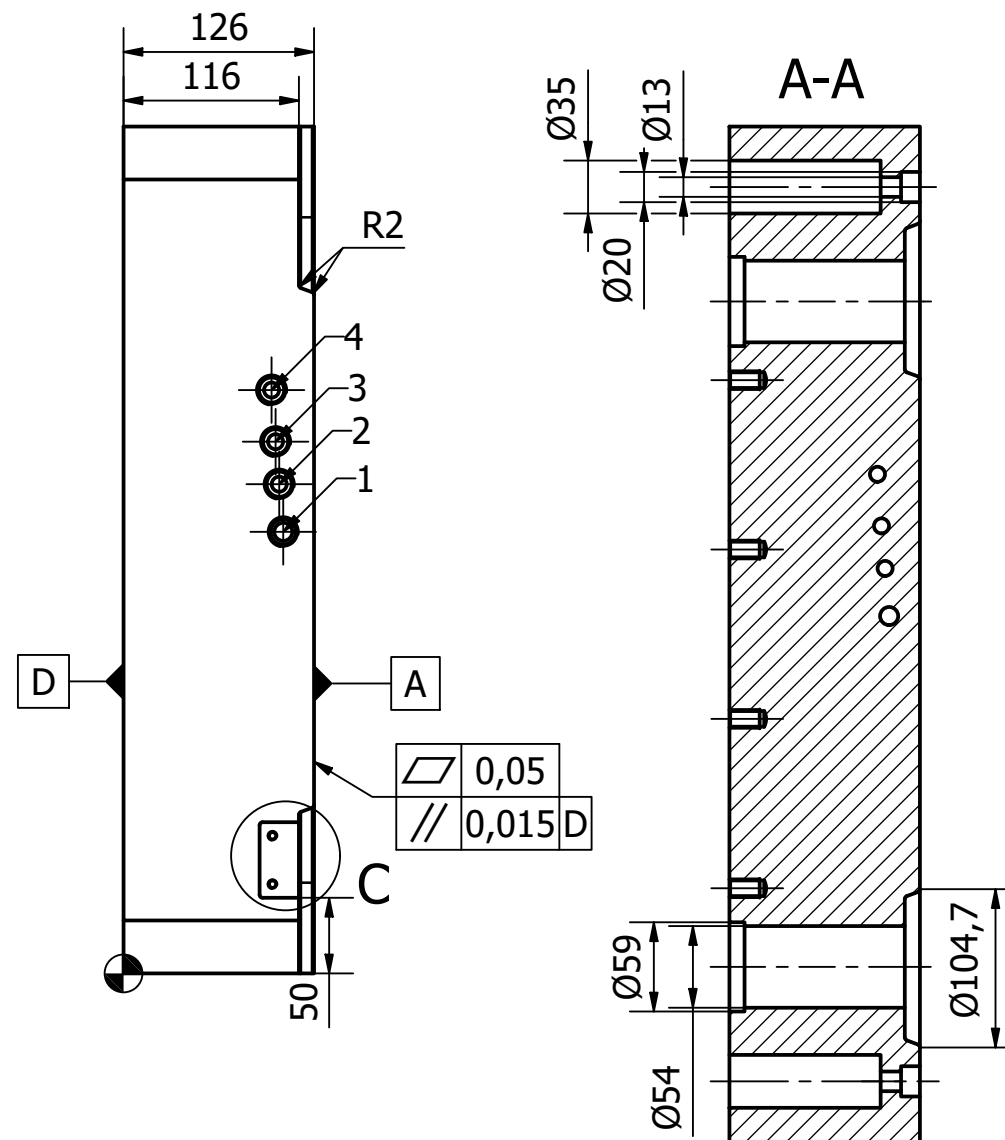
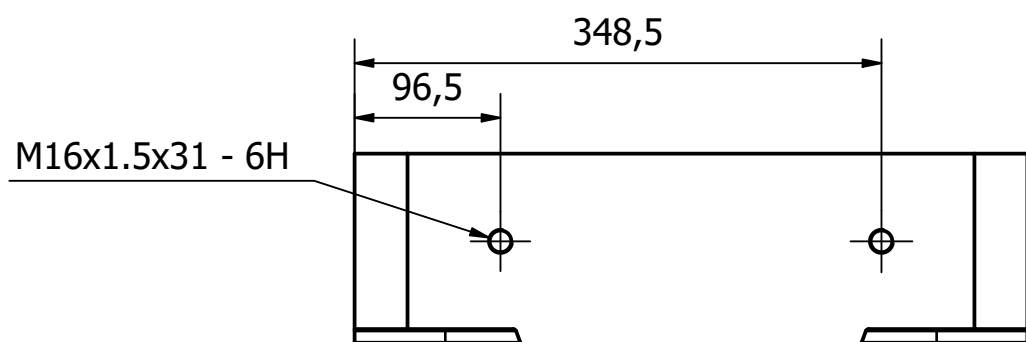
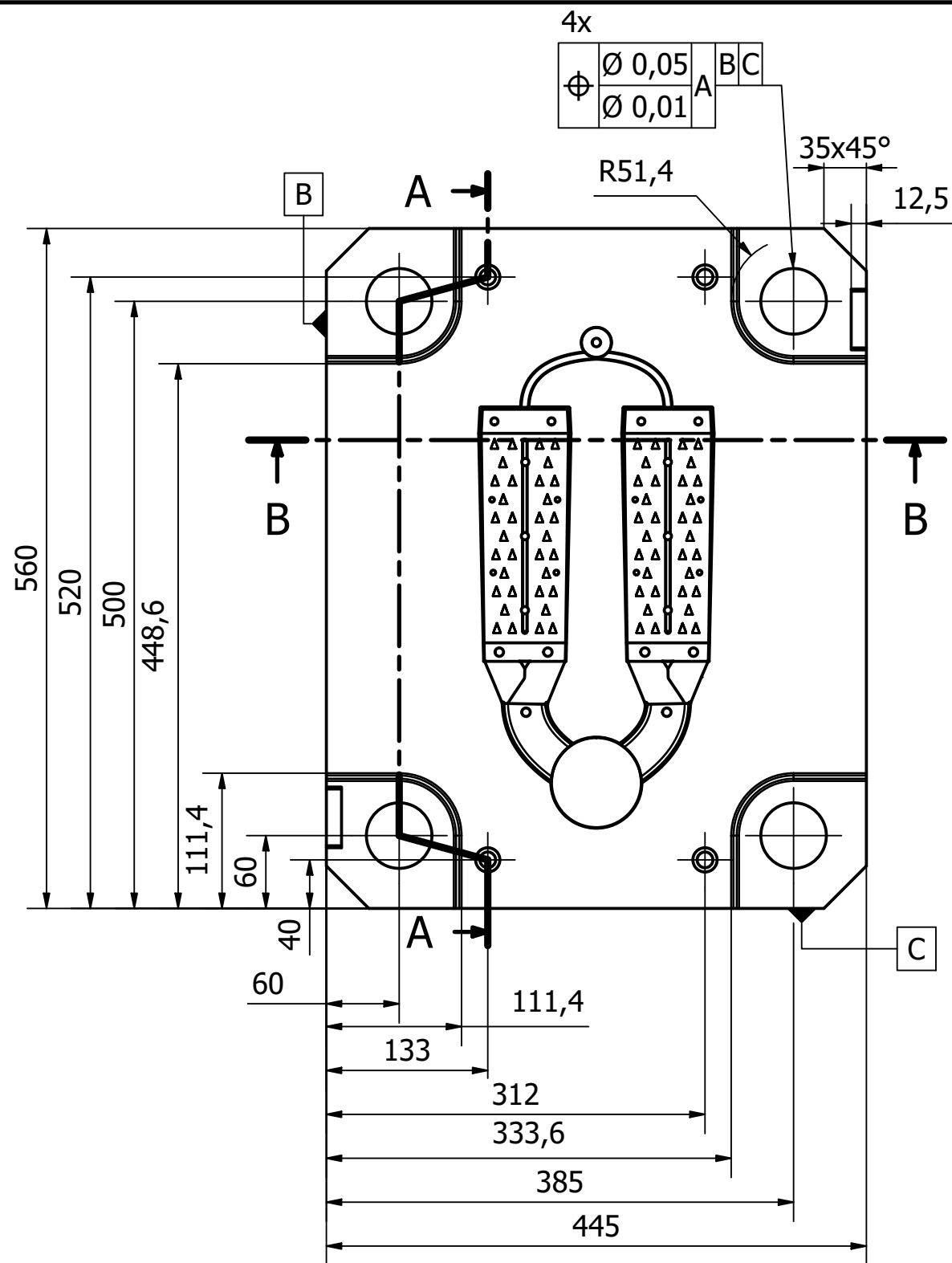
5.2. Táblázatjegyzék

1. táblázat: Ötvözők csoportosítása hatásuk mértéke szerint (Artinger, et al., 1975)	7
2. táblázat: A legfontosabb Al-öntészeti ötvözetek jelölése és összetétele (Dr. Dúl, 2011)	8
3. táblázat: Melegalakító szerszámacélok szabványos jelölései és összetételei (Dr. Dúl, 2011)	10
4. táblázat: Az öntéstechnikai számítások kiinduló paraméterei (Forrás: saját munka)	17
5. táblázat: A hőtechnikai számítások kiinduló paraméterei (Forrás: saját munka)	23
6. táblázat: Az elvont hőmennyiség kiszámításához szükséges kiinduló paraméterek (Forrás: saját munka)	25
7. táblázat: A hőközlő folyadékok tulajdonságai (Forrás: saját munka)	26
8. táblázat: Az 1. hűtőkör alapadatai (Forrás: saját munka)	27
9. táblázat: A 2. hűtőkör alapadatai (Forrás: saját munka)	28
10. táblázat: A 3. hűtőkör alapadatai (Forrás: saját munka)	31
11. táblázat: A számított paraméterek összefoglalása (Forrás: saját munka)	32



Tűrésezetlen méretek pontossága: ISO 2768 szabvány szerint!

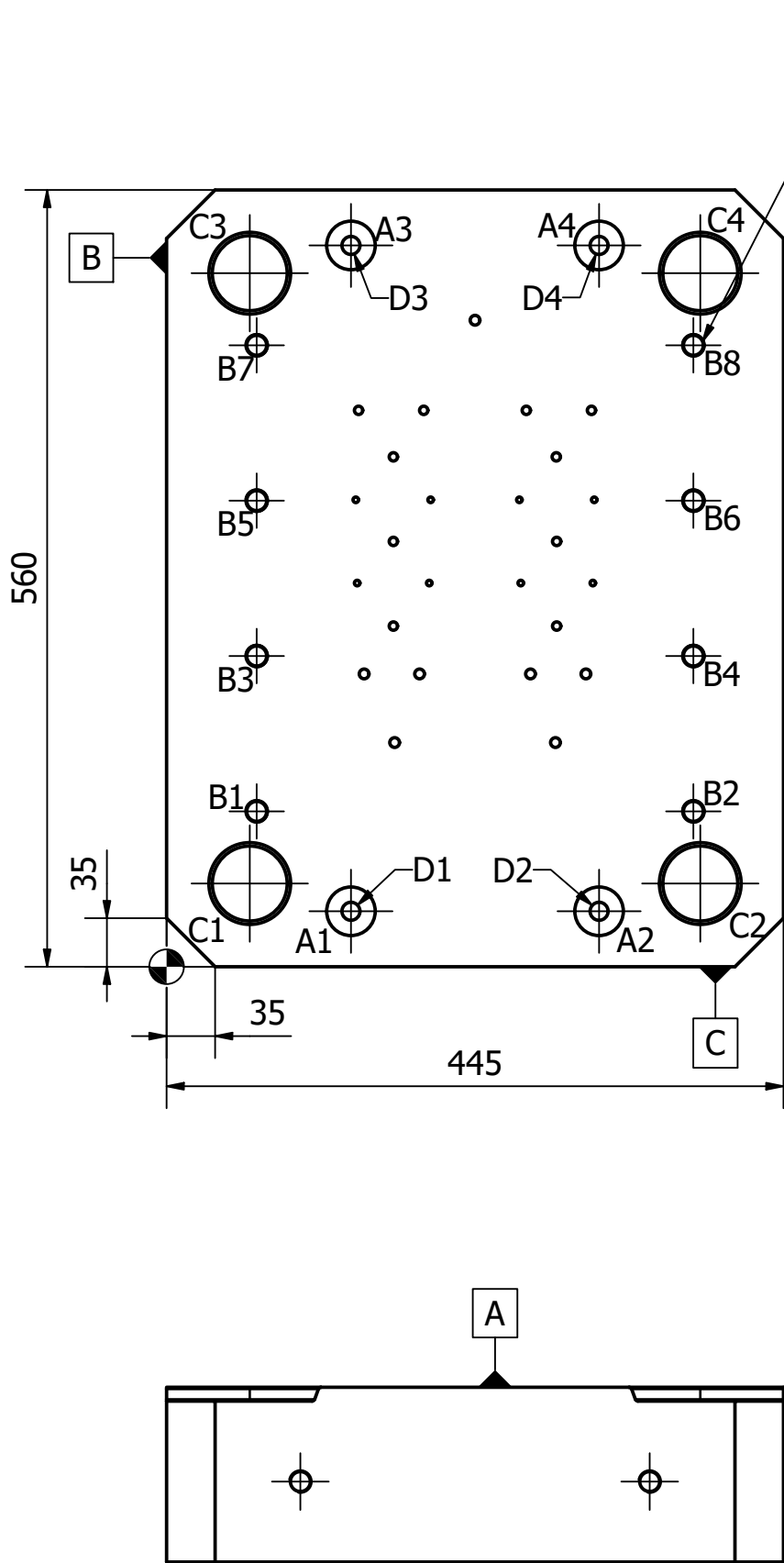




Hútfúratok pozíciója		
Furat	X tengely	Y tengely
1	105,63	292,00
2	102,97	323,50
3	100,57	351,61
4	97,91	385,75

Tervező:	Kurunczi Kristóf	Tárgy: Mozgóoldali formalap	M.a.:	Vállalat:
Szerkeztő:	Kurunczi Kristóf		1 : 5	Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Rajzoló:	Kurunczi Kristóf		Tömeg:	
Ellenőr:			222,4 kg	
Kelt:	2024. 10. 31.	Anyag: 1.2343 (X37CrMoV5-1)	Rajzszám:	
		Méret: 445 x 560 x 126	10/3	

Tűrésezetlen méretek pontossága: ISO 2768 szabvány szerint!



8x M16X1,5X20 - 6H

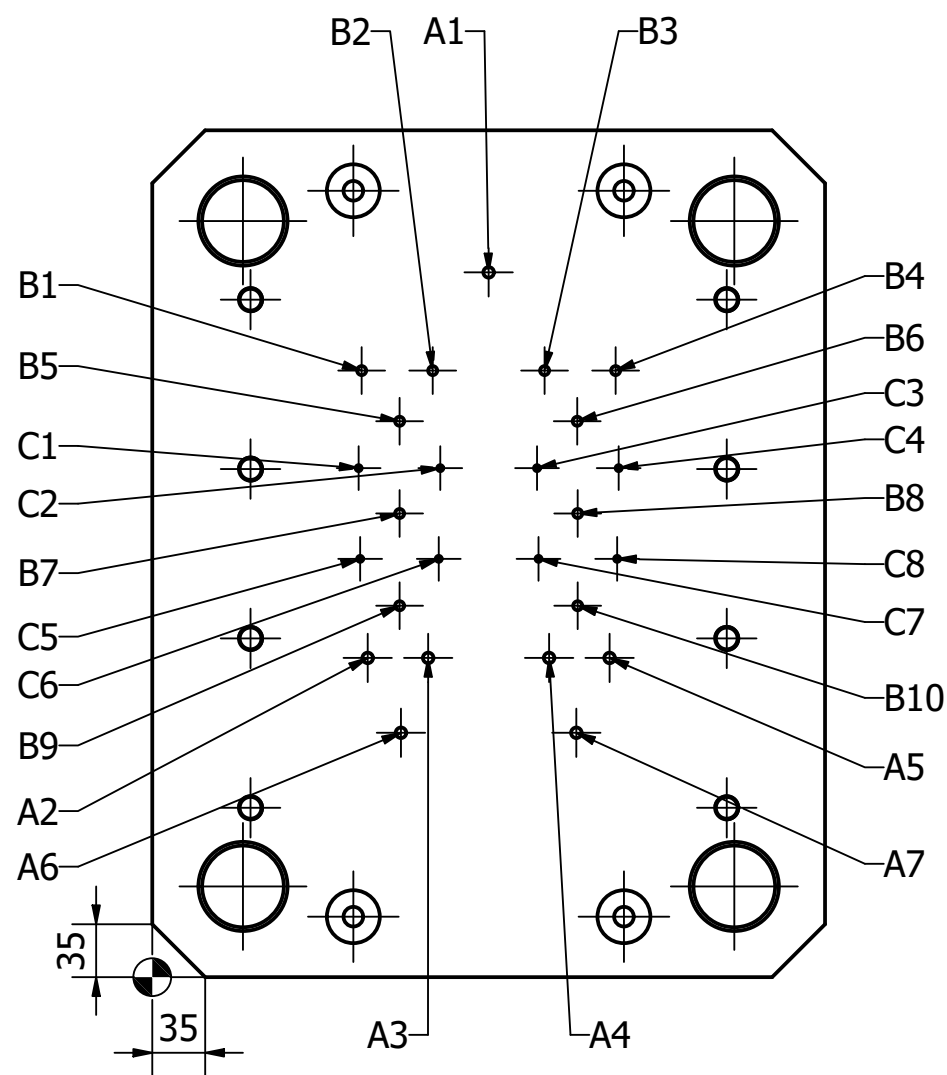
ϕ	$\phi 0,05$	A	B	C
	$\phi 0,01$			

Mozgóoldali formalap rögzítő furatok

Furat	X tengely	Y tengely	Furat átmérő	Furat mélység	Süllyesztés átmérő	Süllyesztés mélység	Menet típus	Menet mélység	Illesztés
A1	133	40	35	100	-	-	-	-	-
A2	312	40	35	100	-	-	-	-	-
A3	133	520	35	100	-	-	-	-	-
A4	312	520	35	100	-	-	-	-	-
B1	65	112	14,38	23	-	-	M16x1.5	20	6H
B2	380	112	14,38	23	-	-	M16x1.5	20	6H
B3	65	224	14,38	23	-	-	M16x1.5	20	6H
B4	380	224	14,38	23	-	-	M16x1.5	20	6H
B5	65	336	14,38	23	-	-	M16x1.5	20	6H
B6	380	336	14,38	23	-	-	M16x1.5	20	6H
B7	65	448	14,38	23	-	-	M16x1.5	20	6H
B8	380	448	14,38	23	-	-	M16x1.5	20	6H
C1	60	60	54	116	59	10	-	-	-
C2	385	60	54	116	59	10	-	-	-
C3	60	500	54	116	59	10	-	-	-
C4	385	500	54	116	59	10	-	-	-
D1	133	40	13	120	20	12,5	-	-	-
D2	312	40	13	120	20	12,5	-	-	-
D3	133	520	13	120	20	12,5	-	-	-
D4	312	520	13	120	20	12,5	-	-	-

Tervező:	Kurunczi Kristóf	Tárgy: Mozgóoldali formalap	M.a.:	Vállalat: Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szerkeztő:	Kurunczi Kristóf		1 : 5	
Rajzoló:	Kurunczi Kristóf		Tömeg:	
Ellenőr:			222.4 kg	
Kelt: 2024. 10. 31.		Anyag: 1.2343 (X37CrMoV5-1)	Rajzszám: 10/4	
		Méret: 445 x 560 x 126		

Tűrésezetlen méretek pontossága: ISO 2768 szabvány szerint!



Mozgóoldali formalap kidobó furattábla

Furat	X tengely	Y tengely	Süllyesztés átmérő	Süllyesztés mélység	Furat átmérő	Furat illesztés
A1	222,5	466,07	8	97	7	H7
A2	142,5	211,11	8	99,76	7	H7
A3	182,5	211,11	8	99,76	7	H7
A4	262,5	211,11	8	99,76	7	H7
A5	302,5	211,11	8	99,76	7	H7
A6	164,5	161,61	8	88,6	7	H7
A7	280,5	161,61	8	88,6	7	H7
B1	138,5	401,11	7	86,24	6	H7
B2	185,5	401,11	7	86,24	6	H7
B3	259,5	401,11	7	86,24	6	H7
B4	306,5	401,11	7	86,24	6	H7
B5	163,6	367,61	7	87,65	6	H7
B6	281,1	367,61	7	87,65	6	H7
B7	163,6	306,62	7	92,61	6	H7
B8	281,4	306,61	7	92,61	6	H7
B9	163,6	245,61	7	97,72	6	H7
B10	281,4	245,61	7	97,72	6	H7
C1	136,5	336,61	5	90,01	4	H7
C2	190,5	336,61	5	90,01	4	H7
C3	254,5	336,61	5	90,01	4	H7
C4	308,5	336,61	5	90,01	4	H7
C5	137,5	276,61	5	95,05	4	H7
C6	189,5	276,61	5	95,05	4	H7
C7	255,5	276,61	5	95,05	4	H7
C8	307,5	276,61	5	95,05	4	H7

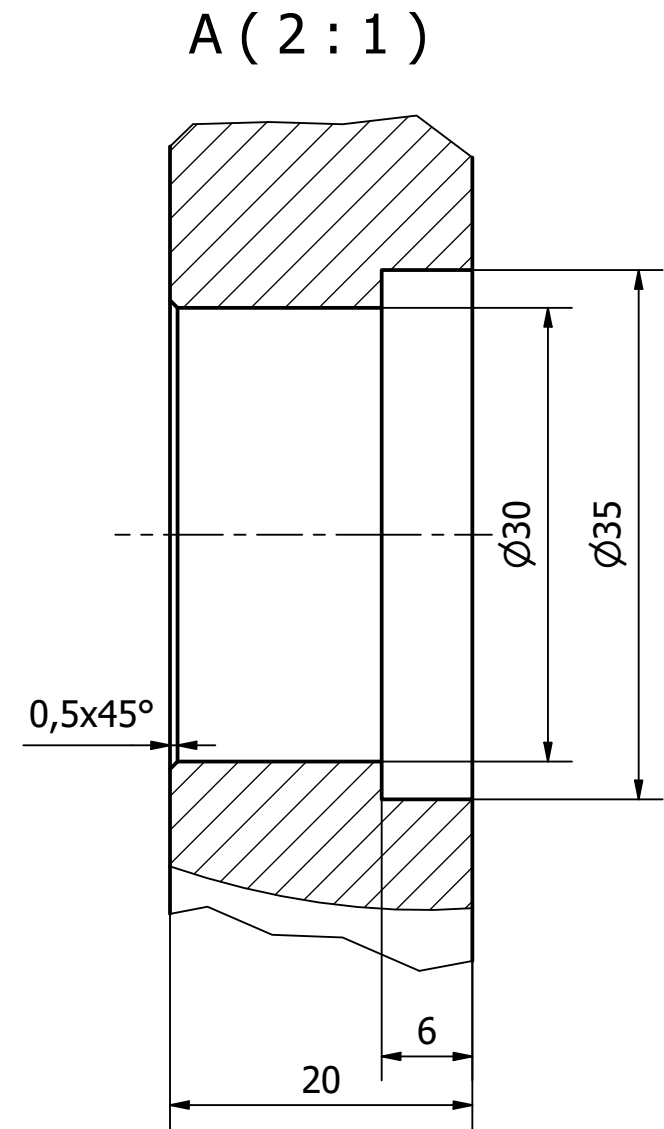
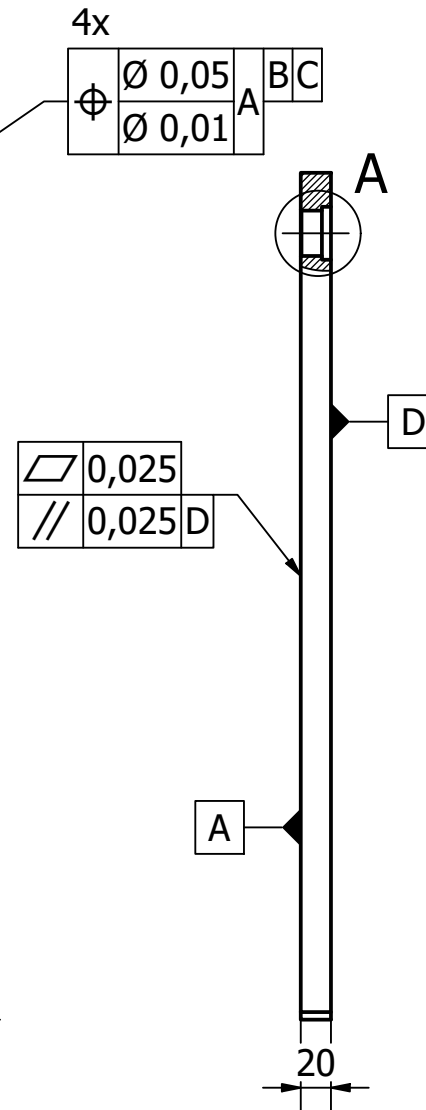
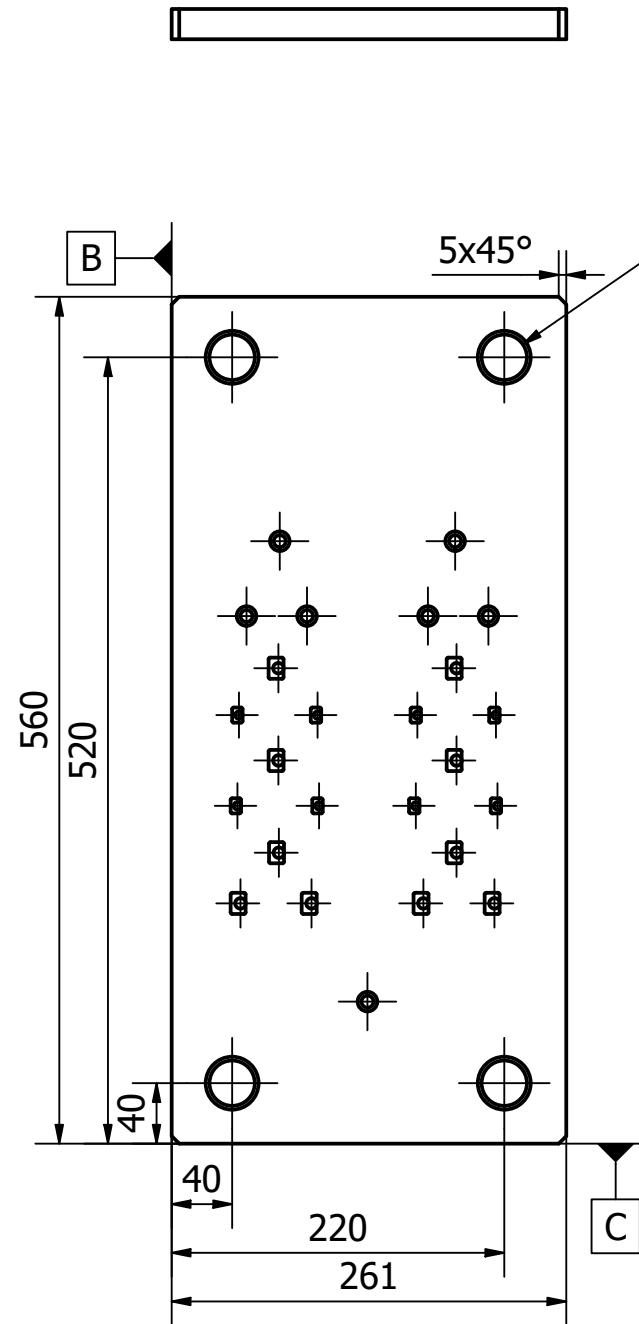
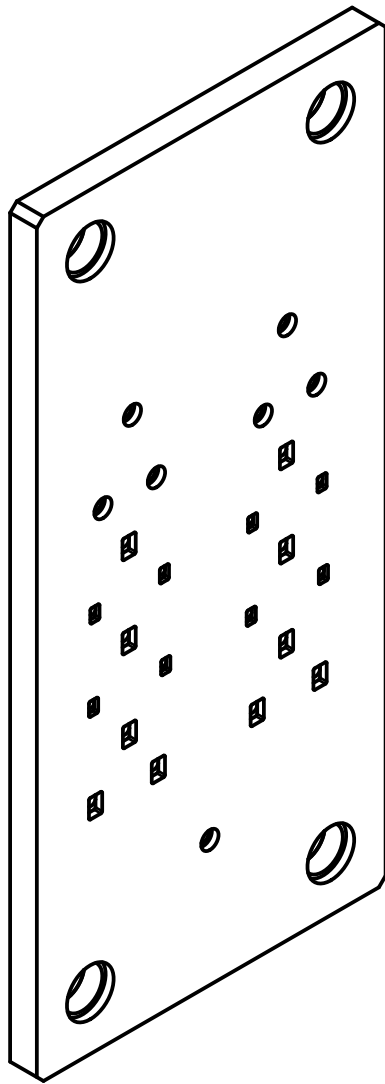
Ø7H7	+15
	0
Ø6H7	+12
	0
Ø4H7	+12
	0

Tűrésezetlen méretek pontossága: ISO 2768 szabvány szerint!

Tervező:	Kurunczi Kristóf
Szerkeztő:	Kurunczi Kristóf
Rajzoló:	Kurunczi Kristóf
Ellenőr:	
Kelt:	2024. 10. 31.

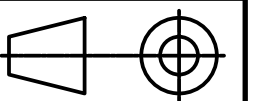
Tárgy:	Mozgóoldali formalap
Anyag:	1.2343 (X37CrMoV5-1)
Méret:	445 x 560 x 126

M.a.:	1 : 5	Vállalat:	Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Tömeg:	222.4 kg	Rajzszám:	10/5

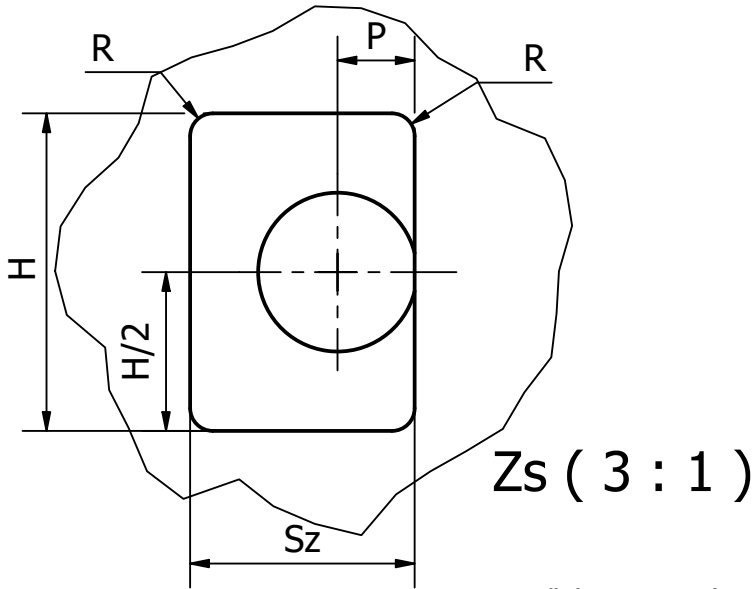
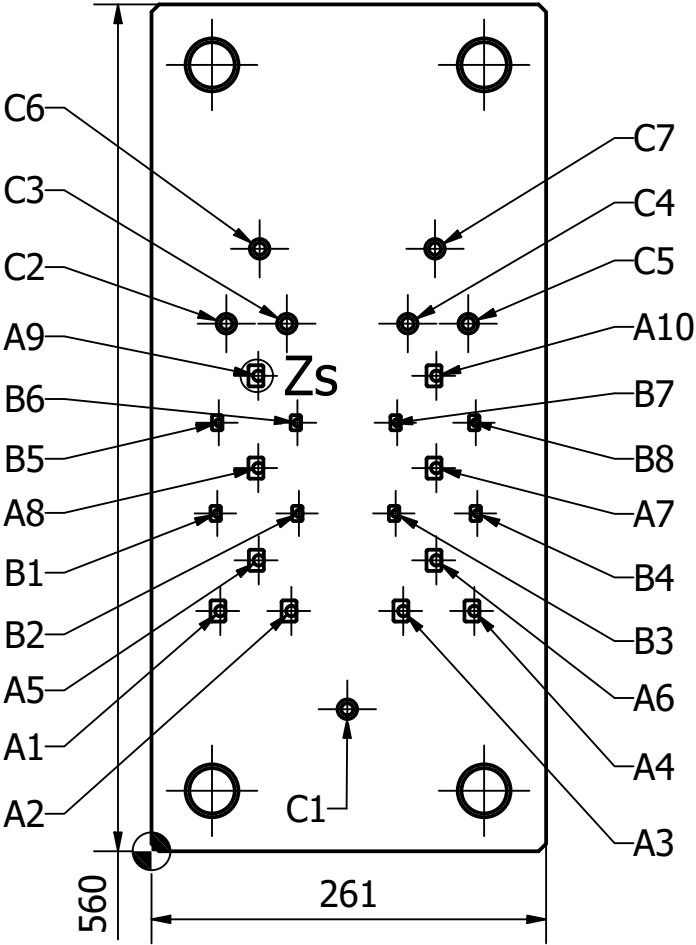


Tűrésezetlen méretek pontossága: ISO 2768 szabvány szerint!

Tervező:	Kurunczi Kristóf	Tárgy: Kidobótartó lap	M.a.:	Vállalat:	
Szerkeztő:	Kurunczi Kristóf		1 : 5	Magyar Agrár- és	
Rajzoló:	Kurunczi Kristóf		Tömeg:	Élettudományi Egyetem	
Ellenőr:			22.1 kg		
Kelt: 2024. 10. 31.		Anyag: 1.1730 (C45U)	Rajzszám:		
		Méret: 261 x 560 x 20	10/6		

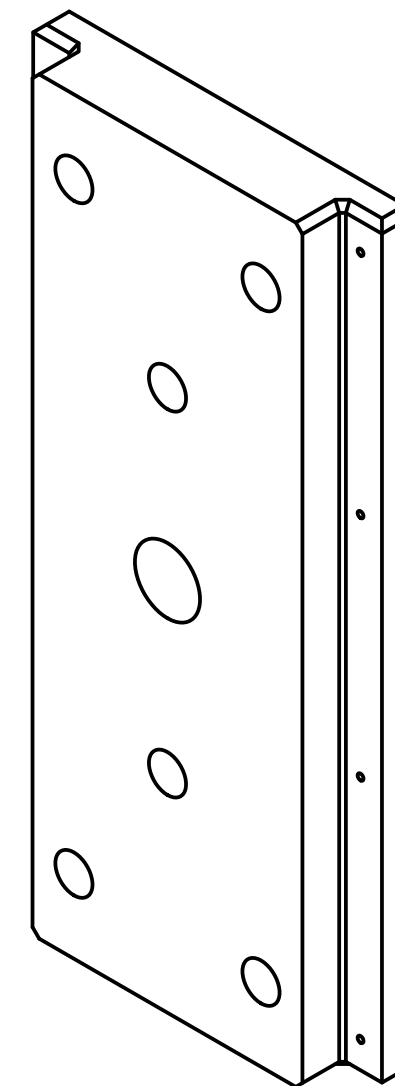
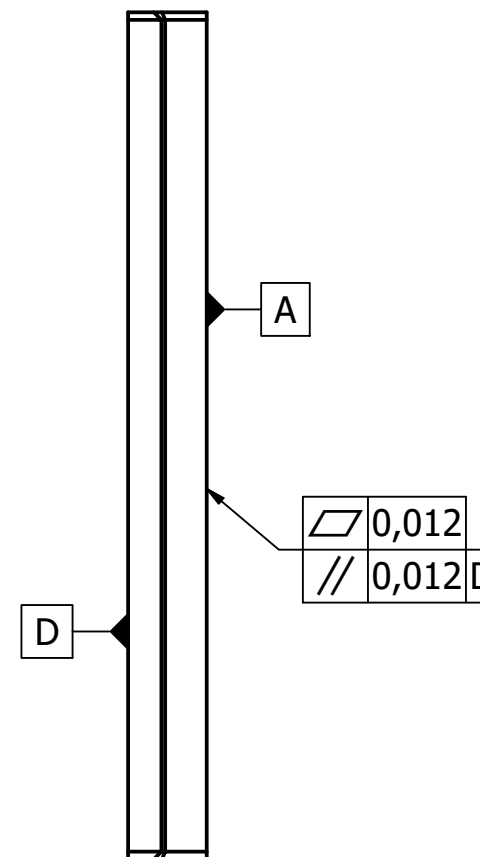
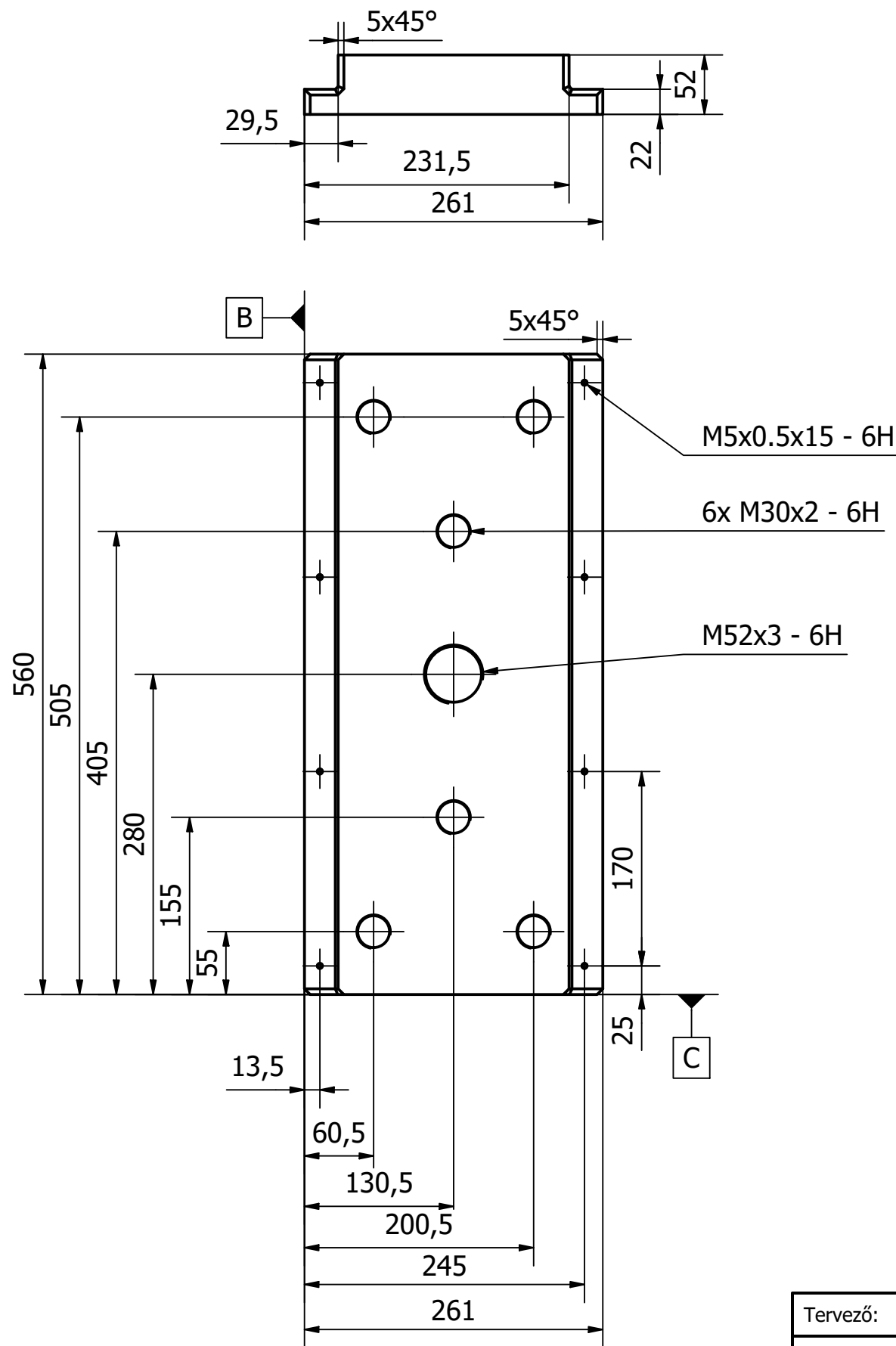


Furattábla						Zseb méretei				
Furat	Furat átmérő	X tengely	Y tengely	Süllyesztés átmérő	Süllyesztés mélység	Zseb mélység	H	Sz	R	P
A1	7	45,5	158,89	-	-	5	14	9,9	1	3,4
A2	7	92,5	158,89	-	-	5	14	9,9	1	3,4
A3	7	166,5	158,89	-	-	5	14	9,9	1	3,4
A4	7	213,5	158,89	-	-	5	14	9,9	1	3,4
A5	7	70,9	192,39	-	-	5	14	9,9	1	3,4
A6	7	188,4	192,39	-	-	5	14	9,9	1	3,4
A7	7	188,4	253,38	-	-	5	14	9,9	1	3,4
A8	7	70,6	253,39	-	-	5	14	9,9	1	3,4
A9	7	70,6	314,39	-	-	5	14	9,9	1	3,4
A10	7	188,4	314,39	-	-	5	14	9,9	1	3,4
B1	5	43,5	223,39	-	-	3	10	6,9	1	2,4
B2	5	97,5	223,39	-	-	3	10	6,9	1	2,4
B3	5	161,5	223,39	-	-	3	10	6,9	1	2,4
B4	5	215,5	223,39	-	-	3	10	6,9	1	2,4
B5	5	44,5	283,39	-	-	3	10	6,9	1	2,4
B6	5	96,5	283,39	-	-	3	10	6,9	1	2,4
B7	5	162,5	283,39	-	-	3	10	6,9	1	2,4
B8	5	214,5	283,39	-	-	3	10	6,9	1	2,4
C1	8	129,5	93,93	13	5	-	-	-	-	-
C2	8	49,5	348,89	13	5	-	-	-	-	-
C3	8	89,5	348,89	13	5	-	-	-	-	-
C4	8	169,5	348,89	13	5	-	-	-	-	-
C5	8	209,5	348,89	13	5	-	-	-	-	-
C6	8	71,5	398,39	13	5	-	-	-	-	-
C7	8	187,5	398,39	13	5	-	-	-	-	-



Tűrésezetlen méretek pontossága: ISO 2768 szabvány szerint!

Tervező:	Kurunczi Kristóf	Tárgy: Kidobótartó lap	M.a.:	Vállalat: Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szerkeztő:	Kurunczi Kristóf		1 : 5	
Rajzoló:	Kurunczi Kristóf		Tömeg:	
Ellenőr:			22.1 kg	
Kelt: 2024. 10. 31.		Anyag: 1.1730 (C45U)	Rajzszám: 10/7	
		Méret: 261 x 560 x 20		

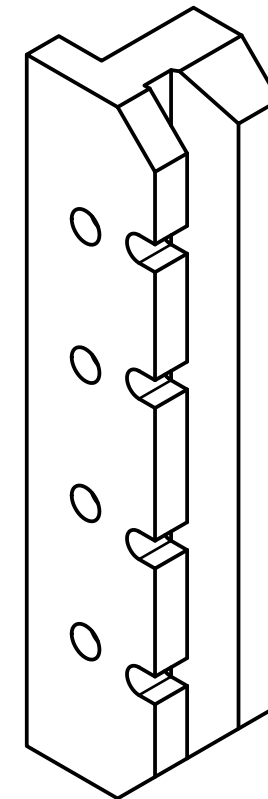
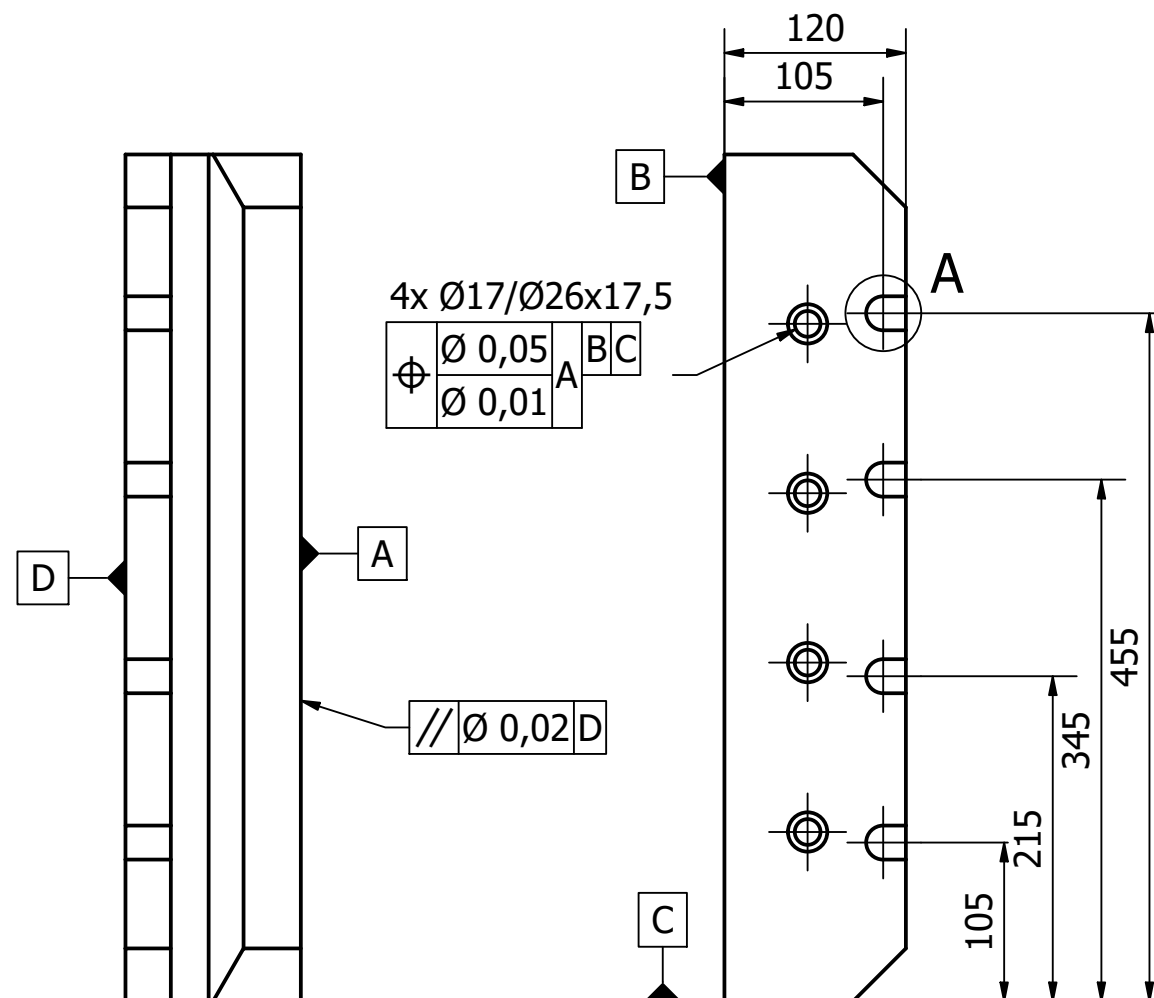
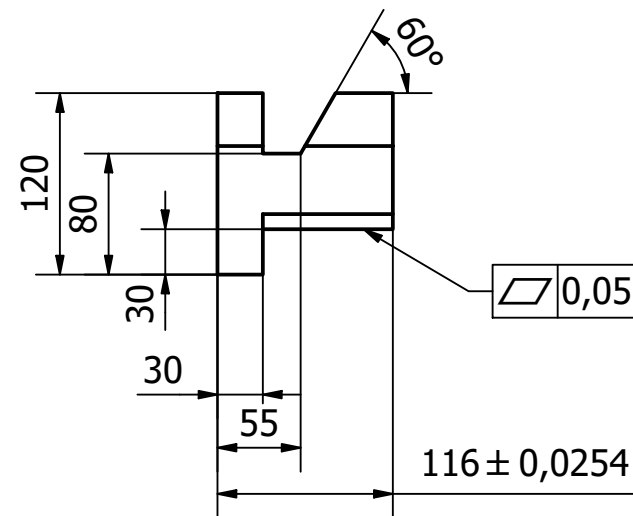
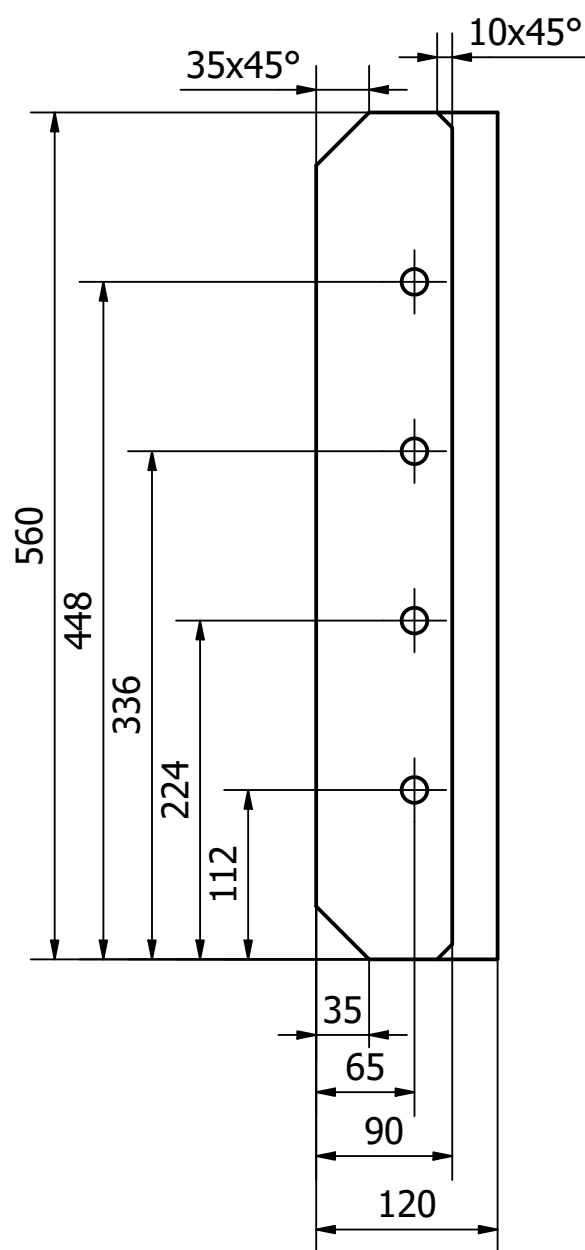


Minden furatra érvényes tűrések

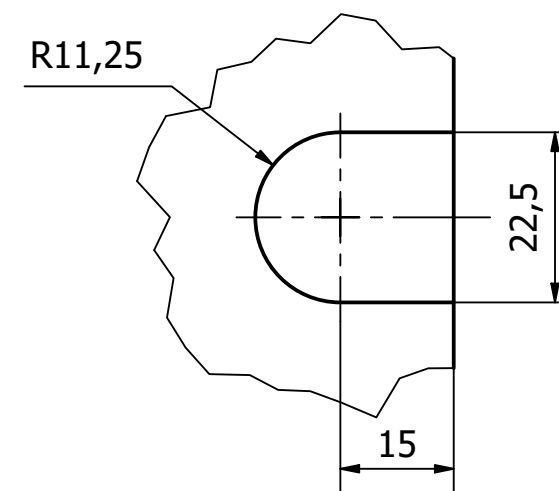
$\oplus$	$\emptyset 0,05$	A	BC
	$\emptyset 0,025$		

Tervező:	Kurunczi Kristóf	Tárgy:	M.a.:	Vállalat:
Szerkeztő:	Kurunczi Kristóf	Kidobólap	1 : 5	Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Rajzoló:	Kurunczi Kristóf		Tömeg:	
Ellenőr:			49.4 kg	
Kelt:	2024. 10. 31.	Anyag: 1.2343 (X37CrMoV5-1)	Rajzszám:	
		Méret: 261 x 560 x 52	10/8	

Tűrésezetlen méretek pontossága: ISO 2768 szabvány szerint!

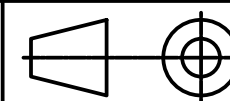


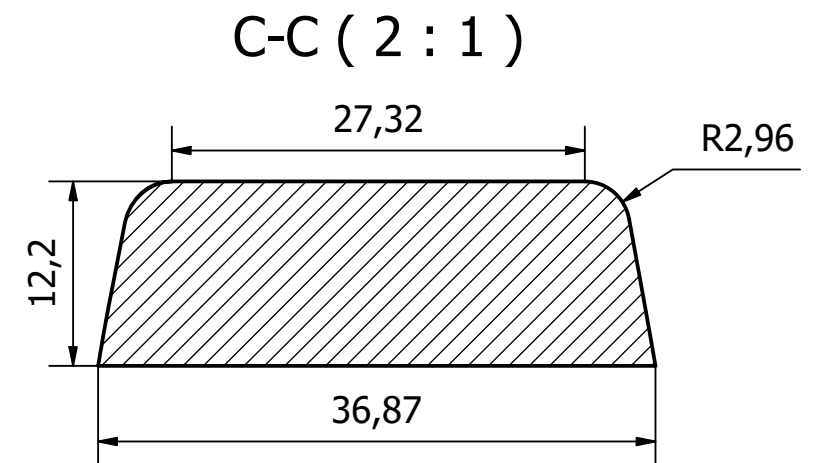
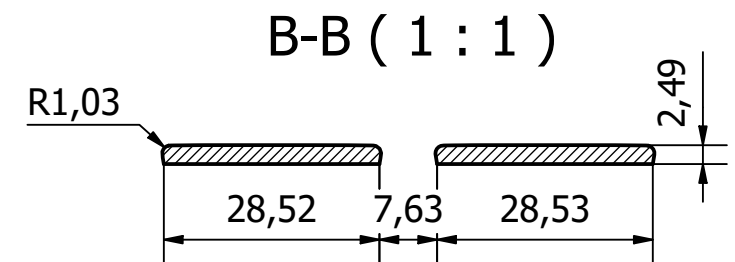
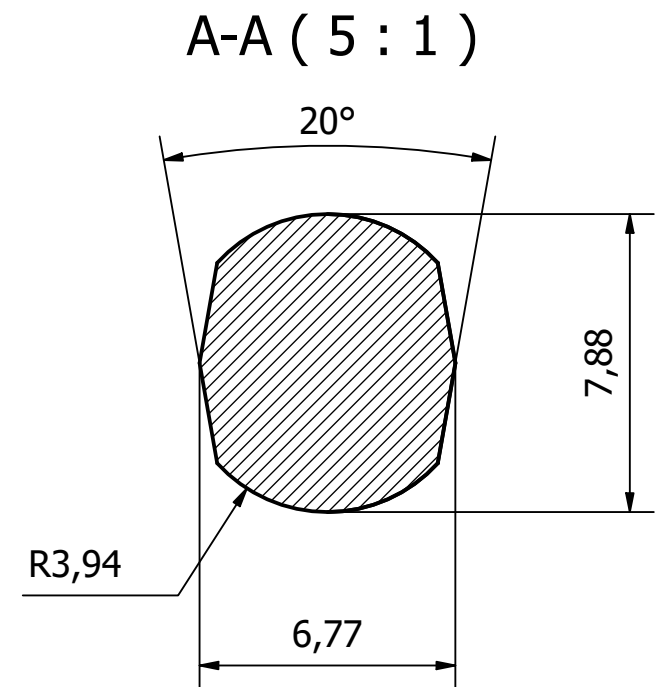
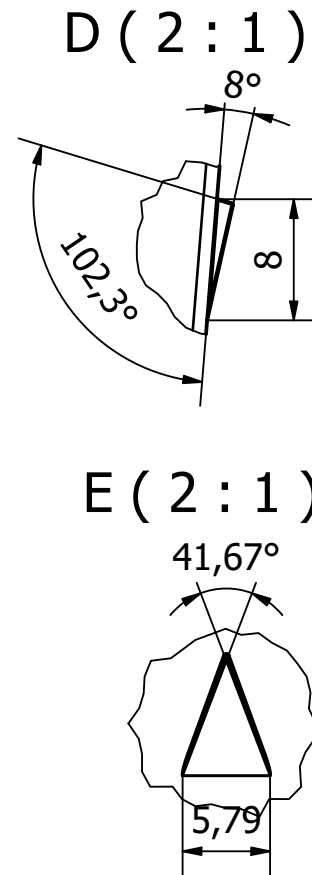
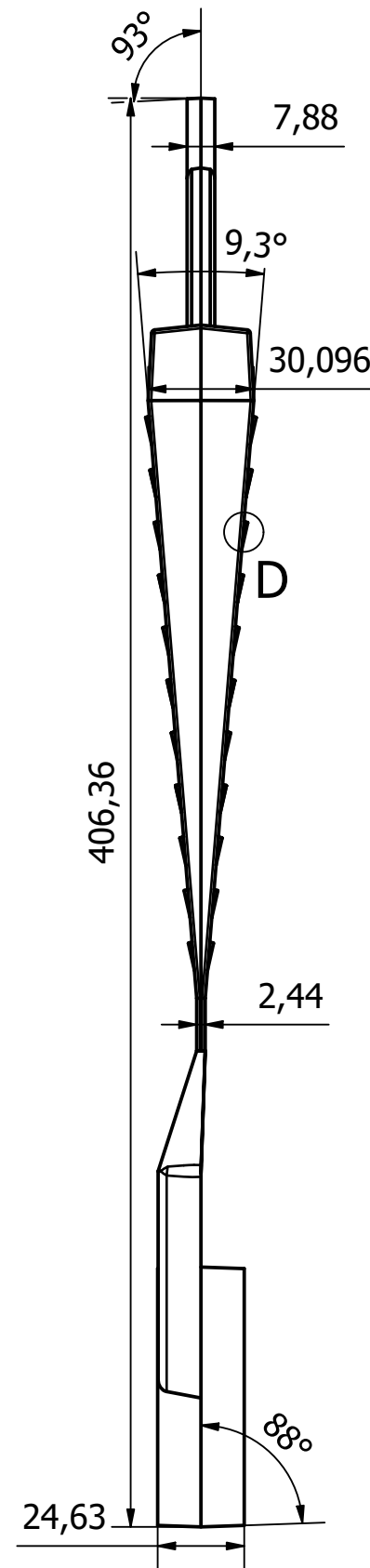
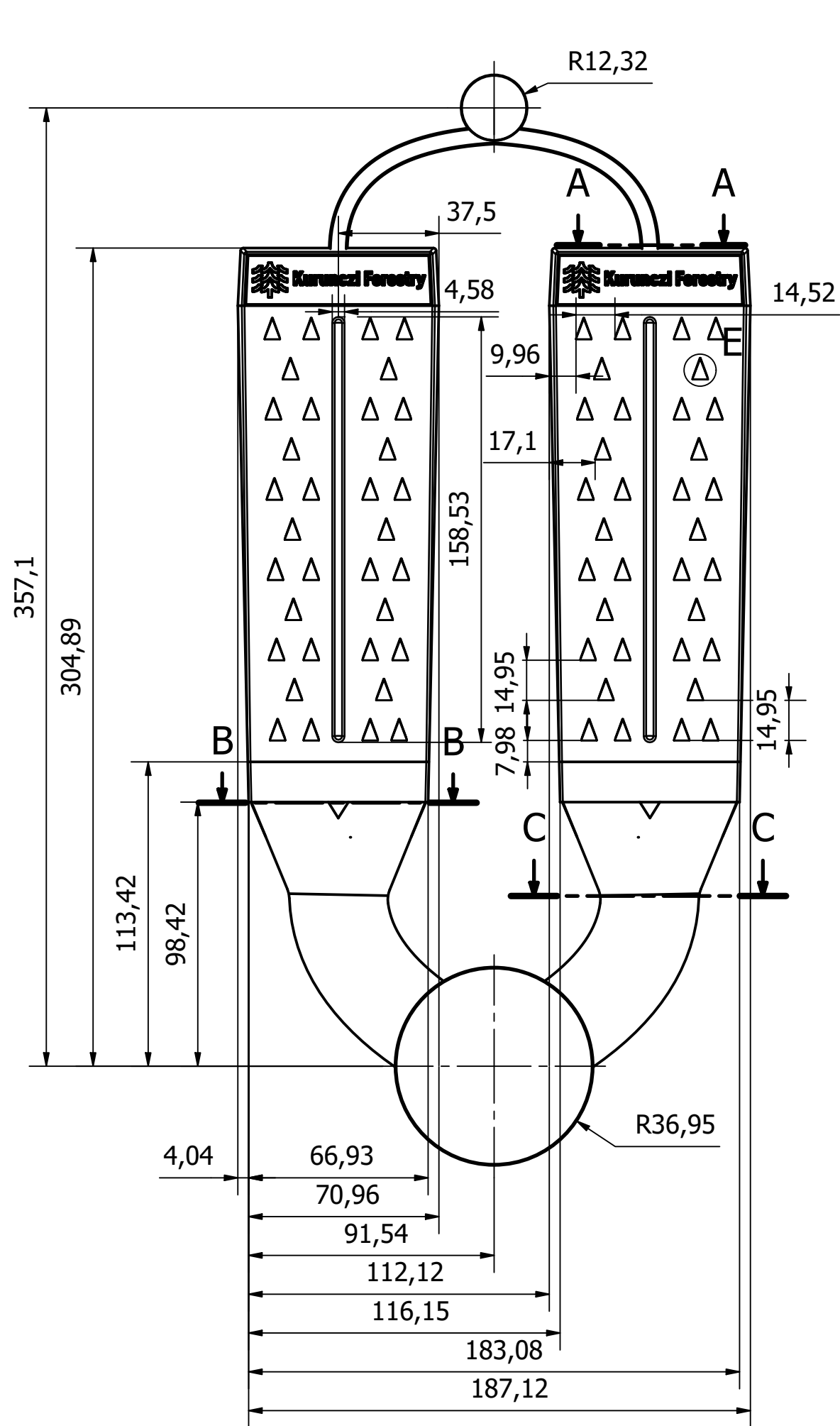
A (1 : 1)



Tűrésezetlen méretek pontossága: ISO 2768 szabvány szerint!

Tervező:	Kurunczi Kristóf	Tárgy: Szerszám felfogató hasáb	M.a.:	Vállalat:
Szerkeztő:	Kurunczi Kristóf		1 : 5	Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Rajzoló:	Kurunczi Kristóf		Tömeg:	
Ellenőr:			40.9 kg	
Kelt: 2024. 10. 31.		Anyag: 1.2343 (X37CrMoV5-1)	Rajzsám:	
		Méret: 120 x 560 x 116	10/9	





Tűrésezetlen méretek pontossága: ISO 2768 szabvány szerint!

Tervező:	Kurunczi Kírtóf	Tárgy:	Előgyártmány		M.a.:	1 : 2	Vállalat:	Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem	
Szerkeztő:	Kurunczi Kírtóf				Tömeg:	1.9 kg			
Rajzoló:	Kurunczi Kírtóf								
Ellenőr:									
Kelt:	2024. 10. 31.	Anyag:	EN AC-46500 [AlSi9Cu3(Fe)(Zn)]		Rajzszám:	10/10			
		Méret:	191,16 x 406,36 x 31						

NYILATKOZAT

Alulírott Kurunczi Kristóf, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Szent István Campus, gépészmérnöki szak nappali/levelező* tagozat végzős hallgatója nyilatkozom, hogy a dolgozat saját munkám, melynek elkészítése során a felhasznált irodalmat korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezeltem. Hozzájárulok ahhoz, hogy Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom egyoldalas összefoglalója felkerüljön az Egyetem honlapjára és hogy a digitális verzióban (pdf formátumban) leadott dolgozatom elérhető legyen a témát vezető Tanszéken/Intézetben, illetve az Egyetem központi nyilvántartásában, a jogi és etikai szabályok teljes körű betartása mellett.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: 2024. év 11. hó 05. nap



Hallgató

NYILATKOZAT

A dolgozat készítőjének konzulense nyilatkozom arról, hogy a Záródolgozatot/Szakdolgozatot/Diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A Záródolgozatot/Szakdolgozatot/Diplomadolgozatot záróvizsgán történő védelemre javaslom / nem javaslom*.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: 2024. év 11. hó 05. nap



Belső konzulens

*Kérjük a megfelelőt aláhúzni!