

Miskolci Egyetem
Anyag és Vegyészmérnöki Kar
Fémelőállítási és Öntészeti Intézet



TDK DOLGOZAT

CINK NYOMÁSOS ÖNTVÉNY GYÁRTÁSA ÉS VIZSGÁLATA

Laczkovich Gergely
MSc Kohómérnök hallgató

Konzulens: Dr. Molnár Dániel, egyetemi docens

Miskolc

2023

Tartalomjegyzék

1.	Absztrakt.....	3
2.	Irodalmi összefoglaló	4
2.1	Melegkamrás nyomásos öntés.....	4
2.2	Melegkamrás dugattyús öntőegység	5
2.3	A nyomásos öntés technológiai részfolyamatai	6
2.4	Cink alapú nyomásos öntészeti ötvözetek.....	9
2.5	Öntészeti szimuláció	10
2.5.1	Szimulációs vizsgálatok típusai	11
3.	Kísérleti munka	13
3.1	Az alkalmazott gyártástechnológia	13
3.2	A vizsgált öntvény geometriája.....	15
3.3	Az öntvény vizsgálata	16
3.4	Az öntvénycsokor bemutatása.....	18
3.5	Öntéstechnikai számítások	20
4.	4. Formatelés és dermedés vizsgálata szimulációval.....	24
5.	5. Öntési kísérletek	27
6.	Összefoglalás	35
7.	Irodalomjegyzék	36
8.	Mellékletek	38

1. ABSZTRAKT

A gyártástechnológiai módszerek fejlődése, a zöld technológiák elterjedése és a világpiaci helyzet újabb és újabb kihívások elő állítják a gyártó vállalatokat. Egy termékcsoport tervezése és fejlesztése mindezt jelentős szaktudást, energiát és tőkét igényel.

Napjainkban a korszerű öntödék törekednek a hagyományos üzemi módszerek és a számítógépes szimulációs eszközök alkalmazásával csökkenteni a tervezéshez és a folyamat fejlesztéshez szükséges időt, valamint költségeket. A szimulációs eszközök használata a nyomásos öntészeti technológiák esetében különösen jelentős, mivel ez az öntészeti technológiák közül a legnagyobb termelékenységgel rendelkező gyártási módszer. A nagyszériás gyártási volumen miatt a nyomásos öntvények főfelhasználója a gépipar és különösképpen a gépjárműipar, így, akár a néhány százalékos teljesítményjavulás is jelentős előrelépést jelent.

Dolgozatomban egy nyomásos öntvény geometriát választottam, melynek ismerttettem a gyártás technológiáját, modelleztem az öntvény geometriáját, majd az elkészített modellt felhasználva szimulációs vizsgálatot végeztem. A szimulációs vizsgálat során az üzemi körülmények kerültek definiálásra peremfeltételként. Vizsgáltam az öntvény gyártásának folyamatát, számítógépes szimulációs vizsgálatokat végeztem a formatelési és dermedési viszonyok vizsgálatára különböző kiindulási- és peremfeltételek esetén.

A legyártott öntvények közül véletlenszerűen választottam ki darabokat, melyeken relatív sűrűség és számított porozitás meghatározást végeztem. A választott alkatrészeken meghatározott helyen csiszolatot készítettem, majd mikroszkópos elemzést végeztem és a porozitási értékeket képelemzés segítségével értékeltem ki. A szimulációs eredményeket összehasonlítottam az egyes darabok csiszolataival. Az elvégzett komplex vizsgálati folyamat eredményeként javaslatot tettem a gyártástechnológia fejlesztésére.

2. IRODALMI ÖSSZEFOGLALÓ

Az öntészeti módszerek közül a nyomásos öntés a legelterjedtebb tömeggyártó eljárás. A nyomásos öntészet egy olyan fém alakadási technológia, mely során a folyékony fém nagy sebességgel kerül bejuttatásra az osztott tartós fémformába, ahol a dermedés során nagy nyomás hat rá. Az olvadék sebességét nagy nyomás biztosítja, így az nem függ a nehézségi erőhatástól, szemben a gravitációs öntéssel. Formatöltés közben az olvadt fém nagy sebességgel áramlik a forma egyes keresztmetszetein, ami bonyolult áramlási viszonyok kialakulását eredményezi. A bonyolult áramlási viszonyok révén a formába áramló fémolvadék bezárja a gázokat és gőzöket, ami gázbezáródásokat eredményez. Az öntvény dermedése közben a levegő-bezáródások összepréseléséhez nagy fémreható nyomás szükséges, melynek segítségével biztosítható a minőségi követelményeknek való megfelelés. Nyomásos öntéssel ezzel szemben megvalósítható a nagy áramlási fémsebesség, így vékony falvastagságú, összetett geometriájú öntvények gyártásához is alkalmazható.

A nyomásos öntéssel gyártott öntvények súlytartománya néhány grammtól kb. 50 kg-ig terjedhet. Az öntvények falvastagsága jellemzően 0,25-10,0 mm. A nyomásos öntési módszert főként cink, alumínium-, magnézium és rézötvözetek öntésére használják [1] [2] [3].

2.1 Melegkamrás nyomásos öntés

A nyomásos öntés egy olyan fémalakítási technológia, amelynek során az olvadt fémeket rendkívül rövid idő alatt, az ehhez szükséges nagy sebességgel juttatják az osztott tartós fémformába, ahol a megszilárdulás közben nagy nyomás hat rá. A formakitöltés így módon nem függ a nehézségi erő hatásától, hanem a folyékony fémre ható nyomásenergia kinetikai energiává való alakításán alapszik.

A formatöltés közben alkalmazott a nagy fémsebesség bonyolult áramlási viszonyok kialakulását idézi elő, melynek következtében a folyékony fém a formaüregben lévő levegő jelentős részét magába zárja. A rendkívül nagy fémre ható nyomás a megszilárdulás közben a levegő-bezáródások összepréseléséhez szükséges [1].

A nyomásos öntészeti eljárásokat, az öntőegységek alapján osztályozhatjuk: hidegkamrás gépek, melegkamrás gépek és különleges szerkezeti megoldású nyomásos öntőgépek. Dolgozatomban a melegkamrás nyomásos öntési módszerrel gyártott alkatrészekkel foglalkozom, így az irodalmi összefoglalóban is ezt mutatom be részletesen.

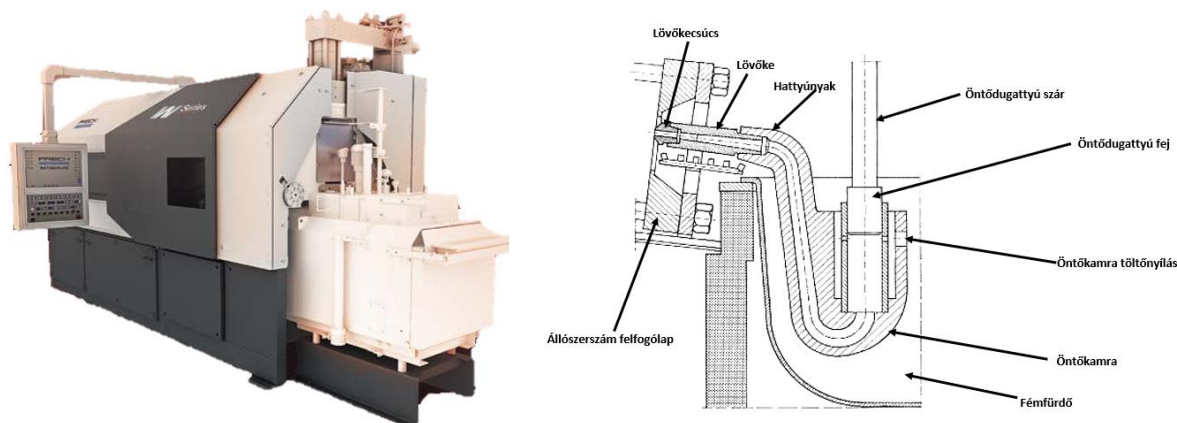
A melegkamrás öntési eljárást kis olvadáspontú nehézfém ötvözetek (ón, ólom, cink) öntésére használják. Kedvező tulajdonságai miatt a cink ötvözetekhez történő alkalmazása terjedt el a gyakorlatban, jó szakító szilárdságuk, kiváló felület tulajdonságaik és kedvező öntészeti tulajdonságaik miatt. [5]

A melegkamrás öntőgépeknél, az öntőkamra, az öntőgéppel egybeépített olvasztó-hőntartó kemencében merül a fémfürdőbe. Ebből a sajátosságából adódóan minimalizált az olvadék oxidációja, valamint a formatöltéshez szükséges hidraulikus energiaveszteség és a hőveszteség.

A melegkamrás öntéssel gyártott öntvények széles körben felhasználhatóak, a háztartási eszközöktől a különböző hétköznapi tárgyakig. Legnagyobb felhasználójuk a gépjármű és a gépipar. Az öntési idő, azaz az öntőforma megtelésének ideje, az öntvény kialakítását figyelembe véve 5-40 ms. Az öntvény megdermedéséhez szükséges idő szintén rövid. A magas fém-áram sebesség levegő bezáródásokat eredményez, ami porozitásként jelenik meg. Mivel nincs lehetőség hagyományos táplálásra, mint más öntészeti módszerek esetében, ezért nagy utánnyomás alkalmazása szükséges, mellyel a levegőbezáródások összepréselődnek és fémtáplálás biztosítható. Melegkamrás eljárás során 100-400 bar utánnyomás érhető el. A gyakorlatban a pneumatikus adagolású és hidraulikus (dugattyús) fémadagolású öntőegységek terjedtek el. Egyszerűsége és a könnyű üzemeltethetősége miatt, dugattyús öntőegység terjedt el a cink öntészetben [3] [4] [6].

2.2 Melegkamrás dugattyús öntőegység

Egy modern melegkamrás nyomásos öntőgép az 1. ábra bal oldalán látható. Melegkamrás dugattyús gépeknél az öntőegység folyamatosan a fémfürdőbe merül, lásd 1. ábra jobb oldal. Az öntőkamra anyaga hőálló acél vagy öntöttvas, míg a dugattyúszár acélból kerül kimunkálásra.



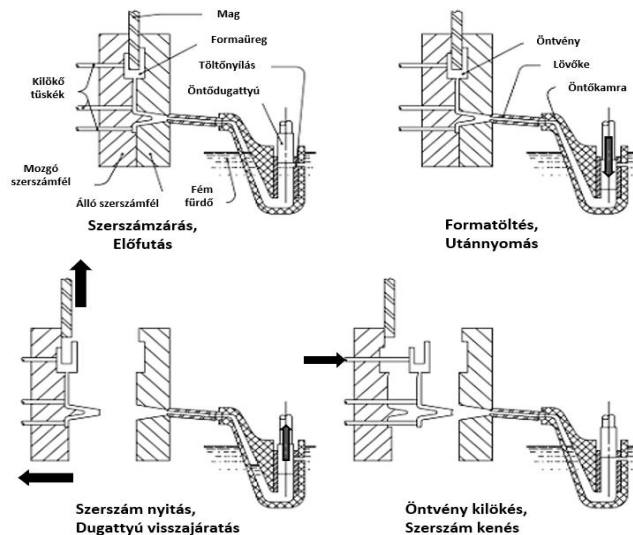
1. ábra Melegkamrás nyomásos öntőgép (bal) és öntőegysége (jobb) [2][5]

Az öntődugattyú fejét hőálló acélból, vagy berillium-bronzból készítik és tömítő gyűrűkkel látják el. A tömítő gyűrűk növelik az öntődugattyú élettartamát és megakadályozzák a nyomásvesztést, így egyenletesebb formatöltés érhető el. Az öntődugattyú felső helyzetében szabaddá teszi a fém beömlését az öntőkamrába. Adott esetben az olvadék tetején lebegő felületi szennyeződések és oxidok öntvénybe jutása szifonnal megakadályozható. Amennyiben nem szifonos az öntőkamra, akkor az öntőkamrába munkált töltőnyílás akadályozza meg a felületi szennyeződések kamrába jutását. Az öntődugattyú lefelé haladtában zárja le a befolyó nyílást és ennek hatására a fém a lövőkén keresztül az szerszámba nyomódik. Az öntődugattyú meghajtása a modern gépeknél hidraulikus. Az egyakkumulátoros gépeknél az előfutás és formatöltés alatt a hidraulikus folyadék a multiplikátor dugattyúban elhelyezett visszacsapó szelepen keresztül áthaladva jut el a hidraulikus dugattyú mögötti térbe, ahol nyomást gyakorol a nyomódugattyú felületére, ezáltal mozgatja azt. A két dugattyút (öntődugattyús és nyomódugattyú) tengely-kapcsolóval kapcsolják össze, így a kopó alkatrészek (öntődugattyú gyűrűk, öntődugattyú fej) könnyen cserélhetők. Az öntőegység hidraulikus rendszere nagy hőmérsékletnek van kitéve, ezért víz és alkohol egységnyi arányú elegyét használják hidraulika folyadéknak.

Az egyes ötvözetekhez és öntvényfajtákhoz való alkalmazkodás a dugattyú nyomásának vezérlésével lehetséges. A modern öntődugattyú vezérlései már valós időben képesek a sebességet szabályozni, hidraulikus szelepek segítségével. A vezérlőpult kezelő panelje valós időben követi nyomon az öntés folyamatát. A fémre ható nyomás 15-500 bar. A sorozatban gyártott cink öntvények maximális tömege 10 kg körüli. A lövésszám egyfészkes szerszámmal nagyobb öntvények esetén átlagosan 150 öntvény/óra lehet, de teljesen automatizált gépeknél és kis alkatrészek gyártásánál ennek többszöröse, akár 2000 öntvényt/óra is elérhető [4] [7].

2.3 Melegkamrás nyomásos öntés technológiai részfolyamatai

Melegkamrás eljárásnál az öntőgarnitúra lényeges részei az olvadékba merülnek. A melegkamrás gépek technológiai részfolyamatai (2. ábra) a következők:



1. Szerszám zárás
2. Öntés folyamata
 - a. Előfutás (I. fázis)
 - b. Formatöltés (II. fázis)
 - c. Utánn nyomás (III. fázis)
3. Dugattyú visszajáratás a kiinduló pozícióba
4. Szerszám nyitás
5. Öntvény eltávolítás, kilökés
6. Szerszám tisztítás, kenés

2. ábra Melegkamrás dugattyús nyomásos öntés technológiai részfolyamatainak vázlata [8]

Szerszám zárása

A formafelek zárásakor a záróegység hidraulikus rendszere mozgásba helyezi a könyökelős mechanizmust, amelynek hatására a mozgószerszám keretlap, a mozgó szerszámféllel a géposzlopokon megvezetve az álló oldalhoz siklik. A formafélre felszerelt magok, valamint a kulisszák visszahúzódnak hüvelyükbe. A magok mozgatása magmozgatószerkezettel kerülnek működtetésre, melyek mechanikusak és hidraulikusak lehetnek.

A formafelek összezárásakor a könyökelős mechanizmus még nem éri el a nyújtott helyzetét, hanem azt elérve a formafelek összenyomódnak és a géposzlopok kismértékben megnyúlnak, így a zárás biztosított [1] [8] [9].

Az öntés folyamata

A modern gépek fűtött lövőkével felszereltek, aminek köszönhetően az olvadt fém a lövőkéből visszafolyik a hattyúnyakon keresztül az öntőkamrába. Ez többek között megkönnyíti az öntvény eltávolítását is szerszámból. A lövőke fűtése szabályozott, cink ötvözeteknél $\sim 80-100^{\circ}\text{C}$ -kal magasabb, mint az öntési hőmérséklet. A lövőke lehet elektromos és gáz fűtésű is [2] [8] [10].

Melegkamrás nyomásos öntésnél, a hidegkamrás nyomásos öntésnél első fázisnak nevezett kamratöltés nincs értelmezve, mivel az öntőkamra teljes mértékben belemerül a fémfürdőbe. A fémbeszívás a kamrába automatikusan megy végbe, amint a dugattyú a felső holtponthelyzetét elérte, a kamra töltőnyíláson keresztül beáramlik a fémolvadék az öntőkamrába.

Az öntőgép beállítása modern gépeken vezérlő panelen keresztül történik. Ebben a fázisban a hidraulika folyadékot szivattyú szállítja a hidraulikus hengerbe, aminek hatására a hidraulikus

dugattyú elmozdul. Ennek következtében az öntődugattyú elindul lefelé lassú szabályozott ütemű mozgással, közben elzárja a kamra töltőnyílást ezzel megakadályozva az olvadék és levegő keveredését és a további fémbeáramlást a kamrába. Ezt a folyamatot előfutásnak nevezzük és addig tart, amíg a folyékony fém el nem éri a megvágást. Nagyobb öntvények esetén formaüregben 10-15%-os előtöltöttséget alkalmaznak a porozitás csökkentése miatt, ami azt jelenti, hogy a formaüreg térfogatának egy adott százaléka feltöltésre kerül olvadt fémrel [2] [7].

A formatöltés során az öntődugattyú eléri maximális sebességét, 1-3 m/s, továbbá a dugattyú ebben a fázisban teszi meg legnagyobb útját. Mikor az olvadék feltölti a teljes szerszámüreget, az öntődugattyú és a vele együtt mozgó tömeg felütközik az olvadékon, sebessége nullára csökken és a nyomás lökésszerűen megnő. A folyamat valós időben vezérlőpanelen nyomon követhető és kritikus nyomáscsúcsoknál a vezérlő egység beavatkozik és módosítja a dugattyúsebességet a beállításoknak megfelelően. Ezt a folyamatot az öntés 2. fázisának nevezik. Nyomásos cink öntvények öntésénél 5-50 ms öntési idő a jellemző [1] [8].

A gyors formaüreg feltöltés miatt az olvadék magába zárja az öntőszerszámban található levegő jelentős részét. Az öntőgépen olyan nyomásfokozó rendszert alkalmaznak, mely hidraulikus áttételként működik. A multiplikátor az öntőgép hidraulikus dugattyú áttételének segítségével megsokszorozza a nyomást. Ennek célja, hogy a még dermedő öntvényrészekre a lehető legnagyobb nyomást kifejtve minél kisebb térfogatra szorítsa a levegőbezáradást és részleges utántáplálást biztosítson. Ezt nevezzük utánn nyomásnak. A fémre ható nyomás 100-500 bar közötti érték [1] [7].

Szerszámnyitás

Miután az öntvény megszilárdult az öntődugattyú visszatér felső holtponthelyzetébe, amivel megtörténik az olvadék automatikus adagolása. Modern öntőgépeknél a lövőkéről nem kell lejártni az öntőszerszámot, mivel fűtött lövőkét alkalmaznak. Az olvadt fém így a dugattyú képezte vákuum miatt, valamint, mivel folyékony állapotban van, visszafolyik a kamrába. A kényszermozgatott szerszámelemek felveszik felső holtponthelyzetüket, közben a hidraulikával mozgatott részek hátra mozdulnak a meghatározott gépparaméterek szerint. Az öntvény a mozgó szerszámfélben marad [8].

Öntvény kilökés

A megdermedt öntényt, a mozgóoldali formafélből a kilökő lapra szerelt csapok előre tolják, így az a formafélből robot, vagy operátor által eltávolítható. Az öntvény eltávolításakor törekedni kell arra, hogy folyamat során az öntvény ne szenvedjen olyan sérülést, mely

Szerszámtisztítás és kenés

Az öntvény eltávolítása után a formafelek formaleválasztó anyaggal kerülnek lefűvásra, operátor vagy robot által. A formaleválasztó anyagok általában vízbázisúak és sűrített levegővel viszik fel a szerszám felületére. A porlasztott elegy nagy hőelvonásra képes, ezzel hűti a szerszámot, keni a szerszám felületeket megakadályozva ezzel a feltapadást és tisztítja is a felületeket. Egy öntési ciklus a formafelek zárásától a nyitásig tart [1] [11].

A cink (Zn) a legelterjedtebb kis olvadáspontú nehézfém az öntészetben, továbbá világon a negyedik legnagyobb mértékben feldolgozott fém. 2020-ban a világon 352,773 tonna cinköntvényt gyártottak [12]. A tiszta cink hexagonálisrács szerint kristályosodik, olvadáspontja 419°C, sűrűsége szilárd állapotban 7,1 g/cm³.

- Hipoeutiktikus ötvözetek: ~4% alumínium tartalommal
- Hipereutektikus ötvözetek: >5% alumínium tartalommal, lásd 5. ábra [3] [13] [14].

9

A hipoeutektikus ötvözetek csoportja az ún. ZAMAK 3, ZAMAK 5 és ZAMAK 7 jelű ötvözeteket tartalmazza. A ZAMAK elnevezés a fő alkotók, **Z**ink-**A**luminium-**M**agnesium-**K**opper rövidítéséből adódik.

A hipereutektikus ötvözetek csoportja az ún. ZA ötvözetek, pl. ZA-12, ZA-27, melyek jobb keménységi és szilárdsági értékekkel rendelkeznek, továbbá jobb a kopásállóságuk ezzel együtt szívósságuk csökken. Ezeket az ötvözetek a hidegkamrás nyomásos öntészetben és a gravitációs öntészetben alkalmazzák [3] [14] [15] [16].

Kísérleteim során egy ZAMAK 5 ötvözetből öntött alkatrészt vizsgáltam, mely ötvözet a legnagyobb mértékben elterjedt a melegkamrás nyomásos öntészetben.

A ZAMAK 5 ötvözet ZnAl4MgCu1 összetételű, egy szabványos öntészeti ötvözet, mely főötvözőként 4% alumíniumot tartalmaz. Az ötvözet melegkamrás öntéssel jól önthető, formakitöltő képessége jó. Az öntvényeket nagy méretpontosság és mérettartósság jellemzi. A cinkötvözetek hajlamosak az öregedésre, így a tervezői munka során figyelembe kell venni a méretváltozásokat. Az ötvözet elméleti összetételét a 1. táblázat mutatja be a szabvány alapján.

1. Táblázat A ZnAl4Cu1Mg ötvözet elméleti összetétele szabvány alapján, tömeg%

Al	Cu	Mg	Fe	Pb	Cd	Sn	Ni	Cr	Si
3,7-4,3	0,7-1,2	0,02-0,06	<0,05	<0,005	<0,004	<0,002	<0,02	<0,02	<0,035

Az ötvözet hipereutektikus háromalkotós ötvözetrendszer szerint kristályosodik, öntése nyomásos öntéssel előnyös. Relatív alacsony olvadáspontja miatt, kisebb az öntőszerszámra ható termikus igénybevétel, ezért általában a cinköntészetben használt szerszámok hosszabb élettartammal rendelkeznek, mint alumínium öntése esetén. Az ötvözet jó szilárdsági értékkel rendelkezik, jó a korrózióállósága és az öntvényeket kiváló felületi jellemzők jellemzik. Az ötvözet felületvédelmének növelése gyanánt kromatozás, foszfátózás, galvanizálás és anodizálás alkalmazható. Az ötvözet nem használható erős savakkal, lúgokkal vagy sókkal érintkező alkatrészek esetén. Forrasztani és hegeszteni a kristályközi korrózió kialakulása miatt nem tanácsos [17] [18] [19].

2.5 Öntészeti szimuláció

Vizsgálataim során az öntvény formatöltési, és dermedési viszonyait vizsgáltam, öntészeti szimulációs eszközök alkalmazásával. Az öntészeti szimuláció alkalmazásával egy egységes rendszerhez, elhanyagolva annak lényegtelen jegyeit, különböző számítási rendszereket tudunk

hozzárendelni, annak függvényében, hogy a valóságos rendszerhez viszonyítva a lezajló folyamatok melyik szempontja lényeges számunkra.

Egy és ugyanazon vizsgált rendszerhez (öntvény - forma - környezet), elhanyagolva annak lényegtelen jegyeit, különféle számítási modelleket rendelhetünk hozzá annak függvényében, hogy a valóságos rendszerben lejátszódó folyamatok melyik aspektusa érdekes számunkra, azt milyen pontossággal szeretnénk leírni (formatöltés, dermedés, visszamaradó öntési feszültségek kialakulása). A számítási modell megalkotását két, ellentétes kíváncsiság teljesítése befolyásolja [22] [23]:

- a modell minél jobban helyettesítse a valóságos testet és annak körülményeit
- a modell kevés időbefektetéssel jó közelítéssel meghatározható legyen.

Egy szimulációs vizsgálat első lépése a matematikai modell alkotása. Ez az áramlásra és a hőmérsékletre leírására vonatkozó alapegyenletek és határfeltételek előállítását jelenti. Az öntés közben lejátszódó folyamatok leírása parciális differenciál egyenletrendszerekkel történik. A matematikai modell előállítását követően szükséges egy alkalmas diszkretizációs módszer kiválasztása. Ez egy olyan közelítő módszer alkalmazását jelenti, amely során a rendelkezésre álló differenciálegyenleteket a bennük szereplő változók térben és időben felvett értékeinek felhasználásával egy algebrai egyenletrendszer formájában írjuk fel. Azok a diszkrét helyek a vizsgált térben, ahol a változók értékei a számítás végrehajtása során meghatározásra kerülnek, a felhasználó által létrehozott numerikus háló által kerülnek rögzítésre. A numerikus háló a vizsgált tartomány egy szükségszerűen diszkrét reprezentációja, amelyen a vizsgált probléma megoldásra kerül. A numerikus háló osztja fel a megoldási tartományt véges számú résztartománnyá.

A háló típusának kiválasztása után a következő feladat az alkalmazásra kerülő diszkretizációs módszereken belül, a közelítések meghatározása. A véges differencia módszernél az egyenletekben szereplő deriváltaknak a háló pontjaiban való közelítés formáját, véges elem módszernél pedig az elemeken belül értelmezett alakfüggvény és a súlyfüggvény alakját kell megválasztani. A nagyobb pontosság több csomópont alkalmazását eredményezi. A diszkretizáció eredménye egy nagyméretű nem-lineáris algebrai egyenletrendszer. A megoldás módszere függ a megoldandó problémától. Instacionér esetben közönséges differenciálegyenletek kezdeti érték problémáinak időben léptetett megoldása történik. Stacionér problémák általában iterációs eljárások alkalmazásával kerülnek megoldásra [22].

2.5.1 Szimulációs vizsgálatok típusai

Az öntés közben lejátszódó folyamatokat fő jellemzőik alapján két részre lehet osztani: anyag- és hőtranszport folyamatok. Attól függően kell választanunk a rendelkezésre álló

szimulációs módszerek közül, hogy melyik részfolyamatot akarjuk megfelelő pontossággal számítani.

1. Az anyagtranszport folyamatok azon szimulációs módszerekkel lehet elvégezni, melyek a Navier-Stokes áramlási egyenletet alkalmazásával egy kétegyenletes turbulencia modellt ír fel. Ez a közelítés a szabadságfokok mindhárom dimenziója esetén alkalmas az áramlási karakterisztikák számítására.
2. A hőtranszport folyamatok ún. tapasztalati-, részben tapasztalati- és fizikai alapokon nyugvó szimulációs programokkal számíthatóak.

A tapasztalati programokkal olyan egyszerű, ismétlődő folyamatokat tudnak leírni, ahol a változók kis határokon belül alternálnak (pl. hőcentrum számítása). A részben tapasztalati programok megfelelően tudják modellezni az olyan folyamatokat, ahol a változók intervalluma limitált és a lejátszódó fizikai változások egyszerűek és követhetőek.

A fizikai alapokon nyugvó programok alkalmazásával az öntés közben lejátszódó legtöbb folyamat megfelelő pontossággal számítható. Az eljárás a legtöbb ötvözetformázóanyag-környezet rendszer esetén jól alkalmazható modellt eredményez. Az ilyen programok általában a Fourier hőátadási egyenletet alkalmazzák, mely háromdimenziós hőátadást feltételez és a konvektív hőátadást is figyelembe veszi, amely főleg nagy öntvénykeresztmetszetek esetén lényeges. Az alkalmazott anyagok részletes hőfizikai adatai lehetővé teszik a hővezetés, a hőáramlás és a hősugárzás számítását egyenletrendszerekkel, amiket így a teljes folyamatra ki lehet terjeszteni. A közelítés lépcsőzetes, időtől függő analízis és lehetővé teszi a hőmérséklet extrapolálását minden helyen és időpillanatban [22].

3. KÍSÉRLETI MUNKA

TDK dolgozatom kísérleti munka részét a Veres Öntöde Kft-nél és a Miskolci Egyetem Fémelőállítási és Öntészeti Intézetében végeztem. A Veres Öntöde Kft-nél melegkamrás nyomásos öntéssel gyártanak öntvényeket, valamint megmunkálással, szerszámkészítéssel és összeszereléssel is foglalkoznak. A vállalat termékprofilja különböző felfogató elemeket, terepasztali modellek alkatrészeit és különböző szerszámalkatrészeket tartalmaz. A gyártott öntvények tömege maximálisan 1500 g. A cég éves szinten felhasznált alapanyag mennyisége ~1000 tonna. Az üzemben lévő FRECH márkájú melegkamrás öntőgépek a záróerő szerint osztályozva: 20-63-100-125-160-200 tonna.

3.1 Az alkalmazott gyártástechnológia

Az üzem gyártástechnológiáját a vizsgált öntvény gyártástechnológiájának bemutatásával kívánom ismertetni. Az öntöde ZAMAK 5 ötvözetből gyárt termékeket, mely összetétele:

Al:	3,7-4,3%
Cu:	0,75-1,25%
Mg:	0,03-0,06%
Zn:	maradék

Az adagösszeállítás külső beszállítótól vásárolt tömbökből és az öntődében visszaolvasztott, saját visszatérő hulladékból és selejt öntvényekből készített tömbökből történik. Az öntöde célja, hogy az anyagveszteség a lehető legkevesebb legyen így a technológiai hulladék, selejt és ki nem szállított öntvények újra tömbösítésre kerülnek. A saját visszatérő hulladék és selejt olvasztása egyedi készítésű, helyi elszívással rendelkező, villamos fűtésű, 500 kg kapacitású kemencében történik. Az olvadék beolvadása során EBA márkájú cinktisztító sót (2-18% CaF_2 ; 30-38% MgCl_2 ; 19-23% KCl ; 23-29% NaCl) szórnak a fürdő felületére és a fürdőt manuálisan átmozgatják, majd a keletkező salakot lehúzzák. Az olvadékot előmelegített kokillákba tömbösítik. Az öntőgépeknél a tömbök olvasztása az olvasztó-hőntartó kemencékben történik, minden nyomásos öntőgépnél egyedileg. A technológiai utasítás alapján az operátor adagolja a szükséges tömböket az olvadék szint csökkenése esetén.

A vizsgált öntvény egy 63 tonna záróerejű, DAW 63 FRECH márkájú melegkamrás nyomásos öntőgépen került legyártásra. Egy felújított DAW 63 FRECH márkájú öntőgép a perifériák nélkül és az üzemben lévő öntőgép perifériákkal a 4. ábrán látható, az öntőgép adatai a 2. táblázatban láthatóak.



4. ábra Felújított DAW 63 FRECH öntőgép és üzemben lévő öntőgép

2. Táblázat Az öntőgép adatai

FRECH DAW 63-as nyomásos öntőgép gépkönyvi adatai			
Záró erő	680 kN	Min.-max. szerszám magasság	160-400 mm
Zárási úthossz	260 mm	Öntési erő	68 kN
Kilökési löket, úthossz	70 mm	Öntési löket, úthossz	130 mm
Rendszer nyomás	105 bar	Öntési térfogat	119 / 165 / 214 cm ³
Oszloptávolság	321 x 321 mm	Specifikus öntőnyomás:	350 / 285 / 240 N/cm ²
Oszlopátmérő	64 mm	Dugattyú átmérők:	50 / 55 / 60 mm
Mozgó oldali keretlap méret	510 x 510 mm	Lökethossz	260 mm

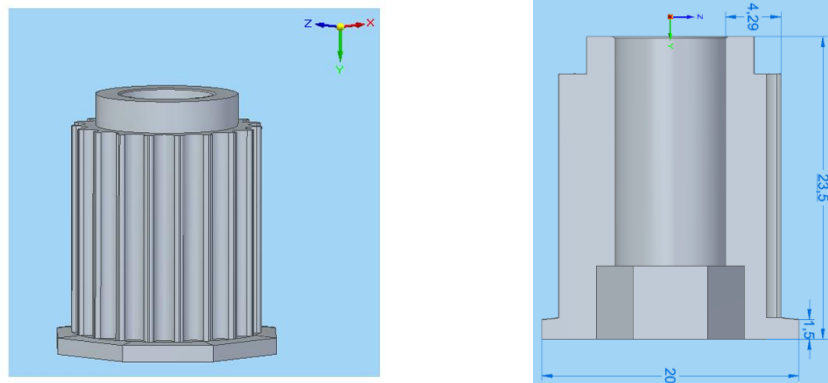
A kilökött öntvények az operátor által kerülnek eltávolításra az öntőszerszámból, majd a technológiai utasítást követve azokat ládákban tárolják. Miután a ládák megtelnek, az öntvények stancolásra kerülnek stancoló gépen, ahol levágásra kerül a beömlőcsatorna és a beömlőcsanak, továbbá a túlfolyózsákok. A stancolás során a vizsgált öntvény furatában található fánk is kivágásra kerül.

Stancolás után az öntvényeket ömlesztve tárolják és így kerülnek koptatásra. A vibrációs koptatóberendezés segítségével a stancolás utáni felületi egyenetlenségek (húzás nyomok) is eltűnnek. A koptató berendezés adag összeállítása üzemi tapasztalatok és a technológiai utasítás alapján történik. A választott geometriához tetraéder alakú koptató köveket alkalmaznak, a nedves koptatási idő adagonként kb. 15 perc.

A nedves koptatás után az öntvények egy öblítésen esnek át, mely a finom szemcsés szennyeződések eltávolítására szolgál. Az átöblített darabok ömlesztett állapotban kerülnek szárítóberendezésbe, majd a megfelelő szárítás után az öntvények ömlesztett állapotban kerülnek kiszállításra.

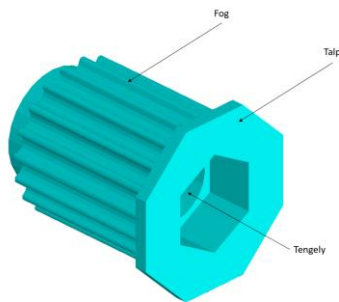
3.2 A vizsgált öntvény geometriája

A vizsgált öntvény egy fogaskerék geometria, mely egy kéziszerszám hajtásláncába kerül beépítésre és bordásszíj hajtáshoz kapcsolódik. A vizsgált öntvényt az üzemben különböző méretváltozatokban gyártják. A rendelkezésre álló öntvények közül a legkisebb méretű öntvényt vizsgáltam, melynek műszaki rajza a mellékletben látható. A műszaki rajz alapján készítettem el az öntvény 3D modelljét CAD modellezési eszközökkel, mely az 5. ábrán látható a befoglaló méretekkel.



5. ábra 3D modell és középvonali metszete a főméretekkel

Az öntvény nevezetes részeit a 6. ábrán láthatók, az öntvényt jellemző méreteket a 3. táblázat foglalja össze.



Befoglaló méretek	23,5 x 20 mm
Legkisebb falvastagság	1,5 mm
Legnagyobb falvastagság	4,29 mm
Belső furat átmérője	8,0 mm
Térfogat	3180 mm ³
Felület	2886 mm ²
Tömeg ($\rho=6,5 \text{ g/cm}^3$)	22 g

6. ábra Az öntvény nevezetes helyei

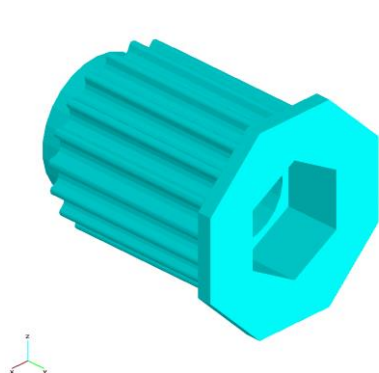
3. Táblázat Az öntvényt jellemző méretek

Az öntvénnel szemben támasztott követelmények a vevői igényeknek megfelelően a következők: kiváló felületi minőség, sorja- és fánccmentesség, kopásállóság és porozitás mentesség. A vevő részéről a kopásállóságot a fogaskerekkel szemben fellépő súrlódó igénybevétel indokolja, a felületi minőséget a kéziszerszám gyártó presztízse indokolja, míg a porozitás mentességet a működés közben keletkező mikrorepedések kialakulásának veszélye indokolja.

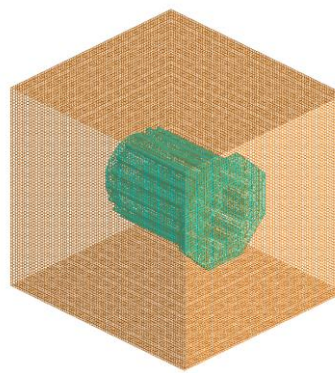
3.3 Az öntvény vizsgálata

Az elkészített 3D geometrián első lépésben ún. „Natural Erstarrung” vizsgálatot végeztem szimuláció segítségével. A vizsgálat során az öntvénygeometria egy befoglaló számítási tartományban kerül elhelyezésre a térben és a beállításoknak megfelelően azt vizsgáljuk, hogy a definíciószerűen adott kiinduló hőmérsékletű olvadékkal kitöltött öntvény hogyan viselkedik a dermedés során. Melyek az először- és utoljára dermedő öntvényrészek, milyen a dermedési karakterisztika, hogyan jellemezhető az öntvény geometria a hőhalmozódási helyek, a redukált falvastagság és a dermedés idő alapján. Vizsgálható továbbá, hogy táplálás hiányában mely öntvényrészek alakul ki fogyás.

A vizsgálat első lépése az öntvény beolvasása a szimulációs környezetbe és öntési helyzet megválasztása. A definiált geometria a 7. ábrán látható, az elhelyezett öntési helyzetben 8. ábrán látható.



7. ábra Öntvénygeometria az öntési helyzetben



8. ábra Az öntvény és a szerszám behálózott geometriája

A beolvasott öntvénygeometria körül definiálásra kerül a szerszám, azt figyelembe véve, hogy a legkisebb formafal vastagság 10 mm legyen. Ennek megfelelően a szerszám befoglaló méretei: 40x44x40 mm. Az elemi cella mérete: 0,56 mm. Az összes cellák száma: ~388 ezer db, az öntvényt leíró cellák száma: ~238 ezer db. A definiált kiindulási- és peremfeltételek a 4. táblázatban láthatóak.

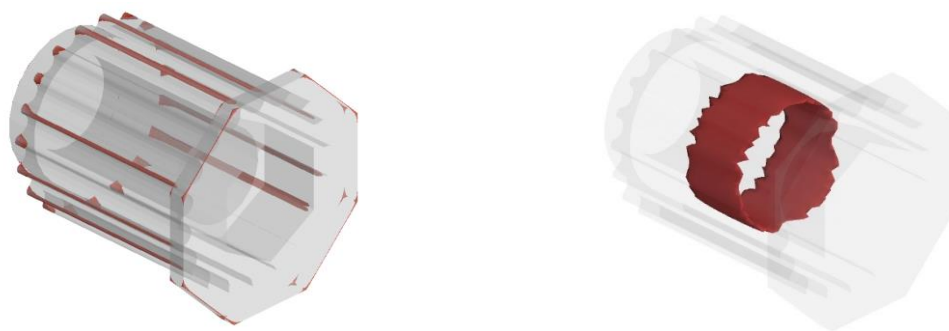
4. Táblázat Definiált kiindulási és peremfeltételek

Öntvény anyaga	Zamak-5 ötvözet
Ötvözet kiinduló hőmérséklete	449°C
Szerszám anyaga	1.2343 szerszámacél
Kiinduló hőmérséklete	120°C
Környezet anyaga	levegő
Hőmérséklete	20°C

Mivel az öntvény nyomásos öntéssel kerül legyártásra, így a kialakuló zsugorodási üregek helyzete független a gravitációtól, ezért a gravitáció hatását nem vettük figyelembe és fémre ható nyomásként a dermedés során 200 bar értéket állítottunk be.

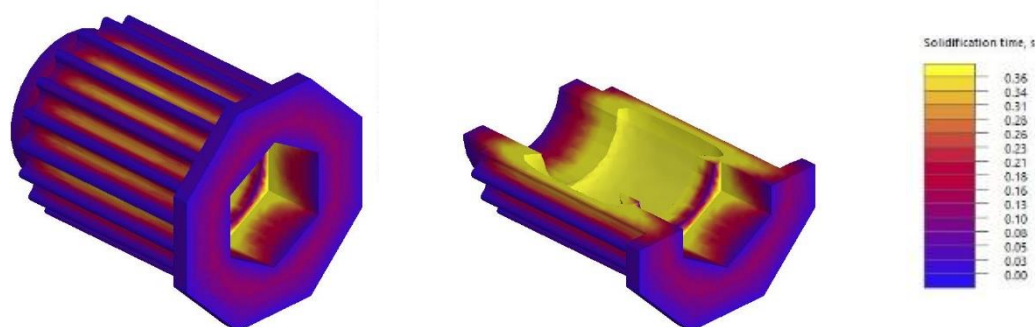
Az öntvény dermedésének folyamata a mellékletben, az 1. ábráson látható, folyékony fázis skála megjelenítésével: 5-95%. Az egyes képek alatt az idő (t) [s] és a folyékony fázis mennyisége (ff) [%] került feltüntetésre.

Az öntvény dermedése a fogazat csúcsában kezdődik, majd a talp rész és az azzal szemben lévő öntvényrész kis falvastagságú részei kezdenek megdermedni. Az öntvény dermedése egyenletesen halad a tengely rész irányába és az annak környezetében lévő anyaghalmozódási helyben található az öntvény utoljára dermedő része. Az először és az utoljára dermedő öntvényrészek a 9. ábrán láthatóak.



9. ábra Először (bal) és utoljára dermedő öntvényrészek (jobb)

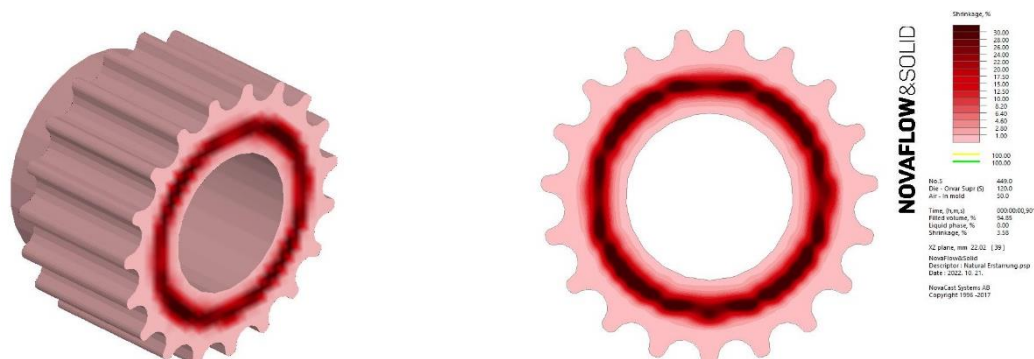
Az öntvény számított dermedési ideje 3D axonometrikus és 3D metszet nézeteken a 10. ábrán látható. Skála t_{derm} : 0,0-0,362 s.



10. ábra Számított dermedési idő

A fogak dermedési ideje $\sim 0,02$ s, míg a belső anyaghalmozódás dermedési ideje $\sim 0,48$ s. A dermedési idő megjelenítésénél is látható, hogy az öntvény középső részén egy anyaghalmozódás található, melyben adódik lokálisan a leghosszabb dermedési idő.

A táplálás hiányában kialakuló zsugorodási üregek jellemzik az öntvény geometriáját. A vizsgált esetben a zsugorodási üregek eloszlása az 11. ábrán látható. 3D metszet, skála: 1,0-30,0%



11. ábra Az öntvényben kialakuló zsugorodási üregek eloszlása

Az öntvény belső részében, a tengely környezetében alakul ki táplálás hiányában max. 30%-nyi térfogatnyi anyaghiány. Az öntvény szimulációval történő geometria analízise alapján elvégezhető a beömlőrendszer vizsgálata és valós kialakításának kritikája.

3.4 Az öntvénycsokor bemutatása

Az öntvény gyártása kétfézeszkesszámban történik. A 3D CAD modellt a leöntött csokorról levett méretek alapján készítettem el. A leöntött csokor geometria a 12. ábrán látható.



12. ábra Az öntvénycsokor

A csokor elkészített 3D CAD modellje különböző nézetekben a 2. ábrasoron, a mellékletben található.

A 3D csokormodell alapján készített műszaki rajz a fő méretekkel a 13. ábrán látható.

Az öntvényt és túlfolyó zsákokat egy kör keresztmetszetű, szerszámperselyben kialakított rész köti össze, mely úgy kerül kialakításra, hogy könnyen cserélhető legyen.

3.5 Öntéstechnikai számítások

A mellékletben található szakirodalmi méretezésnek megfelelően elvégeztem az öntvénycsokor alapján a vizsgált geometria ellenőrző számításait. Az öntéstechnikai számításhoz szükséges adatokat a 5. táblázat foglalja össze.

5. Táblázat Az öntéstechnikai számításhoz szükséges adatok

Olvadék:	ZnAl4Cu1Mg
Olvadék sűrűség, (ρ_{olv}):	6,4 g/cm ³
Sűrűség összetétel alapján szilárd állapotban, (ρ_{szil}):	6,7 g/cm ³
Az öntvény tömeg, ($m_{önt}$):	22 g
Öntvény és túlfolyók tömeg, ($m_{önt.+túl}$):	39 g
Az öntvénycsokor tömeg, (Σm):	110 g
Fészekszám, (n):	2
Megvágás teljes keresztmetszet, (A_{meg}):	0,64 cm ²
Szétfeszítő felület, (A_{szf}):	155 cm ²
Öntőkamra átmérő, ($\varnothing D_{kamra}$):	5,5 cm
Öntőkamra keresztmetszet, (A_{kamra}):	23,76 cm ²
Öntvény és túlfolyók térfogat, ($V_{önt.+túl}$):	5,625 cm ³
Az öntvény csokor térfogat, (ΣV):	16,478 cm ³

A méretezés során a méretpontosság teljesítésének függvényében történt az öntési paraméterek meghatározása. Ennek feltétele, hogy a 2. fázishoz tartozó dugattyúmozgás megfelelően legyen beállítva, elkerülve ezzel a nyomás csúcsokat. Ezért kis utánnomás alkalmazása szükséges a méretpontossághoz, míg kiváló felületi minőség rövid öntési idővel érhető. Ezek alapján az öntvénnel szemben támasztott követelmények teljesítéséhez szükséges paraméterek szakirodalom alapján kerültek meghatározásra:

$$\text{Áramlási sebesség a bekötő csatornában:} \quad v_2 = 40 \frac{m}{s}$$

$$\text{Fémre ható nyomás dermedés közben:} \quad p_{3M} = 200 \text{ bar}$$

$$\text{Rávágás keresztmetszete:} \quad A_{meg} = 64 \text{ mm}^2$$

Az öntőgép kiválasztása

Az öntőgép kiválasztása során legfontosabb meghatározandó paraméter a formafeleket szétfeszítő erő, ugyanis ez szükséges a megfelelő záróerejű öntőgép kiválasztásához:

$$F_{\text{záró}} = 1,3 \cdot P_{3M} \cdot A_{\text{szf}} = 1,3 \cdot 2000 \left[\frac{N}{\text{cm}^2} \right] \cdot 155 [\text{cm}^2] = 403000 [N] = 403 [kN]$$

Az üzemi körülmények között alkalmazott FRECH DAW 63-as típusú nyomásos öntőgép gépkönyvi adatok alapján megfelel a záróerő szempontjából. Az öntéshez szükséges, hogy visszaellenőrizzük, mekkora az a legnagyobb fémre ható nyomás, mellyel szemben az öntőgép zárórendszere még képes ellen tartani:

$$p_{\text{max}} = \frac{F_{\text{záró}}}{A_{\text{szf}}} = \frac{403000 [N]}{155 [\text{cm}^2]} = 4064,51 \left[\frac{N}{\text{cm}^2} \right] = 406,4 \text{ bar}$$

Mivel a legnagyobb fémre ható nyomás (p_{max}) nagyobb, mint az utánnyomás (p_{3M}) nagysága ezért kijelenthető, hogy az alkalmazni kívánt öntőgép alkalmas a gyártásra. A záróerőnél az optimális a hidraulikus folyadékok terhelésének szempontjából, ha a választott gép maximális záróerejének 80%-át nem haladja meg az öntvény gyártáshoz szükséges záróerő értéke. Ennek ellenőrzése az alábbi összefüggés alapján lehetséges:

$$100 \cdot \frac{403000 [N]}{630000 [N]} = 64\%$$

Öntési idő

Az öntvény modulja, mely a dermedési idő kiszámításához szükséges, az öntvény legkisebb falvastagságának a fele, ez utóbbi a vizsgált esetben esetünkben 1,5 mm.

$$M = \frac{s}{2} = \frac{1,5}{2} = 0,075 [\text{cm}]$$

ahol (M) az öntvénymodul, (s) pedig a legkisebb falvastagság.

A számított dermedési idő a modul négyzetének, valamint az öntvény és szerszám viszonyából képzett dermedési állandó szorzata:

$$t_d = C_1 \cdot M^2 + C_2 = 20 \left[\frac{\text{sec}}{\text{cm}^2} \right] \cdot 0,075^2 [\text{cm}] + 0,004 \text{ sec} = 0,1165 \text{ sec}$$

Ahol (C_1) a dermedési állandó, (C_2) a túlhevített olvadék hűlési ideje, (s) pedig az öntvény modulja.

Az optimális öntési idő, szakirodalom alapján, 10%-a a dermedési időnek:

$$t_{\text{ö}} = t_d \cdot 0,1 = 0,1165 [\text{sec}] \cdot 10 = 11,65 \text{ ms}$$

Az öntődugattyú sebességprofilja

Az öntődugattyú sebességét az öntvénnel szemben választott követelményeknek megfelelően számítottam ki. Az öntődugattyú sebessége a mások fázisban a kontinuitás egyenlete alapján a következő:

$$A_{meg} \cdot v_{meg} = v_{2d} \cdot A_{dug}$$

A kamra átmérőjéből meghatározható az öntődugattyú keresztmetszete:

$$A_{önt.dug.} = \frac{D_{kamra}^2 \cdot \pi}{4} = \frac{0,055^2 [m] \cdot \pi}{4} = 2,376 \cdot 10^{-3} [m^2]$$

Behelyettesítés után:

$$v_{2dug} = \frac{A_{meg} \cdot v_{meg}}{A_{önt.dug.}} = \frac{64 \cdot 10^{-5} [m^2] \cdot 40 \left[\frac{m}{s}\right]}{2376 \cdot 10^{-6} [m^2]} = 1,077 \left[\frac{m}{s}\right]$$

Üzemi körülmények között az öntődugattyú sebessége 0,8 m/s értékkel került beállításra. A beállított dugattyú sebességhez tartozó rávágás sebesség a következő:

$$v_{meg} = \frac{v_{2dug} \cdot A_{önt.dug.}}{A_{meg}} = \frac{0,8 \left[\frac{m}{s}\right] \cdot 2,376 \cdot 10^{-3} [m^2]}{64 \cdot 10^{-5} [m^2]} = 29,7 [m/s]$$

A második fázisban az öntődugattyú juttatja be az olvadékot, mely feltölti a formaüreget. A térfogatáram meghatározása a kamra keresztmetszet és az öntődugattyú sebességével a következő:

$$Q = A_{kamra} \cdot v_{2dug}$$

A számított térfogatáram behelyettesítés után:

$$Q = \left(\frac{D_{dugattyú}}{2}\right) \cdot \pi \cdot v_{2dug} = \left(\frac{0,055 [m]}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot 1,077 \left[\frac{m}{s}\right] = 25588 \cdot 10^{-7} \left[\frac{m^3}{s}\right]$$

Az üzemi körülmények között beállított térfogatáram:

$$Q_{üzemi} = \left(\frac{D_{dugattyú}}{2}\right) \cdot \pi \cdot v_{2dug} = \left(\frac{0,055 [m]}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot 0,8 \left[\frac{m}{s}\right] = 19173 \cdot 10^{-7} \left[\frac{m^3}{s}\right]$$

A térfogatáram értékeket felhasználva kiszámítottam a valós üzemi és számított öntési időket, amiket összehasonlítottam az öntvénymoduljából számított öntési idővel.

$$t_{össz} = \frac{V_{ö+t}}{Q}$$

Behelyettesítés után:

$$t_{össz.üzemi} = \frac{V_{ö+t}}{Q_{üzemi}} = \frac{1125 \cdot 10^{-7} [m^3]}{19173 \cdot 10^{-7} \left[\frac{m^3}{s}\right]} = 0,5868 \text{ sec} = 5,868 \text{ ms}$$

Míg a számított öntési idő a következő:

$$t_{össz.} = \frac{V_{\ddot{o}+t}}{Q} = \frac{1125 \cdot 10^{-7} [m^3]}{25588 \cdot 10^{-7} \left[\frac{m^3}{s} \right]} = 0,439 \text{ sec} = 4,4 \text{ ms}$$

$$t_{\ddot{o}} = t_d \cdot 0,1 = 0,1165 [sec] \cdot 10 = 11,65 \text{ ms}$$

Összevetve az öntési időket a dermedés alapján meghatározott öntési idővel a különbség elhanyagolható, továbbá a szakirodalmi ajánlásnak (5-40 ms) megfelel. [21]

Az valós formatöltési idő kiszámítása után az öntődugattyú 2. fázishoz tartozó kapcsolási pontja a következő:

$$L_2 = \frac{V_{\ddot{o}nt.+t\ddot{u}l.}}{A_{kamra}} = \frac{1125 \cdot 10^{-8} [m^3]}{2376 \cdot 10^{-7} [m^2]} = 0,00473 [m] = \sim 5 [mm]$$

A számított kapcsolási pont az után nyomás kapcsolási pontja 5 mm ehhez kell még hozzáadni a tömörítési úthossznak, mely ebben az esetben jellemzően 3-4mm. Tehát az utánnyomás ~ 9 mm dugattyú úthossz alatt történik.

A szimulációs vizsgálatához felhasználásra került az üzemi öntődugattyú (v_{2d}) $\pm 20\%$ -al módosított sebességek, melyek így a következők:

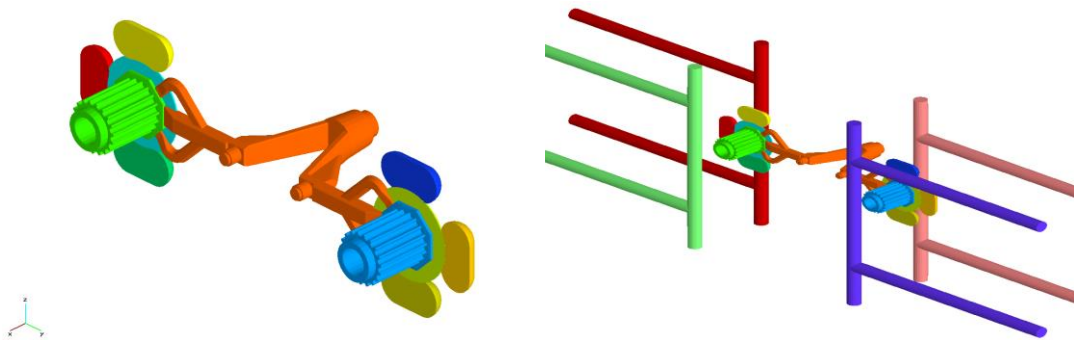
$$v_{2d-20\%} = 0,8 \left[\frac{m}{s} \right] \cdot 0,8 = 0,64 \left[\frac{m}{s} \right]$$

továbbá:

$$v_{2d+20\%} = 0,8 \left[\frac{m}{s} \right] \cdot 1,2 = 0,96 \left[\frac{m}{s} \right]$$

4. FORMATELÉS ÉS DERMEDÉS VIZSGÁLATA SZIMULÁCIÓVAL

Az elvégzett ellenőrző számítások alapján meghatározott gyártási paraméterekkel szimulációs vizsgálatokat végeztem, a formatelési és dermedési viszonyok vizsgálata céljából. A szimulációs vizsgálatok előkészítő részének első lépése a figyelembe venni kívánt CAD geometriák beolvasása és az öntési helyzet meghatározása a koordinátarendszer függvényében, 14. ábrán látható. A beolvasott geometria a vizsgált öntvényfészkeket, a túlfolyókat a beömlőrendszert és a hűtő-fűtő csatornákat tartalmazza. A hűtőrendszer fészkenként egy álló oldali- és egy mozgó oldali hűtőcsatornát tartalmaz, melyek átmérője egységesen 8 mm.



14. ábra A beolvasott öntvénycsokor geometria és temperáló körök

A beolvasott modellek hálógenerálása során kerül kialakításra a vizsgált geometriák körül definiálandó szerszám közelítő geometriája.

Alkalmazott cellaméret:	1,8 mm
Összes cellák száma:	1126317 db
Öntvényt leíró cellák száma:	5554 db
Öntött fém közelítő tömege:	0,103 kg
Szerszám befoglaló mérete:	132 x 250 x 200 mm

Következő lépésben definiáltam az öntvény-forma-környezet anyagtulajdonságait. Az öntött cinkötvözet jele: ZAMAK 5, melynek összetétele: 94,64% Zn, 4,3% Al, 0,06% Mg, 1,0% Cu.

A vizsgált ötvözet (ZAMAK 5) és szerszámanyag (1.2343), szimulációs adatbázisban lévő fizikai- és hőfizikai értékei a hőmérséklet függvényében kerültek definiálásra: hővezető képesség, fajlagos hőkapacitás, sűrűség, viszkozitás, hőátadási tényező. Az öntvény-forma-környezet további anyagaira (levegő, hűközeg stb.) vonatkozó tulajdonságok a szimulációs adatbázisból kerültek kiválasztásra [5].

Három szimulációs vizsgálatot végeztem, rendre A, B és C jelűek, melyeknél változó a dugattyú sebessége volt. A számítás kiindulási- és peremfeltételei a 6. táblázatban láthatóak.

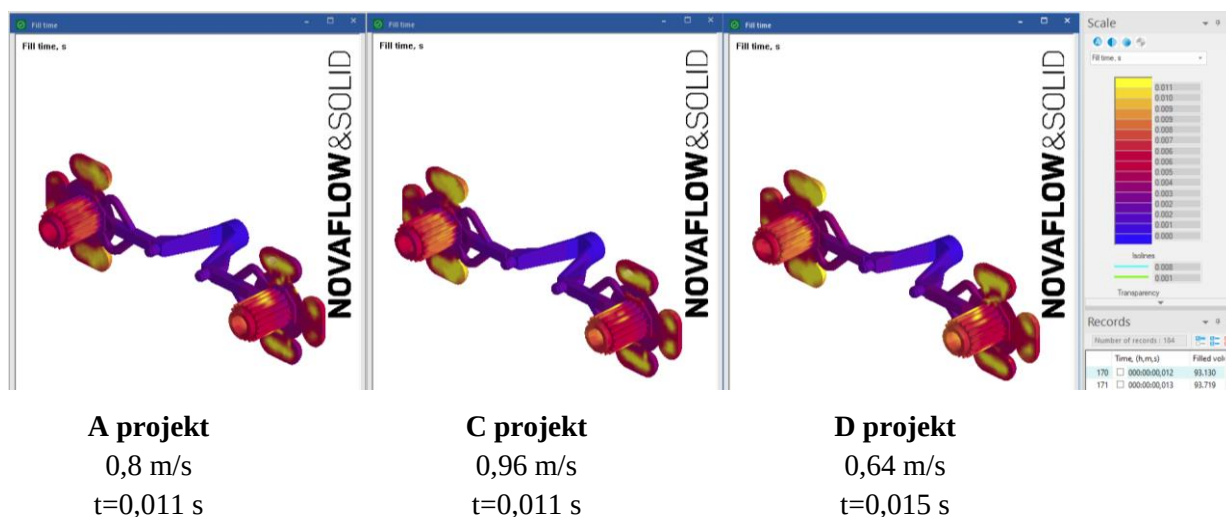
6. Táblázat Kiindulási és peremfeltételek

Elemi cella mérete:	1,8 mm	Szerszámméret:	131 x 250 x 200 mm
Olvadék:	Zamak 5	Öntési hőmérséklet:	449°C
Szerszám:	1.2343 szerszámacél	Szerszám hőmérséklet:	120°C
Hűtőközeg:	Víz	Hőmérséklet:	20°C
Térfogatáram:	0,17 l/s	Hűtőfolyadék nyomása:	1 bar
Dugattyú átmérő:	55 mm	Utánnomás:	200 bar
Dugattyú sebesség:	A projekt	C projekt	D projekt
	kiinduló	20%-kal növelt	20%-kal csökkentett
	0,80 m/s	0,96 m/s	0,64 m/s

A kiinduló dugattyúsebesség az üzemi érték alapján (0,80 m/s) került meghatározásra és ehhez képest választottunk 20%-kal nagyobb és 20%-kal kisebb értékeket a vizsgálataink során. Számításaim során meghatároztam az egyes dugattyúsebességekhez tartozó rávágásbeli sebességeket, melyeket a szimuláció eredményeinek ellenőrzésénél használtam.

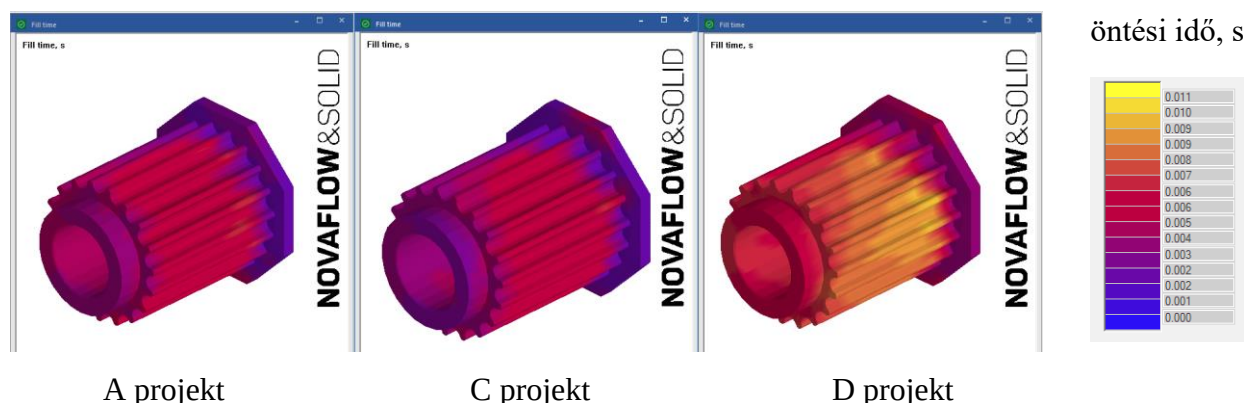
Az A jelű projekt (0,8 m/s dugattyúsebesség) formatelése az 3. ábrason látható, mely a mellékletben kerül bemutatásra. Sebesség skála: 0,0-60,0 m/s.

Az egyes dugattyúsebességekkel végzett öntések esetén megállapítható, hogy a formatelési karakterisztika azonos, de az egyes öntvényekhez tartozó formatelési időkből eltérés tapasztalható, lásd 15. ábra. Formatelési idő skála: 0,0-0,011 s.



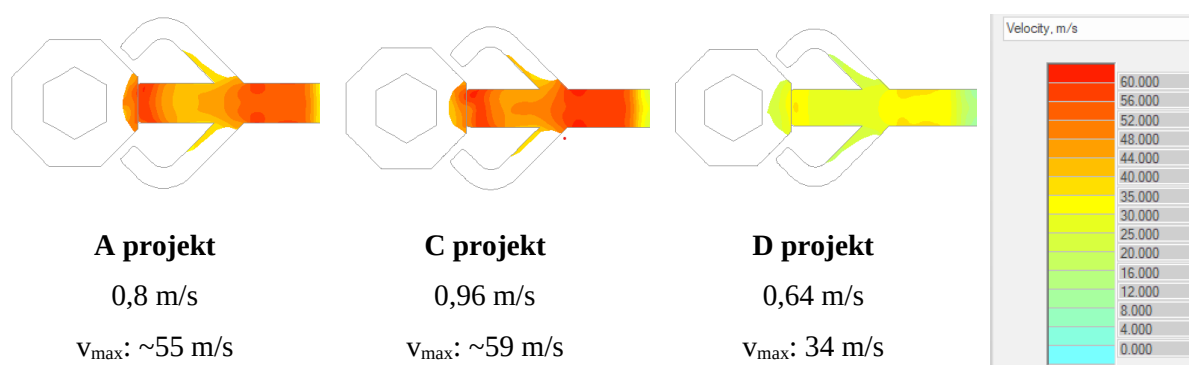
15. ábra Az egyes formatelési idők

Az 1. fészekben lévő öntvények formatelési ideje az 16. ábrán látható. Sebesség skála: 0,0-0,011 s.



0,96 m/s dugattyú értéknél a legrövidebb a formatelési idő, míg 0,64 m/s értéknél a leghosszabb. Levegőbezáródás az öntvénybe egyik vizsgált esetben sem történik.

Az 1. fészek rávágásának 2D metszetének definiálása és az áramlási sebességek az 17. ábrán láthatóak. Sebesség skála: 0,0-60,0 m/s.



Az elvégzett szimulációs vizsgálatok alapján megállapítható, hogy az üzemi gyártás során alkalmazott 0,80 m/s dugattyú sebesség esetén a formatelési viszonyok a vizsgált csokorgeometria esetén megfelelőek. A formaüregben lévő levegő jelentős része a kilevegőző zsákokba távozik, míg egy része (az öntvény térfogatának 12,1%-a) nem tud kilevegőzni, így az oda bezárt levegő fog az olvadékba bekeveredni, melyre az utánnyomás hat. Ez a valós öntvényen gázporozítások formájában fog megjelenni.

5. ÖNTÉSI KÍSÉRLETEK

A vizsgált öntvények gyártása az üzem gyártástechnológiáját bemutató fejezetben leírtaknak megfelelően történt, normál üzemi termelés mellett. A vásárolt és a visszatérő anyagból gyártott tömbök olvasztása a FRECH DAW 63 típusú öntőgép hőntartó és olvasztó berendezésében történt. Az öntőberendezés részegységeinek hőmérsékletét a tégelyben, az öntőkamrában és a lövőkében monitorozzák a névleges és valós mért hőmérsékletek ellenőrzésével. Az öntőgép vezérlése vezérlőpanel segítségével történik, ahol az egyes értékek a technológus által meghatározott értékek, valamint a gyártás közbeni tapasztalatok alapján kerülnek beállításra. Az öntvények kilökése gépi úton történik, a csokrot az operátor veszi el, az öntvényeket ládába gyűjtik és viszik el stancolásra. Stancolás után a darabokat az ismertetett módon koptatják, majd szárítják és az öntvények kiszállításra kerülnek.

Az öntött alkatrész gyártásával kapcsolatosan, vizsgálataim során, hibajelenség az üzemben nem lépett fel. Az öntvények épségét az operátor vizuálisan ellenőrzi és a hibás darabok visszaolvasztásra kerülnek. Az üzem részéről hiányos és sérült darabok nem kerülnek kiszállításra. A vizsgált öntvénnel kapcsolatosan vevői selejt visszajelzés nem történt.

A legyártott öntvények közül 12 db került véletlenszerűen kiválasztásra az egy műszakban legyártott mennyiségből. Egy ciklus 20-25 s ideig tart, az operátor tapasztalatának függvényében, egy műszak során a gyártási norma 800 lövés. A kiválasztott öntvények között voltak öntött állapotúak, valamint stancolás és koptatás utáni darabok. A kiválasztott öntvények különböző nézetekben az 18. ábrán láthatóak.



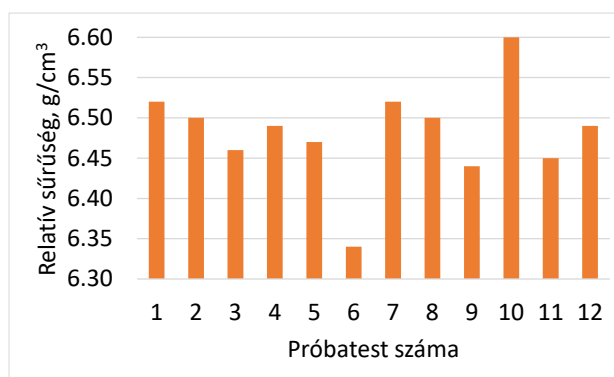
18. ábra Vizsgált öntvények

A vizsgált öntvényeken sűrűség meghatározást végeztem az MK cég által gyártott sűrűségindex vizsgáló berendezéshez tartozó ellenőrző mérleg segítségével. A mérés során

először szárazon, majd nedves közegben határoztam meg a vizsgált darabok tömegét és ez alapján számoltam azok sűrűségét. A mérési eredmények a 7. táblázatban találhatók, míg a meghatározott sűrűség index értékek a 19. ábrán láthatók.

Öntvény	Fészek	Száraz tömeg	Nedves tömeg	Relatív sűrűség
		g	g	g/cm ³
1	A	21,50	18,21	6,52
2	A	21,49	18,19	6,50
3	A	21,54	18,21	6,46
4	A	21,52	18,21	6,49
5	A	21,59	18,25	6,47
6	A	21,29	17,94	6,34
7	B	21,03	17,83	6,52
8	B	21,03	17,80	6,50
9	B	20,96	17,71	6,44
10	B	21,01	17,83	6,60
11	B	21,00	17,77	6,45
12	B	21,08	17,84	6,49

7. Táblázat Mérési eredmények



19. ábra Sűrűség index

Az elvégzett mérés alapján megállapítható, hogy a mért próbatestek relatív sűrűségi értékei a 6A jelű öntvény 6,34 g/cm³ és a 10B jelű öntvény 6,60 g/cm³ értékei között változik. A legkisebb és a legnagyobb relatív sűrűség értékek között a különbség 0,26 g/cm³. Az egyes öntvények között jelentős sűrűségkülönbség nem tapasztalható.

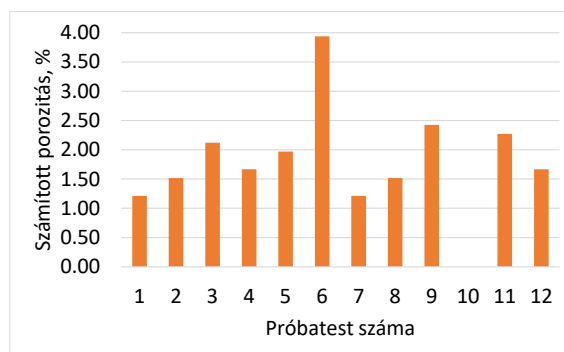
A méréssel meghatározott sűrűség index értékek és a vizsgált ötvözet elméleti sűrűsége (6,6 g/cm³) alapján az 17. összefüggés segítségével számítható a porozitás százalékos mennyisége [25]:

$$V_v = \left(1 - \frac{\rho_{próbatest}}{\rho_{elméleti}}\right) 100$$

A relatív sűrűség és a számított porozitás mennyiség az 8. táblázatban látható és a 20. ábrán láthatóak.

Öntvény száma	Fészek	Relatív sűrűség	Számított porozitás
		g/cm ³	%
1	A	6,52	1,21
2	A	6,50	1,51
3	A	6,46	2,12
4	A	6,49	1,66
5	A	6,47	1,96
6	A	6,34	3,93
7	B	6,52	1,21
8	B	6,50	1,51
9	B	6,44	2,42
10	B	6,60	0,00
11	B	6,45	2,27
12	B	6,49	1,66

8. Táblázat Számított porozitás és relatív sűrűség



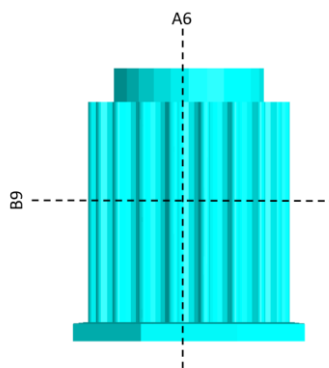
20. ábra Számított porozitás, %

Megállapítható, hogy a próbatestek számított porozitás értékei a 0,00 % és 3,93 % értékek között változnak. A mért relatív sűrűségek alapján kiválasztásra került a két legkisebb sűrűségű öntvény a 6A és a 9B jelű, melyek adatait a 9. táblázat foglalja össze.

A legkisebb relatív sűrűségű öntvény (A6) a szimmetria tengelye szerinti hosszanti irányban került elvágásra, míg a második legkisebb relatív sűrűségű öntvény (B9) pedig keresztirányban került elvágásra, a 21. ábrán bemutatott metszősíkoknak megfelelően.

Öntvény száma	Fészek	Relatív sűrűség	Számított porozitás
		g/cm ³	%
6	A	6,34	3,93
9	B	6,44	2,42

9. Táblázat Választott darabok értékei



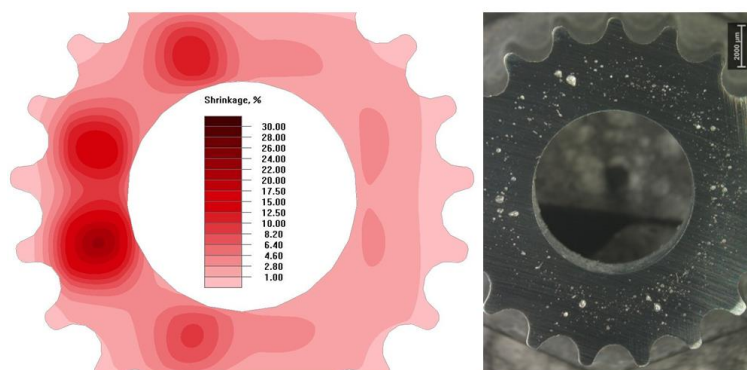
21. ábra Vizsgálati síkok meghatározása

A vizsgált metszeteket Zeiss KL 1500 LDC típusú sztereómikroszkóp segítségével vizsgáltam, detektálva az öntvény zárványosságát és levegőbezáródásait.

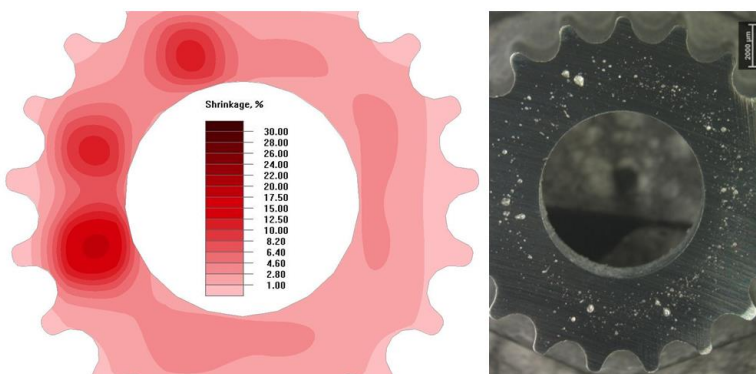
A próbatest előkészítése során a meghatároztam a vágott felület helyét. A kivágás módja a vizsgálandó anyag keménységétől függ, a fogaskerekeket gyémánttárcsával vágtam el. Vágás közben a próbatest és a tárcsa is hűtve volt, ezzel megakadályozva szövetszerkezetben fellépő módosulást vagy újrakristályosodást. A vágott felületeket csiszolással készítettem elő a

mikroszkópos vizsgálatra. Az előkészített próbatesteket egyre finomabb csiszolópapírral csiszoltam meg nedvescsiszolást alkalmazva. Egy-egy fokozaton mindig az előző csiszolás nyomaira merőlegesen végeztem a csiszolást, mindaddig, amíg az összes nyomot eltűnt. A csiszolás során 320, 400, 800, 1200 szemcsefinomságú papíron csiszoltam a próbatesteket.

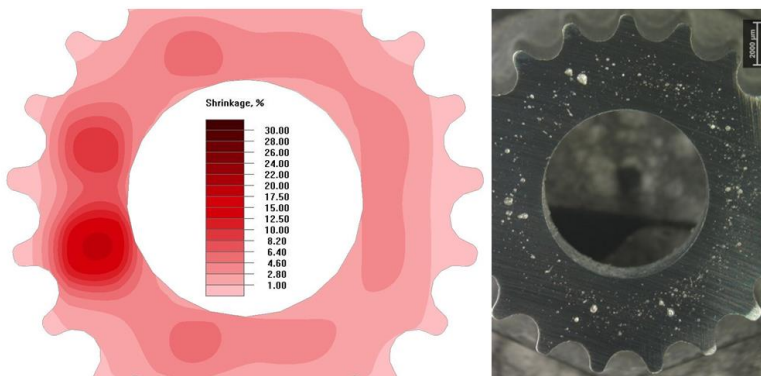
Mivel a vizsgált, A B9-es jelű öntvény keresztmetszeti csiszolata nem fér bele a sztereo mikroszkóp látómezejébe, ezért a fenti képen nem tudtunk képelemzést végezni. Az öntvény keresztmetszetét így a szimulációs eredmények azonos helyen generált virtuális metszetével tudtuk összehasonlítani, lásd 22-24. ábra. Zsugorodás skála: 1,0-30,0%.



22. ábra A projekt (0,8 m/s) szimulált és valós metszeti kép



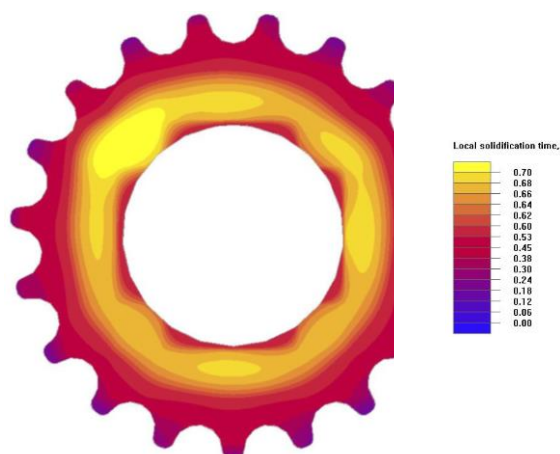
23. ábra C projekt 20%-kal növelt sebességű (0,96 m/s) szimulált és valós metszeti kép



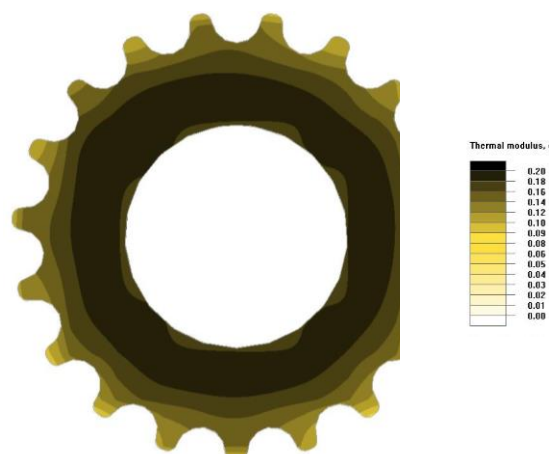
24. ábra D projekt 20%-kal csökkentett (0,64 m/s) szimulált és valós metszeti kép

Mint azt korábban bemutattam, a gázporozításokat a szimuláció segítségével nem lehet vizsgálni, csak a zsugorodási porozitásokat. Mivel az öntvény forgásszimmetrikus, ezért utólag nem lehet azonosítani az öntvény szerszámon belüli pozícióját. A csiszolati képen látható, hogy a porozitások az öntvény falvastagságának középvonala mentén találhatók. Az egyes vizsgált esetekben megegyezik a kialakuló zsugorodási üregek pozíciója, ezért részletesen a 0,80 m/s dugattyú sebességhez tartozó A projektet vizsgálom.

A helyi dermedési idő az 25. ábrán látható. Skála: 0,0-0,7 s. A 26. ábrán a szimulált öntvény termikus redukált falvastagsága látható. Skála: 0,0-0,2 cm.



25. ábra A helyi dermedési idő eloszlása



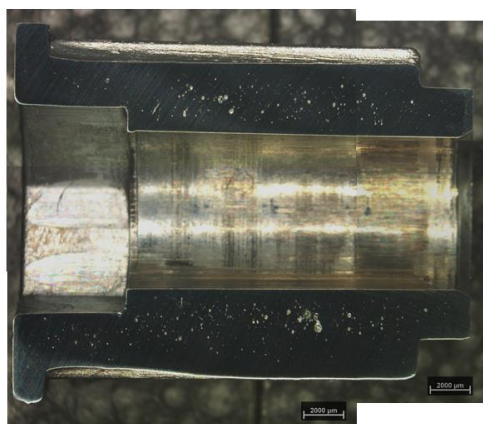
26. ábra A termikus redukált falvastagság eloszlása

A vizsgált metszeteken látható, hogy mind a helyi dermedési idő esetén, mind a termikus redukált falvastagság esetén a magasabb értékek az öntvény falvastagságának középvonala mentén találhatók, azok értékében lokális eltérések láthatóak. Ezek a helyiértékbeli eltérések okozzák a vizsgált keresztmetszeten az öntvényben kialakuló zsugorodási anomáliákat. A számított és a valós metszeten meghatározott zsugorodások a 27. ábrán láthatóak. Zsugorodási skála: 1,0-30,0%.



27. ábra Porozitás eloszlás, szimulált és valós metszeti kép

Az A6 jelű öntvény hosszanti irányban elmetsett csiszolatának mikroszkópi képe négy darab felvételből, mozaikfelvételenként került összeállításra, lásd. 28. ábra. A porozitás elemzéshez Matlab Image Processing Toolboxot használtunk, a kalibráláshoz ImageJ szoftvert.



28. ábra Mozaikfelvétel



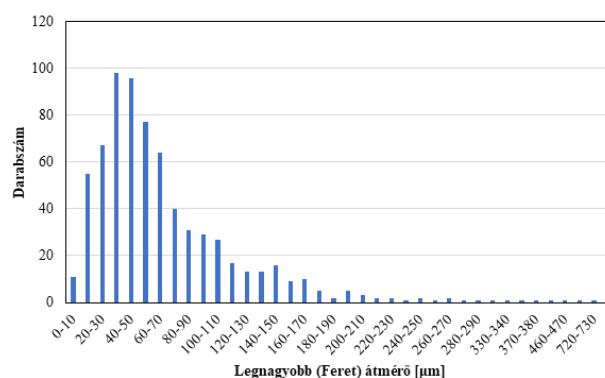
29. ábra Átalakított kép

A keresztmetszet területe: $167021885,5 \mu\text{m}^2 = 167,021 \text{ mm}^2$. A pórusok mennyiségét több lépésben: szegmentálással, iterációval, kontrasztállítással és szűréssel, majd az előállított képen való méréssel határoztam meg. Az előállított kép a 29. ábrán látható. Az átalakított lépén az alábbi értékeket határoztam meg, melyet a 10. táblázat tartalmaz.

10. Táblázat Képelemzéssel meghatározott mérési eredmények

Pórussterület [μm^2]	2981022,338
Pórussterület [mm^2]	2,981022338
Keresztmetszeti terület [μm^2]	167021885,5
Keresztmetszeti terület [mm^2]	167,0218855
Pórus területarány [%]	1,784809415
Pórus darabszám	709

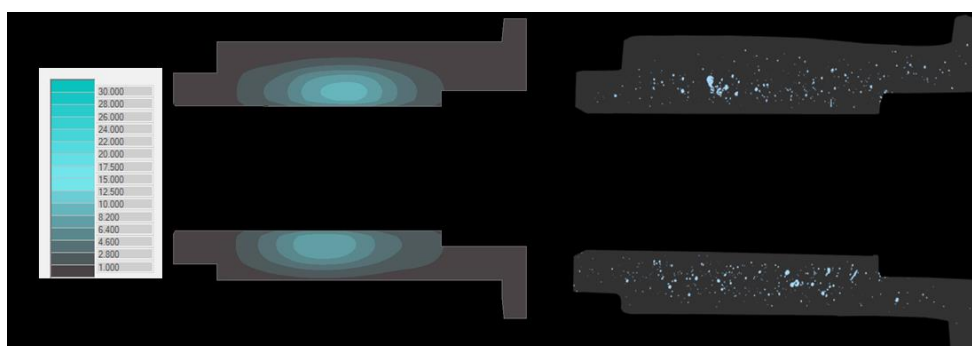
A detektált pórusok száma 709 db, a pórusok területaránya a vizsgált keresztmetszeten 1,784%. Az egyes pórusok darabszáma a legnagyobb átmérő függvényében a 30. ábrán látható.



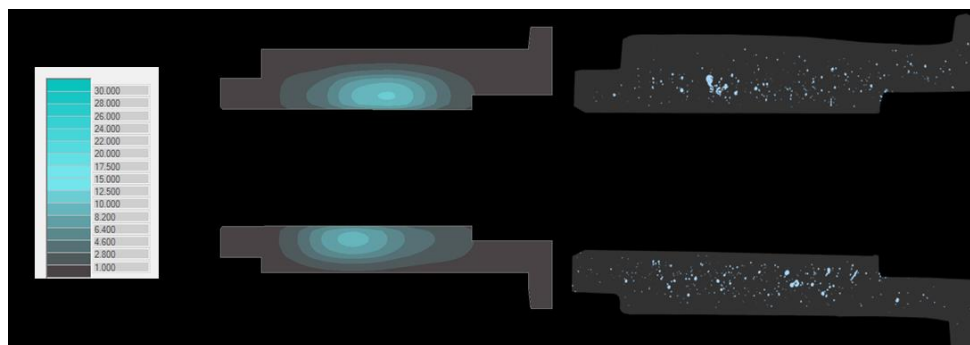
30. ábra Pórusméret és eloszlás

A 30. ábrán látható, hogy legnagyobb számban a 20-70 μm átmérőjű pórusok találhatók a vizsgált metszeten. A 180 μm átmérőnél nagyobb átmérőjű pórusokból, méretcsoportonként csak 1-2 darab található.

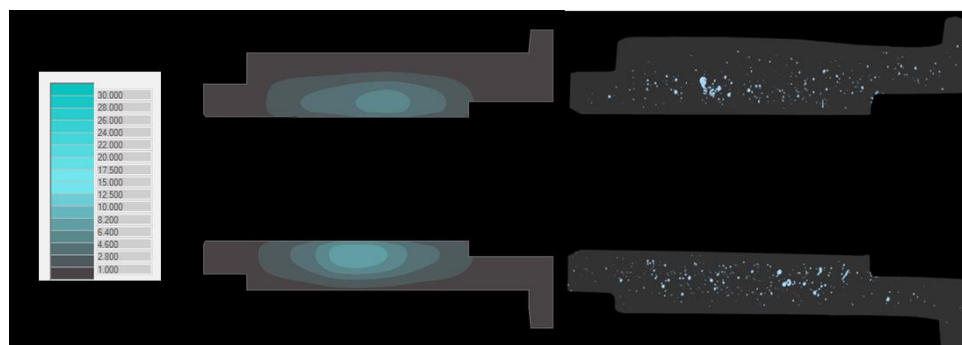
A B6 jelű öntvény valós és szimulált hosszirányú metszetének összehasonlítása a 31. ábrán látható. Mivel az öntvény forgásszimmetrikus, így nem lehet detektálni, hogy a vizsgált metszet melyik öntvény pozícióhoz tartozik. Ezért a szimulációban Y és Z irányban felvett középvonali metszeteken vizsgáltuk a kialakuló zsugorodási üregeket, melyek közül az Y irányban felvett metszet szolgáltatta a jobb eredményeket, ezért az kerül bemutatásra. A 32-34. ábrákon látható a feldolgozott mikroszkópi felvétel (jobb oldal) és a szimulációban felvett metszet (bal oldal) összehasonlítása. Zsugorodás skála: 1,0-30,0%.



31. ábra A projekt (0,8 m/s) szimulált és valós metszeti kép



32. ábra C projekt (0,96 m/s) 20%-kal növelt, szimulált és valós metszeti kép



33. ábra D projekt (0,64 m/s) 20%-kal csökkentett, szimulált és valós metszeti kép

Az egyes szimulációs vizsgálatok alapján elmondható, hogy a vizsgált metszeten a porozitások eloszlása közelíti a valós csiszolat alapján készített felvételeken detektálható porozitások eloszlását.

A korábban ismertetett korlátok ellenére (gázporozitások nem figyelembevétele, zsugorodási porozitások folytonos skála szerinti megjelenítése) megállapítható, hogy a szimuláció alkalmas a porozitás veszélyes helyek detektálására, de a porozitások valós helyének megjelenítésére csak korlátozottan alkalmas.

Az elvégzett szimulációs és laboratóriumi vizsgálatok alapján is megállapítható, hogy a bemutatott technológiával gyártott öntvények teljesítik az előírt követelményeket.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A TDK dolgozatomhoz tartozó üzemi vizsgálataim során ismertettem egy melegkamrás cinköntöde gyártástechnológiáját és elvégeztem egy kiválasztott öntvény geometriájának elemzését és beömlőrendszerének ellenőrző számításait. Szimulációs eszközökkel vizsgáltam a formatelési és dermedési viszonyokat eltérő kiindulási- és peremfeltételek esetén és elvégeztem az eredmények kiértékelését.

A kiválasztott öntvényeken sűrűség meghatározást végeztem és a mérési eredmények alapján meghatároztam a próbadarabok relatív sűrűségét és számított porozitását. Az elvégzett vizsgálatok eredményei alapján kiválasztottam a két legkisebb sűrűségű öntvényt, melyekből adott helyeken csiszolatot készítettem. A csiszolatokon mikroszkópos elemzést végeztem és a porozitási értékeket számítógépes képelemzés segítségével értékeltem ki. Az egyes csiszolatokat összehasonlítottam a számítógépes szimuláció eredményeivel.

Az elvégzett vizsgálatok alapján megállapítható, hogy az üzemi körülmények között, az üzemi gyártás paramétereivel, biztosítható az öntvény megfelelő minőségben történő gyártása, amit a vevői visszajelzések is megerősítenek. Ez annak is köszönhető, hogy egy viszonylag egyszerű geometriájú öntvényről van szó, mely hosszú ideje van gyártásban, így biztosítható a vevői követelmény, azaz az alkatrész külső geometriai megfelelősége.

Amennyiben tovább növeljük az öntvényen elvégzett vizsgálatok mennyiségét és mélységét (szimulációs vizsgálatok, sűrűségindex vizsgálat, roncsolásos vizsgálatok, képelemzés) akkor megállapítható, hogy az általunk kidolgozott vizsgálati sor alkalmas lenne a sokkal magasabb vevői követelmények teljesítésének vizsgálatára is.

A jelenlegi öntvényfunkciónak megfelelően (kéziszerszám gép beépülő, nem biztonsági alkatrésze) a fenti vizsgálati módszerek alkalmasak az öntvény szerkezetének magasabb szintű megismerésére és mind a vevő, mind a gyártó oldaláról alkalmazhatóak a jövőben, magasabb besorolású biztonsági alkatrészek gyártása esetén.

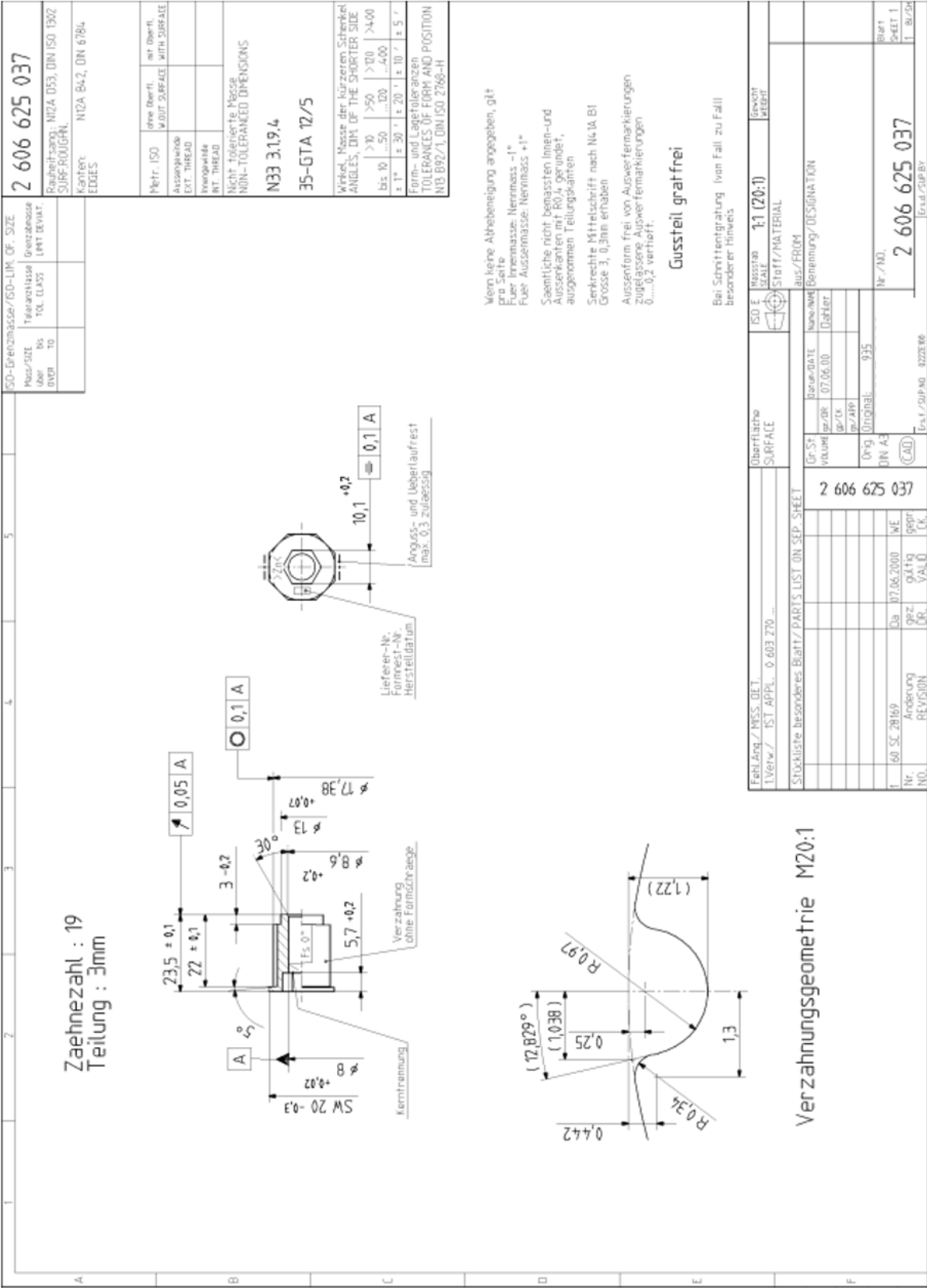
7. IRODALOMJEGYZÉK

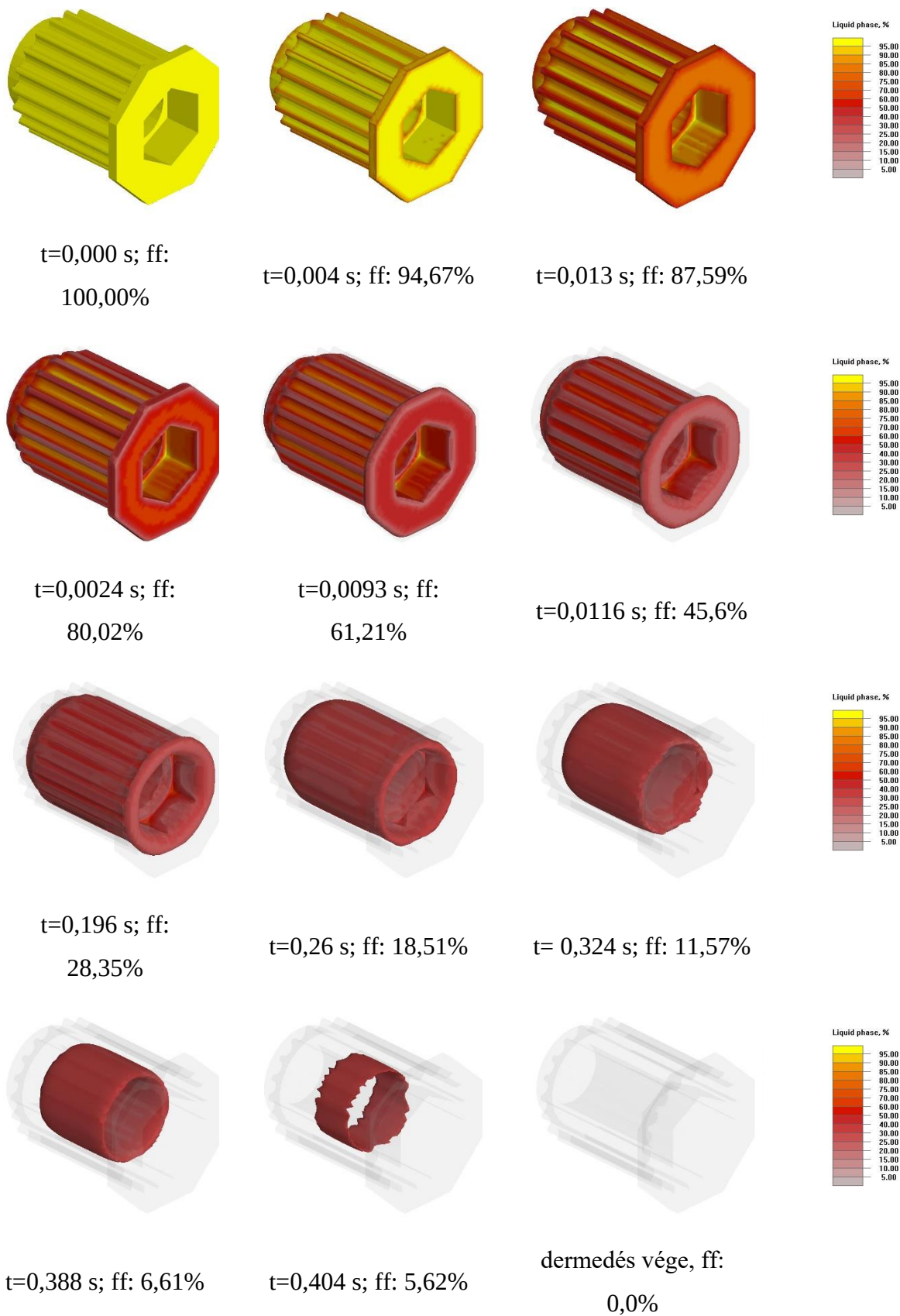
- [1] Dúl Jenő, "Nyomásos öntészeti ismeretek," Nemzeti Tankönyvkiadó, 2011
<http://dtk.tankonyvtar.hu/xmlui/handle/123456789/7528>,
- [2] E. Brunhuber., "Praxis der Druckgussfertigung," Fachverlag Schiele & Schön GmbH, Berlin, 1980.
- [3] Metals Handbook, Volume 15. Casting, ASM International, 1998.
- [4] R. Vinzenz, "Nyomásos öntészet", Budapest: Műszaki könyvkiadó, 1978.
- [5] https://www.uddeholm.com/app/uploads/sites/46/2017/11/Uddeholm_orvar-supreme-eng-p-1710-e9.pdf.
- [6] ASM Handbook Volume 15: Casting, ASM International, 2008.
- [7] D. Oliveira, „High Pressure Die Casting of Zamak alloys,” Universidade Do Porto, Faculdade de Engenharia, 2018.
- [8] "Introduction to Die Casting", NADCA, 2007.
- [9] Bill Anderson, "Die Casting Engineering - A Hydraulic, Thermal and Mechanical Process", Marcel Dekker, 2005.
- [10] Takách Benedek, „Nyomásos Öntészet,” Takách Benedek kiadó, kézirat, 1993.
- [11] NADCA, „Basic Operator Training Program,” North American Die Casting Association, 2015.
- [12] „Census of World Casting production,” Modern Casting, 2021/12.
- [13] "Nyomásos Öntés 1., Metallurgiai ismeretek", Magyar Öntészeti Szövetség, Budapest, 1998.
- [14] Frank E. Goodwin et al., „Review of Microstructures and Properties of Zinc Alloys,” MDPI, Metals Journal, 2020.
- [15] A. D. „Casting with Zinc Alloys,” Journal of the Minerals, Metals and Materials Society, Springer, 1981.
- [16] K. Alan et al., "Die Casting Metallurgy", Butterworth Scientific Ltd., 1982.
- [17] A. Savas, „The microstructural control of cast and mechanical properties of zinc-aluminium alloys,” Mechanical Engineering Department, Istanbul, 1993.
- [18] C. John , Complete Casting Handbook, Elsevier, 2014.
- [19] NADCA, NADCA Product Specification Standards for Die Casting, NADCA, 2021.
- [20] "Engineering & Desing Coordinate Dimensioning", North American Die Casting Association, 2009.
- [21] "Gating Manual", North American Die Casting Association, 2006.
- [22] Molnár Dániel, "Öntészeti szimuláció, elméleti alapok és megoldások", Műszaki Könyvkiadó, 2011.
- [23] Páczelt István, "A végeelem-módszer alapjai", Miskolci Egyetem, 2007.

[24] www.mk-gmbh.de.

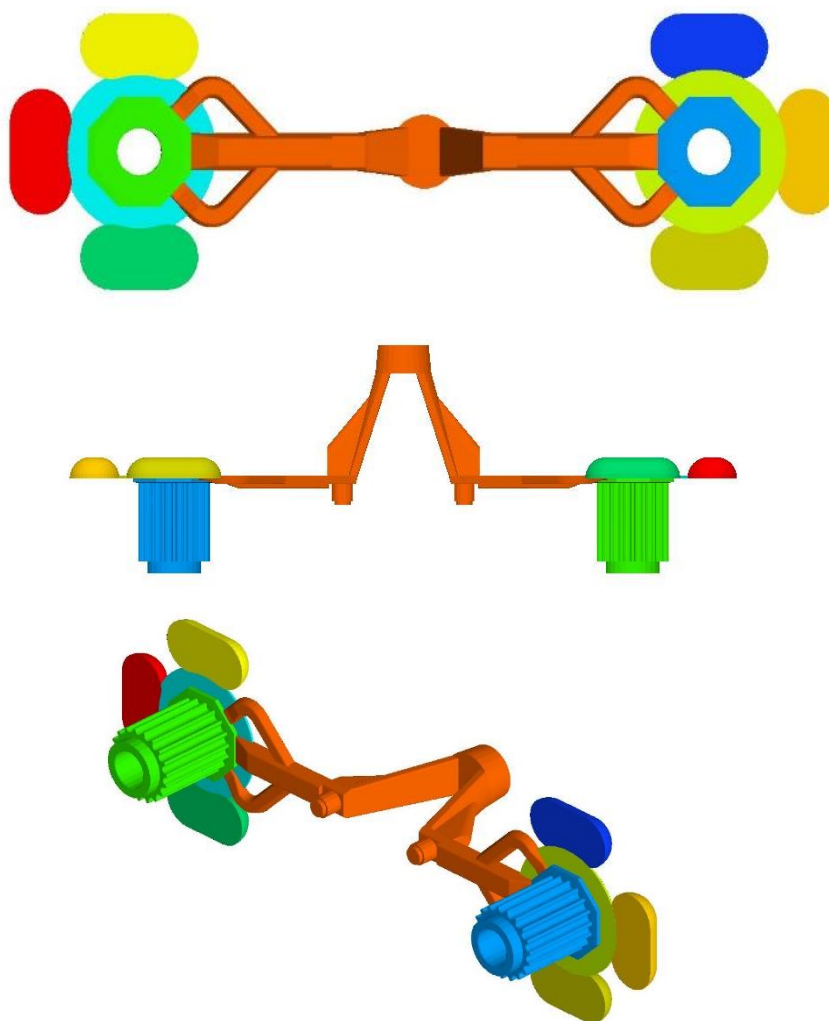
[25] K. Ágota, „Evaluation of the Applicability of Computer - Aided Porosity Testing Methods for Different Pore Structures,” *Metallogr. Microstruct. Analysis*, <http://matmatch.com/materials/wiam813070-en-12844-grade-gd-znal4-cast-condition>, 2022.

8. MELLÉKLETEK





1. ábrásor Az öntvény dermedésének folyamata



2. ábrásor Az öntvénycsokor különböző nézetekben

Nyomásos öntvény beömlőrendszer méretezésének elmélete

Beömlőcsatorna méretezése során az első lépés az öntvény dermedési idejének meghatározása, mely az 1. összefüggés alapján számítható [1] [2] [21]:

$$1. \quad t_d = C_1 \cdot M^2 + C_2 \text{ (s)}$$

ahol,

t_d : dermedési idő, s

C_1 : dermedési állandó, a fém és a forma tulajdonságaitól függő érték

C_2 : a túlhevített fém folyékony állapotához tartozó lehűlés ideje

$$\text{Cinkötvözeteknél: } C_1 = 20 \left(\frac{s}{cm^2} \right) \quad C_2 = 0,004 \text{ (s)}$$

Az öntvény kritikus modulja [M]:

$$2. \quad M = \frac{s}{2} \text{ (cm)}$$

ahol, s : az öntvény legkisebb falvastagsága, (cm)

Az öntvény különböző részein eltérő kristályosodási feltételek alakulnak ki, mivel a formaüregben a folyékony fém viszonylag hosszú utat is megtehet. Ahhoz, hogy a felületi hidegfolyást elkerüljük, gyors formatöltés szükséges. A formatelési időnek illeszkednie kell az öntvény geometriájához, kiszámítása a (3.) összefüggés alapján kerül meghatározásra.

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

Beömlőrendszer méretezése

Az öntési teljesítmény, vagy térfogatáram [Q], értékét az öntött térfogat és a formatöltési idő hányadosa adja meg, mely meghatározható a (4.) összefüggés alapján [1] [2] [21].

$$4. \quad Q = \frac{V_{\bar{o}}}{t_{\bar{o}}} = \frac{m}{\rho \cdot t}$$

ahol, $V_{\bar{o}}$: a bekötőcsatornán átáramló fémtérfogat, (cm³)

A megvágás keresztmetszete [A_{meg}] az (5.) összefüggés alapján számítható:

$$5. \quad A_{meg} = \frac{Q}{v_{meg}} \text{ (cm}^2\text{)}$$

ahol, v_a : az áramló fém sebessége a megvágásban (m/s), amit az öntvénnel szemben kiválasztott követelmények alapján választunk meg.

A megvágásnak könnyen letörhetőnek, vékonynak kell lennie, ugyanakkor elég vastagnak is, hogy az utánnyomás hatása érvényesüljön dermedés közben. Cinkötvözetek esetében általában 0,35-1,2 mm vastagságú rávágás használatos, ami az adott öntvény falvastagságához igazodóan kerül megválasztásra. A beömlőrendszer tervezésekor figyelembe kell venni az öntvény geometriáját és az áramlási viszonyokat. A megvágásbeli sebesség (v_{meg}) értéke cinkötvözetek esetén a gyakorlatban 30-50 m/s közötti értékű.

Az elosztócsatornában a fém sebessége (v_e) a (6.) összefüggés alapján határozható meg [1] [2] [21]:

$$6. \quad v_e = 0,5 \dots 0,6 \cdot v_{meg} \quad \left(\frac{m}{s}\right)$$

A gép paraméterei a fent számított adatok alapján és az öntvény méretei alapján megadhatók. Olyan öntőgépet kell választani, melyen beállíthatóak a kiszámított optimális értékek. A kiválasztott gépre jellemző záró erő érték és az üzemeltetéshez paraméterei a gépkönyvben található értékek alapján határozható meg.

A záróerő a (7.) összefüggés alapján kerül meghatározásra:

$$7. \quad F_{záró} = n \cdot P_{3M} \cdot A_{szf} \quad (kN)$$

ahol, n : biztonsági tényező, melynek értéke 1,2-1,3

P_{3M} : 3. fázis nyomása, utánnyomás (MPa)

A_{szf} : szétfeszítő felület (m^2), azaz az öntvény és a beömlőrendszer osztósíkra vetített felülete [11] [21]

$$8. \quad P_{3M} = P_{3H} \cdot \frac{A_{Hidr}}{A_{Kamra}} \quad (MPa)$$

ahol, P_{3H} : rendszernyomás a 3. fázisban

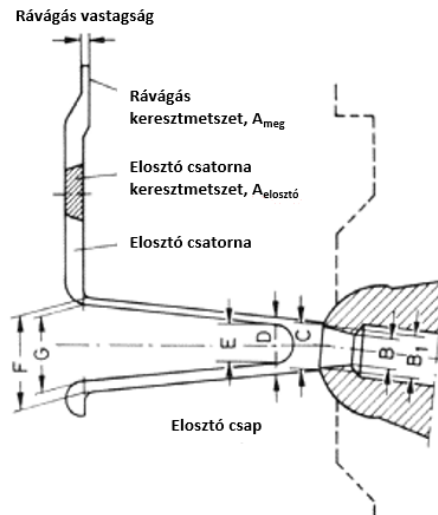
A_H : az öntőgép hidraulikus dugattyújának a keresztmetszete

A_K : az öntőkamra keresztmetszete

A nyomásos öntőszerszámon belül a folyékony fém, csatornákon át kerül bevezetésre a formaüregbe. A csatornarendszeren belül melegkamrás esetben három szakaszt különböztetnek meg: beöntőcsap, elosztócsatorna, rávágás. Összeköttetés az öntőgarnitúrával a beöntőcsap által történik, amely az öntődugattyú által mozgásba hozott folyékony fémét továbbítja az elosztócsatornába. Az elosztócsatorna a fémét a formaüregbe juttatja. Az elosztócsatorna a rávágáshoz vezet, amelyen át a folyékony fém a formaüregbe áramlik. A beömlő rendszer tulajdonképpen egy olyan rendszer, mely a folyékony fémét szabályozott módon a formaüregbe juttatja [2].

A gyakorlati tapasztalatok alapján a beömlőrendszerénél az a megfelelő, hogy ha a folyékony fém sebessége a megvágás eléréséig fokozatosan nő. Ezt úgy érhetjük el, hogy a beömlő rendszer keresztmetszeteit fokozatosan változtatjuk.

A 6. ábra jelöléseit figyelembe véve a megvágás keresztmetszetéhez viszonyítva [A_{meg}] az alábbi összefüggéseket írhatjuk fel [2] [21]:



2. ábra Melegkamrás beömlőrendszer keresztmetszetei [2]

A lövőke keresztmetszet (B) a megvágás keresztmetszetének 1,1-1,2 szerese:

$$9. B = (1,1 - 1,2) \cdot A_{meg} (cm^2)$$

A belövő persely átmérője (B1) 1,0 mm-rel nagyobb, mint a lövőke átmérője:

$$10. \varnothing C_1 = \varnothing B_1 + 1mm (mm)$$

Az elosztó csap csúcsa, körülbelül kétszer nagyobb keresztmetszetű, mint a megvágás:

$$11. (D - E) = 2 \cdot A_{meg} (cm^2)$$

Az elosztó csap (F-G) a legnagyobb keresztmetszet, 3-4-szer nagyobb, mint a megvágás keresztmetszete:

$$12. (F - G) = (3 - 4) \cdot A_{meg} (cm^2)$$

A beömlő csatorna vagy tápcsatorna keresztmetszete:

$$13. A_{elosztó} = (2 - 3) \cdot A_{meg} (cm^2)$$

A megvágás vastagsága és a beömlő csatorna vastagsága közötti arány 1:8 és 1:10 között kell, hogy legyen [2] [21].

A fém sebessége a lövőkében az alábbi összefüggéssel számítható:

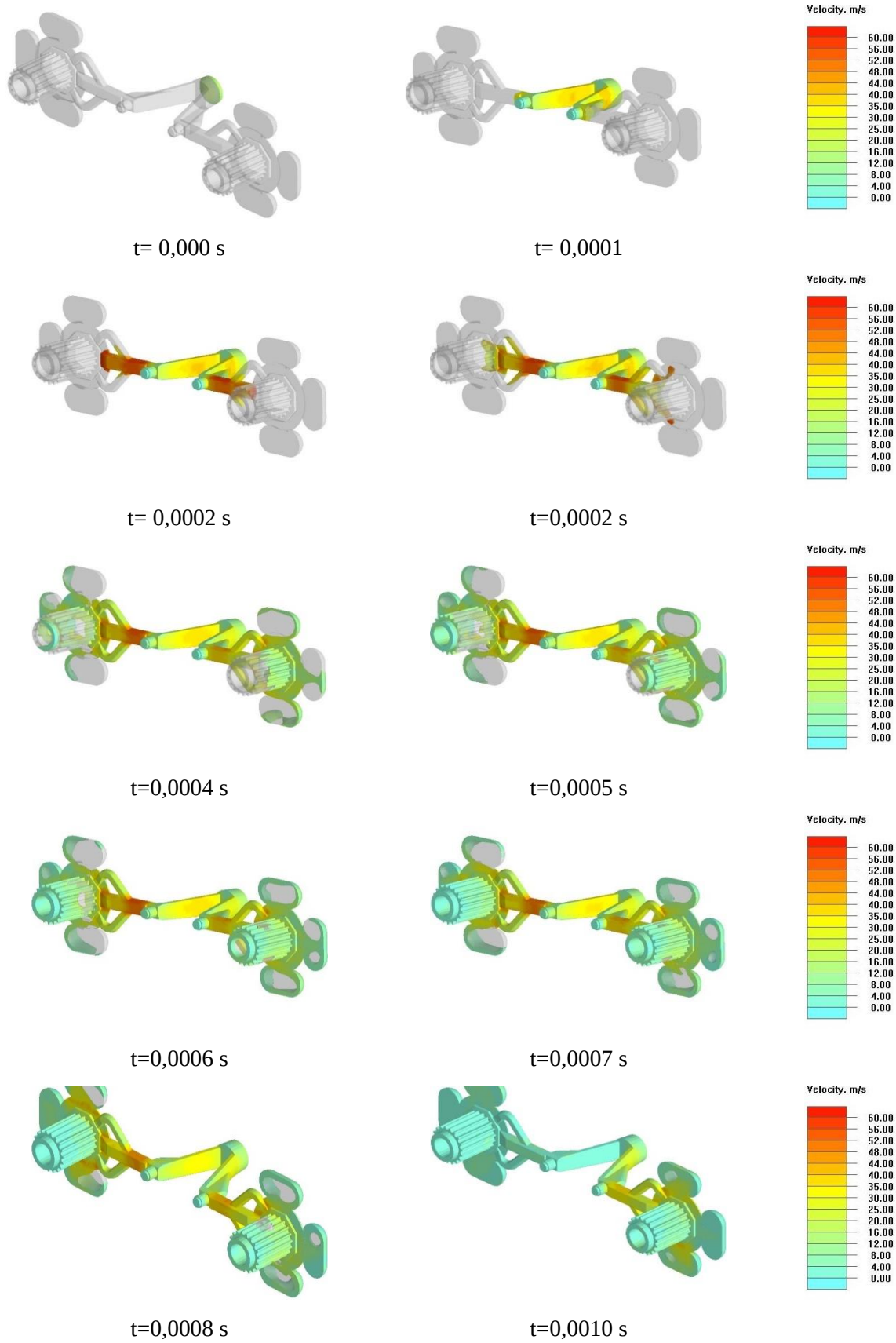
$$14. v_{lövőke} = \frac{V}{A_{meg}} \left(\frac{m}{s} \right)$$

A fém sebessége az öntőkamrában az alábbi összefüggéssel számítható:

$$15. v_{dugattyú} = \frac{V}{A_{Kamra}} \left(\frac{m}{s} \right)$$

Az öntődugattyú útja a II. fázisban pedig az alábbi összefüggéssel számítható:

$$16. L_{2.fázis} = \frac{V_{csokor}}{A_{Kamra}} (mm)$$



3. ábrásor A formatelés folyamata