

Wizner Krisztián

Szakértői támogató informatikai rendszer az acélgyártás
öntési folyamatának elemzésére

doktori értekezés

Témavezetők:

Dr. Baranyi Péter Széchenyi István Egyetem

Dr. Kővári Attila Dunaújvárosi Egyetem

Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés.....	1
1.1	Kapcsolódás az Ipar 4.0-hoz.....	2
1.2	ISD Dunaferr Zrt. helyzete az ipar 4.0-ban.....	3
1.3	Kutatás tárgya, célkitűzések.....	6
1.4	Kutatás módszertana.....	8
1.5	Értekezés felépítése.....	10
2	Az értekezés témájához kapcsolódó technológiai és anyagtudományi háttér áttekintése	11
2.1	Acélgyártás.....	12
2.1.1	Fúvatás végi inertgázos öblítés és karbonos elődeoxidáció.....	14
2.1.2	Kicsapásos dezoxidáció.....	14
2.2	Üstmetallurgiai kezelés.....	16
2.2.1	Szekunder salak képzése.....	17
2.2.2	Inert gázos (argonos) öblítés.....	17
2.2.3	Zárványmodifikáció.....	18
2.2.4	Összetételi korrekció, mikroötvözés.....	20
2.3	Folyamatos acélöntés.....	20
2.3.1	Öntés indítása folyamatai.....	22
2.3.2	Kristályosítói folyamatok.....	25
2.3.3	Másodlagos hűtőzóna szerepe.....	27
2.3.4	Öntés során vizsgálat paraméterek.....	29
2.3.5	Öntőműi adatgyűjtés háttere.....	30
2.3.5.1	Kristályosítói acélszint mérés.....	31
2.3.5.2	Öntési sebesség és öntött hossz mérése.....	31
2.3.5.3	Acél hőmérséklet mérés.....	33
2.3.5.4	Egyéb mérések.....	33
2.4	Az öntés jellegzetes eseményei.....	33

2.4.1	Adag-, és bramma-határok azonosítása	34
2.4.2	Állandósult állapottól eltérő események.....	34
2.4.2.1	Vegyes szálszakasz	34
2.4.2.2	Öntési sebesség változás.....	35
2.4.2.3	Acélszint ingadozás a kristályosítóban.....	36
2.4.2.4	Elzáródások a merülőcsőben	37
2.4.2.5	Beavatkozások	39
2.5	Meleghengerlés	39
3	MES elven alapuló új öntési adatfeldolgozó rendszer	41
3.1	Adatforrások bemutatása	42
3.2	Adatfeldolgozás folyamata	44
3.3	Szekvens (öntés) alapú adatfeldolgozás	45
3.3.1	Öntött és vágott hossz számítása.....	46
3.3.1.1	Vágott szálhossz számítása.....	47
3.3.1.2	Öntött hossz számítása	48
3.3.1.3	Öntött szálvég meghatározása	49
3.3.1.4	Hossz korrekció.....	50
3.3.2	Idő és öntött szálhossz összerendelés	51
3.3.2.1	Adatkimaradás, adatösszeecsúszás	51
3.3.2.2	Adatrögzítés késése	52
3.3.3	Öntött adaghatárok meghatározása	53
3.3.3.1	Hibás acélüst tömeg	53
3.3.3.2	Adatkimaradás, adatösszeecsúszás	53
3.3.3.3	Öntési és vágási adagkezdetek összerendelése	54
3.4	Jellegzetes szálszakaszok azonosítása	54
3.4.1	Vegyes összetételű szálszakasz.....	54
3.4.2	Öntési adatsorok változással terhelt szálszakaszai.....	56

3.4.3	Lassítással terhelt szálszakasz.....	58
3.5	Megjelenítés	58
3.5.1	Adatlekérdezés	60
3.5.1.1	Szekvens azonosítása	60
3.5.1.2	Öntési események kiválasztása	60
3.5.2	Megjelenítési beállítások	61
3.5.2.1	Szálválasztás	62
3.5.2.2	Idő és öntött hossz alapú adatábrázolás.....	62
3.5.2.3	Ábrázolt adatsorok kiválasztása.....	62
3.5.3	Információk.....	63
3.5.4	Diagram terület	64
3.5.5	Nagyítási gyorsgombok.....	65
4	Az értekezés témájához kapcsolódó vizsgálatok, elemzések.....	67
4.1	Hosszeltérés minősítése	68
4.2	Gyártási paraméterek kívülálló értékeinek meghatározása	73
4.2.1	Öntési sebesség változása	75
4.2.2	Kristályosítói acélszint változása	76
4.2.3	Közbensőüst dugópozíció változás	81
4.2.3.1	Öntési sebesség-, és a közbensőüst dugópozíció változás kapcsolata	81
4.2.3.2	Kívülálló érték keresés	85
4.3	Brammák jellemzése az öntési események és paraméterek alapján.....	93
4.3.1	Öntési sebesség változás és kristályosítói acélszint ingadozás.....	93
4.3.2	Közbensőüst dugópozíció változás	93
4.3.3	Vegyes összetételű szálszakaszok.....	94
4.3.4	Jelentősen lassított szálszakaszok	94
4.3.5	Túlhevítettség mértéke	94
5	Adatelemzés megbízhatóságának vizsgálata.....	95

5.1	Az idő és öntött hossz alapú változások relevanciájának vizsgálata.....	96
5.2	Öntési sebességváltozások relevancia vizsgálata.....	98
6	Öntési körülmények hatása a leminősülésre	99
6.1	Jelentős öntési sebességváltozással terhelt brammák.....	101
6.1.1	Lassítással terhelt brammák.....	103
6.2	Jelentős kristályosítói színtingadozással terhelt brammák	104
6.3	Jelentős közbensőüst dugópozíció változással terhelt brammák	105
6.4	Vegyes szálszakasszal érintett	107
6.5	Túlhevítés mértéke	109
6.6	Szekvens kezdő, záró brammák	110
6.7	Szelvény szélesség	111
6.8	Öntőgép.....	113
7	Tézisek	115
7.1	Tézis 1.....	116
7.1.1	Tézis 1.1.....	117
7.2	Tézis 2.....	117
7.2.1	Tézis 2.1.....	119
7.3	Tézis 3.....	119
7.3.1	Tézis 3.1.....	120
7.3.2	Tézis 3.2.....	121
7.3.3	Tézis 3.3.....	121
7.4	Tézis 4.....	122
7.5	Tézis 5.....	122
8	Korlátok és jövőbeli fejlesztési tervek.....	123
8.1	Acélgyártási és üstmetallurgiai paraméterek vizsgálata.....	123
8.2	Megelőző karbantartás támogatása	124
8.3	Reklamáció kivizsgálás támogatása	124

8.4	Öntési adatok mélyebb elemzése a gépi tanulás eszközeivel	124
8.5	3D kollaborációs tér kialakítása	125
9	Összefoglalás	127
10	Summary	129
11	Köszönetnyilvánítás	131
12	Irodalomjegyzék	133
1	Melléklet Hibaokokra lebontott leminősülések alakulása	145
2	Melléklet Értekezésben használt lényeges paraméterek leírása	147
3	Melléklet Acélgyártási lap	148
4	Melléklet Öntési lap	149
5	Melléklet Famgörbe program	150
6	Melléklet Adatforrások	151
7	Melléklet Feldolgozott adatok tábláinak szerkezete	156
8	Melléklet Időszak szekvenseinek adatfeldolgozási folyamata	158
9	Melléklet Szekvensadatok feldolgozásának folyamata	159
10	Melléklet Webes megjelenítés folyamata	160
11	Melléklet Adatlekérdezés widget csoport	161
12	Melléklet Esemény megjelenítés dialógus ablak	161
13	Melléklet Megjelenítési beállítások widget csoport	161
14	Melléklet Megjelenítendő folyamatadat választó dialógus ablak	162
15	Melléklet Információk widget csoport	162
16	Melléklet Információk és statisztikák dialógus ablak	163
17	Melléklet Brama statisztika dialógus ablak	164
18	Melléklet Megjelenített diagram terület	165
19	Melléklet Nagyítási gyorsgomb csoport	166
20	Melléklet határértékek meghatározásának folyamata	167

„A tudomány végül is abból áll, hogy van egy probléma, és van egy megoldás.

És közte ott a nehéz út.”

Róna-Tas András (magyar nyelvész)

1 Bevezetés

Napjainkban egyre nagyobb hangsúlyt kap a folyamatok automatizálása, nyomon követése, megjelenítése. A technológiák fejlődésével egyre nagyobb teret nyer az informatika az ipari folyamatokban. Az olcsóbbá váló érzékelők miatt a folyamatok jobban mérhetővé, kontrollálhatóvá válnak. A keletkező hatalmas adatmennyiség újfajta kihívás elé állítja az ipari szakembereket. Már nem elegendő csupán jó kohászati szakembernek lenni, egyre nagyobb hangsúlyt kapnak az adatelemzési, adatkezelési, programozási ismeretek. A gyors informatikai fejlődés miatt nehéz ezzel a trenddel lépést tartani. Általánosan megfigyelhető, hogy az üzemi szakemberek bár saját szakmájukat, berendezéseiket jól ismerik, nincsenek tisztában a kapcsolódó informatikai lehetőségekkel, és ezért informatikai igényeiket sem tudják megfelelően megfogalmazni. Az informatikai szakemberek pedig ismerik az informatika nyújtotta lehetőségeket, de nem képesek átlátni az üzemi folyamatokat, illetve azok sajátosságait, hiszen nincs üzemi tapasztalatuk. Nagyon kevés olyan szakember van, akinek megfelelő rálátása van az üzemi folyamatokra, és mellette megfelelő informatikai ismeretekkel is rendelkezik, ezáltal érti az üzemi folyamatokat, és látja az informatika nyújtotta lehetőségeket is.

A termelésben eltöltött évek alatt (1. ábra) igyekeztem megismerni a folyamatokat, azok sajátosságait, és próbáltam azokat informatikai szemszögből áttekinteni. Megpróbáltam rájönni, hogy mivel tudnám az adatokban megbúvó összefüggéseket minél könnyebben értelmezhetővé tenni az üzemi szakemberek számára az informatikai nyújtotta lehetőségek felhasználásával.

Miután az üzemből átkerültem a Dunaferri Technológiai Igazgatóságára, munkámból kifolyólag hozzáférést kaptam többek közt az acélmű (konverter üzem és a folyamatos acélöntőmű) és megleghengermű több évtized alatt összegyűlt gyártási és termelési, valamint a részletes leminősülési adataihoz.

Az üzemi tapasztalatok, valamint a kiterjedt adatok megfelelő alapot képeztek egy átfogó technológiai fejlesztéshez. A kísérleti programok, illetve vevői reklamációk miatt számos, az

acél gyártásával, kezelésével és öntésével összefüggő gyártási adatot kellett kiértékelnem, melynek során az öntött szál kérdéses szakaszainak pontos azonosítása is összetett feladatot jelentett. Saját, és közvetlen kollégáim munkájának megkönnyítése céljából elkezdtem összeállítani egy komplex szakértői támogató informatikai rendszert. A program teszt jellegű használata során számos pozitív visszajelzést kaptam különböző szakterületekről, melyek megerősítettek abban, hogy munkám nem csupán egyéni szakmai kíváncsiság, hanem komoly szakmai igény is van iránta.



1. ábra Öntött szál vágása (a vágó én voltam)

1.1 Kapcsolódás az Ipar 4.0-hoz

A diszkrét gyártásban a folyamatláncok digitalizálása intenzív kutatás tárgyát képezi, azonban csak néhány tanulmány vizsgálja az Ipar 4.0 jelenlegi megvalósítását és jövőbeli elvárásait az energiaigényes feldolgozóiparokban, például a vas- és acéliparban.

Tanulmányok alátámasztják [1], hogy a vas- és acélipar minden nagyobb szereplője törekszik a digitalizáció felé. A legjelentősebb előrelépés az automatizálás terén történik, mely elsősorban az érzékelők számának növekedését és az adatvezérelt folyamatvezérlés bevezetését jelenti. A vas- és acélipart nagy kihívás elé állítja a már meglévő berendezések modernizálása. Szintén nagy kihívást jelent a gyűjtött adatok felhasználása, mely figyelembe veszi a jelenlegi

(elsősorban európai) gazdasági helyzetet. A digitalizáció csupán az ipar 4.0 előkövetelménye [2].

Az ipar jövőbeni elvárása az ipar 4.0-tól elsősorban a folyamatok hatékonyabbá tétele, valamint új üzleti modellek kifejlesztésének lehetősége. Egyelőre úgy tűnik, hogy az ipar 4.0 jelenti a hatékonyság növelésének lehetőségét azáltal, hogy intelligens támogató rendszert biztosít a szakembereknek. Az acélipari vállalatok jövőbeli üzleti modelljéről még nagyban eltérnek, illetve rugalmasak a vélemények/meglátások/elvárások.

Az ipar 4.0-nak az acéliparon belül várhatóan a magasabb feldolgozottsági értékkel bíró termékek (pl. hengerlés, bevonatolás), valamint az ügyfelekkel való kapcsolattartás területén lesz a legnagyobb hatása.

Az európai vas- és acélipar előtt álló legfontosabb kihívások az ipar 4.0 felé vezető úton a régi berendezésekkel, a munkahelyeket érintő bizonytalansággal és az adatvédelem / biztonság kérdéseivel kapcsolatosak. A technikai korlátok nagyobb kihívást jelentenek a szervezeti kérdéseknél.

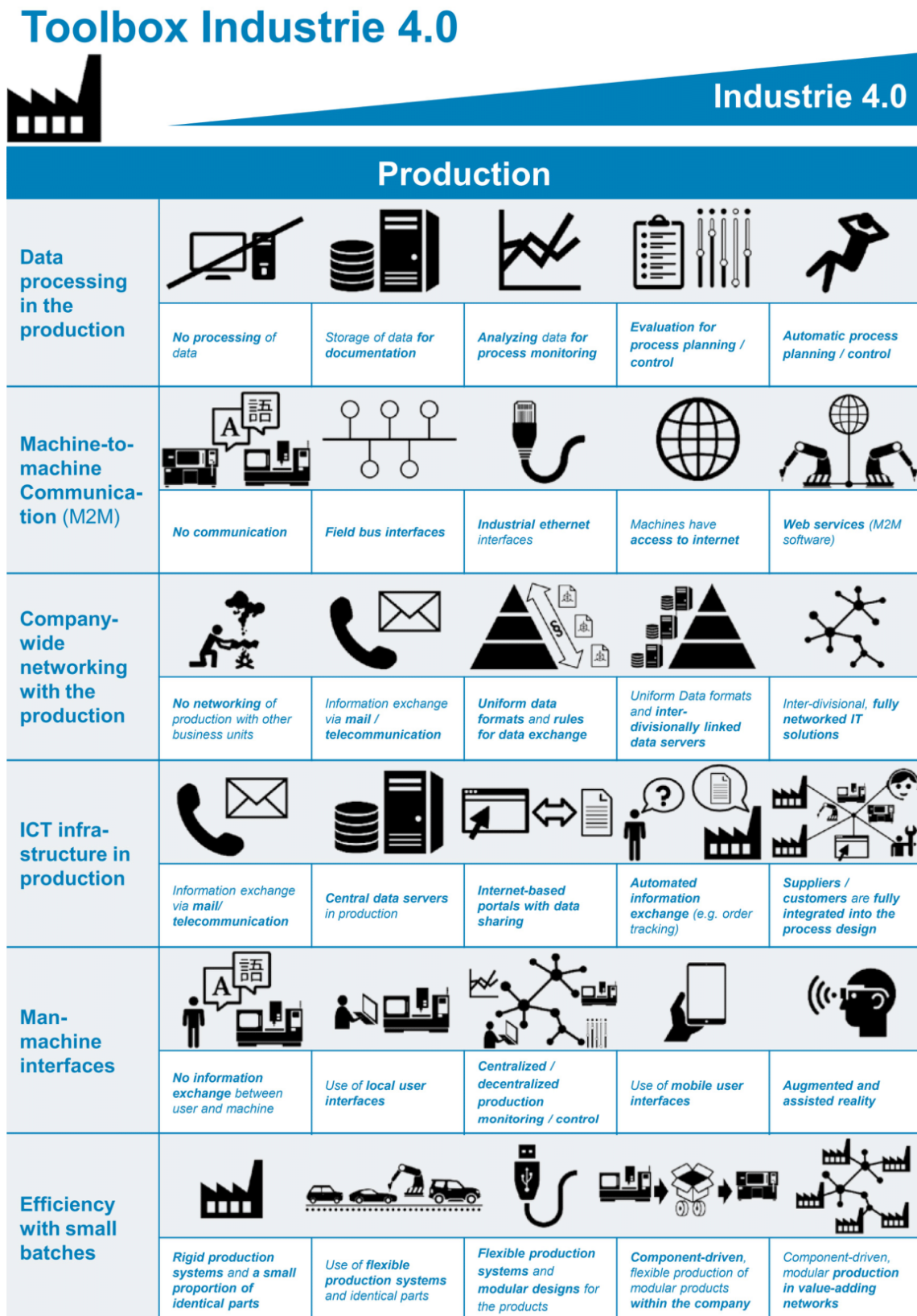
Komoly kihívást jelent, hogy kevés a megfelelően képzett szakember, valamint erős a rövid megtérüléssel szemben támasztott követelmény. Ezen akadályok nagyban befolyásolják az ipar 4.0-hoz kapcsolódó projektek végrehajtását annak ellenére, hogy ezen projektek várhatóan gazdasági haszonnal járnak, és hozzájárulnak a vállalati stratégiához.

A fentiekből látható, hogy az ipar 4.0 bevezetésének hajtóereje elsősorban a vállalat belső menedzsmentje. A technológiai és termelési szempontok szintén fontosak, azonban nem annyira kardinális a szerepük. A tanulmányok rámutatnak, hogy a technológiai innovációkat általában külső felek irányítják. Ez előrevetíti, hogy az acélgyártóknak külső szakemberekkel együtt kell működniük az ipar 4.0 megoldásainak bevezetése során.

1.2 ISD Dunaferr Zrt. helyzete az ipar 4.0-ban

Az ipar 4.0 egyik legfőbb szorgalmazója a VDMA Német Mérnöki Szövetség (VDMA German Engineering Federation). A termelésre vonatkozó iránymutatásuk alapján (2. ábra) jellemezhető a Dunaferr helyzete az ipar 4.0 eszközei alapján, valamint látható a fejlesztések javasolt iránya. Természetesen ahogy korábban már említettem. Az ipar 4.0 csupán iránymutatás, nincsenek „előírások”, és minden cégnek magának kell eldönteni, hogy hogyan tud belőle legtöbbet profitálni. Közel sem biztos, hogy az alábbi ábrán szereplő utolsó (5.) állások minden esetben célszerűek lesznek a Dunaferr szemszögéből. Részben ezért is nem jelenthető ki egyik üzemről

sem, hogy már minden tekintetben megfelel az ipar 4.0 „előírásainak”, hiszen a fejlesztés sohasem áll le.



2. ábra Ipar 4.0 eszköztára a termelésben [3]

A termelési adatok feldolgozásának tekintetében a Dunafer a 3. állásból halad a 4. állás felé. Jelen értekezés is ezt a lépést erősíti. Jelenleg az adatelemzést elsősorban a folyamat megfigyelése céljából alkalmazzák, azonban több projekt is kivitelezésre került már, és folyamatban van, melyek a modern adatelemzés pl. a mesterséges intelligencia eszközeit hasznosítják az ipari folyamatok finomítására [4] (3. ábra).



3. ábra Ipar 4.0 főbb lépései az ISD Dunafer Zrt-t érintően

A gép-gép kommunikáció tekintetében elsődleges csatornát az ipari ethernet hálózat biztosítja (3. állás). A berendezések jellemzően nem rendelkeznek internet eléréssel (4. állás).

A termelés vállalati szintű adathálózatának tekintetében a Dunafernél számos adatgyűjtő rendszer működik (3. állás). Ezek a rendszerek folyamatos, generikus fejlődés során jöttek létre, ezért nem csak az adatgyűjtő feladatokat látják el, hanem interface rendszerként is funkcionálnak a folyamatirányítási (MAR: Mérés adat gyűjtő rendszer) és ERP (Enterprise Resource Planning, pl. SAP R/3) vállalatirányítási rendszerek között, valamint technológiai adatbázisként szolgálnak a technológiai és minőségellenőrzési feladatok elvégzéséhez. A generikus fejlődés miatt a rendszerek több problémával is küzdenek. A heterogén kialakítás miatt egyes részek a technológiai megoldások és berendezések miatt nem üzemeltethetők megfelelő megbízhatósággal, valamint a rendszerek jelenlegi adattárolási struktúrája miatt nem alkalmasak az újabban felmerült üzleti igények kielégítésére. A működési biztonság fenntartása érdekében a rendszerek rekonstrukciója elengedhetlenné vált. A meglévő rendszerek kiváltására [5] MES (Manufacturing Execution System – Gyártás végrehajtó rendszer) alapú

szoftver (HYDRA MES) kerül implementálásra (4. állás). A kialakításra kerülő rendszer megteremti az alapot, hogy a Dunaferr elinduljon az ipar 4.0 irányelvei mentén.

A termelésben alkalmazott infokommunikációs infrastruktúra gerincét elsősorban a központi adatszerverek alkotják (2. állás). Az adatok megosztása a belső intranet hálózaton keresztül történik jellemzően a külvilág (internet) bevonása nélkül (3. állás).

A termelésben történő ember-gép kapcsolattartásra (megfigyelés/irányítás) a már említett belső intranet ad lehetőséget (3. állás). Csak néhány kivételes esetben biztosított a mobilapplikációval történő adatlekérdezés, illetve beavatkozás a termelésbe (4. állás).

A kistételes megrendelések tekintetében a Dunaferr a 2. álláshoz rendelhető. Ez elsősorban az acélgyártás sajátosságaival magyarázható, és nem is várható jelentősebb fejlődés ennek tekintetében. A legkisebb tételnek a hengerelt tekercs, illetve az abból darabolt táblák tekinthetők. Egy tekercs tömege ~20 tonna, azonban az acélműben legyártható legkisebb nyersacél mennyiség ~135 tonna, ráadásul gazdaságossági szempontból legalább 4-5 adag öntése indokolt egy szekvensben. Ebből látható, hogy a kistételes rendelések kielégítése komoly kihívást jelent. Ezen a területen nem várható fejlődés az ipar 4.0 tekintetében.

Az értekezésben ismertetésre kerülő adatbányászati elveken alapuló adatelemző rendszer és a rendszer segítségével feltárt összefüggések is az ipar 4.0 irányelveit követve igyekeznek minél átfogóbb támogatást nyújtani a gyártási folyamat optimalizálásához, esetleges hibák felderítéséhez a vállalat szakemberei számára.

Az ismertetésre kerülő rendszerrel párhuzamosan vizsgálom az öntési folyamat paramétereit technológiai (idő alapú) és minőségügyi/termék (öntött hossz alapú) szempontból. A két megközelítés alapján végzett vizsgálatok kiegészítik egymást, és egybe vágnak a kialakításra kerülő MES rendszer irányelveivel.

1.3 Kutatás tárgya, célkitűzések

Kutatásomban a folyamatos acélöntés nem-állandósult szakaszainak hatását vizsgálom az öntött brammából hengerelt lemeztermék leminősülésére. A folyamatos öntés ipari gyakorlatában elkerülhetetlenek az állandósult állapotot megzavaró események. Ezen szakaszok vizsgálatát több tényező is nehezíti. A folyamatkövetés szemlélete alapján a rögzített nagymennyiségű adat idő alapon kerül letárolásra, mely nem ad könnyen értelmezhető információt arról, hogy az adott esemény az öntött szál mely szakaszát, milyen mértékben érintette. Az öntési folyamat adatainak idő (folyamat) alapról öntött hossz (termék) alapra

történő átalakításával pontosabb kép adható a nem-állandósult szakaszok elhelyezkedésével kapcsolatosan, ezáltal pontosabban vizsgálhatóvá válik hatásuk az öntött szálra, azaz a metallurgiai fázis késztermékét jelentő brammára.

A brammák azonosítása a diszkrét adaggyártás adminisztrációs szempontjainak figyelembevételével történik, mely alapján egy bramma kizárólag egy adaghoz tartozhat. Ez a megközelítés a folyamatos öntés vizsgálatánál csak korlátozottan alkalmazható. A folyamatos acélöntés technológiájából kifolyólag az egymás után öntött adagok a puffer szerepet betöltő közbenső üstben keverednek, ezért ilyen esetekben az érintett szálszakasz jellemzői a két adag összetett tulajdonságaitól függenek. A helyzetet tovább bonyolítja, hogy a vevői igények alapján összeállított brammahosszok (brammatömegek) (az esetek túlnyomó többségében) nem feleltethetők meg pontosan egy-egy adag ~135 t tömegének. Emiatt elkerülhetetlen, hogy az adag kezdeti, vagy vég brammájának egy része másik adagból kerüljön leöntésre.

A hengerelt termékek metallurgiai jellegű leminősülések vizsgálatához a fent említett folyamatos öntési jellegzetességek miatt egy szekvens (öntési) alapú adatkezelés kialakítása szükséges, melynek segítségével minden brammához egyértelműen hozzárendelhető a rá jellemző adaggyártási, finomítási és öntési körülmény.

Az acélgyártás metallurgiai folyamatai nagyon összetettek és számos tudományterületet érintenek. A folyamatok során képződő nagymennyiségű adat több szempontból történő értelmezése és értékelése nagy kihívás elé állítja a szakembereket. Különlegesen nagy kihívást jelent a leminősülések okainak azonosításában, hogy az egymást követő technológiai fázisok (acélgyártás, finomítás, folyamatos öntés, meleghengerlés) gyakran elfednek, vagy éppen felszínre hoznak olyan leminősülési okokat, melyek más technológiai fázisban keletkeztek. Ilyen hiba például a megszilárdulási fázisban kialakuló felszín alatti repedések, melyek a hevítő kemencében akár a felszínre is kerülhetnek és így leminősülést okozhatnak, de a hengerlési fázisban akár el is tűnhetnek az alakítás hatására.

Kutatásom elsődleges célja egy tudományos alapokon nyugvó, komplex adatfeldolgozó, és adat-vizualizációs informatikai rendszer kialakítása, mely támogatást nyújt a hengerelt termékben megjelenő metallurgiai hibák okainak feltárásához, valamint megteremti az alapot komplex vizsgálati módszerek kidolgozásához az acél minőségének javítása érdekében [6].

A rendszerrel szemben támasztott követelmények:

- Adaptálhatóság (megfigyelt alapelvek, és kidolgozott módszerek más kohászati üzemen is alkalmazhatók legyenek)
- Bővíthetőség (új vizsgálati szempontokkal)
- Ingyenes, nyílt forráskódú programozási eszközök használata
- Ipari informatikai infrastruktúrába illeszthetőség biztosítása
- Platform független (webes) adat-vizualizáció
- Nagy szabadságfokú, dinamikus adatmegjelenítési lehetőség
- Szakemberek közötti kooperatív munka biztosítása (megosztható diagram nézetek)
- Egységes vizsgálati szempontok kialakítását tegye lehetővé (pl. leminősülések)
- Csökkentse a szakemberek terhelését az adatok elő-feldolgozása és vizualizációja által

1.4 Kutatás módszertana

A kiterjedt kohászati szakirodalom, valamint az ISD Dunafer Zrt. közel két évtizednyi üzemi adatai megfelelő alapot kínáltak jelen értekezés elvégzéséhez. Szakirodalom segítségével áttekintettem az egyes hibalehetőségek szempontjából legjelentősebb, a folyamatos acélöntés állandósult állapotát megzavaró körülményeket.

Az ipari környezetben rögzített adatok számos esetben hibával és hiányossággal terheltek, ezért az adatjóság biztosításának érdekében a 2008.01.01-2020.06.30-ig terjedő időszak gyártási adatai alapján a kidolgozott informatikai rendszerrel azonosítottam a folyamatos acélöntés során megfigyelhető tipikus adathibákat, illetve azokat a körülményeket, melyek lehetetlenné teszik az adatok megbízható elemzését. A hibásan rögzített, azonban egyértelműen korrigálható adatokat javítottam az adatbázisban (fejvég hossz, lábvég hossz, ráöntés szám).

Az adatproblémák vizsgálata során megfigyelhető volt, hogy a mérőrendszerek, valamint a technikai feltételek folyamatos fejlesztésével évről évre javult az adatok megbízhatósága és pontossága. Kompromisszumos megoldásként jelen értekezés vizsgálatának alapjául a 2018.01.01-től 2020.06.30-ig terjedő időszakot dolgoztam fel, mely elegendő adatot tartalmaz kis adatbizonytalanság mellett a vizsgálatok biztonságos elvégzéséhez (25.429 db szekvens ⇒ 122.712 db adag ⇒ 977.827 db bramma). A 1. melléklet ad részletes betekintést a termelés megoszlásáról öntőgép/szál, szelvényméret, illetve a gyártott acélminőségek tekintetében. A táblázatok tartalmazzák a metallurgiai okokra visszavezethető leminősülések megoszlását is a fenti szempontok függvényében.

Az acélgártás, üstmetallurgiai kezelés, folyamatos öntés adatai, valamint a brammák összetételi minősítésének feltételei az acélmű Oracle adatbázisából származnak. A brammákból hengerelt termékek (lemez, tekercs) leminősülési adatai a vállalatirányítási rendszer részét képező SAP/R3 adatbázisából származnak

Az adatok elő-feldolgozására a legkézenfekvőbbnek a Python nyelv alkalmazása mutatkozott, azonban az adatfeldolgozás kódját az üzem kérésére a későbbiekben átírtam az acélmű Oracle adatbázisán futó PL/SQL kódra. Az adatfeldolgozás programozása mellett párhuzamosan végeztem az acélmű PHP szerverén futó webes megjelenítő programozását az üzem kérésére PHP és JavaScript nyelveken.

Az elő-adatfeldolgozás során azonosítottam az öntött szál sebességváltozással, színtingadozással érintett szakaszait. A sebességváltozási szakaszok ismeretében meghatároztam a sebességváltozás és a szelvényméret függő közbensőüst dugópozíció változás arányát, melynek figyelembevételével meghatároztam a zárványkirakódásra utaló közbensőüst dugópozíció változás szakaszait a teljes öntött szálra.

Boxplot analízis alkalmazásával minősítettem az öntési adatok (hossz) illesztési jóságát, valamint meghatároztam a nem-állandósult öntési szakaszokban előforduló változások kívülállóértékeit. A szelvénymérettől függő határértékek esetén lineáris regresszió alkalmazásával korrigáltam a határértékeket.

Elvégeztem a vizsgált időszakban öntött brammák minősítését a túlhevítettség mértéke, valamint az alábbi átmeneti állapotok alapján:

- Jelentős öntési sebességváltozással érintett (idő, és öntött hossz alapon)
- Jelentős kristályosítói acélszint változással érintett (idő, és öntött hossz alapon)
- Jelentős közbensőüst dugópozíció változással érintett (idő, és öntött hossz alapon)
- Vegyes öntésű szálszakasszal érintett
- Jelentős lassítással érintett (minimális öntési sebességnél lassabban öntött)

Minősítési szempontokra bontva megvizsgáltam a leminősülések arányát az átmeneti állapottal terhelt, és nem terhelt brammák között. A terhelt és nem terhelt csoportok leminősülési arányai között tapasztalható különbséget statisztikai z-teszttel igazoltam.

Megvizsgáltam az öntéstechnológiából adódó (szekvens kezdő) és az adatfeldolgozó program által azonosított jelentős öntési sebességváltozással, illetve jelentős kristályosítói szintingadozással terhelt brammák egyezését (korrelációját).

Az összehasonlítás alapján megvizsgáltam az idő, illetve az öntött hossz alapú változások megbízhatóságát, valamint igazoltam az elkészített adatfeldolgozó rendszer által szolgáltatott adatok megfelelőségét.

Az alábbi feladatokat a Python nyelv eszközeivel oldottam meg (numpy, scipy, pandas, matplotlib, sklearn, statmodels csomagok):

- Nem-állandósult öntési szakaszok kívülállóérték határainak meghatározása (boxplot alapján)
- Szelvénymérettől függő határértékek korrekciója lineáris regresszió segítségével
- Statikus adatábrázolás
- Leminősülési arányok különbözőségének ellenőrzése z-teszttel

Az eredmények alapján az elemzések lehetőséget biztosítanak további vizsgálatok elvégzéséhez, melyet jelen értekezés keretein kívül a Python nyelv által biztosított gépi tanulás eszközeivel kívánok folytatni.

1.5 Értekezés felépítése

A 2. fejezetben áttekintem az értekezés témájához kapcsolódó technológiai és anyagtudományi háttérrel.

A 3. fejezetben ismertetem a kidolgozott adatfeldolgozó rendszer működésének alapjait, valamint a megjelenítő felület alapvető részeit.

A 4. fejezetben ismertetem az adatfeldolgozó rendszer megalkotása során alkalmazott vizsgálatokat, elemzéseket, illetve azok eredményeit.

Az 5. fejezetben igazolom az adatfeldolgozó rendszer által szolgáltatott brammajellemzési paraméterek megbízhatóságát.

A 6. fejezetben bemutatom az adatfeldolgozó rendszer által minősített brammák termeléshez viszonyított leminősülési arányait.

Az 2. melléklet tartalmazza az értekezésben használt főbb paraméterek leírását.

„A tudomány legalapvetőbb gondolatai alapvetően egyszerűek, és szabályként bárki számára érthető nyelven megfogalmazhatóak”

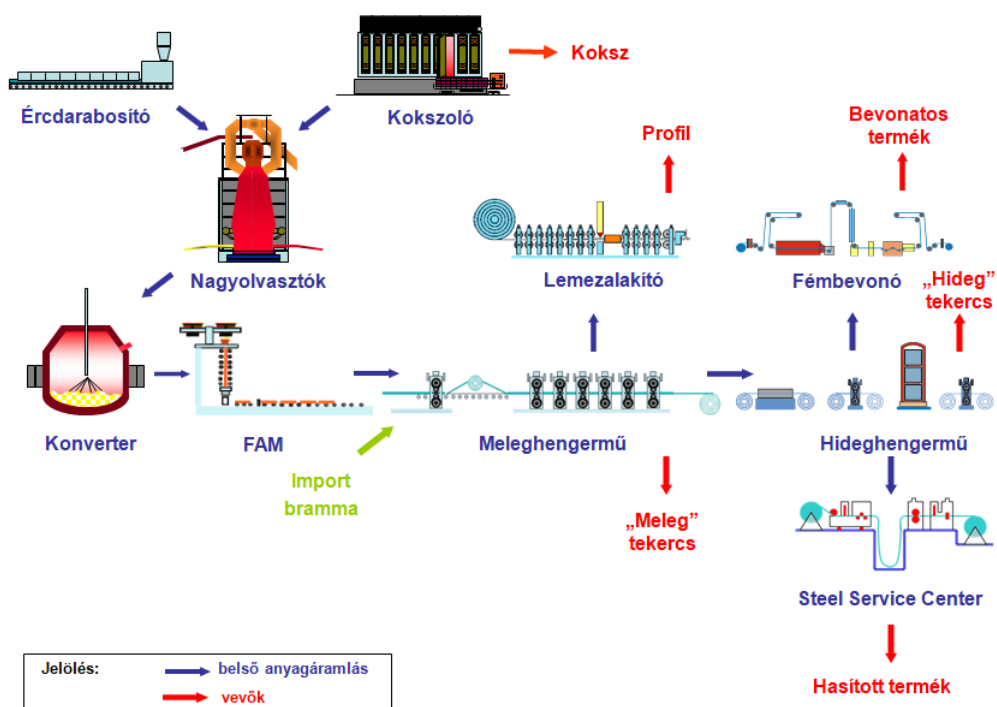
Albert Einstein (német fizikus)

2 Az értekezés témájához kapcsolódó technológiai és anyagtudományi háttér áttekintése

Az értekezés téziseiben összefoglalt eredmények az acélgyártás technológiájával összefüggő elemzéseken alapulnak. Ezen technológia és kapcsolódó anyagtudományi háttér rövid áttekintése az eredmények megfogalmazása és érthetősége szempontjából elengedhetetlenek. Az értekezés témája Magyarország legnagyobb acélipari vállalatához, az integrált acélművel rendelkező ISD Dunaferr Zrt-hez kapcsolódik. Világviszonylatban kicsinek számít az évi 2 millió tonnás kibocsátásával, azonban rugalmasságával, és a kistételes rendelések kiszolgálásával meg tud felelni a versenypiac kihívásainak.

A Dunaferr főbb technológiai berendezései, valamint a gyártási folyamata a 4. ábrán látható. A metallurgiai fázist két darab, összesen közel 2000 m³-es (960 m³ és 1033 m³) folyamatos üzemű nagyolvasztó látja el nyersvassal. A nyersvas összetételi, valamint hőmérsékleti homogenizálását egy 1300 tonna kapacitású nyersvaskeverő kemence látja el. A nyersacél előállítását a nyersvas, szilárd acélhulladék és hozaganyagok felhasználásával két darab (140 és 130 tonna kapacitású) oxigénfúvatású konverter végzi. Az acél kémiai és hőmérsékleti tulajdonságainak beállítása a háromállású üstmetallurgiai állomáson történik. Az acél leöntésére két darab vertikális elrendezésű öntőgép áll rendelkezésre, melyek mindegyikén 2-2 szálon történik az acél leöntése. Az öntött szál darabolása után képződik a metallurgiai fázis készterméke, a hengerlési fázis alapanyagát képező bramma.

A fejezetben rövid áttekintést adok az acélgyártás metallurgiai fázisairól a konverteres nyersacélgyártástól a folyamatosan öntött acélbramma előállításáig. Elsősorban azokat a részleteket ismertetem, melyek a későbbiekben bemutatott program működésének, valamint a program alapján végzett vizsgálatok értelmezéséhez szükségesek.



4. ábra Dunaferr gyártási folyamata

2.1 Acélgyártás

A Dunaferrnél használt LD-konverteres acélgyártás [7, 8] egy úgynevezett autoterm folyamat, vagyis az adaggyártás hőszükségletét a nyersvas fizikai hőtartalma, valamint a folyamat során a hőtermelő reakciók hője biztosítja. A gyártási folyamat alatt külső energia bevétele nem történik.

A folyamat fémes betétjét a nagyolvasztómű által előállított nyersvas, valamint vásárolt és belső acélhulladék alkotja (acélhulladék aránya 20-28%). A (primer) salak kialakítása égetett mész és folyópát (folyósító szer) felhasználásával történik. Az eljárás során a fémes betétet nagy tisztaságú oxigénnel fúvatják, melynek következtében a vas kísérő elemei termodinamikai sorrendben kiégnek (Si, Mn, C).

A kiégett alkotók oxidjai az intenzív keveredés hatására a salakba távoznak. A reakciók során felszabaduló energia biztosítja a salakképződéshez, az acélhulladék beolvasztásához, az endoterm folyamatokhoz, és az olvadék csapolási hőmérsékletre hevítéséhez szükséges hőmennyiséget, valamint fedezi a hőveszteségeket.

A fúvatás végére az acélfürdő erősen túltelítetté válik oxigénben (~400 - 1200 ppm). Jellemzően, minél alacsonyabb a legutoljára kiégett alkotó (karbon) mennyisége, és minél magasabb a fúvatás végi hőmérséklet, annál túltelítettebb a fürdő oxigénben.



5. ábra A konverterben egyszerre gyártott ~135 tonna acél (1 adag)

A konverterben egyszerre legyártott, majd az üstbe csapolt ~135 tonna acél képezi az acélgyártás egyik mennyiségi alapegységét, az adagot (5. ábra). Összehasonlításképpen az 1 üstnyi acél megközelítőleg 135 db személyautó tömegének felel meg.

Az acélok tisztasága elsősorban annak gáz és zárvány tartalmával, valamint a zárványok nagyságával, alakjával és kémiai összetételével jellemezhető [9]. A zárványok túlnyomó többségét a belső eredetű, dezoxidációs reakciótermékek teszik ki. A fentiek alapján kicsapásos dezoxidáció reakciótermékének (Al_2O_3) mennyisége csökkenthető (javítható az acél tisztasága) a konverterben végrehajtott argonos öblítéssel, és karbonos elődezoxidációval, mivel így az aktív oxigéntartalom jelentősen csökkenthető visszamaradó dezoxidációs termék nélkül, valamint az üstmetallurgiai kezelés során a zárványok salakba juttatásával (pl. argonos öblítéssel). A zárványok alakjának és összetételének tisztaságot elősegítő módosítása az üstmetallurgiai zárványmodifikáció feladata.

A szilárd acélban az alumínium oxid zárványok nem egyenletesen helyezkednek el, hanem ún. oxidfelhőket alkotnak, melyben gömb, dendrit, fürt és rombold formában válnak ki. Az acélban maradó zárványok komoly problémát jelentenek mind a továbbfeldolgozás, mind a felhasználás szempontjából.

A lemeztermékek előállítását szolgáló meleghengerlés során a zárványok elhelyezkedése is megváltozik. Az alumíniumoxid zárványok a hengerlés irányában sorba rendeződnek, a mangánszulfid zárványok pedig erősen elnyúlnak a hengerlési irányra merőleges irányokban. Részben ezek a zárványelrendeződések okozzák az acél mechanikai anizotrópiáját, ami a

hegesztett acélszerkezeteknél, összetett igénybevétel esetén teraszos törést eredményezhet. A felszín közelébe kerülő zárványok elsősorban vékony lemezeknél hengerlési irányú felszakadásokat okozhatnak, vastagabb lemezeknél pedig hajlításkor okozhatnak repedést.

A hengerelt terméken tapasztalható egyik leggyakoribb problémát a metallurgiai folyamat során képződő zárványok, dúsulások, illetve bizonyos technológiai körülmények okozzák.

Az acélgyártás dezoxidációs folyamatainak, valamint az üstmetallurgiai kezelés során végzett inert gázos öblítésnek és zárványmodifikációnak is kiemelt jelentősége van az értekezés témájával összefüggő minőségi jellemzők vizsgálatával kapcsolatban, ezért ezen technológiai folyamatok röviden áttekintésre kerülnek.

Az adaggyártás és üstmetallurgiai kezelés legfontosabb adatainak dokumentálása az adaglapon (3. melléklet) történik.

2.1.1 Fúvatás végi inertgázos öblítés és karbonos elődezoxidáció

A konverterben a fúvatási folyamat végén végzett inert gázos (argonos) alsó öblítés [10] elősegíti a diffúziós és homogenizációs folyamatok végbemenetelét. A fürdőmozgással lerövidülnek termodinamikai távolságok. A buborékok ideális feltételt nyújtanak a (1) reakció lejátszódásához, mivel az argon buborékban a $\{CO\}$ parciális nyomása nulla, és azonnal eltávozik a reakció helyéről a fürdőn kívülre. Az öblítés hatására jelentősen csökkenthető az acél aktív oxigén tartalma akár több 100 ppm-mel is amellet, hogy nem képződik az acélban visszamaradó káros reakciótermék. A fenti reakció elősegíthető karbon adagolásával is, azonban ebben az esetben az adagolt karbon egy része beoldódik az acélba. Az acélminőségekkel szemben támasztott karbontartalom előírás miatt csak részlegesen alkalmazható ez a megoldás.



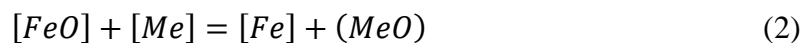
A fentiekén kívül is lehetséges az acél oxigén tartalmának csökkentése a diffúziós folyamatok elősegítésével, azonban a Dunafer nem rendelkezik sem üstvákuumozási lehetőséggel, sem a hosszabb folyamatok során bekövetkező hűlés ellensúlyozásához szükséges üstkemencével, ezért ezeket a megoldásokat nem ismertetem.

2.1.2 Kicsapásos dezoxidáció

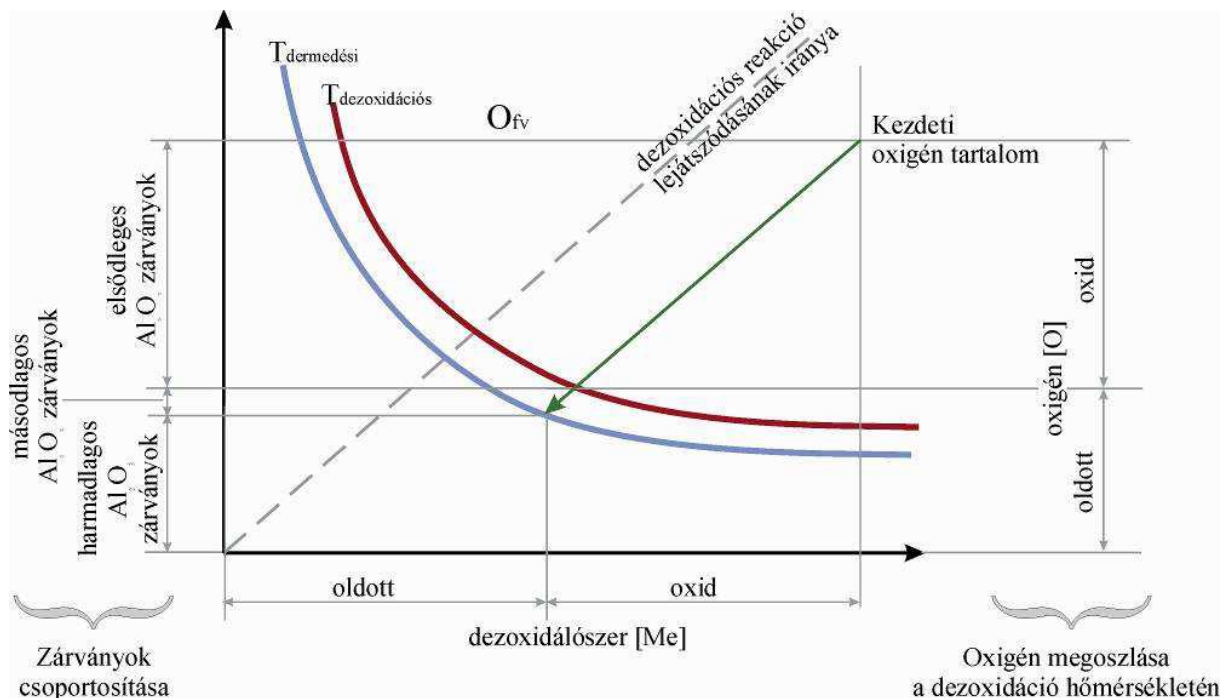
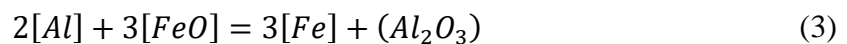
A technológiai időkorlátok (előírányzott ~40 percenkénti csapolás, amiből ~20 perc az oxigénes fúvatás időtartama), valamint a kezelés közben fellépő a hűlés miatt a konverterben végzett

inertgázos öblítéssel, illetve karbonos dezoxidációval nem lehetséges a fürdő oldott oxigéntartalmát nagyságrendekkel csökkenteni a csillapított acélnak megfelelő, a dermedési hőmérsékletre érvényes egyensúlyi érték 50%-a alá. Az aktív oxigéntartalom további csökkentésére a csapolás során alkalmazott kicsapásos dezoxidáció [11, 12] ad lehetőséget.

A kicsapásos dezoxidáció alkalmazásával gyorsan csökkenthető a fürdő aktív oxigéntartalma a minőségtől függő határérték alá. A Dunaferr termékpalettájának jelentős részét a szilíciumszegény (Si <0,030%) acélok teszik ki, ezért a kicsapásos dezoxidációt különböző állagú [13] alumínium adagolásával valósítják meg. A folyamat során olyan anyagot juttatnak az acélba, mely nagyobb oxigénpotenciállal rendelkezik, mint a vas, és az oxigénnel történő reakciója különálló (eltávolítható) fázist képez az acélgyártás hőmérsékletén. Az acélhoz adagolt dezoxidációs elem reakcióba lép az acélban oldott FeO-dal, és az adagolt mennyiség függvényében elbontja annak egy részét (2. és 3. reakcióegyenlet).



Alumínium használata esetén:



6. ábra Az acél oxigén tartalmának változása a dezoxidáció során [90]

Az 6. ábrán látható hiperbolikus görbék a dezoxidáló elem oxigénegyensúlyát mutatják különböző hőmérsékleten. A hűlés során a zárványalkotók oldhatósági szorzata csökken, egyensúlyi diagram az origó felé tolódik el, és folyamatos zárványkiválás lép fel [14].

A zárványtalanítás elsődleges feltétele, hogy a zárvány salakba vihető legyen. Közvetlenül a dezoxidáció során keletkező elsődleges oxid eltávolítására, salakba vitelére számos elsősorban üstmetallurgiai megoldás létezik (pl. inertgázos öblítés, indukciós üstkeverés). A hűlés hatására folyadék fázisban keletkező másodlagos zárványok eltávolítására az öntőgépen végzett közbensőüst metallurgia [15, 16], valamint a kristályosítóban a zárványok (öntőpor)salakba juttatását elősegítő [17, 18] áramlást befolyásoló megoldások (pl. indukciós keverés) adnak lehetőséget. A harmadlagos oxidok eltávolítására nincs lehetőség, mivel a szilárd acélból már nem vihetők salakba.

Mivel a zárványok eltávolításra a későbbiekben csak korlátozottan van lehetőség, fontos, hogy a lehetőségekhez mérten minél kevesebb keletkezzen.

A reoxidáció [19] megakadályozása érdekében a konverterben képződött magas FeO tartalmú primer salakot kerámia salakzáró golyó segítségével, valamint salakérzékelő funkcióval ellátott hőkamera (LAND kamera) alkalmazásával visszatartják, és új (szekunder) salakot képeznek az üstben az acélfürdő felszínén, ami elzárja azt a környezeti levegőtől, valamint alkalmas a szükséges metallurgiai munka elvégzésére. Nagyobb mennyiségű átfolyó, magas FeO tartalmú primer salak esetén a salakra alumíniumot szórnak a fürdő reoxidációjának megakadályozása érdekében.

2.2 Üstmetallurgiai kezelés

Az üstmetallurgiai kezelés elsődleges célja az acélfürdő zárvány- és gáztartalmának csökkentése, a pontos kémiai összetétel, kiemelten az acél aktív oxigén szintjének beállítása, kémiai és hőmérsékleti homogenizálása, az előírt öntési hőmérséklet-tartomány beállításához szükséges hőmérséklet beállítása a primer acélgyártó berendezésen (konverteren) kívül [20].

Az üstmetallurgiai kezelés befejezésével zárul az adaggyártás folyamata.

A Dunaferr nem rendelkezik konverteren kívüli hőközlési lehetőséggel (üstkemence), ezért a fúvatás után elvégzett üstmetallurgiai kezelés időtartamát jelentősen behatárolja az azok során fellépő hőveszteség mértéke. Az üstmetallurgia lehetőségeinek kiaknázása érdekében számos kísérleti programot indítottunk az elmúlt években sok esetben együttműködve felsőoktatási intézményekkel [21, 22] és külső szakemberekkel [23].

Korábban, a Dunaferri alkalmazásában, a Miskolci Egyetem levelezős doktoranduszaként az acél tisztaságának javítását vizsgáltam az üstmetallurgia témakörében [24, 25, 26, 27].

2.2.1 Szekunder salak képzése

A csapolás során képzett szekunder salakkal szemben támasztott követelmények sokrétűek. Az acélfelszín hőszigetelésén és reoxidáció elleni védelmén felül az acél-salak határfelületen komoly metallurgiai munkát kell elvégeznie [28]. A szekunder salak viszkozitása [29, 30] jelentősen befolyásolja elsősorban annak zárványtalanító [31], és kéntelenítő [32, 33] képességét.

A Dunaferri gyakorlatában az égetett mészből kialakított magas bázicitású szekunder salak gyorsabb beolvadását alumíniumkohászati ún. aluminát-salak adagolásával érik el. A salak megfelelő fizikai és metallurgiai tulajdonságainak kialakítása számos kísérleti program témáját képezte [34, 35].

2.2.2 Inert gázos (argonos) öblítés

Az inert gázzal történő öblítés régóta bevett gyakorlat az üstmetallurgiai folyamatban, elsősorban az egyszerűsége és az acél tisztaságára gyakorolt többrétű kedvező hatása miatt [36, 37]. A keverési folyamat hatására megindul a fürdő összetételi és termikus homogenizálódása [38], a megújuló salak-acél határfelületen lejátszódó transzport folyamatok felgyorsulnak (pl. kéntelenítés, zárványtalanítás) [39, 40, 41, 42]. A gázbuborékok ideális feltételt teremtenek a diffúziós út lerövidítésével az acél gáztalanításhoz, azonban a vákuumozási lehetőség hiánya miatt a gáztalanítás mértéke a Dunaferri esetében nem jelentős.

A Dunaferri üzemi gyakorlatában az adagot a csapolás megkezdésétől folyamatosan öblítik inert gázzal (argon) az üst alján elhelyezkedő porózus téglán keresztül (argonkő). A zárványeltávolítás hatékonyságának növelése érdekében az üstmetallurgiai kezelés végén, az adagon kis intenzitású (150-200 liter/perc) ún. lágyargonos kezelést hajtanak végre. Az átadási hőmérsékletet (öntőmű felé) elsősorban az öblítés hűtő hatásának kihasználásával állítják be.

Az alsó argon kövön keresztül történő öblítés mellett lehetőség van felső argonos keverésre is, mely során egy tűzálló borítású acélcsövet (lándzsát) engednek az acélfelszín alá kb. 2 méterrel, és nagy intenzitású (600-700 liter/perc) argongázt fúvatnak a fürdőbe. A felső argonos keverés elsősorban az intenzív homogenizálást és a hűtést szolgálja, azonban hátránya, hogy az intenzív fürdőmozgás miatt [43, 44], a fedő salakréteg ellenére, szabad acélfelszín keletkezhet. A szabad

acélfelszín miatt nemkívánt gázfelvétel (N_2), reoxidáció, az intenzív fürdőmozgás miatt pedig salakbekeveredés jöhet létre.

2.2.3 Zárványmodifikáció

A kicsapásos dezoxidáció során alumínium-oxid zárványok képződnek az acélfürdőben. Ezek a zárványok az acélgyártás hőmérsékletén szilárd halmazállapotúak, és jellemzően szögletes/sarkos szerkezetűek [45, 46]. A zárványok tulajdonságait jelentősen befolyásolja azok összetétele. A gyakorlatban megfigyelhető, hogy az alumíniummal dezoxidált acél esetén ($Al > 0,02\%$) a fürdőt kizárólag alumínium-oxid zárványok terhelik [9].

Az alumínium-oxid zárvány a határfelületi kölcsönhatások miatt hajlamos kirakódni, és szűkülést, elzáródást okozni a tűzálló anyagok átfolyó keresztmetszetein, mely jelenséggel részletesen a 2.4.2.4 fejezetben foglalkozok.

A zárványmodifikáció célja, olyan komplex zárványok létrehozása, melyek könnyebben eltávolíthatók a folyékony acélfürdőből, a folyamatos öntés során nem okoznak szűkülést a zárt öntési láncban, valamint a szilárd acélban visszamaradók kevésbé legyenek károsak az acél mechanikai tulajdonságaira.

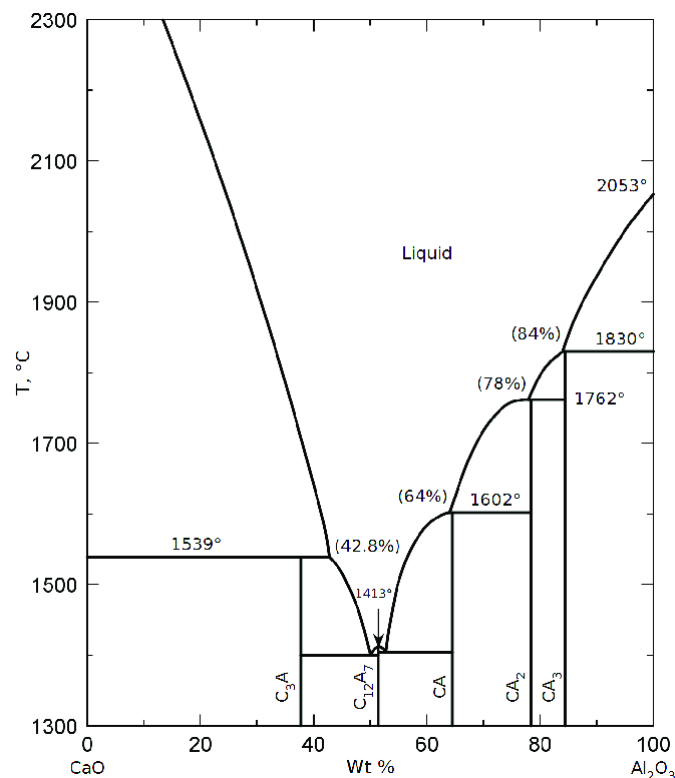
A kalciumos kezelés megfelel ezeknek a kritériumoknak. Megfelelően alkalmazva a kalcium komplexet képez az alumínium oxid zárványokkal/zárvány felhőkkel, ezáltal lecsökkenti azok olvadáspontját az acélgyártási hőmérséklet alá. A kialakult folyékony zárványcseppek könnyebben koagulálnak, és a méretnövekedés miatt könnyebben távoznak el az acélfürdőből a salakba. A modifikált zárványok segítségével meggátolható azok kirakódása a folyamatos öntés során [47, 48, 49]. Az acélban visszamaradó, megszilárdult komplex zárvány nagy szilárdságú gömb alakot vesz fel, ezért a meleghengertés során kevésbé hajlamos összetöredezni, és így sorba rendeződni, ezért nem képez feszültséggócot, és így kevésbé rontja a hengertelt termék mechanikai tulajdonságait.

A 7. ábrán látható, hogy a $12CaO \cdot 7Al_2O_3$ összetételű komplex kalcium-aluminát rendelkezik a legalacsonyabb olvadásponttal. Amennyiben a kezeléssel nem sikerül a keletkezett kalcium-aluminát komplex olvadáspontját lecsökkenteni az acélgyártás hőmérséklete alá, akkor laza szerkezetű, tapadásra, illetve kirakódásra hajlamos komplex jöhet létre [50, 51].

Az acélgyártás hőmérsékletén még az alábbi kalcium-aluminát zárvány összetételi tartományok lehetnek olvadtak (C = CaO; A = Al₂O₃):

- C₁₂A₇ olvadáspont 1455 °C
- C₁₂A₇ – CA olvadáspont: 1400 °C
- C₃A – C₁₂A₇ olvadáspont: 1390 °C

Üzemi tapasztalatok alapján akkor érhető el megfelelő zárványmodifikáció, ha a CaO aránya a zárványban ~40-60% között helyezkedik el [52].



7. ábra CaO-Al₂O₃ kétfázisú diagram [53]

Az acél zárványosságának jellemzésére számos analitikai módszer alkalmazható, azonban ezeknek a módszereknek közös jellemzője, hogy időigényes előkészítést igényelnek, így nem teszik lehetővé a gyors beavatkozást az acélgyártás folyamatába. Az elmúlt évtizedekben a szikragerjesztésű optikai emissziós spektrométerekben végbement fejlődés lehetővé tette egy gyorsabb vizsgálati metódus kidolgozását, mellyel a fém minták kémiai összetétele mellett információ nyerhető az acélt terhelő zárványok kémiai összetételéről is, ezáltal a zárványmodifikáció hatékonyságáról is [54]. A Dunaferri gyakorlatában azoknál az adagoknál, melyeket kalciummal kezelnek, rögzítik a kezelés hatékonyságára utaló arányossági értéket

(zárványossági indexet) mely megadja a mintában található kalcium-aluminát zárványok Al_2O_3 tömegarányát.

$$Z_1 = \frac{wt_A \cdot M_A}{wt_A \cdot M_A + wt_C \cdot M_C} \quad (4)$$

ahol:

wt_A : Al_2O_3 tömegszázaléka [%]

M_A : Al_2O_3 moláris tömege (56 g/mol)

wt_C : CaO tömegszázaléka [%]

M_C : CaO moláris tömege (40 g/mol)

A brammák, illetve a hengerelt termék zárványosság szerinti minősítése a Mannesmann féle táblázat alapján történik.

2.2.4 Összetételi korrekció, mikroötvözés

A nyersacél csapolása során elvégzett ötvözés, majd mintavétel után az üstmetallurgiai állomáson, szükség esetén elvégzik az összetételi korrekciót. Jelentősebb korrekció szükségessége esetén a csapolás során használt darabos ötvözők (pl. FeMn) állnak rendelkezésre, azonban a finomabb összetételi beállítást igénylő ötvöző (pl. C, Al), mikroötvöző (pl. FeNb), és zárványmodifikáló (pl. CaFe, CaSi) anyagok esetén lehetőség van azoknak tömör, illetve porbeles huzal formában történő adagolására is.

Az adag végső (öntőmű felé átadott) aktív oxigéntartalmának beállítása tömör alumínium huzal adagolásával történik.

2.3 Folyamatos acélöntés

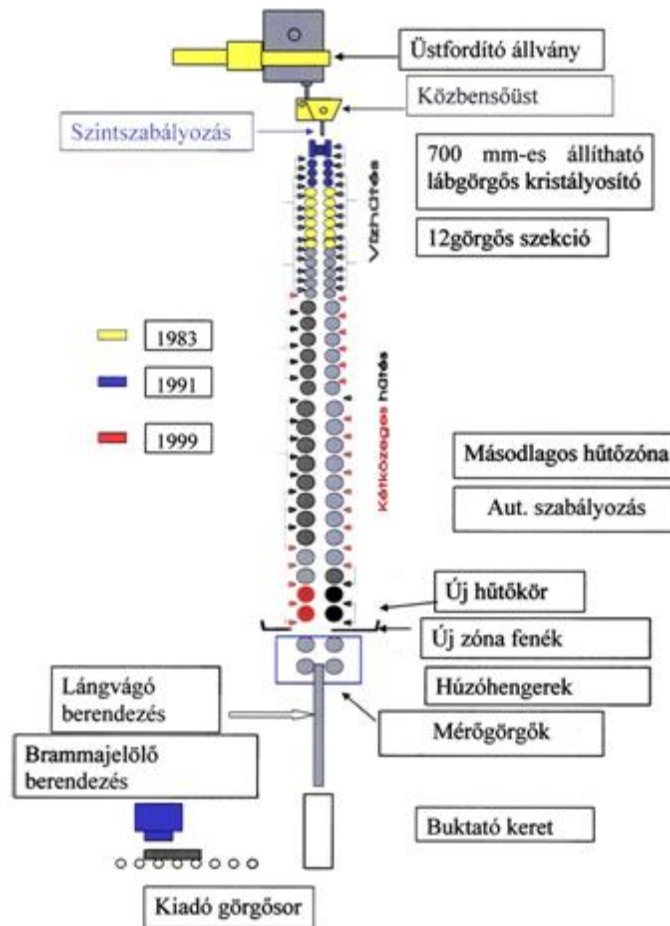
A folyamatos öntés alapanyagát a konverterben gyártott, finomított, folyékony acéladag alkotja. A folyamatos öntés során képződik a metallurgiai folyamat végeredményeként előállított acél téglatest, a bramma, mely a hengerlési fázis alapanyagaként szolgál a későbbiekben. Az öntőgép sematikus felépítése a 8. ábrán látható.

A Dunaferr öntőgépeinek kristályosítóival 860-1550 mm széles, 230 mm vastag brammák önthetők, azonban a szélesség (szelvényméret) öntés közben nem változtatható.

Az öntésindítást követően az acéladagok öntési folyamata a közbensőüst acélszintjének tartásával, a kristályosító szint automatikus szabályozásával, valamint a folyamatirányító rendszer által vezérelt másodlagos hűtés felügyeletével valósul meg.

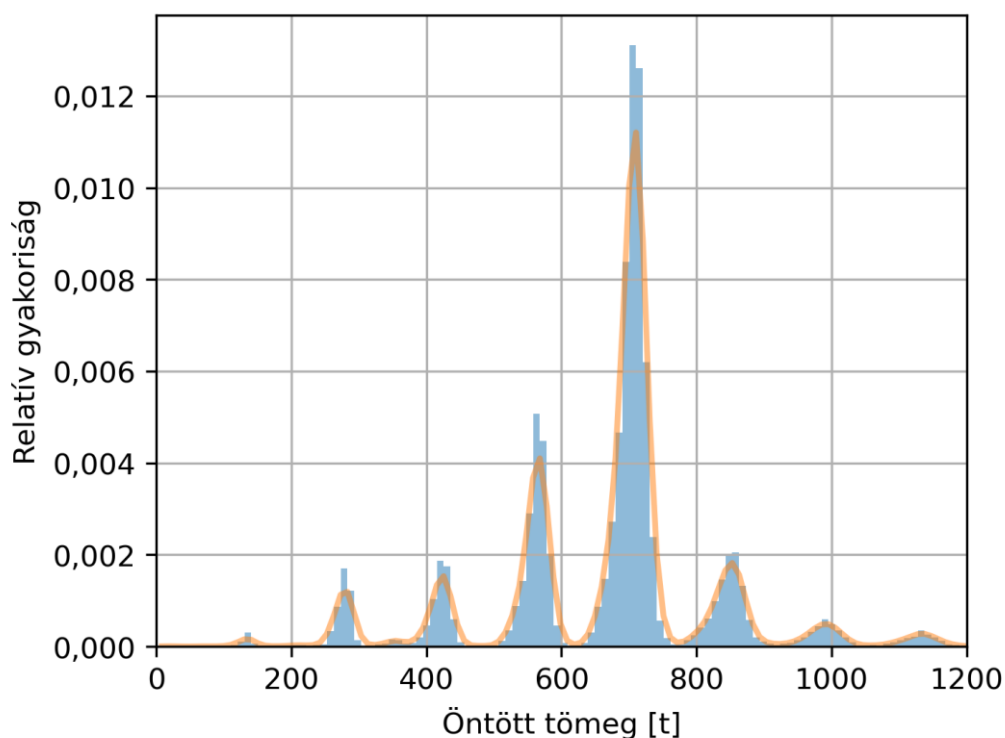
Az öntött szálon első lépésben szilárd kérget képeznek a vízhűtéses kristályosítók segítségével, majd a másodlagos hűtőzónában közvetlen víz, illetve kétközeges víz-levegő hűtés segítségével

teljes keresztmetszetben megszilárdítják azt. A szál egyenletes mozgatását a húzóhengerek biztosítják. A teljes keresztmetszetben megszilárdult öntött szálát lángvágó berendezéssel darabolják a kívánt méretre. A brammák azonosíthatóságát a kiadó görgősor fölé telepített festőgéppel felfestett adag és brammaszám biztosítja. Az adagok öntésének dokumentálására öntési lap készül.



8. ábra Dunaferr Acélmű öntőgépezék sematikus vázlata

Egy sorozatban (szekvens) jellemzően 4-5 azonos összetételű adag kerül leöntésre egymás után. A 9. ábrán látható eloszlásdiagramon az elkülönülő csúcsok az x tengelyen ~135 tonnánként (1 adag tömege) követik egymást, melyből következtetni lehet a szekvens adagjainak darabszámára.



9. ábra Szekvenszek tömegének eloszlása

2.3.1 Öntés indítása folyamatai

Az üstmetallurgiai állomásról érkező acélüstöt („nagyüst”) daruval felemelik a 20,7 m magasságban lévő öntőszintre, és az üstemelő fordítóállványának a „külső” villájába helyezik. Az új öntési sorozat megkezdése előtt az öntőgépet és a folyamatirányító rendszert előkészítik az öntésre, majd az üstemelő fordítóállványba helyezett öntőüstöt öntési helyzetbe fordítják, a közbensőüst fölé (10. ábra). A zárt öntési lánc biztosítása érdekében tűzálló sugárvédő csövet (11. ábra) csatlakoztatnak az acélüst kifolyó nyílásához, és megnyitják az öntőüst tolózárját. A közbensőüst feltöltése közben az acélfelszint fedőporral borítják, mely megolvadva megvédi azt a reoxidációtól, és hőszigetelést biztosít. A közbensőüst elsődleges szerepe, hogy pufferként folyamatos acéllátást biztosítson a kristályosítók felé az acélüstök cseréje során, azonban komoly szerepe van az acél tisztaságának javításában is [55, 56]. A közbensőüst feltöltésének befejezésekor a dugó szerepét ellátó zárórudakat (dugó) (13. ábra) kinyitják, és az indítószalakkal alulról elzárt kristályosítóba acélt engednek a közbensőüst kifolyócsonkjára helyezett, kristályosítói acélszint alá merülő tűzálló merülőcsöveken (12. ábra) keresztül. A merülőcsövek alján, két oldalon elhelyezkedő kiömlőnyílások segítségével megfelelően szétosztják az acélt a kristályosítóban. A kristályosítóban lévő acél felszínén öntőpor adagolásával salakolvadékot képeznek. A megfelelő kristályosítói acélszint elérésekor beindul az automatikus szintszabályzás, és az öntőgép alsó részén elhelyezkedő húzóhengerek az

előírásoknak megfelelően megindítják a szál húzását. A 14. ábrán látható az öntőszinti berendezések sematikus összeállítása.



10. ábra Közbensőüst az öntőszinten



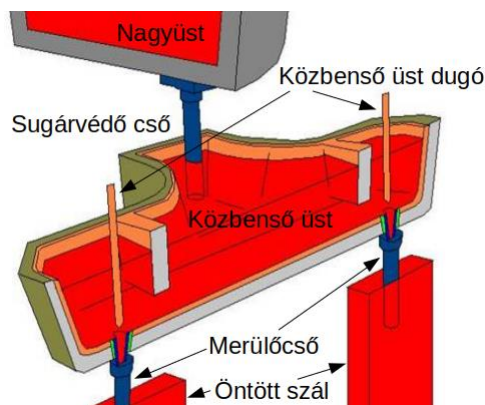
11. ábra Sugárvédőcső (nem használt)



12. ábra Merülőcső (nem használt)



13. ábra Kristályosítói acélszint szabályzó közbensőüst dugók (használt)



14. ábra Öntőszint berendezései

A későbbi adatvizsgálat szempontjából fontos, hogy az új adag öntésének megkezdéséről az üst befordulása adja meg a szükséges jelet a folyamatirányító számítógép felé. A közbensőüstbe helyezett folyamatos működésű hőmérőszonda segítségével, figyelemmel lehet kísérni az acél hőmérsékletét/túlhevítettségét. A szonda adatainak értelmezésnél figyelembe kell venni a hővezetési tehetetlenségéből adódó 3 perces csúszást. Bizonytalan vagy kontroll hőmérséklet mérés esetén lehetőség van kézi hőmérséklet mérésre is hőmérséklet mérő pálcák segítségével, melyek adatai a folyamatos működésű szondáéhoz hasonlóan letárolásra kerülnek az acélmű öntési adatbázisában. Az automatikus kristályosítói acélszint szabályzás izotópos szint mérés alapján történik. A kristályosítóba ömlő acél mennyiségének kontrolálása a közbensőüstben

lévő dugó szerepet betöltő zárórudak segítségével történik. A dugók kizárólag diszkrét pozíciókat vehetnek fel, az adatbázisban csak ezek a pozíciók kerülnek letárolásra.

Az öntési folyamat ideális esetben egyensúlyi állapotban zajlik, állandó húzási sebesség és kristályosítói acélszint mellett.

2.3.2 Kristályosítói folyamatok

A kristályosító egy alul és felül nyitott, vízzel intenzíven hűtött rézfalú tartály, melynek elsődleges feladata olyan vastag szilárd kérget képezni a folyékony acél körül, mely a kristályosítóból kilépve megtámasztások segítségével a ferrosztatikus nyomás ellenében képes megtartani a folyékony acélt. A 15. ábrán látható egy karbantartásra kivett kristályosító, melynek tetejéről készült kép (16. ábra) jobb oldalán látható furatba helyezik a szintmérés jelforrását, a Co60-as izotóp tartályát.



15. ábra Kristályosító a karbantartás során

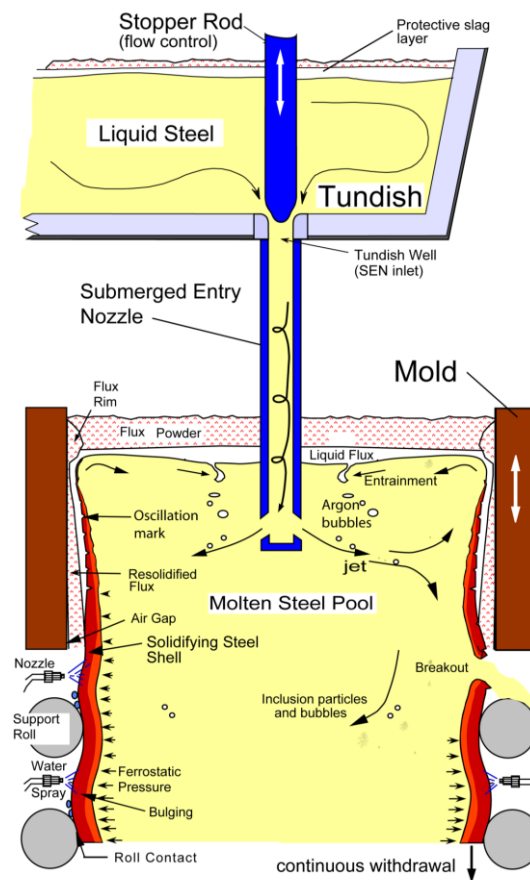


16. ábra Kristályosító belseje

A kristályosító az öntési sebességgel összehangolva folyamatos függőleges oszcilláló mozgást végez, mely megkönnyíti a megszilárdult acélkéreg leválását a kristályosító faláról [57]. Az acélfelületen folyamatos adagolású öntőporból (17. ábra) képzett salak magába foglalja a felúszó zárványokat [58], hőszigetelő réteget képez, védi az acélfelület a reoxidációtól, kenést biztosít a kristályosító fala és a leváló kéreg között [59], valamint az öntött szál hűlése miatt a kristályosító és az öntött szál között kialakuló résbe befolyva elősegíti a megfelelő mértékű, egyenletes hőátadást [60]. (18. ábra)



17. ábra Öntőpor adagolása a kristályosítói acélfelszínre



18. ábra Közbensőüst-merülőcső-kristályosító belső folyamatai [63]

A szilárdulási folyamat legkritikusabb része az acél meniszkuszánál helyezkedik el, ahol a megszilárduló kéreg teteje találkozik a kristályosító és az olvadt fém felületével, hiszen itt alakul ki a termék (bramma) felülete. Ezen a területen fellépő problémákra vezethető vissza a bramma felületén megjelenő repedések jelentős része [61].

Az acélfelszín alá nyúló merülőcsőből kiáramló acél szintén jelentős hatást gyakorol az acél külső és belső tulajdonságaira, tisztaságára [62]. A kirakódó zárványok okozta szűkülések megváltoztatják az acéláramlás tulajdonságait, ami salak/öntőpor bekeveredéshez, zárványbezáródásokhoz, egyenetlen kéregképződéshez vezethet. Nagyobb zárvány bekeveredése a vékony megszilárdult kéregbe, vagy az egyenetlen kéregképződés következtében fellépő feszültség kritikus esetben akár szálszakadást is előidézhet.

Az öntött brammák felületi minőségének javítása érdekében a Dunafernről a kristályosítók belső fala az elmúlt években nikkelbevonatot kapott, melynek hatására szignifikánsan csökkent a felületi hibák mennyisége.

A 2018 szeptemberében az I-es öntőgép modernizációjának keretében új szintszabályzó automatika került beépítésre, melyet a II-es öntőgép 2020 augusztusában követett.

A kristályosítóban tartózkodó folyékony acél mélysége öntés indításnál (meniszkusz és a kristályosító hűtőfalának alja közötti távolság) megközelítőleg 400 mm, míg öntés közben 600 mm.

2.3.3 Másodlagos hűtőzóna szerepe

A kristályosító alatt elhelyezkedő másodlagos hűtőzóna látja el a szál teljes keresztmetszetű megszilárdulásához szükséges hő elvonását a minőségtől és szelvénymérettől függő, folyamatirányító számítógépben meghatározott hűtési modell alapján, a támasztóhengerek közé fűvott egyközegezes víz és kétközegezes víz/levegő ködpermet segítségével (18. ábra).

A hűtés mellett a szál megtámasztása a belső ferrosztatikus nyomás ellenében szintén kiemelt jelentőségű. A támasztóhengerek közötti kihajlások miatt a megszilárdult kéregben fellépő húzófeszültség megnöveli a belső repedések előfordulását [64], valamint a pulzáló folyadékmozgás felerősíti a szál középvonalában megjelenő dúsulási jelenséget [65, 66]. A szál megtámasztását 5 db egymás alatt elhelyezkedő különböző görgő-összeállítású szekció (19. ábra) látja el, melyek adatrögzítés szempontjából is különálló hűtőzónának felelnek meg.



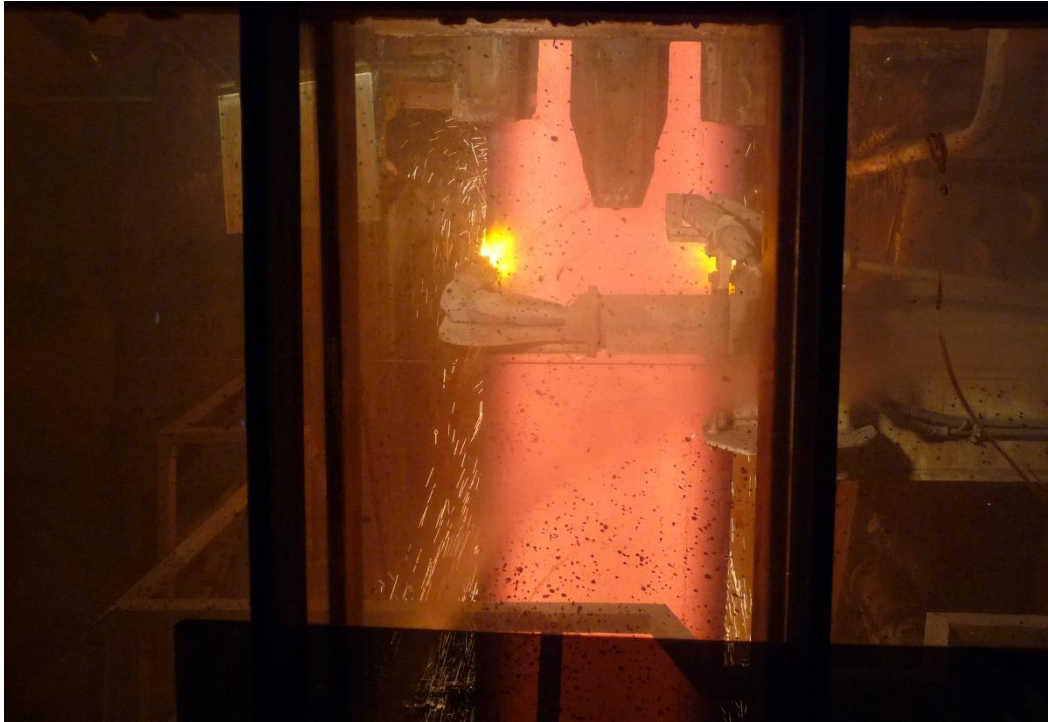
19. ábra 12 görgős szekció felhelyezett hűtő fűvókákkal

A másodlagos hűtőzóna kialakítása, támasztó görgőrendszer beállításának pontossága a benne megvalósuló metallurgiai folyamatok tekintetében kiemelt fontosságú, mert az itt létrejövő középvonali szegregáció (dúsulás) stabil hibajelenség, utólagosan (pl. hőkezeléssel) nehezen, vagy egyáltalán nem mérsékelhető [67].

A támasztó görgők felületi sérüléséből, valamint kopásából fakadó megtámasztási problémák csökkentése érdekében a Dunafer kemény, kopásálló réteggel felhegesztett támasztógörgőket használ.

A másodlagos hűtőzónák alatt helyezkedik el a két húzóhengerpár, melyek a szál megtartásáért, és egyenletes húzásáért felelnek.

A húzóhengerek alatt helyezkednek el a nagynyomású oxigénes vágópisztolyok, melyek a szállal együtt függőlegesen mozogva végzik el az öntött szál darabolását (20. ábra).



20. ábra Öntött szál oxigénes vágása a vágószinten

2.3.4 Öntés során vizsgálat paraméterek

Az öntőgép elrendezésének (fejezet elején található 8. ábra) megfelelően az alábbi technológiai paraméterek kerülnek rögzítésre. A paraméterek mellett zárójelben szereplő szám jelzi az adatletárolás periódus idejét másodpercben.

A vizsgált kulcsparaméterek (**kiemelt** szöveg) kiválasztása Pareto elv mentén az üzemi tapasztalatok és a szakirodalom figyelembevételével történt.

- Nagyüst
 - Tolózár helyzet (6)
 - Tolózár nyomás (6)
 - HTZ akku nyomás (6)
 - Nagyüst tömeg (20)
- Közbensőüst
 - **Acél hőmérséklet (60)**
 - **Záró dugó pozíció (6)**
 - Közbensőüst tömeg (20)
 - Dugó argon mennyiség (20)
 - Dugó argon nyomás (20)

- Kristályosító
 - **Acélszint (6)**
 - Szintszabályzó automatika állapota on/off (6)
 - Hűtővíz hőmérséklet (ki- és bemenő) (60)
 - Hűtővíz térfogatáram (20)
- Másodlagos hűtőzóna
 - Hűtővíz térfogatáram (20)
 - Hűtővíz nyomás (60)
- Húzóhengerek
 - **Öntési sebesség (6)**
 - **Szálhossz (6)**
 - Bramma vastagság (20)
 - Hengernyomás (20)
 - Motoráram (20)
- Lángvágó
 - Oxigén nyomás (20)

A kulcsparaméterek vizsgálata során alkalmazott perem-, korlátozó-, egyszerűsítő és kizáró feltételeket később, a vizsgálatot leíró fejezetekben ismertetem.

2.3.5 Öntőműi adatgyűjtés háttere

Az öntés során számos technológiai paraméter kerül mérésre és rögzítésre, melyek befolyásolják az öntött szál minőségét és az üzembiztonságot. Az adatgyűjtést egy Schneider Electric – Modicon Quantum PLC végzi. A rendszer szálanként egy-egy 140 CPU 434 12U 486-os központi egységgel, valamint hozzá tartozó 140 NOE 771 01 10/100 ethernet kommunikációs egységgel, és 140 AVI 030 00 bemeneti modullal (4-20mA-s jelekre alkalmas bemenetek) van ellátva.

A Modicon PLC-ből a Citec (régebben önálló, azonos nevű, ausztrál cég, most Schneider Electric által Vijeo Citec néven forgalmazott) SCADA 2015 v7.5 szoftver trendelő funkciójával történik az adatok helyi tárolása heti körforgásban. Egy fájl tölt a rendszer, és mellette másik négy fájl tárolja az előző négy hét adatait másodperces mintavételezési felbontásban. Az ötödik hét lezáródásánál a legrégebbi adatfájl törlésre kerül, és új fájlban kezdi el a rendszer tárolni az aktuális adatokat.

Az adatok hosszú távú letárolását egy ORACLE adatbázis végzi. A Modicon PLC szabványos SQL (SQL:2006) utasításokkal percenkénti ismétlődéssel küldi az adatokat az acélmű ORACLE 11g adatbázisába, ahol jellegüktől függően 60, 20, 6 másodperces átlagokban kerülnek letárolásra. A SCADA-t futtató rendszereken ORACLE 11g ODBC kliens van telepítve.

A Dunaferr gyártási adatainak gyűjtése és tárolása több évtizedre nyúlik vissza. Minden adag gyártásáról (konverter, üstmetallurgia) és öntéséről készül egy-egy összefoglaló ún. adaggyártási (3. melléklet) és öntési lap (4. melléklet), melyek elérhetők az acélmű intranet felületén. Az öntési lapon a 20 folyamatosan mért technológiai paramétercsoportból csupán az öntési sebesség, kristályosítói acélszint és a közbensőüstben mért acél hőmérséklete kerül ábrázolásra. Helyileg (Dunaferres) asztali alkalmazásként (Földi Péter által) fejlesztett „Famgörbe” program (5. melléklet) lehetőséget nyújt időhatárokon belül tetszőleges adatsorkombináció ábrázolására.

2.3.5.1 Kristályosítói acélszint mérés

A kristályosító acélszint-szabályzó rendszerét a Vesuvius cégcsoport AMLC (Automatic Mould Level Control) SERT metal alkotja, melynek jeleit szintén a fent említett Modicon rendszer rögzíti.

A szintmérés BERTHOLD izotópos műszerrel történik, melynek a szintjele közvetlenül a szintszabályzó rendszerbe van bekötve. A Modicon rendszer ezekből az adatokból (pl. acélszint, közbensőüst dugó pozíció) csupán másolatot kap.

2018 szeptemberében az I-es, 2020 augusztusában a II-es öntőgépen végeztek szintszabályzás modernizálást. A modernizálás keretében az LB352 típusjelű Berthold castexpert szintmérő rendszert LB452 típusjelű váltotta fel, valamint a szintszabályzásnál alkalmazott SERT UCN 3300-as típusjelű szintszabályzó rendszert az UNC 5000 típusjelű váltotta fel.

A szintmérő berendezés rendelkezik MSA megfeleléssel.

2.3.5.2 Öntési sebesség és öntött hossz mérése

Az öntési sebesség és az öntött hossz mérése az öntött szál megtartásáért és húzásáért felelős, vágószint felett elhelyezkedő két darab húzóhenger pár (21. ábra) kerülete és fordulatszám alapján történik. A fordulatszámmerést kétcsatornás HÜBNER típusú impulzus jeladó végzi (22. ábra). A folyamatirányító számítógép felé adott jel frekvenciája 1024 Hz, míg a vágószint felé adott jel frekvenciája (technikai okok miatt) 50 Hz.



21. ábra Húzóhengerek hajtása (Hübner jeladó a baloldalon látható)



22. ábra Kétcsatornás Hübner jeladó

A húzóhengerek átmérőjét tolómérővel mérik mm-es pontossággal, majd ebből számítanak területet.

Az öntés során levágott brammák felületi hőmérséklete még meghaladja a 750-800°C-ot (vörösen izzanak). Ebben az állapotban a hagyományos mérőszalagos ellenőrző mérés nem lehetséges, ezért brammák hosszának ellenőrzése a kiadó görgősornál kialakított mérősíneken történik 10 mm pontossággal. (23. ábra)



23. ábra Brammaméret ellenőrzés a mérősíneken

Az öntött brammák hosszát elsősorban a húzóhengerek cseréje utáni időszakban, de ettől függetlenül is folyamatosan ellenőrzik az öntési folyamat során.

Az öntött hossz, illetve az öntési sebesség mérő berendezések rendelkeznek MSA megfeleléssel.

2.3.5.3 Acél hőmérséklet mérés

A túlhevítettség meghatározása céljából az acél hőmérsékletét a közbenső üstben mérik egy az acélba merülő Heraeus Elektro-nite gyártmányú hőmérsékletmérő szondával.

A mérőberendezés rendelkezik MSA megfeleléssel.

A húzóhengereknél termokamerával mérik az öntött szálak felületi hőmérsékletét, de ezen adatok nem kerülnek letárolásra, csupán a kezelő személyzetnek szolgáltatnak valós idejű információt.

2.3.5.4 Egyéb mérések

Az öntési folyamat során számos paraméter kerül még folyamatos mérésre (pl. hűtővíz mennyiség és nyomásértékek), azonban ezek vizsgálata meghaladja jelen értekezés kereteit, ezért nem ismertetem őket.

2.4 Az öntés jellegzetes eseményei

A következőkben röviden áttekintem az értekezés témájához kapcsolódó, adag-, és brammahatárok azonosításának problémáját, valamint az öntött bramma külső és belső tulajdonságaira

legnagyobb negatív hatást gyakorló állandósult állapotot megzavaró öntési eseményeket, valamint a vizsgálatukhoz kialakított szekvens (öntési) alapú adatkezelés rendszerét.

2.4.1 Adag-, és bramma-határok azonosítása

Az acélműtől a meleghengermű felé átadott bramma alapanyag azonosítása adag- és brammaszám alapján történik. Ezek az azonosítók információt nyújtanak arról, hogy az adott brammát melyik konverterben gyártották, melyik öntőgép, melyik szálán öntötték, és az adag öntése során hányadik volt a sorban az adott szálon.

A diszkrét jellegű adaggyártás és a folyamatos jellegű öntés összehangolása nem csak a termelésirányítókat állítja kihívás elé. Az adaggyártás szemszögéből az adagot legyártják és kezelik egyértelműen hozzárendelhető paraméterekkel, azonban az öntése más adagokkal együtt történik egymás után. Az adag alapú adatkezelés problémája már a puffer szerepet betöltő közbensőüstnél jelentkezik, ahol az egymásra öntött adagok keverednek. A problémát fokozza az, hogy szelvényméret (öntött szál szélessége) párostól függően egy adagnyi (kb. 135 tonna) acélból, különböző hosszúságú szál önthető. Ezek a szálhosszok a legritkább esetben esnek egybe a vevő által kívánt brammák hosszával. A termelékenységi szempontok miatt a határon lévő brammák részben az előző adag végéből, részben a következő adag elejéből keveredve kerülnek leöntésre. Ezen okok miatt az adag első brammájának öntése az adott szálon nem feltétlenül esik egybe az adag öntésének kezdetével. Ez az eltérés nagyban megnehezíti a hengerelt terméken jelentkező metallurgiai eredetű hibák okainak visszakövetését.

A fenti körülmények miatt elengedhetetlen tudni, hogy a bramma az öntött szálban pontosan hol helyezkedett el, mert csak ez alapján lehet pontosan vizsgálni, hogy milyen hatások érték az öntés során. Az adag-, és bramma-határok azonosításával ez a nehézség kiküszöbölhető és vizsgálhatóvá válnak a hengerelt terméket ért metallurgiai eredetű hatások, pontosabb képet adva a minőséget befolyásoló paramétereikről.

Jelenleg a kísérleti programokhoz, reklamációk-, és egyéb kivizsgálásokhoz csupán az adag alapú adaggyártási és öntési lapok nyújtanak információt. Egy-egy brammát ért hatások vizsgálata ennek következtében nagyon körülményes, és nagy odafigyelést igényel.

2.4.2 Állandósult állapottól eltérő események

2.4.2.1 Vegyes szálszakasz

A folyamatos acélöntés biztosítása érdekében az üres és teli acélüst cseréjének időtartama alatt a közbensőüst látja el az acélutánpótlást a kristályosító felé. Az öntött acél tisztasága és az öntés

biztonsága érdekében az acél szintje nem csökkenhet bizonyos szint alá, mert az többek közt hozzájárulna az örvényhatás [68] miatt fellépő salak/zárvány beszívódáshoz a kristályosítóba. Az új acélüst megnyitáskor a kiömlő acél keveredik a közbensőüstben lévő acélmennyiséggel. Üzemi tapasztalat és korábbi mérések alapján megközelítőleg 40 tonna acél leöntése után „hígul” fel, cserélődik le a közbensőüst acéltartalma annyira, hogy az összetétel megfeleljen az új acél kémiai összetételének. A keveredés többnyire nem jelent problémát, mert egy szekvensen belül (átlag 4-5 adag) jellemzően azonos kémiai követelménnyel rendelkező adagok kerülnek leöntésre. Zárványtartalom szempontjából azonban már itt is lehetnek jelentős eltérések az adagok között. Üzemzavar, vagy kistételes megrendelés esetén időnként előfordul, hogy egymástól jelenős mértékben eltérő összetételű acélt kell egymás után önteni (pl. Nb-mal mikroötvözött és nem mikroötvözött). Ilyen esetekben az átmeneti szálszakaszból vágott bramma két vége között gyakran jelenős összetétel különbség mérhető, valamint a hengerlés során jelentős különbség mutatkozhat a mechanikai tulajdonságokban. Az átmeneti összetételű szálszakaszból vágott, kevert minőségű brammák megnevezése a „vegyes bramma”.

2.4.2.2 Öntési sebesség változás

Jelentős mértékű öntési sebességváltozás elsősorban az öntés indulásánál, illetve befejezésénél, üstcserénél, merülőcső cserénél, illetve beavatkozások esetén következik be. A változás hatására megváltozik a folyékony acél áramlása a kristályosítóban és jelentős szintingadozást okoz. Ez az ingadozás könnyen öntőpor bezáródást okozhat a megszilárduló kéregben, ami nemfémes zárványként jelenik meg a brammákban. Magasabb öntési sebesség esetén már enyhe öntési sebesség változás hatására is jelentősen megemelkedik a nemfémes zárványok mennyisége a bramma felületi rétegeiben. Ez a jelenség elsősorban a kristályosítóban éppen öntött szálszakaszt érinti. Minél egyenletesebb és lassabb az öntési sebesség változás, annál kisebb negatív hatást gyakorol a bramma nemfémes zárvány tartalmára [69].

Wang Y. és Zhang L. publikációjában szereplő üzemi tapasztalatok alapján a sebességváltozással terhelt brammában található zárványok mennyisége sokkal magasabb, mint az állandó sebességgel öntött brammák esetén. Matematikai szimulációk alapján az is megfigyelhető, hogy az öntési sebesség hirtelen növekedése nagymértékben megváltoztatja a kristályosítóba ömlő acél áramlását, és felületi hullámzást hozhat létre, ami öntőpor (salak) bezáródást okozhat [70].

A másodlagos hűtőzónákban elhelyezkedő támgörgők az öntési sebességváltozások, illetve állások hatására maradandó alakváltozást szenvedhetnek (támgörgőn belüli nem egyenletes

hőmérséklet eloszlás miatt), ami egyedi támgörgő excentricitás kialakulásához vezet. Ez az excentricitás az öntés során ciklikus térfogatváltozást eredményez az adott szálszakaszon, mely olvadékáramlást indukál a szál belsejében elhelyezkedő folyékony acélban. Ez az áramlás megzavarja az egyenletes szilárdulást, valamint elősegíti a makrodúsulás folyamatát [66].

Öntési sebesség változás során az átmeneti mushy zóna pozíciója megváltozik. Ezzel párhuzamosan az ott összegyűlő, illetve kialakuló dendritek méretének eloszlása szintén megváltozik. Ez a változás hatást gyakorol az átmeneti zóna permeabilitására, a folyékony acél utánpótlására. A változás miatt megváltoznak a dúsulási folyamatok [67, 71].

Nem utolsó sorban meg kell említeni, hogy az öntési sebességváltozás hatására megváltozik a kialakuló szilárd kéreg vastagsága [72, 73, 74], mely elsősorban a kristályosító alatti szálszakasznál veszélyes, hiszen, ha túl vékony a kialakult kéreg, szálszakadás következhet be.

A Dunaferr üzemi gyakorlatában, amennyiben az öntési sebesség a meghatározott minimum érték alá csökken, akkor az öntőgép metallurgiai hosszában tartózkodó (9865 mm) brammák „lassított” jelölést kapnak. A lassított brammák esetén lehetőség van minőségbiztosítási, illetve egyéb megfontolásból az eredetihez képest más tovább feldolgozási stratégia alkalmazására. A minimális öntési sebesség értéke az acél minőségétől (összetételétől), valamint a szelvénymérettől függ. Az ismertetett adatfeldolgozó program azonosítja a lassítással érintett szálszakaszokat, hogy később vizsgálhatók, illetve megjeleníthetők legyenek.

2.4.2.3 Acélszint ingadozás a kristályosítóban

Az acél kristályosítóban végbemenő szilárdulási folyamata sok összetett, egymásra ható jelenségtől függ [75]. Ide tartozik a helyi hőátadás, folyadékáramlás, hőfeszültség, valamint az oszcilláció okozta nyomásingadozás a folyékony acél meniszkuszának közelében. A kristályosítóban elhelyezkedő folyékony acél meniszkuszánál indul meg az acél szilárdulási folyamata, ezért ez a szakasz jelentősen befolyásolja az öntött szál felületi minőségét [76]. Az öntött szálon keletkező felületi hibák nagy része, beleértve a felületi repedéseket [77] és felszakadásokat [78], erről a területről származnak. A szintingadozás a meniszkusznál hozzájárul a kristályosító falán frissen megszilárdult acélréteg behajlásához, perem kialakulásához [79]. Jelentős korreláció mutatható ki a kristályosítóban jelentkező szintingadozás és a felületi hibák megjelenése között az öntött brammában [80]. A jelentős mértékű ingadozás hatására öntőpor, és más, a felszín közelében lebegő szennyeződés záródhat az acélba, melyek felületi hibaként jelenhetnek meg a későbbiekben [80].

Az adatbázisban a kristályosítói acélszint adatok az kristályosító felső peremétől mért acélszint távolságát tartalmazzák, tehát az érték növekedése esetén csökken az acélszint, míg csökkenése esetén növekszik az acélszint. A könnyebb értelmezhetőség érdekében a későbbi magyarázatok során csupán a tényleges kristályosítói szintváltozásra hivatkozok, és nem a tényleges értékekre. (pl. acélszint emelkedés a tényleges acélszint emelkedését jelenti, nem pedig a kristályosító felső peremétől való távolság növekedését).

2.4.2.4 Elzáródások a merülőcsőben

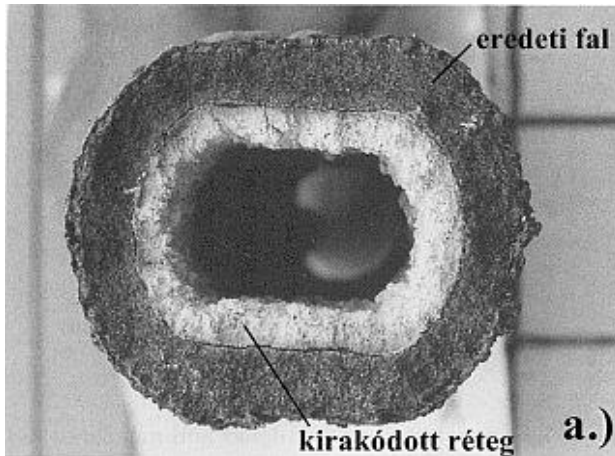
A közbensőüstből a kristályosítóba nyúló merülőcső meghatározó szerepet játszik a stabil öntési folyamat fenntartásában, valamint az öntött brammák minőségében. A zárt öntési láncot fenntartva megakadályozza a környezeti oxigén és nitrogén felvételét, valamint biztosítja a megfelelő acéláramlást [81].

A merülőcső belső falán létrejövő lerakódások csökkentik az átömlő keresztmetszetet, valamint megváltoztatják a kiömlés áramlási jellemzőit. A merülőcső kimenetének közelében megváltozó áramlási mintázatok aszimmetrikus áramlást és rendellenes hőmérsékleti eloszlást eredményeznek a kristályosítóban. Ezen jelenségek hozzájárulnak a kéreg egyenetlen elvékonyodásához, a folyékony öntőpor-salak inhomogén beszivárgásához a kéreg és a kristályosító fala közé, zárványok bezáródásához a megszilárdult kéregbe, a felső folyékony salak bekeveredéséhez vagy akár szálszakadáshoz is [82, 83]. A jelenség még súlyosabb, ha acélszint ingadozással is párosul [84]. A merülőcső elzáródásának elsődleges oka az acélban már meglévő szilárd, főleg alumínium oxid zárványok kirakódása, melyek könnyen megtapadnak a forró tűzálló anyag felületén a kedvező felületi energiák következtében [85, 86]. Az alumínium-oxid hálózat morfológiája alapján a kirakódó zárványok nagy része reoxidációból származik [87]. A közbensőüstöt elhagyó zárványok megközelítőleg 10%-a rakódik ki a merülőcső belső felületén [82].

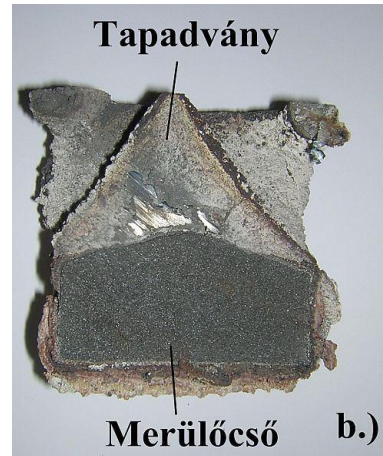
A merülőcsővön megjelenő zárványkirakódás problémája, mint minden acélművet, a Dunaferrét is súlyosan érinti. Számos kísérleti program került kivitelezésre, valamint több tudományos értekezés is született a témában a Dunaferr saját szakembereinek, és külső szakemberek részvételével [88, 89, 90, 91, 92]. Ezek a vizsgálatok segítettek feltárni a Dunaferr acélművére specifikus jellemzőket.

A fentiek mellett súlyosan veszélyezteti a brammák belső minőségét minden alkalom, amikor egy-egy kirakódás leválik, és bekerül az áramlásba. Leválásnál öntőpor, valamint makrozárvány bezáródás történhet az öntött szálba [93]. Az így levált tapadvány az acélban

drasztikusan csökkenti annak szakító szilárdságát, és szívósságát [94]. Még ha nem is záródik be a megszilárduló acélba, és gyorsan felúszik az öntőporból képzett salakrétegbe, akkor is jelentős szintingadozást okozhat. A salakba került alumíniumoxid zárvány megzavarhatja a salak lokális összetételét, megnövelve annak viszkozitását, melynek hatására romlik a salak kenőképessége, és ez felületi hibához vezethet (pl. hosszanti repedés) [95].



24. ábra Használt merülőcső keresztmetszete [96]



25. ábra Használt merülőcső alsó részének függőleges metszete



26. ábra Merülőcső kiömlőnyílása



27. ábra Használt merülőcső kiömlőnyílása



28. ábra Használt merülőcső keresztmetszete

A 26. ábrán látható a használat előtti (eltömődéstől mentes) merülőcső kiömlőnyílása. A merülőcsőben jelentkező zárványkirakódást jól mutatják az alábbi irodalmi (24. ábra), valamint a Dunaferri példái (25., 27. és 28. ábra). A zárványok kirakódásáról, illetve leválásáról a közbensőüst kiömlő csomkjára ülő záródugó pozíciójának változásából lehet következtetni. A merülőcső átömlő keresztmetszete a kirakódás hatására csökken. Az így bekövetkező csökkenő

anyagáramot a közbensőüstben elhelyezkedő dugó nyitása, míg a keresztmetszet növekedéssel járó zárványleválás esetén a megnövekvő anyagáramot a dugó zárása ellensúlyozza.

2.4.2.5 Beavatkozások

Az ideális öntési folyamat során az acél tulajdonságai (pl. hőmérséklet), a berendezések kopása, valamint a zárványkirakódások nem teszik szükségessé külső beavatkozások elvégzését, és az öntés teljes időtartamára érvényes a zárt öntési lánc. Sajnos az üzemi körülmények gyakran eltérnek az ideálistól. A szűk átömlési keresztmetszetek hajlamosak tovább szűkülni pl. zárványkirakódás miatt. Egyéb hibák is előfordulhatnak, melyek megzavarhatják az öntési folyamatot, például a nagyfokú hőterhelés, kopás, vagy anyaghiba miatt bekövetkező merülőcső törése. Ilyen esetekben az automatizált folyamatba emberi beavatkozás válik szükségessé amellet, hogy lehetőség szerint biztosítani kell az öntés folytathatóságát. A beavatkozások jellegétől függően szükségessé válhat az öntési sebesség csökkentése, vagy akár az öntés ideiglenes felfüggesztése is. A beavatkozások pozíciójának rögzítése a leöntött szállhossz (bramma-hossz) alapján történik. Amennyiben a beavatkozás a korábban ismerttetett okokból (pl. öntési sebességváltozás, kristályosítói szintingadozás) kifolyólag indokoltá teszi, a meniszkusz környéki szálszakaszt (jellemzően 400 mm) a brammák vágásához hasonlóan a húzóhengerek alatt elhelyezkedő vágószinten kivágják/eltávolítják.

2.5 Meleghengerlés

A metallurgiai fázist követő meleghengerlés során a brammát a kívánt hengerlési hőmérsékletre hevítik, melyre 1 db léptetőgerendás és 2 db tolókemence ad lehetőséget. A megfelelő hőmérsékletű brammákat reverzáló hengerállványon előhengerlik, majd a készsorra (6 állványos, 1700-as kvarto folyamatos szélesszalagsor) továbbítják, ahol a lemez elnyeri végső vastagságát. A megfelelő vastagságú lemezt a csévéző berendezésen felcsévélik, majd onnan a tekercsraktárba szállítják.

*„Fontos, hogy mindent mérjünk, ami mérhető,
és megpróbáljuk mérhetővé tenni, ami még nem az.”*

Galileo Galilei (olasz természettudós)

3 MES elven alapuló új öntési adatfeldolgozó rendszer

A fent említett öntési jelenségek vizsgálata az adaggyártás alapú adatrögzítés miatt sok bizonytalanságot hordoz. A bizonytalanságok csökkentésére, és az öntési események automatizálható elemzéséhez közel 10 évvel ezelőtt kezdtem el fejleszteni az alább ismertetésre kerülő programot. A program elsődleges célja egy adatfeldolgozási rendszer megteremtése volt, mellyel az öntési folyamat automatizáltan válik vizsgálhatóvá, valamint nagy pontossággal azonosíthatóvá válnak az öntött szál jellegzetes pozíciói, szakaszai. Első és legfontosabb feladat a brammák pozícióinak, valamint az állandósult állapottól eltérő szálszakaszok (öntési sebesség változás, kristályosítói acélszint ingadozás) azonosítása volt az öntött szálon. Ezen feladat megvalósítása után előállak azok az adattáblák, melyek alapján a kollégákkal már vizsgálni tudtuk az egyes brammákat ért hatásokat. Az eredmények alapján látszott, hogy a program alkalmas az üzemi, minőségügyi, technológiai fejlesztés és egyéb területeken tevékenykedő szakemberek munkájának megkönnyítésére. Az adatok vizualizációjánál kiemelt szempont volt az egyszerűség, áttekinthetőség, és a már ismerős ábrázolási összeállítások (pl. öntési lapról) alkalmazása azért, hogy az alacsonyabb informatikai ismeretekkel rendelkező szakemberek számára is könnyen használható legyen.

Az első verzió Pascal nyelven került megírásra, és a feldolgozott adatok letárolása egy MS Access adatbázisban történt. Az adatfeldolgozási rutinok alapjai itt kerültek először implementálásra. Ebben a verzióban még csak a bramma-pozíciók meghatározása és ábrázolása volt a cél. A program asztali alkalmazásként megállta a helyét, funkciói stabilan működtek, azonban a fejlesztés miatti folyamatos frissítése túl nagy terhet jelentett volna az informatikai rendszert üzemeltető szakembereknek. Ekkor született meg a döntés, hogy a teljes kódot át kell írni platform független, ingyenes programnyelvre, mely mérnöki/tudományos bővítményekkel is rendelkezik, és támogatja a webes megjelenítést. A Python nyelv megfelelt ezeknek a követelményeknek, ezért a második verzió adatelemzésre (pandas, scipy, numpy) és webes megjelenítésre (flask, bokeh) is teljes mértékben Python 3.6 kódot használt. A program már ebben a fázisában is sok új információt nyújtott a meglévő megjelenítőkhöz képest, de a használt python nyelv nem illeszkedett a Dunaferri szakemberei által használt nyelvekhez. A

probléma orvoslásaként a harmadik verzió létrehozásához fejlesztői csapat alakult. Külön indult meg az Oracle adatbázis szerveren futó nyers adatok feldolgozását végző PL/SQL nyelven megírt programrész, valamint a webes megjelenítést megvalósító PHP + JavaScript kód fejlesztése. A lassú fejlesztés, valamint az újabb funkciók bevezetésének nehézsége miatt magam írtam meg a szükséges kódokat. Így született meg a negyedik verzió, mely egy adatbeviteli és egy megjelenítési weboldalt használt. Hátránya az volt, hogy a megjelenített diagramok dinamikus változtatása túl sok felhasználói műveletet igényelt. Az ötödik verzióban (jelenlegi) a megjelenítés átírásra került SPA (Single Page Application) elgondolás alapján.

A webes fejlesztés fázisától lehetővé tettem a felhasználók számára az alkalmazás elérését és tesztelését. A felhasználók visszajelzései, valamint a jelenlegi Dunaferris informatikai infrastruktúrát üzemeltetők tanácsai sokat segítettek a stabil és hatékony programkód létrehozásában.

3.1 Adatforrások bemutatása

Az elemzések elvégzéséhez három adatforrást vettem igénybe. Az adattáblák használt mezőinek listáját a 6. melléklet tartalmazza.

1. Az acélmű gyártási adatokat tartalmazó Oracle adatbázis adattábláit
 - a. Famadat: Adagok öntési adatait tartalmazza. Elsődleges szerepe a szekvenszek jellemzőinek összeállításában volt (öntés kezdete, vége, fej- és lábvég méret, szelvény szélesség, adagok öntési sorrendje és az acélgyártási előírás kódja).
 - b. Bramma: Öntött brammák adatai (könyvelt hideg hossz, kivágások).
 - c. Ontlapfo: Bizonylatolt öntési adatok (innen csak a kémiai elemzés alapján számított likvidusz hőmérséklet származik).
 - d. Szalhiba: Az öntés során történt beavatkozásokat tartalmazza. A beavatkozások pozíciója (kezdete és vége) az öntött adag kezdetétől leöntött hideg brammahosszra vonatkozik, nem veszi figyelembe az esetleges kivágásokat.
 - e. Merulo: Az adagok öntése során elvégzett merülő cső cserék pozícióját tartalmazza. A Szalhiba-hoz hasonlóan hideg brammahosszra vonatkozik.
 - f. Proba: Az acélgyártás különböző fázisaiban vett kémiai elemzések eredményeit tartalmazza.
 - g. Huzadag: Az acél kezelése során adagolt tömör és porbeles huzalok listáját tartalmazza (kalciummal kezelt, és nem kezelt adagok szétválasztásánál használtam).

- h. Gorbe6: 6 másodperces ciklusban letárolt öntési adatok. (pl. öntési sebesség, kristályosítói acélszint, közbensőüst dugópozíció, szálhossz adatok).
 - i. Gorbe20: 20 másodperces ciklusban letárolt öntési adatok (pl. másodlagos hűtővíz térfogatáramok, nagyüst tömeg).
 - j. Gorbe60: 60 másodperces ciklusban letárolt öntési adatok (pl. másodlagos hűtővíz nyomásai, hűtővíz és acél hőmérséklet adatai).
2. A termelés irányítás minőségi előírásokat tartalmazó Oracle adatbázis adattábláját
 - a. VGyU_Kemia: Vertikális Gyártási Utasítás kémiai előírásai (a Proba tábla adataival összehasonlítva azonosítottam a vegyes öntésű szálszakaszokat).
 3. A termelési és leminősülési adatokat tartalmazó vállalatirányítási SAP R/3 adatbázisát
 - a. Termelés: Minőségügyi igazgatóság által is használt adatlekérdezés.
 - b. Leminősülés: Minőségügyi igazgatóság által is használt adatlekérdezés.

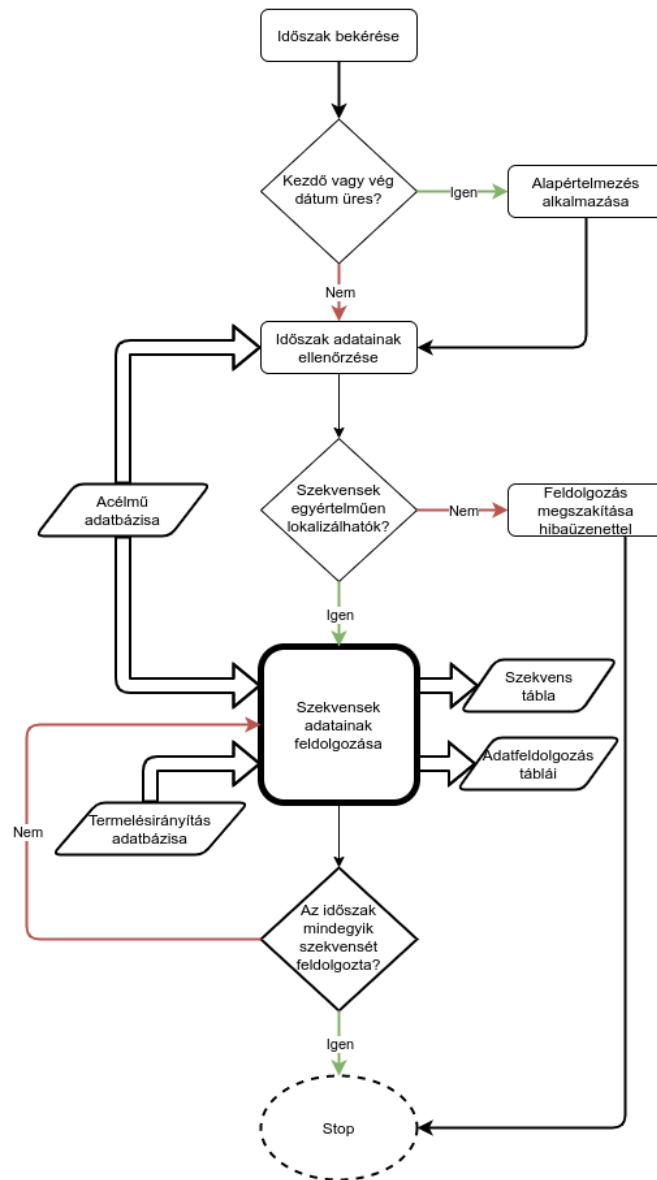
Az öntési folyamat adatait (öntőgépenként) három „Gorbe” tábla (Gorbe6, Gorbe20, Gorbe60) tartalmazza. Az idő-öntött hossz összerendelés tekintetében a 6 másodperces adatletárolási ciklusú Gorbe6 tábla adatai vitálisak, míg az adaghatárok megállapításának tekintetében a 20 másodperces adatletárolási ciklusú Gorbe20 tábla adatai elengedhetetlenek.

A nyers adatokból kinyert információk az acélmű adatbázis szerverén kerülnek eltárolásra az alábbi táblákban (7. melléklet):

1. Szekvens: A szekvens alapadatait tartalmazza mely behatárolja a vizsgált időszakot.
2. Bramma: Az öntött brammák korrigált adatait tartalmazza, valamint az elemzések alapján a brammákat ért hatásokat.
3. Beavatkozás: Az öntés során történt beavatkozások típusát és korrigált pozícióit tartalmazza.
4. Szakasz: Az öntési adatsorokon azonosított szakaszok pozícióit és azok jellemzőit tartalmazza:
 - a. Öntési sebességváltozással érintett szálszakasz,
 - b. Kristályosítói színtingadozással érintett szálszakasz,
 - c. Közbenső üst dugópozíció változással érintett szálszakasz,
 - d. Lassítással érintett szálszakasz,
 - e. Kevert minőséggel érintett „vegyes” szálszakasz.
5. Hiba: Azon adathibák pozícióit tartalmazza, melyek megakadályozzák a megbízható idő-öntött hossz összerendelését, illetve a tényleges adagkezdet azonosítását.

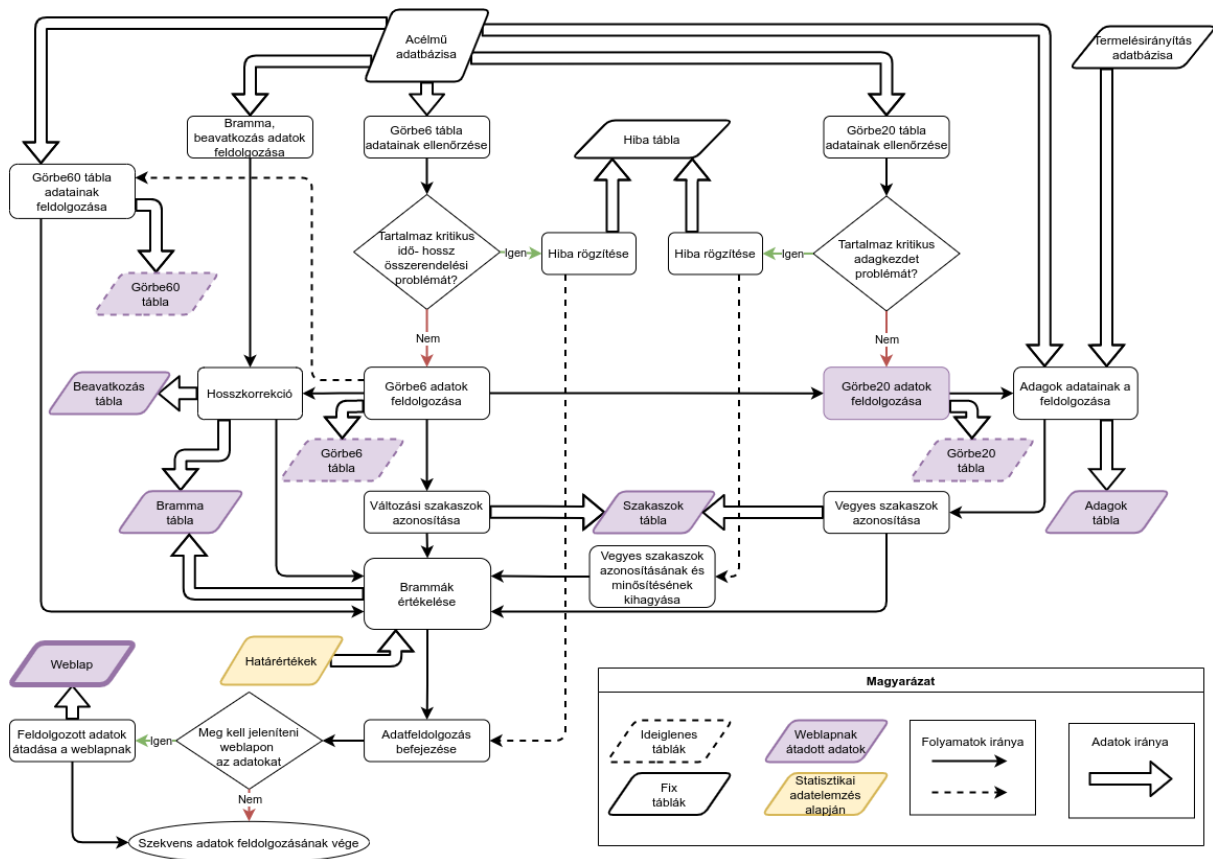
3.2 Adatfeldolgozás folyamata

A statisztikai vizsgálatok elvégzéséhez hosszabb időszak (akár több év) adatainak feldolgozása szükséges, azonban a webes megjelenítéshez elegendő csupán a megjelenítendő szekvens adatainak feldolgozása.



29. ábra Időszak szekvensadatainak feldolgozási folyamata (8. melléklet)

Ahhoz, hogy a rendszer mindkét feladatnak megfeleljen, a szekvensek egyedi adatfeldolgozását ciklusba foglaltam. A 29. ábrán látható időszakot feldolgozó folyamat magjában elhelyezkedő „Szekvens adatainak feldolgozása” folyamat részletesen a 30. ábrán látható



30. ábra Szekvensadatok feldolgozásának folyamata (9. melléklet)

A 30. ábrán látható „Brammák értékelése” folyamat bemenő paramétereit képező „Határértékek” a 4. fejezetben kerülnek ismertetésre.

3.3 Szekvens (öntés) alapú adatfeldolgozás

Az ipari körülmények adatkezelési problémái komoly kihívást jelentettek. Adatátviteli vagy érzékelő probléma miatt számos esetben került üres (null) és nulla (0) érték a paraméterek közé. Az üres érték egyértelműen kezelhető volt, hiszen egyértelműen jelezte az adatkimaradást. A nulla esetén viszont csak a környező adatok ismeretében volt valószínűsíthető, hogy az érték valós, vagy csak adathiba miatt került rögzítésre. Hasonlóan csak a környezeti adatokból lehetett következtetni számos esetben a 6-20-60 másodperces átlagolt adatok jóságára. Az adatok feldolgozása során törekedtem a hiányzó, illetve hibás adatok pótlására, javítására, azonban a folyamat sajátosságai miatt a sok esetben az adott adatkörnyezetben egyértelműen hibás adatszakaszok más adatkörnyezetben helyes adatszakasznak bizonyultak. Az idő és hosszadatok vitálisak a későbbi elemzés szempontjából, ezért többlépcsős vizsgálattal kizártam azokat a száladatokat, ahol kritikus adatbizonytalanság volt tapasztalható. Kritikus adatbizonytalanság miatt az összes vizsgált szekvensből a szálak ~1,1%-a került kizárásra. Az 1. táblázat mutatja a kritikus adathibák előfordulásának arányát. A 6 másodperc letárolási

ciklusú adatoknál tapasztalt kritikus adatproblémák a hosszadatok bizonytalansága miatt megakadályozzák a további vizsgálatokat. A 20 másodperces letárolási ciklusú adatok bizonytalansága „csupán” a tényleges adagkezdet megállapítását teszi bizonytalanná, ezért „csak” a hozzá kapcsolódó számításokat akadályozza meg (pl. tényleges adagkezdet és vegyes szálszakasz lokalizálása).

1. táblázat Kritikus adatproblémák aránya a feldolgozás során

Adathiba jelenség	Arány*
6 mp letárolási ciklusú adatok	
6 mp-től eltérő adatletárolási ütem	0,610%
Maximális hosszváltozástól nagyobb hosszváltozás	0,726%
Van hosszváltozás miközben a kristályosító üres (valószínűleg szálszakadás)	0,624%
Szálhossz adat null értékű	0,006%
Adatok hiányoznak a szál kezdeténél	0,008%
Túl nagy az öntött és a vágott hossz közötti különbség	0,351%
20 mp letárolási ciklusú adatok	
Az öntőüst tömege minimum érték alá csökkent	1,181%
20 mp-től eltérő adatletárolási ütem	0,204%
Több adag kezdet van, mint ahány adag	0,310%
Nem állapítható meg mindegyik adag kezdete	1,420%

*A szekvensek 1-1 szálát egyszerre több adatprobléma is érintheti

Üzemi megfigyelések alapján az esetleges felületi hiba a beavatkozás, illetve jelentős öntési sebesség és kristályosítói acélszint változás helyétől (aktuális meniszkusz) jellemzően 400 mm-en belül tapasztalható. A lábvég, fejevég, valamint a beavatkozások miatt alkalmazott kivágások jellemző hossza is 400 mm. Ezen megfigyelések alapján az adatfeldolgozó rendszer felépítése, valamint az elemzések elvégzése során (pl. mozgóablakos változáskeresés, zárványleválás valószínűsített helyének megadása) ezt az értéket használtam.

A használt boxplot és relatív gyakoriság diagramok bemutatására később a 4. fejezetben kerül sor.

3.3.1 Öntött és vágott hossz számítása

A teljes öntött szálhossz két különböző megközelítés alapján adható meg. Az öntés során az öntőgép húzóhengerei által adott jel alapján az adagok szálhosszainak összegével, valamint az adott szálon levágott brammák teljes hosszának összegével. Ez a két számítási mód erősen korrelál egymással, mint ahogy az várható, és a későbbi számítások is megerősítették.

3.3.1.1 Vágott szálhossz számítása

A brammák hosszának szigorú könyvelése miatt jó kiindulási alapot biztosítottak az öntött szál hosszának meghatározásához. A teljes vágott hossz megadása az alábbi 5. képlet alapján történik:

$$L_{vágott} = L_{Lábvég} + \sum (L_{Bramma} + L_{Zsugor}) + L_{Fejvég} \quad (5)$$

ahol:

$L_{vágott}$: Vágott meleg szálhossz [mm]

$L_{Lábvég}$: Lábvég mérete (öntött szál eleje) [mm]

L_{Bramma} : Bramma hideg hossza [mm]

L_{Zsugor} : Adott bramma hőtágulását (zsugorodását) kompenzáló hossz [mm]

$L_{Fejvég}$: Fejvég mérete (öntött szál vége) [mm]

Az adatbázisban csupán a brammák hideg hossza kerül rögzítésre, azonban a szál darabolása meleg állapotban történik. A hőzsugorodás kompenzálása érdekében a meleg öntött szálát technológia szerint a vágóberendezés hideg brammaméret előírástól függően (4700 mm hosszról 60 mm-rel, ez alatt 30 mm-rel) hosszabbra vágja. Ez a hossz adja az öntött hossal összehasonlítható meleg vágott bramma hosszát.

A hőzsugorodás miatti kompenzált hossz a bramma alaki és méreti tűréstartományát tartalmazó belső DASZ 20:2018 szabványnak megfelelően került meghatározásra az üzemi gyakorlatban.

Az öntés indításakor a kristályosítóba helyezett indítószál zárja el alulról az acél útját. A kristályosító feltöltése során a legfontosabb, hogy az acél és az indítószál között stabil szilárd kapcsolatot alakuljon ki, ami feltétele a húzás elindításának. Ennek következtében az indítószál teteje, és a beállított acélszint közötti különbség (~400 mm) minőségi problémák elkerülése miatt a vágószinten kivágásra kerül, és veszteségként (lábvég) kerül elkönyvelésre. Ha valamilyen okból (pl. öntésindítási probléma) a lábvég mérete különbözik 400 mm-től, akkor azt figyelembe kell venni a szál hosszának számításánál. A 400 mm feletti lábvégrész az elkészített programban 0-s sorszámú brammaként kerül regisztrálásra (hőtágulás figyelembevétele nélkül).

A szekvens utolsó brammájának öntése után a közbensőüstben lévő acél leürítésre kerül. A leürítés során a közbensőüstben az öntés során felszaporodott szennyezők elsősorban az örvényhatás miatt [97, 98, 99, 100] az öntött szálba kerülnek. Ebből az acélmennyiségből (~400 mm) feldolgozásra szánt bramma már nem keletkezik, veszteségként kerül elszámolásra. A fejvéggként öntött szálszakasz 99-es számú brammaként kerül regisztrálásra az elkészített programban (hőtágulás figyelembevétele nélkül).

Beavatkozások pozícióinak számítása

A beavatkozások nagymértékben befolyásolhatják a bramma belső és külső minőségét. Az öntést irányító szakemberek termelés-szervezési szempontok miatt törekednek arra, hogy az előre látható beavatkozásokat (pl. merülőcső tisztítás, rápumpálás) az öntött szálon a brammák tervezett határainál végezzék el, mert így az érintett szálszakasz két bramma között kivágható anélkül, hogy a tervezett bramma-hosszokon változtatni kelljen. A törekvésüket segíti, hogy a beavatkozások pozíciójának a megadásánál a hideg méret szerinti, az adag öntésétől számított hasznos hossz kerül rögzítésre.

A további adatfeldolgozáshoz a szekvens alapnak megfelelően a beavatkozások pozíciói az öntött szálaban elfoglalt bramma-pozíciók (vágott), valamint a kivágott (eltávolított) szálrészek figyelembevételével módosításra kerültek.

3.3.1.2 Öntött hossz számítása

A diszkrét jellegű adag alapú adatkezelés miatt minden adag leöntése végén egy szálvége jel kerül beadásra a kezelő által. A szálvége jel hatására az adag végén az öntési adatok között a szálhossz nullázásra kerül. Téves szálvége jel esetén a következő bramma végén is megadható ez a szálvége jel, ami ismét a szálhossz érték nullázásához vezet. A 6 másodpercenként letárolt átlagolt szálhossz értékek jellegéből fakadóan a nullázásnál a szálhossz folyamatos növekedését jellemzően két negatív hosszváltozás követ (egy köztes és egy nullához közeli érték). A probléma kiküszöbölésére egy rutinnal különbséget képeztem az egymás utáni szálhossz értékek között (Δl), majd a negatív változásokat korrigáltam az öntési sebesség ($v_{\text{öntési}}$) és a 6 másodperces adatletárolási ciklus (Δt) segítségével.

$$\Delta l = v_{\text{öntési}} \cdot \Delta t \quad (6)$$

Az így megkapott javított hosszváltozásokat kumuláltan összegezve rendeltem hozzá minden letárolt időbélyeghez. Az így megkapott egyértelmű idő-hossz összerendelés képezi az alapját a szekvens alapú adatfeldolgozásnak.

Hibás szálhossz adatok

A szálhossz adatok jósága elengedhetetlen a további vizsgálatok szempontjából. Minden adag javasolt öntési sebességét meghatározza annak kémiai összetétele (öntési osztálya), szelvénymérete, valamint túlhevítettségének mértéke. A javasolt értéknél gyorsabb öntés esetén megnövekszik a veszélye annak, hogy a teljes keresztmetszeti megszilárdulás nem valósul meg a húzóhengerek, rosszabb esetben a vágás szintjéig, deformációt, vagy rosszabb esetben

szálszakadás okozva. Ezen okokból, valamint az öntőgép fizikai korlátaiból következik, hogy az időegység alatt bekövetkező szálhosszváltozás mértéke maximummal rendelkezik. A 6 másodpercenként átlagolt szálhossz adatok a fenti okok miatt ritkán haladják meg a 70 mm-es hosszváltozást. Néhány esetben megfigyelhető volt, hogy 30 másodpercen belül követte egymást kiugróan magas (100-120 mm) majd alacsony szálhossz változás, ami adatkommunikációs problémára utalt. Ezen szakaszok hosszváltozásának átlaga megfelelt az öntési sebesség miatt indokolt szálhosszváltozásnak, ezért nem befolyásolták jelentősen a további vizsgálatot. Az adatok vizsgálata alapján 150 mm-nél nagyobb hosszváltozás már nem kezelhető a fenti módszerrel, mert jellemzően adatkimaradás esetén fordul elő, amikor a rendszer a kimaradt adatok helyett 0 értéket rögzít, majd folytatja a helyes szálhosszok rögzítését. A jelenség hasonlít az adagöntés végén végzett szálhossznullázáshoz, ezért nem korrigálható biztonsággal, az érintett szálak adatai kizárásra kerültek a további vizsgálatokból.

Azok a szálak is kizárásra kerültek a további vizsgálatokból, ahol a szálhossz adatok hiányosan kerültek letárolásra vagy üres (null) értékeket tartalmaztak.

3.3.1.3 Öntött szálvég meghatározása

Az öntési folyamat során rögzített szálvég adatok hiányosságai miatt szükséges volt egy rutin megalkotása, mellyel nagy biztonsággal határozható meg az öntés (szálankénti) befejezésének pillanata. A kezelő által a szálon beadott „öntés vége” jel hatására az öntött szálhossz értéke nem növekszik tovább, de ugyanez a jelenség akkor is, ha az öntési sebességet 0 m/perc-re vagy ahhoz közeli értékre csökkentik valamilyen okból (pl. beavatkozás). Az adatbizonytalanságok kiküszöbölésére a rutin olyan időszak kezdetét kereste, ahol nem változott a szálhossz. Túl rövid változatlan időszak esetén könnyebben fordulhat elő hamis szálvég eredmény, míg túl hosszú esetén megnő a veszélye annak, hogy a szál öntésének vége után az időszakon belül megszűnik az öntési adatok rögzítése, és így a rutin hibás eredményre jut, mert nem talál a feltételnek megfelelő szálvég szakaszt. Az öntési adatok elemzése során megfigyelhető volt, hogy a felfüggesztett öntések jellemzően 3 percen belül újra indultak. Azokban az esetekben, ahol az öntés vége felé merül fel olyan probléma, mely a szál megállítását igényelné, akkor jellemzően azon a szálon, a technológiának megfelelően befejezték az öntést, és a maradék acél leöntését az öntőgép másik szálán oldották meg szintén a technológiai előírásoknak megfelelően. Ezen okból az utolsó bramma öntésének végén kizárólag olyan állás fordulhat elő, ami a szál öntésének végét jelzi. A fentiek alapján a szálvég időpontját az az esemény adja, amikor a szál hossza legalább 3 percig nem változik, és az adatbizonytalanságot figyelembe

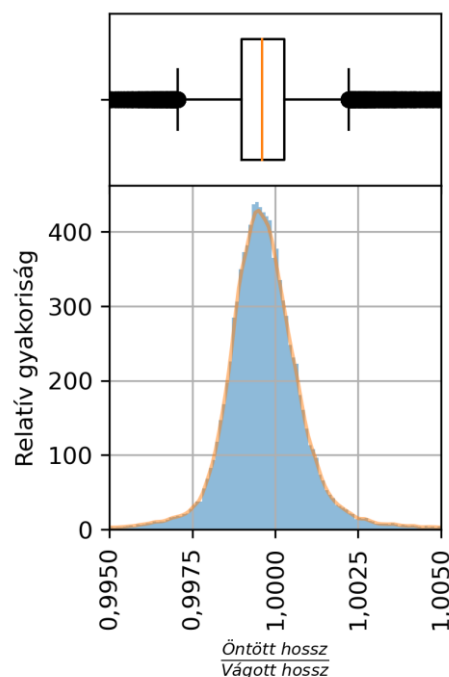
véve a vágott hosszától legfeljebb 3000 mm-rel tér el. Az öntőgép fizikai adottságaiból adódó legrövidebb brammaméret 3200 mm, ezért szerepel a feltételben ennél kisebb érték.

Nincs szálvég információ

Néhány esetben a szálvég pozíciója nem határozható meg a fenti módszer alapján. Az ilyen eset akkor fordul elő, ha az öntés befejezése során komoly technológiai probléma adódik, ami meggátolja a technológia szerinti végszál kiadását (pl. szálszakadás). A kristályosítói acélszint leürülése és mellette a szálhossz további növekedése egyértelműen erre a problémára utal. Azok a szálak, melyek öntése során nem állapítható meg az öntés végének az időpontja, kizárásra kerültek a további elemzésből.

3.3.1.4 Hossz korrekció

Az öntött és vágott szálhossz között az eltérő számítási metódus, valamint az ipari körülmények miatt különbség figyelhető meg. A két fajta szálhosszérték alapján megadott események összeegyeztethetősége érdekében korrekcióra volt szükség. Az öntőgép által mért öntött hossz részletessége és jellege lehetővé tette az öntött hossz, illetve az öntés során eltelt idő kölcsönös összerendelését, ezért ezt a hosszt tekintetem alapnak, és a vágott hosszt, illetve a vágott hossz alapján megadott hossz értékeket (pl. bramma hosszpozícióját az öntött szálon belül) ehhez korrigáltam.



31. ábra Öntött és vágott hosszok arányának eloszlása

Mivel a kezdő, nulla pozíció mindkét esetben adott, és a végpozíciónak is közel egybe kell esnie, a brammák és beavatkozások kezdő és végpozícióját ($p_{vágott}$) korrigáltam az öntött ($L_{öntött}$) és vágott ($L_{vágott}$) hossz hányadosával.

$$p_{öntött} = p_{vágott} \cdot \frac{L_{öntött}}{L_{vágott}} \quad (7)$$

A diagram (31. ábra) alapján látható, hogy az eloszlásfüggvény maximuma („csúcsa”) kissé az 1 alatti tartományban helyezkedik el, tehát a vágott hossz jellemzően nagyobb, mint az öntött hossz. Az eltérés nem a mérési adatok pontatlanságából fakad (hosszmérés rendelkezik MSA megfeleléssel). A lehetséges okokkal, valamint az eltérés minősíthetőségével a későbbi 4.1 fejezetben foglalkozok.

3.3.2 Idő és öntött szálhossz összerendelés

A szekvens alapú adatvizsgálat alapjainak megteremtéséhez első és legfontosabb feladat az volt, hogy az idő alapon tárolt adatokhoz hozzá kellett rendelni az öntött szál pontos hosszbeli pozícióját. Az öntés során számos olyan körülmény léphet fel, ami befolyásolja, illetve bizonytalanná teheti ezt az összerendelést. Adatelemzést kizárólag azon a szekvensen lehet elvégezni, ahol az idő alapon rögzített adatokat egyértelműen össze lehetett párosítani az öntött hosszal. Az ipari körülmények miatt bizonyos esetben előfordul olyan adatbizonytalanság, mely megakadályozza ezt az összerendelést.

3.3.2.1 Adatkimaradás, adatösszecsúszás

Az öntött szálhosszt tartalmazó rekordok 6 másodperces ciklusokban kerülnek letárolásra ezért az adatok időrendbe állított listájával szemben támasztott szigorú feltétel, hogy az adatrekordoknak 6 másodpercenként kell egymást követniük. Ez a feltétel adatkimaradás, illetve adat összecsúszás esetén sérülhet. Adatkimaradás adatkommunikációs hiba miatt alakulhat ki, amikor a PLC az átlagolt adatokat valamiért nem tudja átküldeni az ORACLE adatbázis felé, míg az adatösszecsúszás elsősorban az őszi óraátállítás alkalmával fordult elő. Az óraátállításkor a számítógépek óráinak átállítása manuálisan az öntések közötti szünetben történt. Két szekvens öntése között kb. 60 perc telik el. Ez az időtartam szükséges a végszál technológia szerinti kiadásához, az új szekvens indítoszálának a kristályosítóba helyezéséhez, valamint annak felkészítéséhez az öntéshez. Az acél öntésének megkezdése előtt biztonsági okokból technológia szerint 15 perccel a másodlagos hűtőzóna hűtővizet beindítják, ami elindítja az öntési adatok rögzítését a már említett ciklusokban. Így jöhet létre óraátállításkor az a helyzet, hogy az adatok alapján az előző szekvens adatrögzítése még nem ért véget, de már

a következőé elindult, és az adatok összecsúsznak. Mind az adatkimaradás, mind az adat összecsúszás olyan bizonytalanságot eredményez az idő-öntött hossz összerendelésbe, ami nem korrigálható biztonsággal, ezért az ezzel a problémával érintett szekvenseket kizártam a további vizsgálatból.

3.3.2.2 Adatrögzítés késése

A közbensőüst záródugójának megnyitása után megjelenik az acél a kristályosítóban. Miután a folyékony acél meniszkusza eléri a beállított szintet, a szintszabályzó automatika részben visszazárja a közbensőüst dugót és a szál húzási sebessége beállított karakterisztika szerint megemelkedik a kívánt szintre. Ez az indítási folyamat megközelítőleg másfél – két percet vesz igénybe, ami alatt csak minimális mértékben változik a szálhossz. Ez idő alatt az öntési folyamat értelemszerűen közel sem állandósult, de a technológiából adódóan jellegzetes adatsort hoz létre.

- A szálak öntési sebességei 0-ról emelkedni kezdenek,
- Kristályosítói acélszintek növekszenek az indítószálak pozíciójából adódó alapjelekhez képest
- Szálhossz értékek 0-ról emelkedni kezdenek
- Kristályosítói szintszabályzó automatikák kézi állásból automatikus szabályzásba váltanak
- Közbensőüst dugópozíciók megemelkednek (kinyitnak)

Adatkommunikációs, vagy egyéb technológiai okokból kivételes esetekben előfordulhat, hogy késve indul meg az adatok rögzítése, így a szekvens elejéről nincs pontos információ. Minél később indul be az adatok rögzítése, annál bizonytalanabbá válik az idő és szálhossz adatok összerendelése.

A változások (öntési sebesség, kristályosítói acélszint, közbensőüst dugó pozíció), kívülálló értékeinek keresésénél (4.2 fejezet) az öntésindításhoz kapcsolódó változásokat nem vettem figyelembe a gyakoriság (minden szekvensnél egyszer előfordul) és az extrémítás miatt.

Mivel a szálhossz az öntés indításánál 0-ról indul, és ~120 másodperc alatt jellemzően nem változik jelentősen, valamint a változások kívülálló értékeinek számításánál nem kerülnek felhasználásra, ezért csak azokat a szekvenseket zártam ki a további vizsgálatból adatbizonytalanság miatt, ahol az öntés indításától számított 120 másodpercen belül nem történt adatrögzítés.

3.3.3 Öntött adaghatárok meghatározása

A vágott adaghatárokkal szemben, ahol az adag kezdete az adag első brammájának kezdő pozíciójával esik egybe, az öntött adaghatár ahhoz a pillanathoz köthető, amikor a közbensőüstben az acélüst nyitása után megjelenik az „új”, előzőtől (ha kismértékben is) eltérő paraméterekkel gyártott acél. Az öntött adaghatár meghatározása elsődleges a keveredéssel érintett szálszakaszok azonosításához. Meghatározásához elegendő az acélüst tömegváltozásának a vizsgálata.

Az acélüst tömege az üstcsere pillanatától eltekintve az öntési folyamat során szigorúan csökken. Amikor teli üst befordul a közbensőüst fölé, a folyamatos, 20 másodpercenként letárolt üsttömeg adatokban jelentős ugrás figyelhető meg. Normál üzemmenet esetén a beforduló új üst tele van. Üzemzavar miatt azonban előfordulhat, hogy a másik öntőgépről áthozott üstben visszamaradt acélt kell leönteni. Ilyen esetekben a mért üsttömeg jóval kisebb mértékben emelkedik meg a telihez képest. Az adatbizonytalanság kiküszöbölése miatt az új üst befordulás tényének a vizsgált feltétele az, hogy az acélüst tömege legalább 50 tonnával növekedjen két adatrögzítési ciklus alatt (40 másodperc). Az üst tehetetlenségi mozgásából fakadó tömegmérés bizonytalansága miatt az üst tolózárának megnyitásáig minimális ingadozás tapasztalható a teli üst tömegében. Az öntési adagkezdet meghatározásához teljesülnie kell a fent említett befordulás tényének, valamint a nagyüst tömegének el kell kezdeni csökkennie. A feltétel teljesüléséhez legalább 1 tonna tömegcsökkenés szükséges a maximális acélüst tömeghez képest. Az első adag kezdete jellegéből fakadóan mind öntési, mind vágási szempontok alapján egybe esik. A meghatározott adagkezdet pozíciókhoz a szekvensben öntött adagok sorrendje alapján rendelttem hozzá az adagszámot.

3.3.3.1 Hibás acélüst tömeg

Az üres acélüst tömege nagy intervallumon belül mozoghat a falazatkopások, valamint az üstben visszamaradó acél és salak mennyiségétől függően. Egy frissen falazott üst üres tömege megközelítőleg 80 tonna, és a kopások hatására sem csökken 60 tonna alá. Azokon a szálakon, ahol 60 tonna, vagy az alatti üsttömeg szerepel, nem végeztem el az öntött adaghatár meghatározását az adatbizonytalanságból kifolyólag.

3.3.3.2 Adatkimaradás, adatösszeecsúszás

Az öntött szálhossz 6 másodperces adatrögzítési ciklusával szemben a nagyüst átlagolt tömegének rögzítése 20 másodperces ciklusokban történik. A szálhosszhoz hasonlóan a 20 másodperces adatokban mutakozó bizonytalanság is meggátolja az öntött adagkezdetek pontos

meghatározását, ezért azokban az esetekben, amikor az egymást követő adatok közötti időkülönbség 20 másodperctől eltért a szekvens öntése során, az adagkezdeteket nem határoztam meg az adatbizonytalanság miatt.

3.3.3.3 Öntési és vágási adagkezdetek összerendelése

Az adagkezdetek keresése során az ipari környezetből fakadó adatbizonytalanság miatt előfordult, hogy egy-egy adagkezdet nem, vagy többször kerül rögzítésre. Ilyen esetekben az összerendelés bizonytalansága miatt az adagkezdetet nem határoztam meg.

3.4 Jellegzetes szálszakaszok azonosítása

Az ideális, állandósult állapotú öntés esetén a teljes öntött szátra azonos körülmények hatnak, ami homogén öntött szálat eredményez. Az ipari körülmények miatt azonban csak törekedni lehet az állandósult állapot kialakítására, illetve megtartására. A jellegzetes szálszakaszok azonosítása során rögzítettem azok időbeli és öntött hosszbeli határait, valamint a későbbi statisztikai vizsgálatok elősegítésére egy, a szakaszra jellemző tulajdonságot (pl. legnagyobb intenzitású változás a szakaszban).

A vegyes összetételű szálszakaszokat a leöntött tömeg alapján határoztam meg, míg az öntési adatsorokon megfigyelhető változások vizsgálatához más, általánosítható megoldás megalkotása mutatkozott célravezetőnek.

Üzemi tapasztalat alapján a meniszkuszt érintő jelentős változások (öntési sebesség, kristályosító szint) miatt kialakuló felületi problémák jellemzően az öntött szál felületének következő 400 mm-én belül jelennek meg, ezért a szálszakaszok vizsgálatához egy 400 mm öntött hosszt felölelő mozgó ablakot használtam.

3.4.1 Vegyes összetételű szálszakasz

Az adagok egymásra öntésekor a közbensőüstben a két adag keveredik. Tapasztalati mérések alapján kb. 40 tonna (szelvény szélességtől függően a két szálon összesen 14,2-26,4 m) acél leöntése után tekinthető ismét állandósult összetételűnek a közbensőüst tartalma. Az átmeneti szálszakaszok meghatározásánál figyelembe kell venni mind a két szál tömegnövekedésének mértékét, amire hatással van a szelvény méret, valamint az öntési sebesség is. A vegyes összetételű szálszakasz lokalizálását a korábban meghatározott tényleges adagkezdetek, a művek között elszámoláshoz használt, szelvény mérettől függő folyóméter tömeg, valamint a két gépen párhuzamosan mért szálhosszváltozás alapján valósítottam meg.

A vegyes szálszakaszok határainak rögzítésén felül megkülönböztettem az alábbi eseteket:

- mindkét adag kémiai összetétele megfelel mindkét adag kémiai előírásának
- az adag összetétele nem felel meg az előírásának
- a két adagnak eltér a kémiai előírása, és az egyik adag összetétele nem felel meg a másik adag előírásának

Amennyiben a két adag kémiai összetétele nem felel meg egymás követelményeinek, akkor szálszakasz határai mellett rögzítésre kerül az eltérést okozó kémiai elem(ek) listája is.

Elkülönítetten került rögzítésre az eltérő kémiai elemek listája azokban az esetekben, amikor az adag nem felel meg saját kémiai előírásának, illetve amikor a két adag összetétele nem felel meg egymás kémiai előírásának.

A Vertikális Gyártási Utasításokban (VGyU) meghatározott kémiai előírások sokfélesége miatt az eltérő elemek rögzítésére azt a módszert alkalmaztam, hogy minden (jelenleg vizsgált) elemhez hozzárendeltem egy sorszámot. A sorszám a kettes számrendszerben meghatározta annak a bitnek a helyét, melyeknek 1-est kellett tartalmaznia abban az esetben, ha az elem eltérő. Az így kialakított szám egyértelműen leírja az eltérő elemeket, és a későbbiekben amennyiben a technológia megkívánja, tetszés szerint bővíthető az elemek listája. A 2. táblázat tartalmazza a sorszámokhoz tartozó bitek értékeit, melyet összeadva megadható az eltérő elemek kombinációja.

2. táblázat Kémiai eltérő elemekhez rendelt értékek

Sorszám (n)	Elem (kombináció)	Azonosító (2 ⁿ)	Sorszám (n)	Elem (kombináció)	Azonosító (2 ⁿ)
0	C	1	12	Sn	4.096
1	Mn	2	13	B	8.192
2	Si	4	14	N	16.384
3	S	8	15	O	32.768
4	P	16	16	Ca	65.536
5	Cu	32	17	Cr + Cu + Mo + Ni	131.072
6	Cr	64	18	Cr + Mo + Ni	262.144
7	Ni	128	19	Cu + Cr	524.288
8	Mo	256	20	Nb + Ti + V	1.048.576
9	Al	512	21	V + Nb	2.097.152
10	Ti	1.024	22	C egyenérték	4.194.304
11	V	2.048			

A vegyes szálszakaszok azonosításával több különböző vizsgálati metódus válik lehetővé. Az ismertett szemponton felül a rendszer például lehetőséget biztosít azon szálszakaszokból

készült brammák vizsgálatára is, melyek bár azonos minőségűek, de statisztikai, illetve metallurgiai szempontok alapján nagy különbség van egyes elemek koncentrációjában. Az adatfeldolgozó program minimális programkód hozzáadásával tetszőleges további (jelen értekezésben nem részletezett) vizsgálatok elvégzését teszi lehetővé. Ilyen vizsgálat lehet például a vegyes brammák minősítése az összeöntött adagok összetételének eltérése alapján elemek szerint, mely figyelembe veszi az egymás előírásának megfelelő, de fajlagosan nagy koncentrációkülönbséget az elemekben (alsó, illetve felső határra ötvözött adagok).

3.4.2 Öntési adatsorok változással terhelt szálszakaszai

Az adatok vizsgálatához első lépésben el kellett távolítani a „hamis” változásokat, melyek például az adatrögzítés sajátosságaiból fakadnak, de nem jelentenek tényleges változást.

Öntési sebesség változásnál kizártam azokat a változásokat, melyek nem haladták meg a legkisebb lehetséges változás mértékét (0,01 m/min), és a közvetlen környezetükben előfordult azonos mértékű, ellentétes előjelű változás (kiegyenlítették egymást). Ezek a változások túlnyomóan a rögzített értékek kerekítése miatt jelennek meg, és nincsenek hatással a folyamatra.

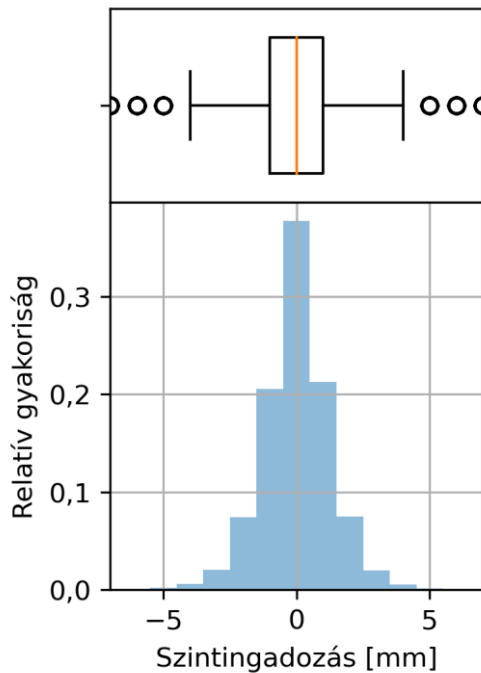
A kristályosítói acélszintet a szintszabályzó automatika kis kilengésekkel közel állandó értéken tartja. 2018. szeptemberében az I. számú öntőgép szintszabályzó automatikáján modernizációt hajtottak végre (2020. augusztusában a II-es öntőgépen is), mellyel jelentősen javult a kristályosítói szinttartás. A diagramokon megfigyelhető a modernizáció előtti és utáni (32. és 33. ábra) szintingadozás eloszlása. A boxplot diagramok alapján megfigyelhető, hogy a modernizáció előtt a ± 4 mm feletti ingadozás volt kívülálló értéknek tekinthető, míg a modernizáció után a határok közötti távolság („szórás”) jelentősen csökkent, az 1. kvartilis egybe esik a mediánnal, kívülálló értéknek pedig a -1 és +2 mm tartományon kívüli ingadozások tekinthetők. Az adatok jóságát támasztja alá, hogy mindkét esetben a mediánok értéke 0, ami szintszabályzó automatika állandó szinttartásának tudható be.

A modernizáció előtti adatok vizsgálata alapján a változások jellemzően nem haladják meg a 4 mm-t, ezért az abszolút értékben 4 mm, illetve az ez alatti ingadozásokat nem tekintettem változásnak.

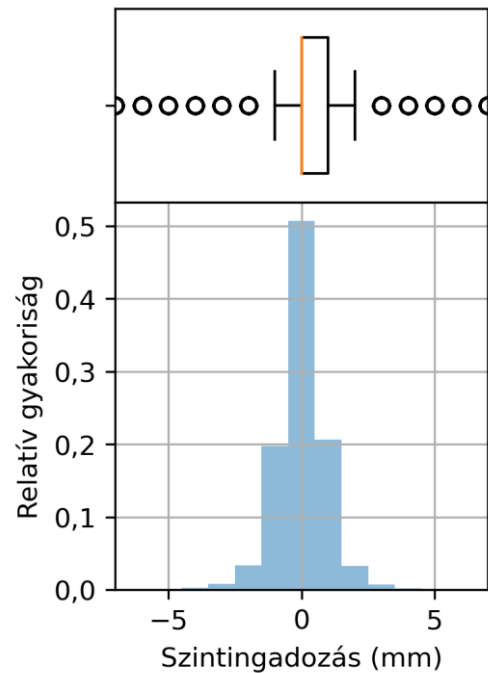
A közbensőüst dugópozíció változásánál az öntési sebességváltozáshoz hasonlóan kizártam azokat a változásokat, melyek nem haladták meg az 1 egységet (legkisebb lehetséges változás), és a közvetlen környezetükben előfordult azonos mértékű, ellentétes előjelű változás

(kiegyenlítették egymást). Egységnyi dugópozíció változás során milliméteres nagyságrendben változik a közbensőüst záródugójának a függőleges pozíciója.

Az egymáshoz közeli változások jellegükből fakadóan egy eseményhez tartoznak, ezért ezeket a változásokat egy 400 mm-es (öntött hosszra vonatkoztatott) mozgó ablak segítségével egy szakaszba soroltam. Azok a változások képezik a változási szakaszok kezdetét, illetve végét melyek előtt, illetve után 400 mm-en belül tényleges változás nem volt tapasztalható.



32. ábra Kristályosítói acélszint változás eloszlása modernizáció előtt



33. ábra Kristályosítói acélszint változás eloszlása modernizáció után

Későbbi fejlesztések során ezzel az általánosított módszerrel tetszőleges öntési adatsor vizsgálatára is lehetőség nyílik minimális programkód bővítéssel.

Az öntési sebesség és kristályosítói acélszint változások szakaszait a bennük előforduló legintenzívebb változással (súlyosság) jellemeztem.

Az öntési sebesség és kristályosítói acélszint változás szakaszainak hossza jellemzően nem haladja meg a 400 mm-t az öntött szálon, azonban a közbensőüst dugójának a pozícióváltozása végig kíséri a teljes öntési folyamatot a folyamatos zárványkirakódás miatt. Célszerűnek mutatkozott nem csak jelentősebb pozícióváltozásokat, hanem az azok közötti változási szakaszokat is rögzíteni. Az így nyert információval vizsgálhatóvá vált a zárványkirakódás folyamata, valamint részben a kirakódások ellen alkalmazott kalciumos kezelés sikeressége.

A közbensőüst dugó pozícióváltási szakaszokat a változás iránytangensével (súlyosság) jellemeztem.

A jelenleg alkalmazott idő alapú adatábrázolás a folyamatot jól mutatja, azonban pont a változásokkal terhelt szakaszok esetén adhat megtévesztő képet az érintett szálszakasról. Azoknál a változásoknál, amikor a szál nagyon lassan halad vagy akár áll (pl. beavatkozás miatt) a változások többszörösen érinthetik a meniszkusznál megszilárduló acélkérget. A szekvens alapú adatfeldolgozás megteremtésével lehetőség nyílt az öntött hossz alapú változásintenzitással (súlyosság) jellemezni a változási szakaszokat.

3.4.3 Lassítással terhelt szálszakasz

Az öntési sebesség kritikus érték alá csökkenése már számottevően befolyásolja az öntött szál kristályosodási és dúsulási folyamatait [67]. (A kritikus öntési sebesség meghatározása korábbi üzemi tapasztalatokon alapul.)

Amennyiben az öntési sebesség ingadozásának szakaszában az öntési sebesség kritikus szint alá csökkent, a sebességingadozás kezdetének pillanatában az öntőgépben tartózkodó (9865 mm) szálszakasz, mint lassítással terhelt szálszakasz kerül rögzítésre.

Az öntés végi végszátkiadás folyamata hasonló az öntésindításhoz, technológiailag együtt jár azzal, hogy lecsökkentik az öntési sebességet kritikus szint alá, ami a fentiek alapján lassítással érintett szálszakaszt eredményez. Amennyiben ennek a sebességnek a rögzítése az öntés vége jel beadása után történik meg, a szálvégétől az öntőgépben tartózkodó szálszakasz kerül megjelölésre lassítással terhelt szálszakaszként.

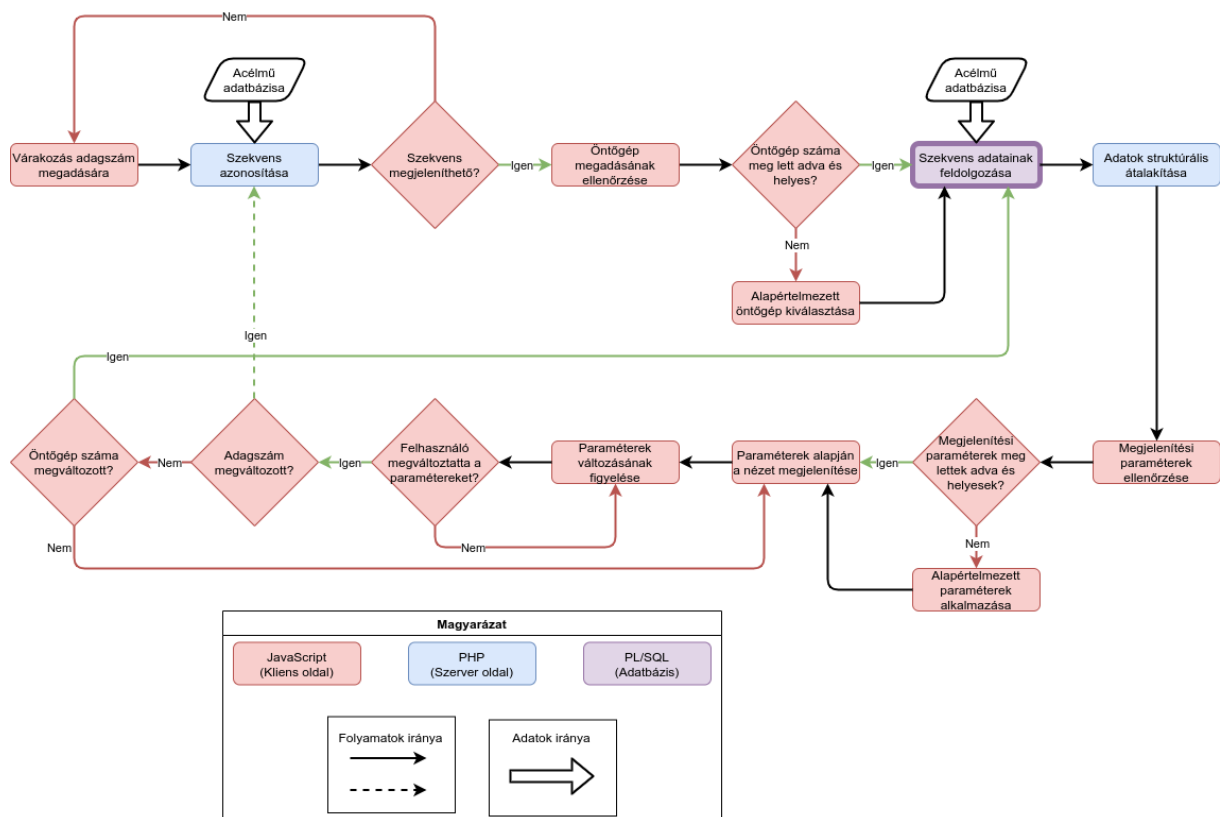
3.5 Megjelenítés

Jelenleg az öntési adatok összesített megjelenítésére elsősorban az acélmű belső webes felületén megtekinthető statikus megjelenítésű öntési lap ad lehetőséget (4. melléklet). Az öntési folyamat során folyamatosan mintavételezett adatok közül csak az öntési sebesség, kristályosítói acélszint, valamint a túlhevítettség mértéke kerül időalapú ábrázolásra. A többi, kb. 20 paramétercsoport közül csupán néhány, teljes adag öntésére vonatkozó átlag érték kerül feltüntetésre.

A „fagörbe” megjelenítő program elsősorban a folyamatosan mért adatok időalapú ábrázolását valósítja meg. A program szintén az adaggyártás alapú adatkezelés alapján kínál lehetőséget a diagramok megjelenítésére, bár időhatárok megadásával már lehetőséget ad hosszabb öntési szakaszok egybefüggő, illetve részletesebb vizsgálatára is. Ez a program már lehetőséget biztosít a felhasználónak egyénileg definiált diagramnézetek összeállítására.

Az általam megírt program egyesíti, és jelentős mértékben kiegészíti a fenti megjelenítési lehetőségeket, mert webes alapon valósít meg nagy szabadságfokú dinamikus adatábrázolást. A megjelenítésnél elsődleges szempont volt, hogy a felhasználó ismerős felülettel, és funkciókkal találkozzon, ezáltal a későbbi üzemi használat minél inkább zökkenőmentes legyen. A böngésző címsorában található link (hash) alapján az összeállított diagram nézet reprodukálható, menthető, ezért más számítógépen is lehetőség van ugyanannak a nézetnek a megjelenítésére a link bemásolásával, ezzel segítve a szakemberek közös munkáját.

A diagramok megjelenítését a d3.js (v5.16.0) adatvezérelt megjelenítést támogató függvénykönyvtárra épülő újrafelhasználható c3.js (v0.7.3) diagramkönyvtár felhasználásával valósítottam meg. Azért esett a választásom a d3.js függvénykönyvtárra, mert korábbi python nyelven megírt verzióban (v3) használt webes dinamikus diagrammegjelenítő csomag (bokeh) is ezt a függvénykönyvtárat használta. A d3.js-re épülő c3.js diagramkönyvtár jelentősen leegyszerűsítette és felgyorsította a kódolási folyamatot. A honlap elemeinek megjelenítéséhez, valamint az adatmanipulációkhoz a jQuery.js (v1.12.1) függvénykönyvtár eszközeit használtam elsősorban.



34. ábra Webes megjelenítés folyamata (10. melléklet)

A 34. ábrán látható a webes megjelenítés folyamata. A színek alapján elkülöníthető az adott folyamatnál alkalmazott programozási környezet.

3.5.1 Adatlekérdezés

A csoportba tartozó „widget”-ek (nyomógombok, beviteli mezők, stb.) segítségével történik az ábrázolásra kerülő szekvens azonosítása, valamint a feldolgozott adatok alapján megjelenítendő szekvens események kiválasztása (11. melléklet). Normál üzemmenet esetén minden adag kizárólag egy szekvenshez (2 db szálhoz) rendelhető hozzá, ezért az adagszám megadásával azonosításra kerül a szekvens, illetve az öntőgép, amin az adagot leöntötték. Kizárólag üzemzavar esetén fordulhat elő, hogy az egyik öntőgépen nem tudják befejezni az adag leöntését, de még a másik gépen lehetőség kínálkozik a befejezésre. Ilyen esetekben, ha az adagból mindkét gépen keletkezett leöntött bramma, az adag két szekvenshez, két öntőgéphez is tartozik. Az ilyen üzemzavaros adagok adagszámának megadása után lehetőség van az öntőgépet is kiválasztani. Normál üzemmenet mellett öntött adagoknál az egyértelmű öntőgép meghatározás miatt az öntőgép kiválasztása automatikus, a felhasználói módosítás tiltott.

Kizárólag azok a szekvensok jeleníthetők meg, ahol a szekvens vége egyértelműen azonosítható. Ezen okból kifolyólag az aktuálisan öntött szekvensok, illetve azok a szekvensok, melyek után még nem kezdődött új szekvens, nem jeleníthetők meg.

3.5.1.1 Szekvens azonosítása

A program az adagszám megadását követően egy AJAX hívás segítségével ellenőrzi, hogy az adott adagot melyik gép melyik szálán/szálain öntötték. Az eredménytől függően a gép és megjelenített szál beállítások módosulnak úgy, hogy kizárólag valós adatok megadása legyen lehetséges, valamint elvégzi az azonosított szekvens adatainak a lekérdezését az acélmű adatbázisából, és megjeleníti azokat.

3.5.1.2 Öntési események kiválasztása

A megnyíló dialógus ablakban kiválaszthatók az öntött adagok/brammák azonosítását elősegítő, illetve a szál tulajdonságait legjobban befolyásoló hatások pozíciói/szakaszai (12. melléklet).

Azonosítási jelölések

Az esetek többségében a brammákat ért hatások vizsgálata a cél, azonban, ha csak a szál öntésének a vizsgálata a cél, az azonosítási jelölések kikapcsolhatók.

Beavatkozások

A beavatkozások egyértelműen hatást gyakorolnak a szál belső és külső tulajdonságaira. Bizonyos esetekben csupán az esemény pillanata kerül rögzítésre/ábrázolásra, azonban a beavatkozás környezete is érintett lehet a kristályosítói áramlási viszonyok miatt. Pl. rápumpálás esetén a közbensőüst dugóját erőteljesen megmozgatják azért, hogy megszüntessék a zárványkiválás miatt létrejött szűkülést. A leváló zárványcsoport az áramlási viszonyok függvényében felúszhat az öntőporból képződött salakrétegbe, de be is záródhat a megszilárduló kéregbe. Ilyen esetekben szükséges lehet a veszélyeztetett szálszakasz megjelölése (nem csak az esemény jelölése) és további vizsgálata, esetlegesen az eltávolítása.

Öntési sebesség, kristályosítói acélszint és közbensőüst dugópozíció változása

A program lehetőséget biztosít arra, hogy az idő- illetve szálhosszváltozásra vonatkoztatott változási szakaszok közül mind, egyik sem, vagy csak a súlyosak jelenjenek meg a diagramon. A közbensőüst dugó pozícióváltozási szakaszok esetén csak a jelentősebb változási szakaszok idő és hosszváltozás alapú megjelenítésére van lehetőség.

Az a változási szakasz kerül ábrázolásra, amelyik vagy az idő alapú, vagy a szálhossz alapú feltételnek megfelel.

A változással terhelt szálszakaszok súlyosság szerinti csoportba sorolásának módszere később kerül ismertetésre (4.2 fejezet).

A kritikus lassítással érintett szálszakaszok jelölésének kapcsolója az öntési sebesség ingadozás csoportnak az alján helyezkedik el, mivel a kritikus lassítás öntési sebességváltozás során alakul ki.

Vegyes összetételű szakaszok

Az azonos összetételi és gyártási előírás alapján gyártott adagok között is előfordulhat jelentősebb pl. zárványtartalombeli eltérés, ezért az adagok keveredésével érintett szálszakaszok esetén lehetőség van kiemelni mindet, illetve azokat, ahol az egymás után öntött adagok kémiai összetétele nem felel meg a másik adag kémiai előírásának.

3.5.2 Megjelenítési beállítások

A megjelenítési beállításokkal lehetőség nyílik olyan nézet létrehozására, mellyel gyorsan áttekinthető az öntési folyamat a szakemberek számára. A megjelenített nézet a kooperatív munka elősegítése érdekében megosztható a böngésző címsorában található link segítségével (13. melléklet).

3.5.2.1 Szálválasztás

A megjelenítési beállításoknál megadható, hogy az oldalon melyik szál öntési görbéi legyenek láthatók. Amennyiben az adott szekvenst üzemzavar miatt kizárólag az öntőgép egyik szálán öntötték, a szálválasztás automatikus. Nem választható olyan szál, melyiken nem került bramma leöntésre.

A diagramok méretéből fakadóan nem minden képernyő méreten jeleníthető meg egyszerre a két szál görbéit tartalmazó diagram, ezért az egyik elrejtésével áttekinthetőbb kép nyerhető.

3.5.2.2 Idő és öntött hossz alapú adatábrázolás

A szekvens alapú adatfeldolgozás megteremtésével lehetőség nyílt az öntési diagramok öntött hossz alapú ábrázolására is a hagyományos időalapú megoldások (öntési lap, famgörbe) mellett. A diagram X tengely típusának megadásával az adatsorok ábrázolhatók az adatbázisban tárolt időbélyeg, az öntés kezdetétől eltelt idő, valamint az öntött hossz függvényében. Amennyiben az öntési adatok bizonytalansága miatt az adatfeldolgozás nem volt lehetséges, az öntött hossz alapján történő ábrázolás szintén nem lehetséges (nem választható).

Az idő alapú adatábrázolás elsősorban az öntés folyamatának vizsgálatánál előnyös, míg az öntött hossz alapú ábrázolás a terméket (öntött szálat, brammát) ért hatások vizsgálatánál hasznos. Az öntött hossz alapú adatábrázolás segítségével jól követhetők a meniszkusz környezetében bekövetkezett események, melyek kritikusak az öntött szál minőségének szempontjából.

A két adatábrázolási mód közötti legszembetűnőbb különbség azoknál az öntési szakaszoknál figyelhető meg, ahol jelentősen megváltozik az öntési sebesség az állandósult (optimális) állapothoz képest, tehát pont a problémával érintett szálszakaszok esetén.

3.5.2.3 Ábrázolt adatsorok kiválasztása

Az öntési folyamat során több mint 40 technológiai paraméter kerül rögzítésre 6-20-60 másodperces ciklusokban. Az ábrázolandó paraméterek átlátható kiválaszthatósága érdekében technológiai szempontokat figyelembe véve csoportokat alakítottam ki az azonos folyamatot leíró (pl. másodlagos hűtés 5 zónája), közel azonos határérték között mozgó paraméterekből (pl. hűtővíz térfogatáram). A csoportosítás segítségével a különálló választási lehetőségek számát lecsökkentettem 23 db-ra, ami már jelentősen jobban áttekinthető a felhasználó számára. A csoportosított adatsorok kiválasztása esetén a csoportba tartozó összes adatsor megjelenik a diagramon. A diagram két függőleges tengelyéhez 1-1 adatsor(csoport) hozzárendelése

lehetséges. A többi, tetszőleges számú adatsor ábrázolására csupán jelleghelyesen van lehetőség (nincs függőleges y tengely hozzá ábrázolva). Az adatsorok megjelenítése alapértelmezetten az öntési lapon szereplő diagramnézet alapján történik (öntési sebesség, kristályosítói acélszint, túlhevítettség mértéke), azonban lehetőség van más, előre definiált, illetve a felhasználó által összeállított adatsor-kombinációk megjelenítésére is (14. melléklet).

Előre definiált adatsor-kombinációk:

- Öntési adatsorok
 - o Öntési sebesség
 - o Kristályosítói acélszint
 - o Túlhevítettség mértéke
- Vízmennyiség adatsorok
 - o Zónákra (6 db) bontott hűtővíz mennyiség
 - o Teljes hűtővíz mennyiség a főágban
- Víznyomás adatsorok
 - o Zónákra (6 db) bontott hűtővíznyomás
 - o Hűtővíznyomás a főágban
- Zárványleválás
 - o Öntési sebesség
 - o Kristályosítói acélszint
 - o Közbensőüst. dugópozíció

A felhasználó által összeállított adatsor-kombinációk tárolása a böngésző lokális tárhelyén (window.localStorage) történik, így tetszőleges elnevezéssel, különböző nézetek hozhatók létre a többi kliens érintése nélkül.

3.5.3 Információk

A statisztikák dialógus ablak információt ad az adatfeldolgozás sikerességéről, a szállhossz megfeleltetés viszonyairól, valamint a számítások során használt határértékekről (15. és 16. melléklet). Minél nagyobb a két megközelítés alapján számított szállhossz (öntött és vágott) közötti különbség, annál nagyobb az öntési események illesztéséhez használt korrekció mértéke és így az illesztés bizonytalansága. A hosszeltérés minősítését későbbi fejezetben (4.1 fejezet) fejtem ki.

A bramma jellemzők dialógus ablakban (17. melléklet) a szekvens elemzésének brammákra vonatkoztatott bontása látható. A brammák minősítésének módszerét későbbi 4.3 fejezetben fejtem ki. Az adatoszlopok címére vitt egér mutató hatására magyarázó szöveg jelenik meg, mely tartalmazza az adott oszlop értékeinek pontos jelentését, számítási módját és mértékegységét.

A segédlet gomb megnyomásával az üzemi használathoz előkészített PDF formátumú használati útmutató nyitható meg, illetve menthető el.

A jobb oldali kérdőjel gombra kattintva a kapcsolattartási adataim válnak láthatóvá egy dialógus ablakban.

3.5.4 Diagram terület

A diagramterületen belül öt kiemelt elem foglal helyet. A legfelül elhelyezkedő „szál” gomb segítségével elmenthető az adott szál aktuális diagramnézete. A mentési folyamat során az SVG formátumú vektorgrafikus diagramnézetet a rendszer átkonvertálja PNG formátumú képfájlá, melyet a böngésző alapértelmezett beállítások szerint tölt le.

A diagram és a „szál” gomb között dinamikusan kijelzésre kerülnek a diagram aktuális határai az idő, illetve a szálhossz alapú megjelenítésnek megfelelően.

A „szál” gomb 3 szint vehet fel attól függően, hogy az öntött és vágott hossz milyen mértékben tér el egymástól (4.1 fejezet).

A szekvens alapú adatfeldolgozásnak megfelelően a program alapértelmezetten a teljes szekvens kiválasztott adatsorait megjeleníti (18. melléklet). Egér interakciók segítségével lehetőség van a diagramnézeten változtatni. Az egérgörgők segítségével a szekvens határain belül a diagram tetszőleges részletességig nagyítható, és így tetszőleges szálszakasz válik részletesen vizsgálhatóvá. Az egér bal gombjának segítségével a diagram „megragadható”, és így a mozgatásával hosszabb szálszakasz is vizsgálható, ha esetleg nem fért volna bele a nagyított nézetbe. A diagram görbéire helyezett egérmutató segítségével egy felugró ablak válik láthatóvá. A felugró ablak a fejlécében tartalmazza az adott időpontot, illetve szálhossz pozíciót, alatta pedig a pozícióhoz tartozó adatok értékeit mértékegységekkel együtt. A különböző adatletárolási gyakoriságú (6, 20, 60 másodperc) adatsorok egyidejű ábrázolása esetén adott időpillanathoz/szálhossz pozícióhoz nem minden esetben tartozik mindegyik adatsorból érték, ezért az ilyen esetekben a felugró ablak a kérdéses pozíciót közvetlenül megelőző értéket jeleníti meg.

A diagram alatt elhelyezkedő aldiagramon a diagramon végzett nagyítástól függetlenül a teljes szekvens adatsorai láthatók kiemelve az éppen nagyításban lévő szálszakaszt. Segítségével folyamatosan nyomon követhető a kinagyított, vizsgált szálszakasz elhelyezkedése a teljes szekvensben. Egérműveletek segítségével a kinagyított terület módosítható, illetve a nézet mozgatható. Az aldiagram kijelölési területe és a diagram nézete egymással szinkronban módosul. Az aldiagram használatával áttekinthetően, és egyszerűen kijelölhető a vizsgálni kívánt szálszakasz. Használata opcionális, ezért a felhasználó eldöntheti, hogy számára melyik kezelési mód a szimpatikusabb, melyik „áll jobban kézre”.

Az aldiagram alatt elhelyezkedő jelmagyarázat lehetőséget biztosít, hogy az adott diagramnézetben használt adatsorok láthatóságát tetszőlegesen ki/be lehessen kapcsolni. Ennek a beállításnak csak lokálisan (a felhasználó képernyőjén) van hatása. A böngésző címsorának kimásolásával, és másik böngészőablakba (esetleg másik számítógépen) történő beillesztésével ennek a nézetmódosításnak nem lesz hatása, a kikapcsolt adatsorok is meg fognak jelenni.

3.5.5 Nagyítási gyorsgombok

Az öntési körülmények vizsgálata túlnyomó többségében adott adagra, illetve brammá(k)ra irányul. A kérdéses szálszakasz kinagyítása ilyen esetekben túl sok felhasználói műveletet igényel, ezért a kivizsgálások megkönnyítése érdekében a diagramok mellett jobb oldalon kialakítottam egy gombcsoportot, melynek elemeire kattintva a diagram azonnal a kérdéses szálszakaszra nagyít (19. melléklet). A gombcsoportot a szekvens beolvasásakor, annak adatai alapján dinamikusan generálja le a honlap. A brammák gombjainak csoportosítása adagszám alapján történik. Mind az adagszámok, mind a brammaszámok elhelyezkedése tükrözi az öntött szálaban elfoglalt pozíciójukat. Az öntött szálaból technológia okokból kivágott/eltávolított szakaszok is (beavatkozások utáni kivágások, technológiában meghatározott mérettől eltérő lábvég, és a fejevég) megjelennek „brammaként”, de a számuk után „*” jelölés szerepel.

„Tudomány az, amit értünk annyira, hogy elmagyarázzuk egy számítógépnek.

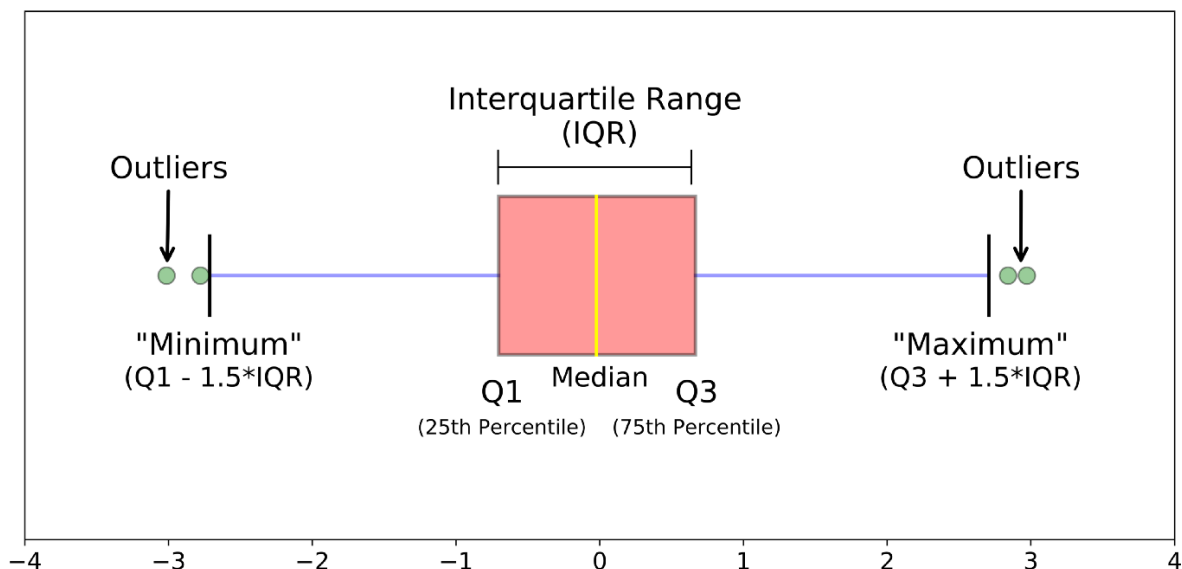
Minden más művészet.”

Donald Knuth (amerikai matematikus és számítógéptudós)

4 Az értekezés témájához kapcsolódó vizsgálatok, elemzések

A folyamatok adatainak vizsgálata során előnyben részesítettem a vizuális megközelítést a pusztán matematikai vizsgálatokkal szemben, mert így számos esetben kezelhetővé és értelmezhetővé váltak a technológiai sajátosságok miatt jelentős mértékű kívülálló értékkel terhelt adathalmazok. A feladat elvégzéséhez a python nyelv eszközeit használtam. A diagramok ábrázolásához a matplotlib, míg a számítások elvégzéséhez a scipy, numpy, pandas, valamint a gépi tanulás eszközeit tartalmazó sklearn csomagjait használtam.

A vizsgálatok során a folyamat sajátosságaiból adódó nem-normális eloszlású üzemi adatok miatt robusztus (nem-normális eloszlású adatokra is alkalmazható) módszereket használtam. A kívülálló értékek meghatározásához és megjelenítéséhez használt boxplot diagram (doboz ábra) (35. ábra) az adatok eloszlásának szabványosított megjelenítési módja öt szám vizualizációja („minimum”, első kvartilis (Q1), medián, harmadik kvartilis (Q3) és „maximum”) alapján. Meg tudja mutatni, a kiugró értékeket, az adatok szimmetriáját, csoportosulását, illetve az eloszlás ferdeségét. Több alkalommal együtt ábrázoltam eloszlás diagramot, és felette a hozzá tartozó, vízszintes elhelyezkedésű boxplot diagramot a jobb szemléltetés érdekében.



35. ábra Boxplot diagram felépítése [101]

ahol:

Outliers: Kívülálló értékek

Q1: 1. kvartilis (az adatok 25%-ánál található érték) más néven 25. percentilis

Median: 2. kvartilis (az adatok 50%-ánál található érték)

Q3: 3. kvartilis (az adatok 75%-ánál található érték) más néven 75. percentilis

IQR: az 1. és 3. kvartilis közötti távolság

Minimum: Kívülálló értékek alsó határa ($Q1 - 1,5 \cdot IQR$)

Maximum: Kívülálló értékek felső határa ($Q3 + 1,5 \cdot IQR$)

A boxplot diagramokat többnyire kiegészítettem hagyományos eloszlásdiagramokkal is az adatok szemléletesebb ábrázolása érdekében. Az x tengely a vizsgált értéket tartományokra (rekeszre) osztja. A rekeszméret, valamint a hozzá tartozó relatív gyakoriság értékek szorzatainak az összege 1.

Az alapelgondolás az volt, hogy a „kis” változásokat nem érdemes vizsgálni, mert ha a kis változásoknak szignifikáns hatása lenne a leminősülésre, akkor annak mértéke legalább nagyságrenddel nagyobb lenne. Meg kellett határozni azt a határt, mely felett az adott változások „nagy”-nak, jelentősnek számítanak, ami felett már feltételezhető, hogy szignifikáns hatásuk van a leminősülésre, és ezért érdemes a hatásukat vizsgálni.

A hosszeltérések minősítésénél használt mozgó ablak módszer alapja, hogy a sorba állított adatok elejéből az ablak szélességének függvényében kijelölt adatokon elvégeztem a kívánt matematikai függvényt (pl. medián), majd az ablakot eltoltam 1 adattal, és újra alkalmaztam a kívánt matematikai függvényt. Az így nyert új adatsorból láthatóvá vált az eredeti adatsor adott függvényének (pl. medián) a tendenciája, melyre már meghatározható volt egy regressziós egyenes.

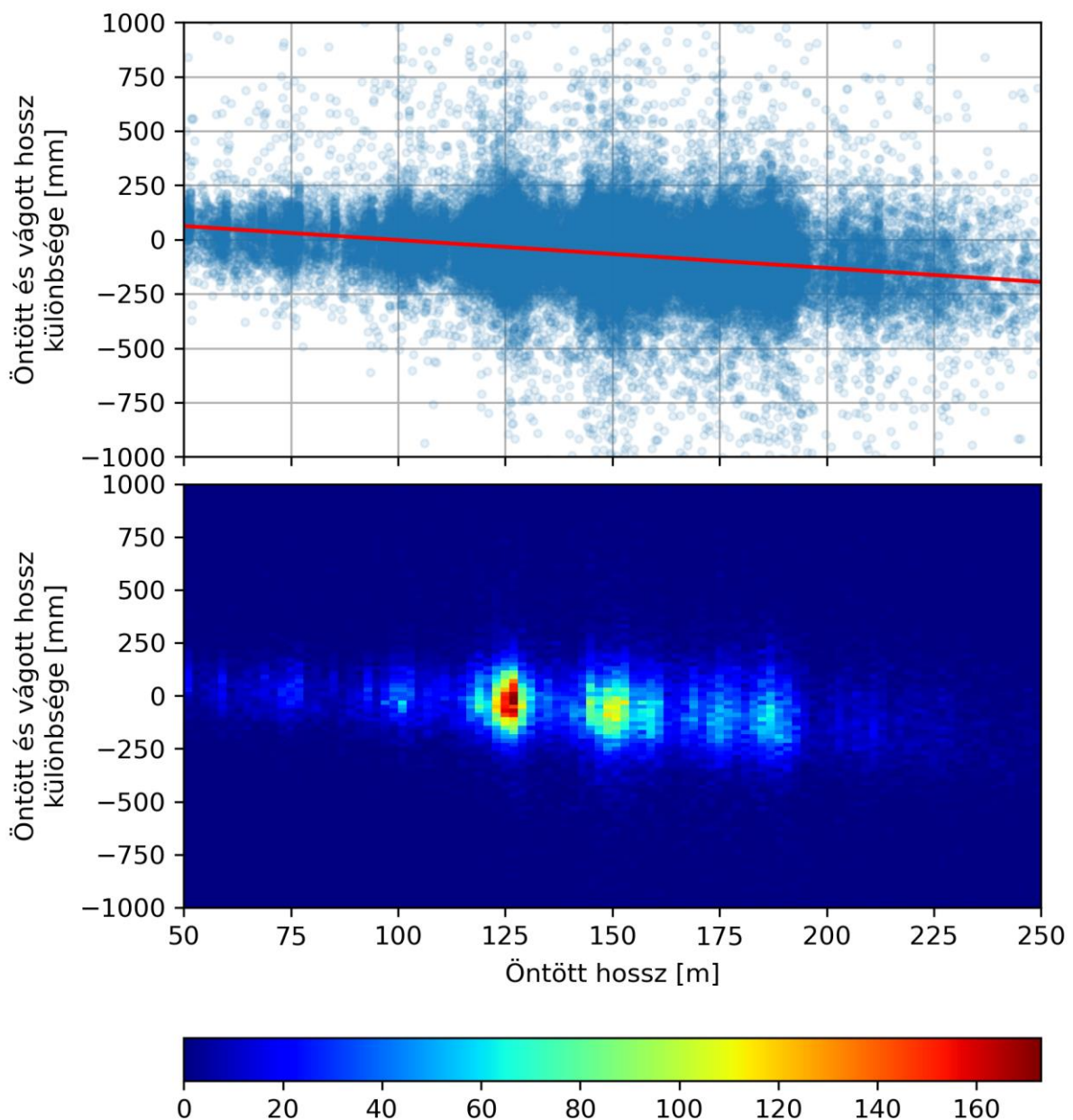
4.1 Hosszeltérés minősítése

A folyamatos öntés adatai két eltérő megközelítés alapján kerülnek rögzítésre az adatbázisban. Az egyik esetben a folyamat szempontjából lényeges idő(bélyeg) alapján, míg a másik esetben a termék szempontjából fontos öntött hossz alapján. Az adatok közös értelmezéséhez és a terméket (brammát) ért, öntési adatsorokon megfigyelhető hatások vizsgálatához az eltérő megközelítések összeegyeztetése kiemelt jelentőségű [102].

A két elgondolás alapján számított szálhossz értékek között az elvártaknak megfelelően erős korreláció figyelhető meg ($R^2 = 0,999979$), azonban robusztus párosított t-próba (Wilcoxon előjeles-rang teszt) alapján (4. táblázat) a két adatsor párosított értékeinek eloszlása között szignifikáns eltérés van. Az öntőgép által mért szálhosszok és vágott hosszok különbségének

ábrázolásánál (36. ábra) tendencia figyelhető meg az öntött hossz függvényében (piros vonal). Felső ábrán csupán az adatpontok és a tendencia látható, az alsó ábrán megfigyelhető a pontok csoportosulása is. Az alsó ábrán a ~125 m-es öntött hosszánál látható egy jelentős adatszoportosulás, melynek magyarázata, hogy a jellemző szekvensméret 4-5 adag, az egy szálon egy adagból leöntött hossz pedig ~25 m (leggyakoribb 1550 mm szelvényméreten és leghosszabb járatos méreten öntve 3·8400 mm).

Az ábra alján látható színskála adja az alsó diagram 3. dimenzióját, az adott hosszal öntött szálak mennyiségét (db) a teljes adatmennyiségből.



36. ábra Öntött és vágott hossz különbsége az öntött hossz függvényében

A tendencia azt mutatja, hogy az öntött hossz növekedésével a vágott hossz növekszik az öntött hosszhoz képest. Ez arra enged következtetni, hogy az öntési folyamat során folyamatosan fennálló tényező okozza az eltérést. A szál kezdetét képző lábvég, illetve a szál végét képző fejköz-hosszok megfelelő rögzítése emberi beavatkozást igényel, azonban ez nem okozhatja a megfigyelhető tendenciát, mert amellett, hogy a szálon csak az öntés indításánál és befejezésénél fordulnak elő, az öntő szakemberek törekszenek mindkét kivágott hosszt minimumon tartani a veszteség minimalizálása érdekében.

A 36. ábrán látható egyenes (öntött és vágott hossz közötti különbség tendenciája) az alábbi regressziós egyenes általános összefüggése alapján adható meg:

$$\Delta Hossz_{\text{öv}} = m \cdot L_{\text{öntött}} + b \quad (8)$$

ahol:

$\Delta Hossz_{\text{öv}}$: Öntött és vágott hossz közötti különbség [mm]

$L_{\text{öntött}}$: Öntött hossz [mm]

m: Regressziós egyenes meredeksége

b: Regressziós egyenes konstans tagja

Az öntött hossz pontosabb meghatározása érdekében javaslatomra az eddig 6 másodperces átlag alapján letárolt szálhossz értékek helyett a maximum értékek kerülnek letárolásra. A javaslat 2019 elején került bevezetésre. Ezzel a módosítással megközelítőleg felére tudtam csökkenteni az adagok kezdetén végzett szálhossznullázásokból fakadó bizonytalanságot (az eseménykor jellemzően 2 adatból csak 1-et kellett korrigálni az öntési sebesség alapján).

A rendelkezésre álló adatok alapján még nem állapítható meg, hogy az intézkedésnek mekkora hatása volt a tendencia meredekségének (m) abszolút értékű csökkentésében, azonban ettől függetlenül is egyértelmű javulás figyelhető meg az elmúlt években (3. táblázat).

3. táblázat Öntött hossz és az (öntött-vágott hossz) közötti regressziós egyenes paraméterei (8. képlet)

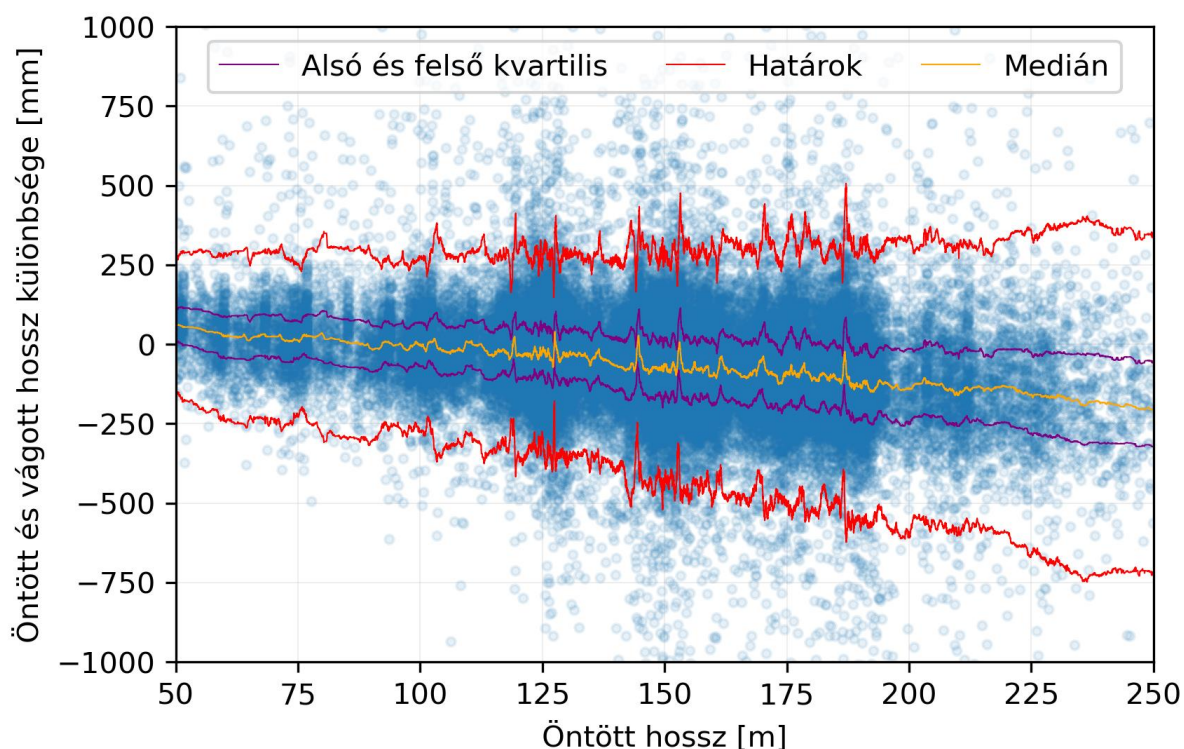
Év	m	b
2018	-1,36727	125,1733
2019	-1,05402	109,4198
2020	-0,88759	124,0695

A tendencia korrekciójával elvégzett párosított t-próba (Wilcoxon előjeles-rang teszt) megerősítette, hogy az öntőgép által mért és a levágott száldarabok hosszának adatsora 0,05 szignifikancia szint mellett azonos eloszlásúnak tekinthető (4. táblázat).

4. táblázat Öntött és vágott hosszok azonosságának ellenőrzése

Öntött-vágott hossz adatok	Szignifikancia szint (α)	Azonosság valószínűsége (p)	Eredmény
Eredeti	0,05	$1,738 \cdot 10^{-263}$	Különböző
Korrigált		0,4516	Hasonló

A technológiához tartozó eltérés tendenciája miatt a boxplot analízis kiemelt értékeit mozgóablak segítségével határoztam meg (37. ábra). A mozgóablak szélességének az adatok ~1%-át tekintetem (500 db).



37. ábra Hosszeltérés határértékei mozgó ablak alapján

Mind a határok, mind a kvartilisek az öntött hossz növekedésével távolodnak egymástól, tehát az öntött hossz növekedésével növekszik a hosszeltérések szóródása („csóva”, „nyitott olló” forma).

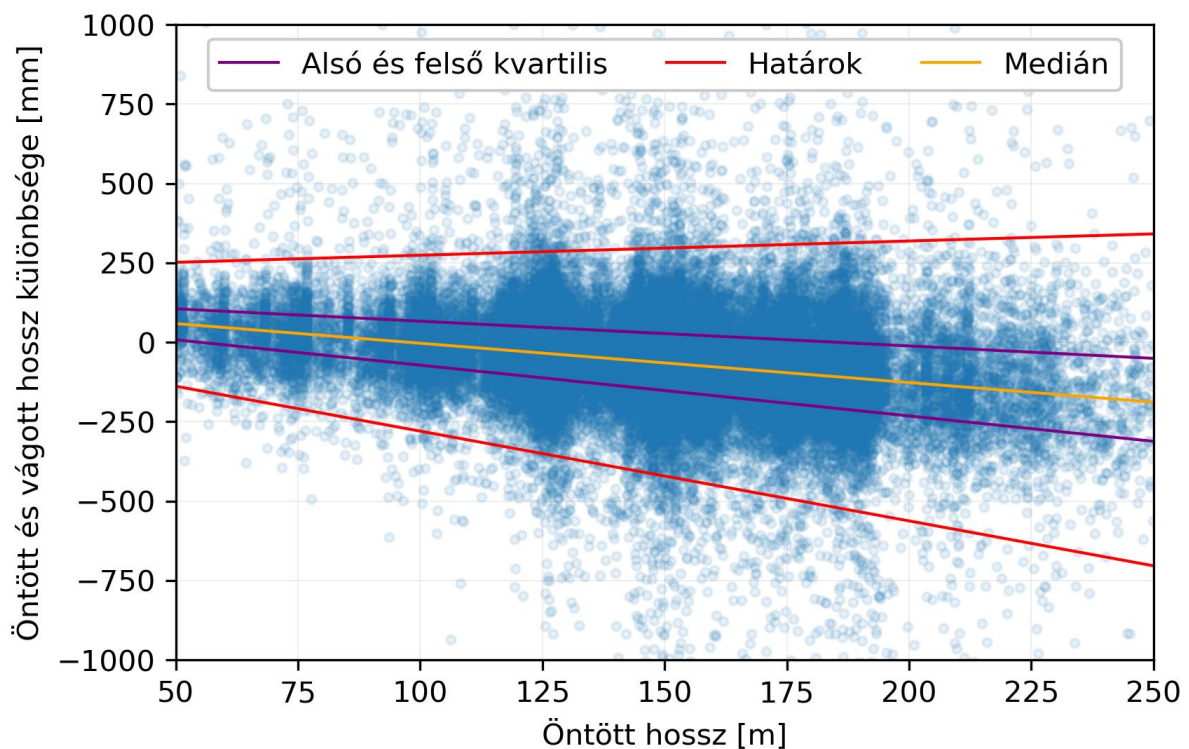
5. táblázat Hosszkülönbség regressziós egyeneseinek paraméterei

	m	b
Felső határ	0,443769	228,894579
3. kvartilis	-0,780165	143,989375
Medián	-1,235780	120,336569
1. kvartilis	-1,596121	87,385906
Alsó határ	-2,820054	2,480702

A meghatározott regressziós egyenesek (38. ábra, 5. táblázat) statisztikai kívülálló érték keresés szempontjából 3 részre bontják a hosszeltérések öntött hosszától függő adatait, mely alapján az öntési adatok hosszalapú összerendelése minősíthetővé válik:

- Alsó és felső (1. és 3.) kvartilis közötti területben található az adatok 50%-a. Ezen a területen statisztikailag nem számottevő a hosszeltérés (~150-200 mm széles tartomány),
- Alsó határ és az alsó (1.) kvartilis, valamint a felső határ és a felső (3.) kvartilis közötti terület. Ezen a területen elhelyezkedő adatok statisztikailag még nem veszélyeztetik hosszadatok összerendelését, de már számottevők (2 db ~75-200 mm széles tartomány),
- Az alsó és felső határon kívül eső terület statisztikailag kívülálló értéknek számít, ezért a határokon kívül elhelyezhető adatok bizonytalanná teszik az adatok összerendelését a hosszok alapján.

A hosszeltérés minősítése információt szolgáltat többek közt az öntési adatsorokra illesztett események (brammahatárok, beavatkozások stb.) pontosságáról, mely elengedhetetlen a brammák megfelelő minősítése, valamint a teljes rendszer megfelelő működése szempontjából.



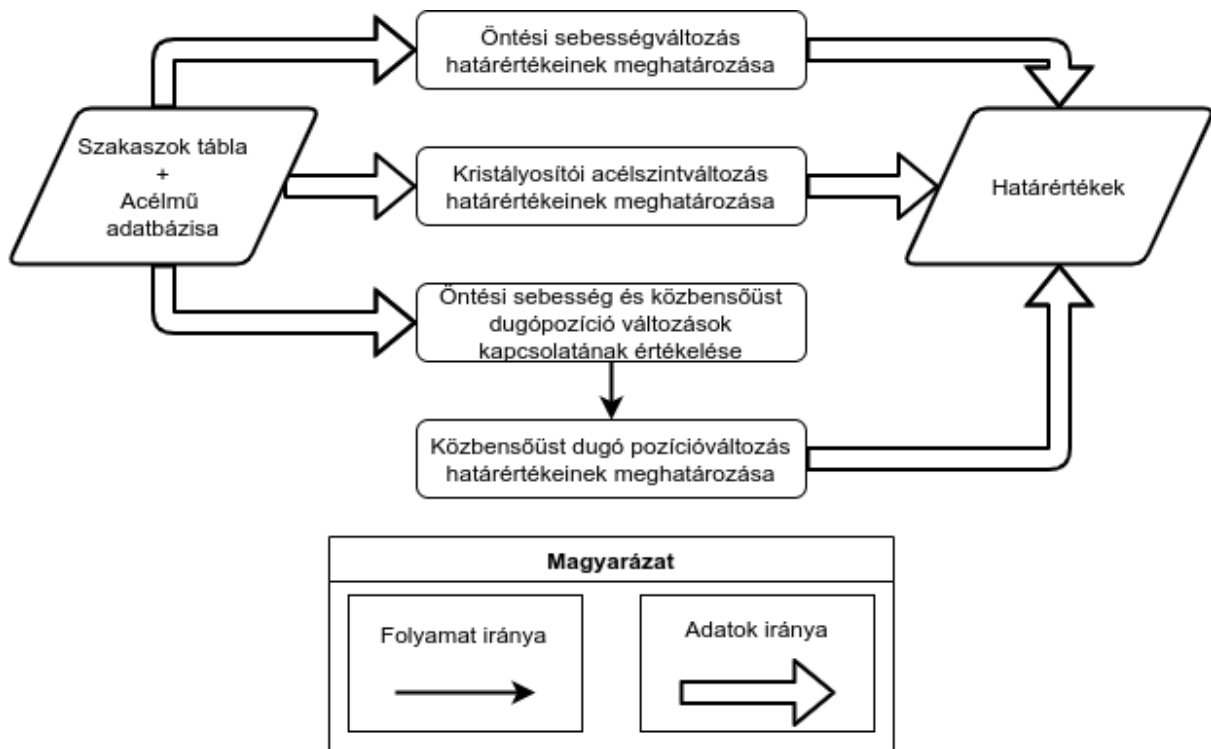
38. ábra Hosszeltérés határértékeinek trendje mozgó ablak alapján

Az öntött és vágott hossz között előforduló extrém eltéréseket számos tényező okozhatja (pl. üzemzavar, mérési hiba, adatátviteli probléma, technológiai fegyelem be nem tartása), azonban előfordulásuk olyan ritka, hogy statisztikailag nem befolyásolják az adatvizsgálatokat.

4.2 Gyártási paraméterek kívülálló értékeinek meghatározása

Eddigi munkám során számos bramma gyártási és öntési körülményét vizsgáltam reklamációk kivizsgálása, illetve kísérleti programok kiértékelése során. Minden adag, illetve bramma gyártási és öntési körülménye, ha minimális mértékben is, de eltérő. Megfigyeléseink alapján az ideálistól eltérő körülmények csupán megnövelik az esélyét, de nem egyértelmű előidézői a metallurgiai okokra visszavezethető minőségi problémák megjelenésének. Fontos megemlíteni, hogy a metallurgiai fázist a hengerlési fázis követi, mely hasonló összetettségű. A hengerlési folyamat számos paramétere befolyásolja a metallurgiai okokra visszavezethető hibák megjelenését a lemez felszínén [103, 104, 105]. Például az egyik ilyen jelenség a felületi repedések kialakulásánál figyelhető meg [106]. A bramma felszíne alatt belső feszültségek miatt kialakuló repedések a hengerlés hatására összehegedhetnek, tehát eltűnhetnek, azonban, ha a repedés közel van a bramma felszínéhez, és az újrahevítő kemencében a bramma külső rétegének leégése miatt felszínre kerül, akkor a kemencében uralkodó oxidáló atmoszféra hatására a repedés belső felülete oxidálódik, és meggátolja annak összehegedését a hengerlési folyamat során [107]. Az így megjelenő felületi repedés metallurgiai eredetű, azonban a hiba tényleges megjelenésében közrejátszottak már a hengerlési fázis paraméterei is [77]. Ez alátámasztja, hogy egyes metallurgiai körülmények csupán hajlamosítják a brammákból hengerelt tekercsek leminősülését, de nem feltétlenül okozzák azt.

A korábban ismertetett adatfeldolgozó rendszer segítségével nagymennyiségű adat átfogó, pontosabb vizsgálatára nyílt lehetőség. Ezen felül az öntési adatsorok minőséget befolyásoló jellegzetes szakaszainak azonosításával számos új paraméter vált vizsgálhatóvá (pl. öntési sebesség változás, kristályosítói acélszint ingadozás, zárványleválásra utaló közbensőüst dugópozíció változás). Ezeknek az új adatoknak a birtokában boxplot elemzés segítségével megkerestem azokat a határértékeket, melyeken kívül a változás már kritikus lehet a szál minőségének szempontjából, tehát leminősülés szempontjából érdemes vizsgálni. A 39. ábrán látható a határértékek meghatározásának folyamata, melyet a python programozási nyelv eszközeivel végeztem el.



39. ábra Határértékek meghatározásának folyamata (20. melléklet)

A kívülálló értékek meghatározásánál azokat a szálszakaszokat vizsgáltam, ahol elvárható az állandósult öntési folyamat. Az öntés indításánál, illetve a befejezésénél közel sem tekinthetők állandósultnak a folyamatok, ezért azokat a változási szakaszokat, melyek az öntésindításhoz (0 mm öntött hossznál kezdődnek), illetve az öntés végéhez kapcsolódnak (pozíciójuk vége egybe esik a szálon öntött teljes hosszal), nem vettem figyelembe a kívülálló érték keresésénél. Kizártam azokat az öntött hossz alapú változásintenzitás értékeket is a kívülálló érték kereséséből, ahol az öntési sebesség olyan nagymértékben lecsökkent (pl. felfüggesztett szálhúzás), hogy a változás során az öntött hossz nem változott az egymást követő adatokban.

A kívülálló érték kereséshez a jelen fejezet (4. fejezet) elején ismertetett boxplot módszert (35. ábra + magyarázat) használtam. A boxplot diagramokon (pl. 40. ábra felső diagram) a narancssárga csík jelöli a mediánt, a téglalapok jobb és bal széle az első és harmadik kvartilist. A kvartilisekből kiinduló vonal vége „szakáll” a kvartilistől legtávolabbi, még nem kívülálló értéket, míg a karikák a kívülálló értékeket jelölik.

A fejezetben szereplő hisztogramokon csak a számottevő relatív gyakorisággal rendelkező tartományt ábrázoltam. A hisztogramok rekeszméreteinek meghatározásához Doane D. P. formuláját [108] használtam.

A szelvénymérettől függő határértékek keresésénél a határértékeket (alsó, felső) meghatároztam mind a teljes adatmennyiségre, mind a szelvényméretekre bontott adatokon külön-külön. A szelvényméretekre meghatározott határértékek és a szelvényméret között lineáris összefüggést feltételeztem, ezért regressziós egyenest állítottam mind az alsó, mind a felső határértékekre. Meghatároztam szelvény szélességekhez tartozó számított határértékek, és a regressziós egyenes által megadott határértékek közötti korrelációt. $R^2 < 0,4$ esetén a bizonytalanság miatt a teljes adatmennyiségre meghatározott határt tekintettem érvényesnek, míg $R^2 \geq 0,4$ esetén a szelvénymérettől függő, regressziós egyenes által meghatározott határértéket alkalmaztam a jelentős és nemjelentős változások elkülönítésére.

4.2.1 Öntési sebesség változása

A szál öntésének indításakor a folyamatirányító számítógép a kémiai összetétel (öntési osztály), illetve a beállított szelvényméret ismeretében beállítja az öntési sebességet. Termelés-szervezési, illetve biztonsági okokból azonban lehetőség van az öntési sebesség kézi megadására is, mely a lassítás/gyorsítás nyomógombok segítségével lépcsőzetesen történik.

Azért, hogy a sebességváltozás a legkisebb negatív hatást gyakorolja az öntött szálra, az öntőgépet kezelő szakemberek törekszenek a változás elnyújtására, és kerülni a hirtelen nagymértékű lassítást/gyorsítást. Üzemzavar, illetve beavatkozások esetén elkerülhetetlen az intenzív lassítás, melyet sok esetben drasztikus sebesség emelkedés követ, amikor visszaállítják a kívánt öntési sebességet.

A 40. és 41. ábrán (időre és öntött hosszra vonatkoztatva) látható az öntési sebességváltozások eloszlásának hisztogramja. Az öntési sebesség változása elsősorban a bramma felületére, az öntött hosszban gyakorol negatív hatást, független a szelvénymérettől, ezért a kívülállóérték határokat a teljes adatmennyiség figyelembevételével, boxplot alapján határoztam meg (6. táblázat). A mértékegységek az alábbi összefüggések alapján lettek meghatározva:

Idő alapú öntési sebességváltozás

Öntött hossz alapú öntési sebességváltozás

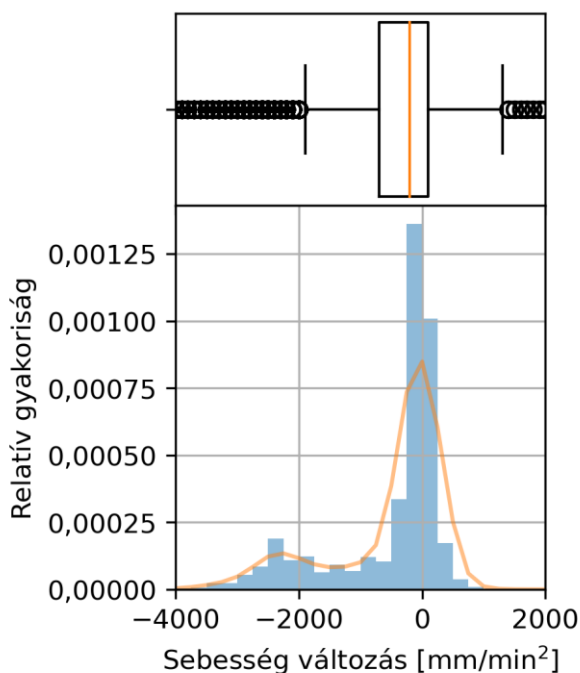
$$\frac{\Delta \text{Öntési sebesség}}{\Delta \text{Idő}} \left[\frac{\frac{mm}{min}}{min} \right] = \left[\frac{mm}{min^2} \right] \quad (9) \quad \frac{\Delta \text{Öntési sebesség}}{\Delta \text{Hossz}} \left[\frac{\frac{mm}{min}}{mm} \right] = \left[\frac{1}{min} \right] \quad (10)$$

ahol:

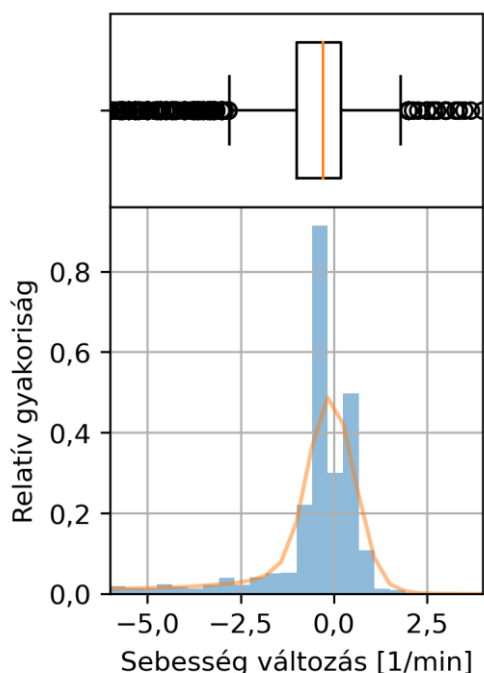
Δ Öntési sebesség: Öntési sebesség változás [mm/min]

Δ Idő: Öntési sebességváltozás alatt eltelt idő [min]

Δ Hossz: Öntési sebességváltozás alatt öntött szálhossz [mm]



40. ábra Időre vonatkoztatott öntési sebesség változásának eloszlása



41. ábra Öntött hossza vonatkoztatott öntési sebesség változásának eloszlása

6. táblázat Öntési sebességváltozás alapján ábrázolt boxplot diagramok kiemelt értékei

Alapja	Kvartilisek		IQR	Határok (H)		Mértékegység
	Q1	Q3		Alsó	Felső	
Eltelt idő	-700	100	800	-1900	1300	mm/min ²
Öntött hossz	-1,0	0,2	1,2	-2,8	2,0	1/min

A hisztogramokon megfigyelhető, hogy a mindkét (idő és öntött hossz) esetben a változások koncentráltan jelentkeznek a 0 környékén, azonban az idő alapú változásnál egy adatszoportosulás látható a negatív tartományban. Ez arra enged következtetni, hogy hossz alapú öntési sebességváltozások alapján egyértelműbben minősíthető az öntött szál (bramma), melyet a későbbi 5. és 6. fejezetben található számítások alá is támasztanak.

4.2.2 Kristályosítói acélszint változása

A kristályosítói acélszint változás számos okból fordulhat elő. Ilyen lehet, például a hirtelen leszakadó zárványcsoport miatti túltöltés, a szál megcsúszása, vagy a szál vágásának végén a bramma leszakadása miatt bekövetkező „visszaugrás” jelensége. Az alábbi 42. és 43. ábrákon látható a színtingadozási szakaszok súlyosságának eloszlás hisztogramja.

Az adatok vizsgálatánál kizárólag a változásokat (0-tól különböző változásértékek) vizsgáltam, ezért tapasztalható „rés” a 0 körüli tartományban. A változások medián értékei negatív

tartományban helyezkednek el, ami azt jelenti, hogy a kristályosító szintemelkedése jellemzően intenzívebben történik, mint a szintcsökkenés (az abszolút szint érték a kristályosító tetejétől mért távolságot jelenti, tehát szintnövekedésnél negatív, míg szintcsökkenésnél pozitív előjelű) Ennek az a magyarázata, hogy a szintszabályzó automatika az anyag pótlását intenzívebben tudja szabályozni, mint az anyag elvitelének intenzitását befolyásoló öntési sebesség változás.

A mértékegységek az alábbi összefüggések alapján lettek meghatározva:

Idő alapú kristályosítói szintváltozás

Öntött hossz alapú kristályosítói szintváltozás

$$\frac{\Delta Szint}{\Delta Idő} \left[\frac{mm}{min} \right] = \left[\frac{mm}{min} \right] \quad (11)$$

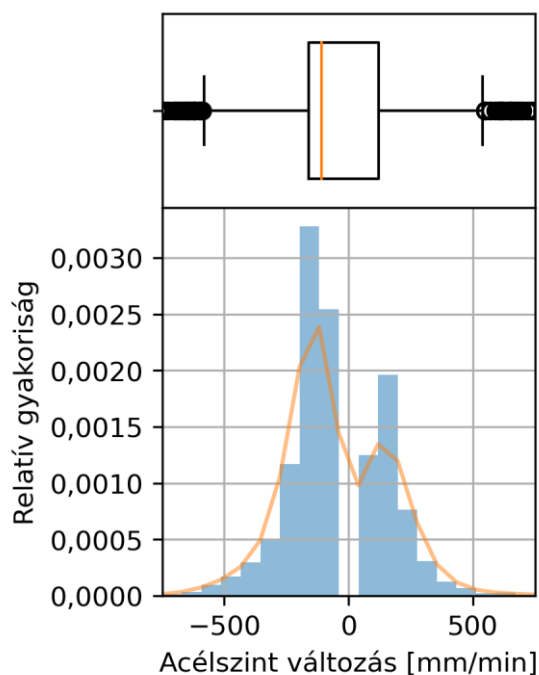
$$\frac{\Delta Szint}{\Delta Hossz} \left[\frac{mm}{mm} \right] = \left[\frac{mm}{mm} \right] \quad (12)$$

ahol:

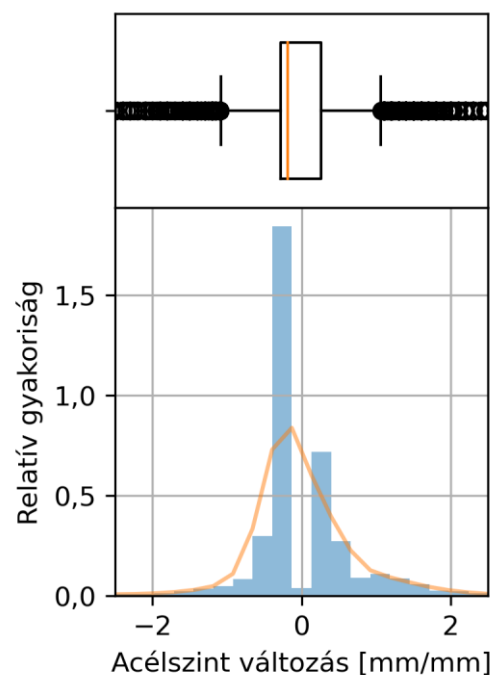
$\Delta Szint$: Kristályosítói szintváltozás [mm]

$\Delta Idő$: Kristályosítói szintváltozás alatt eltelt idő [min]

$\Delta Hossz$: Kristályosítói szintváltozás alatt öntött szálhossz [mm]



42. ábra Időre vonatkoztatott kristályosítói acélszint változás eloszlása



43. ábra Öntött hosszra vonatkoztatott kristályosítói acélszint változás eloszlása

Az öntési sebesség változásához hasonlóan a kristályosítói szintváltozás is elsősorban a bramma felületére (perem kialakulása „hook formation”), az öntött hosszban gyakorol negatív hatást, függetlenül a szelvénymérettől, ezért a kívülállóérték határokat a teljes adatmennyiség figyelembevételével, boxplot alapján határoztam meg (7. táblázat).

7. táblázat Kristályosítói szintváltozás alapján ábrázolt boxplot diagramok kiemelt értékei

Alapja	Kvartilisek		IQR	Határok (H)		Mérték-egység
	Q1	Q3		Alsó	Felső	
Eltelt idő	-160	120	280	-580	540	mm/min
Öntött hossz	-0,279	0,257	0,537	-1,084	1,062	mm/mm

A 2019. szeptemberében az I-es öntőgépen végrehajtott szintszabályzás modernizálása, ahogy a korábbi hisztogramok mutatták (3.4.2 fejezet 32. és 33. ábra) javított a szinttartáson, azonban a jelentősebb szintváltozások időbeli, és öntött hosszbeli viselkedése hasonló maradt, ezért a két adatcsoportot nem választottam szét, hanem egyben vizsgáltam.

A szintváltozás kompenzálása az anyagáram mértékének változtatásával, a közbensőüst dugó nyitásával/zárásával történik. A beállított szinttől való eltérés korrekciójának a sebessége a korrigálandó anyagmennyiségtől (anyagterfogattól) függ. A korrigálandó anyagterfogot (V) az alábbi egyszerű összefüggés alapján határozható meg:

$$V = W_{szelvény} \cdot 1000 \cdot 240 \text{ mm} \cdot \Delta Szint \quad (13)$$

ahol:

V: Korrigálandó anyagterfogot [mm^3]

$W_{szelvény}$: Az öntött szál szélessége (szelvényméret 860 mm – 1550 mm) [m]

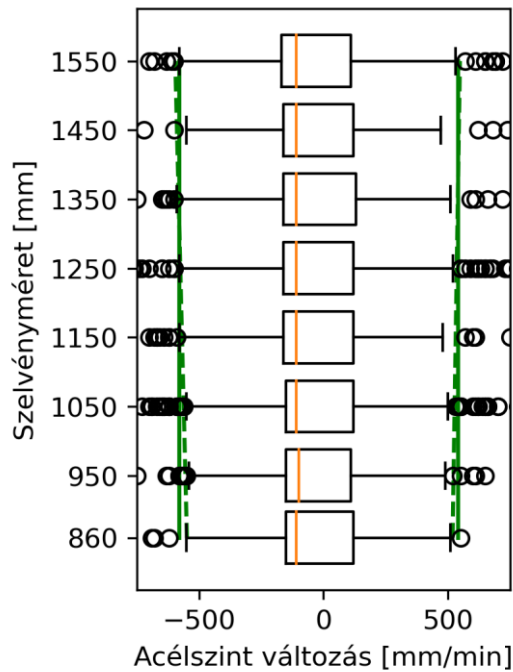
240 mm: Öntött szál vastagsága (nem állítható, ezért konstans)

$\Delta Szint$: Szintváltozás mértéke (maximum 10 mm-es nagyságrendű)

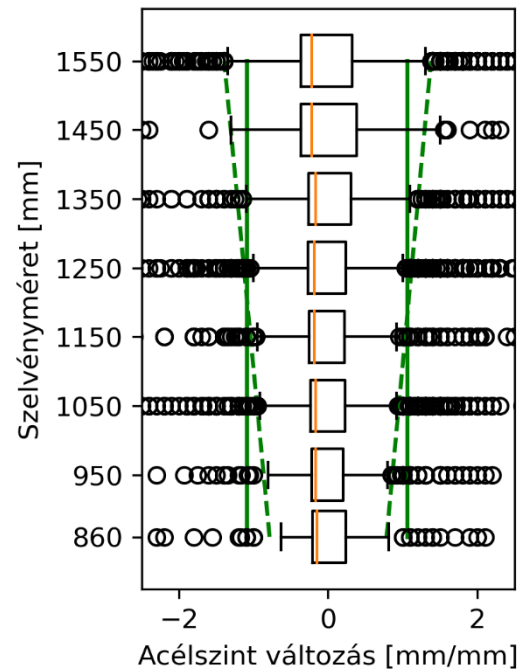
A fenti tényezők közül azonos szintváltozást alapul véve a legnagyobb szerepet a szelvény szélessége képviseli, mivel a szelvény vastagsága minden esetben azonos (az öntött szál vastagsága nem változtatható). Ennek figyelembevételével a szintingadozások idő (44. ábra) és öntött hossz (45. ábra) szerinti kívülálló értékeit, szelvényméretekre bontva is meghatároztam. A diagramokon folytonos zöld vonallal jelöltem a teljes adatmennyiség alapján meghatározott kívülálló értékek határait.

Az idő alapú változások kívülállóérték határait lineáris regresszióval illesztett egyenes (szaggatott zöld vonal) alapján látható, hogy a két egyenes közel párhuzamos, minimális mértékben nyílik a szelvényméret növekedésével. Az eredmény feltehetőleg a szabályzó automatika viselkedéséből adódik, ami szelvénymérettől függetlenül igyekszik időegység alatt a leggyorsabban visszaállítani a beállított acélszintet. A kívülállóérték határok között a szelvényméret növekedésével megfigyelhető tágulást feltehetőleg a szabályzás tehetetlensége okozza, hiszen az átfolyó acél mennyisége nem növelhető meg korlátlan mértékben, és ezért a

szélesebb szelvényeket a rendszer csak (időben) lassabban tudja korrigálni. A boxplot diagram kiemelt értékeit a 8. táblázat tartalmazza.



44. ábra Időre vonatkoztatott kristályosítói acélszint változás



45. ábra Öntött hosszra vonatkoztatott kristályosítói acélszint változás

8. táblázat Időre vonatkoztatott, kristályosítói acélszint változás boxplot diagramjának kiemelt értékei

Szelvény- méret	Kvartilisek		IQR	Határok (H)			
	Q1	Q3		Számított		Korrigált	
				Alsó	Felső	Alsó	Felső
mm	mm/min						
Teljes	-160	120	280	-580	540	-	-
860	-150	120	270	-555	525	-549	519
950	-150	110	260	-540	500	-555	522
1050	-150	120	270	-555	525	-562	527
1150	-160	120	280	-580	540	-568	531
1250	-160	120	280	-580	540	-575	535
1350	-160	130	290	-595	565	-582	539
1450	-160	120	280	-580	540	-589	544
1550	-170	110	280	-590	530	-596	548

Az öntött hosszra vonatkoztatott kristályosítói acélszint változás esetén szintén tendencia figyelhető meg a kívülállóérték határok és a szelvényméret között. Ennek oka feltehetőleg abban rejlik, hogy a szelvényméret növekedésével a jellemző öntési sebesség csökken, időegység alatt rövidebb szálszakasz öntése történik meg, és ezért a $\frac{\text{Szintváltozás}}{\text{Öntött hossz}}$ hányadosa növekszik. A boxplot diagram kiemelt értékeit a 9. táblázat tartalmazza.

9. táblázat Öntött hosszra vonatkoztatott, kristályosítói acélszint változás boxplot diagramjának kiemelt értékei

Szelvény- méret	Kvartilisek		IQR	Határok (H)			
	Q1	Q3		Számított		Korrigált	
				Alsó	Felső	Alsó	Felső
mm	mm/mm						
Teljes	-0,279	0,257	0,537	-1,084	1,062	-	-
860	-0,214	0,240	0,454	-0,896	0,921	-0,784	0,784
950	-0,220	0,200	0,420	-0,850	0,830	-0,864	0,862
1050	-0,240	0,229	0,469	-0,943	0,931	-0,952	0,948
1150	-0,250	0,220	0,470	-0,955	0,925	-1,040	1,034
1250	-0,271	0,240	0,511	-1,039	1,007	-1,128	1,121
1350	-0,260	0,304	0,564	-1,105	1,149	-1,217	1,207
1450	-0,369	0,385	0,754	-1,499	1,516	-1,305	1,293
1550	-0,367	0,320	0,687	-1,397	1,350	-1,393	1,380

Az idő és öntött hossz alapú kristályosítói acélszint változások kívülállóértékeinek szelvényméretekre bontott határértékein megfigyelhető tendenciák alapján kijelenthető, hogy a jellemzően lassabban öntött szélesebb szelvények érzékenyebbek a kristályosítói szintingadozásra (a szintszabályzás tehetetlenségéből kifolyólag). Az öntött hossz alapú változásnál egyértelműen megfigyelhető, hogy a kívülálló értékek korrigált határai jelen vizsgálatnál 1450 mm széles szelvények esetén már meghaladják a teljes adatmennyiség alapján számított kívülállóérték határokat.

A szelvényméret szerinti kívülállóérték határok meghatározásához az alábbi egyenes képletét használtam a lineáris regresszió alapján (10. táblázat):

$$H_{szint} = m \cdot W_{szelvény} + b \quad (14)$$

ahol:

H_{szint} : Kívülállóérték határ (időre: [mm/min], öntött hosszra: [mm/mm])

$W_{szelvény}$: Szelvény szélessége [m]

m: Regressziós egyenes meredeksége

b: Regressziós egyenes konstans tagja

10. táblázat Kívülállóérték határokra illesztett regressziós egyenesek paramétereit és a korreláció mértéke (14. képlet)

	Határ	m	b	R ²
Idő	Alsó	-67,978939	-490,2153	0,721
	Felső	42,772415	481,7446	0,315
Öntött hossz	Alsó	-0,881976	-0,025969	0,804
	Felső	0,863172	0,041808	0,757

Az idő alapú szintváltozás felső határának korrelációja alacsonynak tekinthető, de meredeksége és elhelyezkedése megfelel az alsó határ regressziós egyenese alapján támasztott elvárásnak (meredeksége, és elhelyezkedése ellentétes, nagyságrendjeik azonosak az alsó határ értékeivel).

4.2.3 Közbensőüst dugópozíció változás

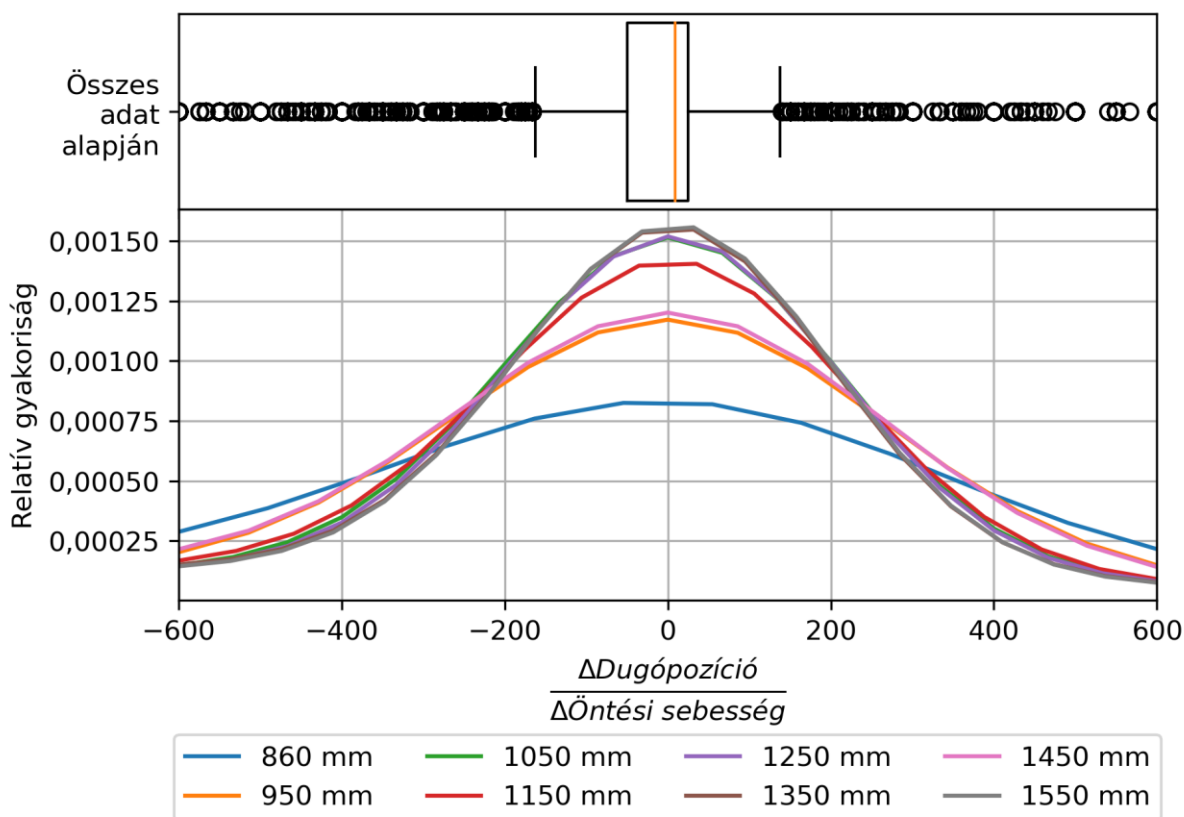
A kristályosítóban lévő állandó acélszint tartásához a szintszabályzó automatika a megfelelő tömegáram biztosításához szükség szerint emeli, vagy süllyeszti a közbensőüst kifolyónyílása felett elhelyezkedő záródugót.

4.2.3.1 Öntési sebesség-, és a közbensőüst dugópozíció változás kapcsolata

Öntési sebesség változása esetén megváltozik a kristályosítóból kilépő acél tömegárama, amit a szintszabályzó automatika állandó acélszint tartása érdekében a dugópozíció változtatásával kompenzál. Ez a kompenzáció adott sebességváltozás esetén annál nagyobb, minél nagyobb a szál keresztmetszete, hiszen ekkor nagyobb tömegáram kompenzáció szükséges az állandó kristályosítói acélszint tartásához. A közbensőüst dugópozíció változás és a zárványleválások kapcsolatának vizsgálatához első lépésben szükséges volt kiküszöbölni az öntési sebesség változásából adódó, zárványleváláshoz, kirakódáshoz nem kapcsolódó „inert” dugópozíció változásokat.

Az üzemi folyamatok jellege miatt (pl. diszkrét dugópozíció változás értékek, valamint az átlagolt adatokból adódó, 1 egységet el nem érő változások) kizártam azokat az adatokat, ahol vagy az öntési sebességváltozás, vagy a dugópozíció változás 0 volt az adott változási szakaszban, illetve azokat az adatpárokat melyeknél a két változás aránya (a) jelentősen eltért a többi változaspár arányától.

$$a = \frac{\Delta \text{Dugópozíció}}{\Delta \text{Öntési sebesség}} \left[\frac{1}{\frac{m}{\text{min}}} \right] \quad (15)$$



46. ábra Változások arányának eloszlása a szelvényméret függvényében

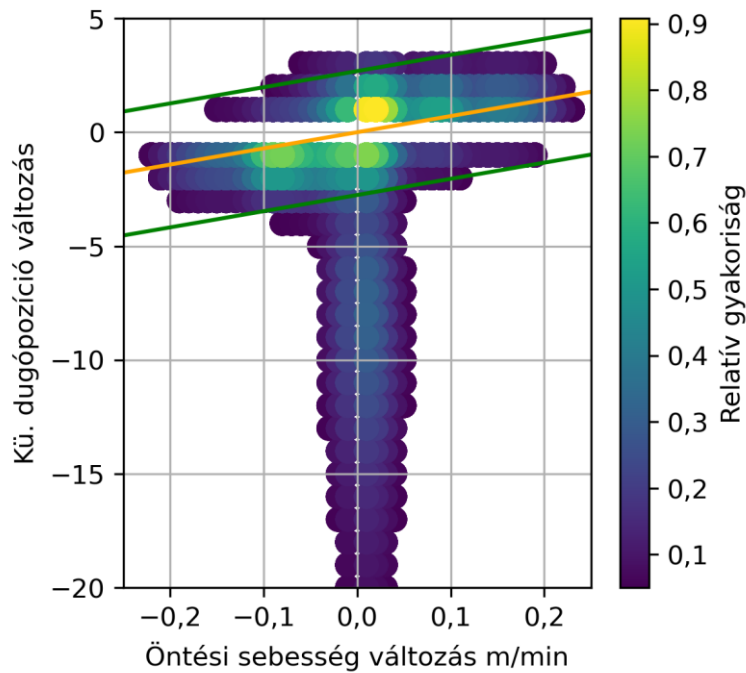
Kívülálló (a) értékek kizárásához boxplot vizsgálatot alkalmaztam. A 46. ábra alsó diagramján látható a változásarányok eloszlása szelvényméret szerint. A kívülállóértékeket a felső boxplot diagramon ábrázolt teljes adathalmaz alapján zártam ki. A pontosabb számítás érdekében kiterjesztettem a vizsgált időszakot 2008.01.01-től 2020.06.30 intervallumra.

Az alábbi 11. táblázatban látható a kívülállóértékek meghatározásához használt határértékek.

11. táblázat Változásarányokra alkalmazott boxplot diagram kiemelt értékei

Kvartilisek		IQR	Határok (H)		Mértékegység
Q1	Q3		Alsó	Felső	
-50	25	75	-162,5	137,5	$\frac{1}{m}$ $\frac{1}{min}$

Az alábbi diagramon (47. ábra) látható az öntési sebesség változásának és a közbensőüst dugó pozíció változásának képe függetlenül a szelvénymérettől. A diagram harmadik dimenzióját képező színek az adatpontok relatív gyakoriságát tükrözik. A „melegebb” színek jelentik a gyakrabban előforduló adatpontokat. A diagramon csak a 0,05 feletti relatív gyakorisági értékkel rendelkező pontokat szerepeltettem az áttekinthetőség érdekében.

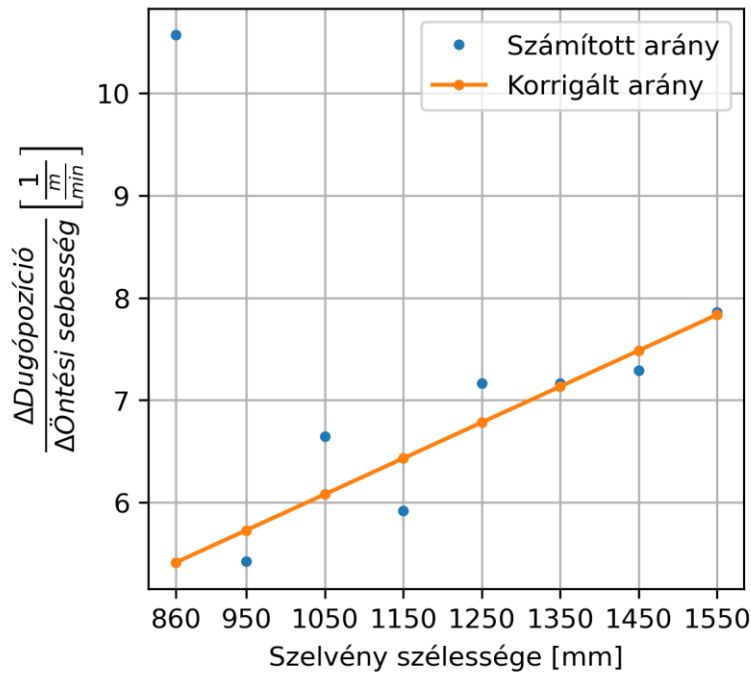


47. ábra Közbensőüst dugópozíció változás az öntési sebesség változásának függvényében

A diagramon látható pontok eloszlása egy vastag ferde tetejű „T” betűhöz hasonlít. A „T” betű szárát alkotó pontok elsősorban azokat az eseményeket jelölik, amikor valószínűsíthető, hogy nagyméretű, szűkülést okozó zárványcsoport vált le, ami a kialakuló nagyobb átömlő keresztmetszet miatt a dugó zárását idézte elő (miközben az öntési sebesség nem változott jelentősen). A „T” betű ferde tetejét alkotó pontok mutatják a normál üzemmenet mellett történt öntési sebesség változás hatására bekövetkező közbensőüst dugópozíció változás mértékét. A zöld vonalak mutatják a boxplot alapján számított kívülálló értékek határait, míg a narancssárga vonal azt az iránytangenst, mely az adott szelvényméretre jellemző. A szelvényméretekre szétbontott diagramok jellege megegyezik az 47. ábra jellegével.

A normál üzemmenetet jelentő „T” betű tetejének ferdeségét lineáris regresszió segítségével határoztam meg figyelembe véve azt, hogy az egyenesnek az origón kell áthaladnia (0 m/perc öntési sebességváltozáshoz 0 dugópozíció változásnak kell tartozni).

A szelvényméretekre meghatározott arányszámok ($a_{\text{számított}}$) a feltételezésnek megfelelően növekednek a szelvényméretek növekedésével, tehát tükrözik azt az elgondolást, hogy nagyobb szelvényméret esetén egységnyi mértékű öntési sebességváltozáshoz nagyobb dugópozíció változás tartozik (48. ábra) változatlan kristályosítói acélszint mellett. A diagram pontjaira illesztett regressziós egyenes segítségével korigáltam a szelvényméretekhez tartozó változási arányszámokat (a_{korrt}).



48. ábra Öntési sebességváltozás és közbensőüst dugópozíció változás aránya a szelvényméret függvényében

Az üzemi adatokból számított arányszámok ($a_{\text{számított}}$) és a regressziós egyenes pontjai (a_{kor}) között erős korreláció figyelhető meg:

$$R^2 = 0,801$$

A kiterjesztett vizsgálati időszakkal megnövelt adatmennyiség ellenére sem sikerült az adatok jellegéből adódó adatbizonytalanságot megfelelően kompenzálni a B08-as (860 mm) szelvények esetén. A B08-as szelvény öntésére biztosított a lehetőség az öntőgépen, azonban nem tekinthető járatos méretnek (amit a darabszámok is tükröznek). A szelvényméretnél tapasztalható kiugró arányszám ($a_{\text{számított}}$) miatt a korreláció számításánál nem vettem figyelembe (12. táblázat). A regressziós egyenes az alábbi képlettel adható meg.

$$a = \frac{\Delta Dugópozíció}{\Delta Öntési sebesség} \left[\frac{1}{\frac{m}{min}} \right] = 3,51187 \cdot W_{\text{szelvény}} + 2,39215 \quad (16)$$

ahol:

a: Egységnyi öntési sebességváltozásra eső közbensőüst dugópozíció változás [1/(m/min)]

$\Delta Dugópozíció$: Közbensőüst dugópozíció változás [1]

$\Delta Öntési sebesség$: Öntési sebesség változás [m/min]

$W_{\text{szelvény}}$: Szelvényméret [m]

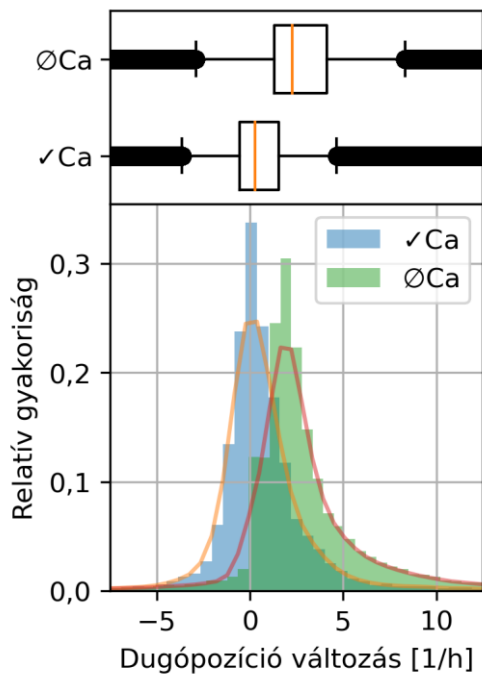
12. táblázat Öntési sebesség változás és közbensőüst dugópozíció változás egymáshoz viszonyított aránya

Szelvény		Változások aránya		Adatmennyiség
Megnevezés	Szélesség	Számított ($a_{számított}$)	Korrigált (a_{korrig})	
	mm	$\frac{1}{\frac{m}{min}}$		db
B08	860	10,56997	5,41236	165
B09	950	5,42673	5,72842	735
B10	1050	6,64543	6,07961	3755
B11	1150	5,92217	6,43080	1887
B12	1250	7,16523	6,78199	3583
B13	1350	7,16312	7,13317	5210
B14	1450	7,29034	7,48436	601
B15	1550	7,86088	7,83555	7103

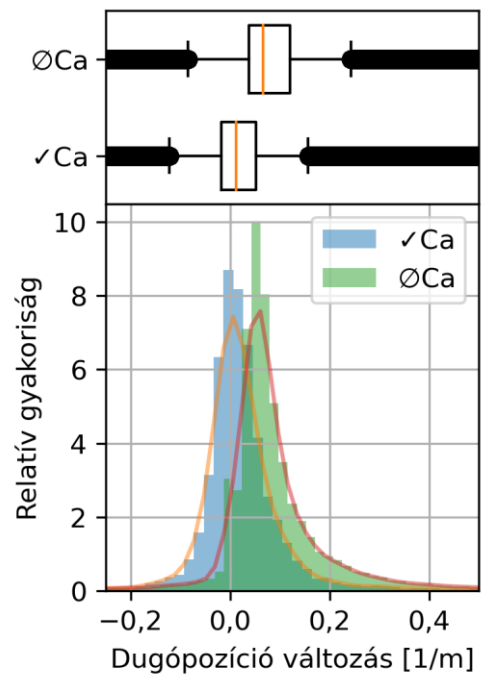
A szelvényméretekre vonatkozó arányszámok felhasználásával korrigáltam a közbensőüst dugópozíció változások szakaszait jellemző (időre és öntött hosszra számított) iránytangenseket.

4.2.3.2 Kívülálló érték keresés

A megfelelő kalciumos zárványmodifikáció egyik lényeges következménye, hogy a dezoxidáció során kivált, illetve a reoxidáció során keletkezett Al_2O_3 zárványok kevésbé hajlamosak kirakódásra a tűzálló anyagok (pl. merülőcső) felületén. Az alábbi (időre és öntött hosszra vonatkoztatott) hisztogramokon (49. és 50. ábra) megfigyelhető, hogy a közbensőüst dugópozíciójának iránytangense kalciummal kezelt adagok esetén jellemzően 0 környékén helyezkedik el, tehát nem lép fel számottevő zárványkirakódás, ami szűkítené az átfolyási keresztmetszetet. A kalciummal nem kezelt adagok esetén azonban az iránytangens a pozitív tartományba tolódik, tehát a folyamatos zárványkiválás miatt az öntés során a dugónak folyamatosan nyitnia kell az állandó anyagáram biztosítása érdekében.



49. ábra Időre vonatkoztatott közbensőüst dugópozíció változás eloszlása



50. ábra Öntött hosszra vonatkoztatott közbensőüst dugópozíció változás eloszlása

A pontosabb számítás érdekében külön vizsgáltam a kalciummal kezelt, és nem kezelt szekvensek adatait (13. táblázat). Üzemszervezési szempontból elkerülhetetlen olyan vegyes szekvensek öntése, melyek tartalmaznak kalciummal kezelt és nem kezelt adagokat is. Ezeket a vegyes szekvenseket szintén külön csoportként vizsgáltam.

13. táblázat Szekvensek megoszlása kalciumos kezelés szerint

Kezelt (✓Ca)	18,81%
Nem kezelt (∅Ca)	75,66%
Vegyes	5,52%

Az öntési sebesség, valamint a kristályosítói acélszintváltozás szakaszai csak rövid szálszakaszokat érintenek, azonban a közbensőüst dugópozíciójának változása lassú, és a teljes öntött hosszt érinti. Az adatok értékelésénél figyelembe kell venni, hogy azonos adag tömeg mellett a szélesebb szelvényen öntött adagok öntési ideje, valamint az öntött szálhossz jellemzően rövidebb, mint a keskenyebb szelvényeknél (14. táblázat).

14. táblázat Adagöntés időtartama, és öntött hossza a szelvényméret függvényében

Szelvény		Öntés időtartama [min]	Vágott brammák hossza [mm]
Megnevezés	Szélesség [mm]		
B08	860	69,0	92.400
B09	950	63,0	84.000
B10	1050	61,0	75.600
B11	1150	59,4	67.500
B12	1250	56,5	62.500
B13	1350	50,6	58.800
B14	1450	57,1	52.450
B15	1550	54,9	50.000

A korábbi módszert követve boxplot segítségével meghatározott kívülállóértékek határára lineáris regresszió segítségével egyenest illeszttem. Az egyenesek együtthatóit a 15. táblázat tartalmazza.

$$H_{dugó} = m \cdot W_{szelvény} + b \quad (17)$$

ahol:

$H_{dugó}$: Kívülállóérték határ (időre: [1/h], öntött hossza: [1/m])

$W_{szelvény}$: Szelvény szélessége [m]

m: Regressziós egyenes meredeksége

b: Regressziós egyenes konstans tagja

15. táblázat Kívülállóérték határokra illesztett regressziós egyenes együtthatói és a korreláció mértéke

Alap	Ca-mal kezelt	Határ	m	b	R ²
Eltelt idő	Igen	Alsó	-1,50716	-1,823440	0,447
		Felső	-1,55590	7,027567	0,152
	Nem	Alsó	-1,58128	-0,882999	0,865
		Felső	1,61927	6,083681	0,132
	Vegyes	Alsó	-4,20744	1,166496	0,554
		Felső	4,87020	0,531103	0,604
Öntött hossz	Igen	Alsó	-0,10488	0,007953	0,746
		Felső	0,02958	0,129631	0,058
	Nem	Alsó	-0,09056	0,028749	0,966
		Felső	0,16265	0,035302	0,794
	Vegyes	Alsó	-0,18349	0,104937	0,720
		Felső	0,24101	-0,096760	0,855

A korrelációs együtthatók (R²) alapján látható, hogy néhány esetben a kívülállóértékek határára illesztett (folytonos zöld) regressziós egyenesek csak gyenge (R² < 0,4; piros) korrelációt mutatnak a számított adatpontokkal, ezért a későbbiekben ezen határok helyett a

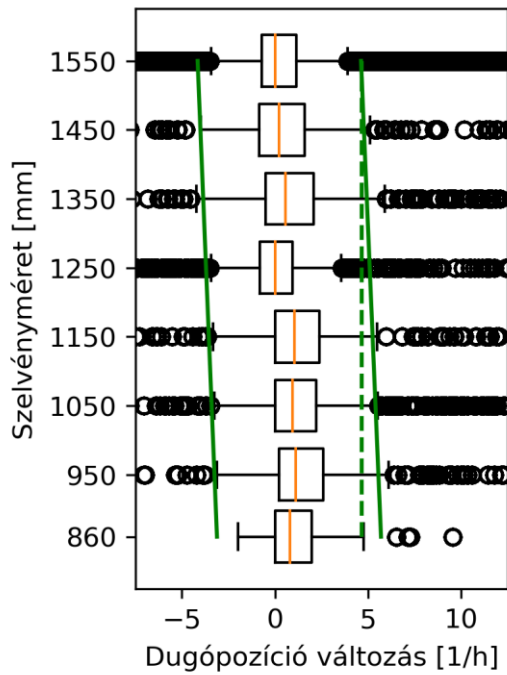
szelvénymérettől függetlenül meghatározott, határértékeket (szaggatott zöld egyenes) alkalmaztam a jelentős mértékű közbensőüst dugópozíció-változások azonosításához.

A boxplot diagramokon (51. - 56. ábra) látható folytonos zöld vonal jelöli a határokra illesztett regressziós egyeneseket. A gyenge korrelációval illesztett egyenesek esetén szaggatott zöld vonal jelöli a viszonyítási alapnak (idő, öntött hossz), illetve a kalciumos kezelés meglétének, illetve hiányának megfelelő szelvénymérettől független határértéket.

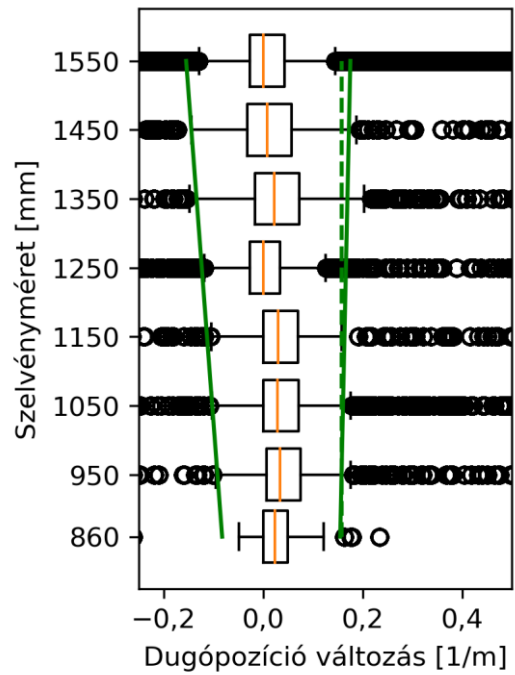
A legjobb korreláció az illesztett határérték és az üzemi adatok alapján számított határok között a Dunaferr elsődleges profiljába tartozó, kalciummal nem kezelt (öntött hossz alapján vizsgált) szekvenseknél figyelhető meg (54. ábra, 19. táblázat).

A zárványleválás azonosítás szempontjából az alsó határértéknek van nagy jelentősége, hiszen ekkor zár be hirtelen a közbensőüst dugó a megnövekedett átfolyási keresztmetszet miatt. A zárványkirakódás lassú jellege miatt az intenzív dugó nyitás jelensége ritkán következik be (pl. „nagy” méretű megakadó nemfémes zárvány esetén).

Mind a kalciummal kezelt adagok, mind a pozitív változásintenzitások esetén tapasztalható bizonytalanságok (közepes és gyenge korreláció) csökkentése megoldható (a ritka események miatt) nagyobb adathalmaz vizsgálatával melyet jelen értekezés keretein kívül kívánok folytatni.



51. ábra Időre vonatkoztatott Ca-mal kezelt szekvensek közbensőüst dugopozíció változás iránytangense (16. táblázat)



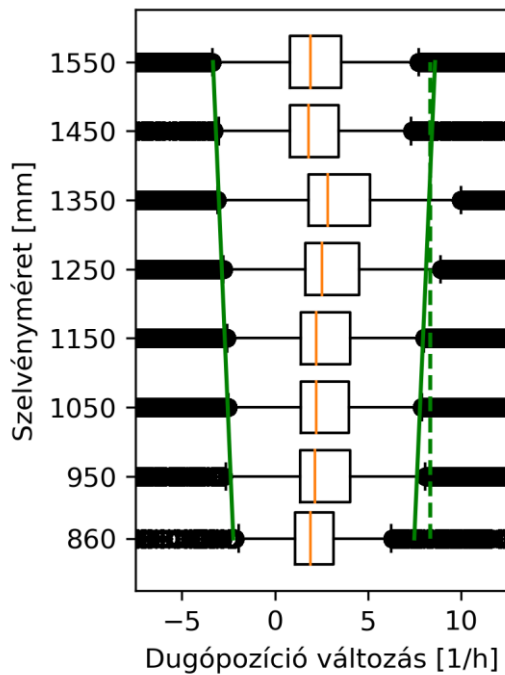
52. ábra Öntött hosszra vonatkoztatott Ca-mal kezelt szekvensek közbensőüst dugopozíció változás iránytangense (17. táblázat)

16. táblázat Időre vonatkoztatott, Ca-mal kezelt szekvensek közbensőüst dugopozíció változás iránytangens boxplot diagramjának kiemelt értékei

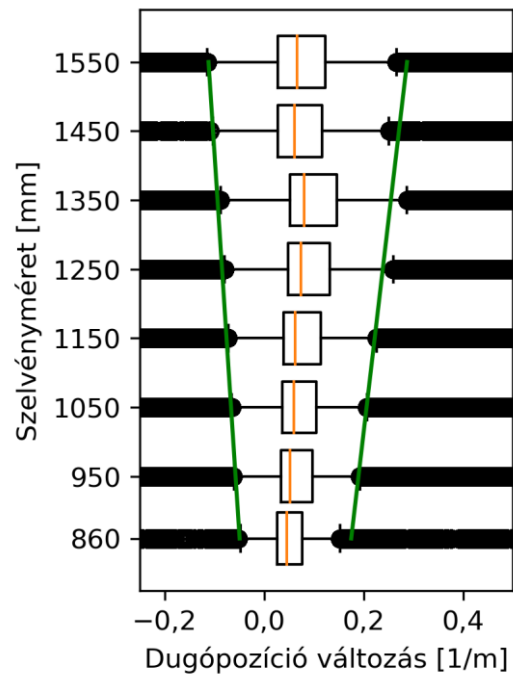
Szelvényméret	Kvartilisek		IQR	Határok (H)			
	Q1	Q3		Számított		Korrigált	
				Alsó	Felső	Alsó	Felső
mm	1/h						
860	0,000000	1,982652	1,982652	-2,973978	4,956630	-3,119600	4,655754
950	0,214286	2,589641	2,375356	-3,348748	6,152675	-3,255245	
1050	0,000000	2,205882	2,205882	-3,308823	5,514706	-3,405961	
1150	0,000000	2,376238	2,376238	-3,564356	5,940594	-3,556677	
1250	-0,833044	0,925212	1,758256	-3,470428	3,562596	-3,707394	
1350	-0,510856	2,076125	2,586980	-4,391326	5,956595	-3,858110	
1450	-0,858676	1,603563	2,462240	-4,552036	5,296923	-4,008826	
1550	-0,705675	1,131648	1,837323	-3,461660	3,887633	-4,159543	

17. táblázat Öntött hosszra vonatkoztatott, Ca-mal kezelt szekvensek közbensőüst dugópozíció változás iránytangens boxplot diagramjának kiemelt értékei

Szelvénytérmet	Kvartilisek		IQR	Határok (H)			
	Q1	Q3		Számított		Korrigált	
				Alsó	Felső	Alsó	Felső
mm	1/m						
860	0,000000	0,049674	0,049674	-0,074511	0,124186	-0,082241	0,157572
950	0,006679	0,074880	0,068202	-0,095624	0,177182	-0,091680	
1050	0,000000	0,071142	0,071142	-0,106713	0,177855	-0,102168	
1150	0,000000	0,069832	0,069832	-0,104749	0,174581	-0,112655	
1250	-0,027039	0,034106	0,061146	-0,118758	0,125825	-0,123143	
1350	-0,015911	0,072328	0,088238	-0,148269	0,204685	-0,133631	
1450	-0,032262	0,057279	0,089540	-0,166572	0,191589	-0,144119	
1550	-0,026111	0,042513	0,068624	-0,129048	0,145450	-0,154606	



53. ábra Időre vonatkoztatott, Ca-mal nem kezelt szekvensek közbensőüst dugópozíció változás iránytangense (18. táblázat)



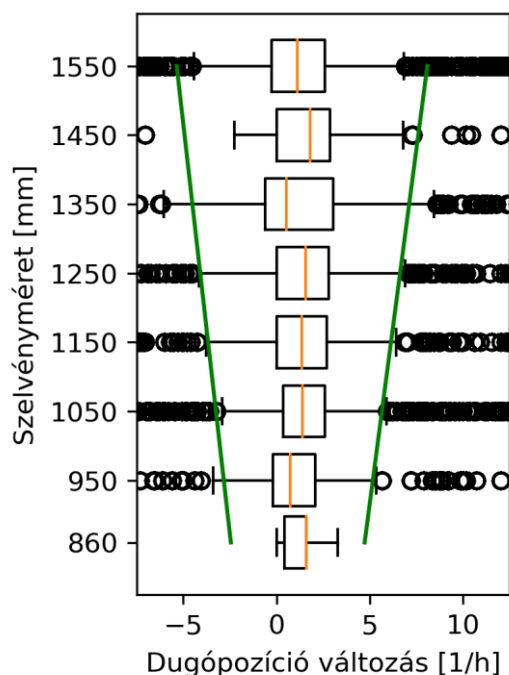
54. ábra Öntött hosszra vonatkoztatott, Ca-mal nem kezelt szekvensek közbensőüst dugópozíció változás iránytangense (19. táblázat)

18. táblázat Időre vonatkoztatott, Ca-mal nem kezelt szekvensek közbensőüst dugópozíció változás iránytangens boxplot diagramjának kiemelt értékei

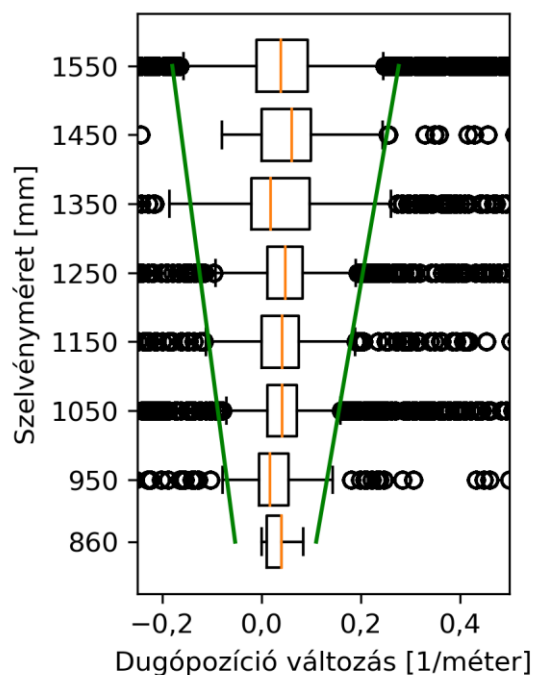
Szelvényméret	Kvartilisek		IQR	Határok (H)			
	Q1	Q3		Számított		Korrigált	
				Alsó	Felső	Alsó	Felső
mm	1/h						
860	1,062574	3,151261	2,088687	-2,070456	6,284291	-2,242903	8,335415
950	1,341853	4,035874	2,694021	-2,699179	8,076906	-2,385219	
1050	1,376598	3,978780	2,602182	-2,526675	7,882053	-2,543347	
1150	1,385681	4,033614	2,647932	-2,586217	8,005512	-2,701476	
1250	1,608040	4,526404	2,918364	-2,769505	8,903949	-2,859604	
1350	1,808786	5,082212	3,273427	-3,101355	9,992353	-3,017733	
1450	0,805369	3,428571	2,623202	-3,129434	7,363375	-3,175861	
1550	0,784998	3,559870	2,774873	-3,377311	7,722179	-3,333990	

19. táblázat Öntött hosszra vonatkoztatott, Ca-mal nem kezelt szekvensek közbensőüst dugópozíció változás iránytangens boxplot diagramjának kiemelt értékei

Szelvényméret	Kvartilisek		IQR	Határok (H)			
	Q1	Q3		Számított		Korrigált	
				Alsó	Felső	Alsó	Felső
mm	1/m						
860	0,026048	0,076957	0,050910	-0,050316	0,153322	-0,049134	0,175179
950	0,033658	0,097451	0,063792	-0,062030	0,193139	-0,057284	0,189817
1050	0,036963	0,105128	0,068165	-0,065285	0,207375	-0,066340	0,206082
1150	0,039345	0,114045	0,074699	-0,072704	0,226094	-0,075396	0,222347
1250	0,047862	0,132661	0,084799	-0,079337	0,259860	-0,084452	0,238611
1350	0,052520	0,146499	0,093979	-0,088449	0,287467	-0,093509	0,254876
1450	0,027215	0,116984	0,089770	-0,107440	0,251639	-0,102565	0,271141
1550	0,028249	0,123574	0,095325	-0,114739	0,266561	-0,111621	0,287405



55. ábra Időre vonatkoztatott, Ca-mal vegyesen kezelt szekvensek közbensőüst dugópozíció változás iránytangense (20. táblázat)



56. ábra Öntött hosszra vonatkoztatott, Ca-mal vegyesen kezelt szekvensek közbensőüst dugópozíció változás iránytangense (21. táblázat)

20. táblázat Időre vonatkoztatott, Ca-mal vegyesen kezelt szekvensek közbensőüst dugópozíció változás iránytangens boxplot diagramjának kiemelt értékei

Szelvénytérlet	Kvartilisek		IQR	Határok (H)			
	Q1	Q3		Számított		Korrigált	
				Alsó	Felső	Alsó	Felső
mm	1/h						
860	0,427655	1,599391	1,171736	-1,329949	3,356994	-2,451905	4,719478
950	-0,203943	2,073733	2,277676	-3,620456	5,490246	-2,830574	5,157796
1050	0,363857	2,590674	2,226817	-2,976368	5,930899	-3,251319	5,644816
1150	0,000000	2,694611	2,694611	-4,041916	6,736527	-3,672063	6,131837
1250	0,000000	2,787457	2,787457	-4,181185	6,968641	-4,092807	6,618857
1350	-0,626959	3,049555	3,676515	-6,141731	8,564327	-4,513551	7,105877
1450	0,000000	2,873563	2,873563	-4,310345	7,183908	-4,934296	7,592898
1550	-0,254777	2,575107	2,829884	-4,499604	6,819934	-5,355040	8,079918

21. táblázat Öntött hosszra vonatkoztatott, Ca-mal vegyesen kezelt szekvensek közbensőüst dugópozíció változás iránytangens boxplot diagramjának kiemelt értékei

Szelvényméret	Kvartilisek		IQR	Határok (H)			
	Q1	Q3		Számított		Korrigált	
				Alsó	Felső	Alsó	Felső
mm	1/m						
860	0,010856	0,040225	0,029370	-0,033199	0,084280	-0,052869	0,110506
950	-0,005013	0,055209	0,060222	-0,095346	0,145542	-0,069383	0,132197
1050	0,012380	0,071472	0,059093	-0,076259	0,160111	-0,087733	0,156298
1150	0,000000	0,075750	0,075750	-0,113624	0,189374	-0,106082	0,180399
1250	0,012311	0,083446	0,071135	-0,094391	0,190148	-0,124432	0,204501
1350	-0,020196	0,097405	0,117601	-0,196598	0,273806	-0,142781	0,228602
1450	0,000000	0,100509	0,100509	-0,150763	0,251271	-0,161131	0,252703
1550	-0,009515	0,093281	0,102797	-0,163710	0,247476	-0,179480	0,276804

4.3 Brammák jellemzése az öntési események és paraméterek alapján

Az ismertett adatfeldolgozó rendszer segítségével, valamint a jelentősebb változások határértékeinek meghatározásával lehetőség nyílt az acélbrammákat ért metallurgiai hatások mélyebb vizsgálatára a korábbi vizsgálatokon felül [109].

4.3.1 Öntési sebesség változás és kristályosítói acélszint ingadozás

Az adatok vizsgálata alapján az öntési sebességváltozások jellemzően 100 mm, a kristályosítói acélszint ingadozások jellemzően 60 mm szálhosszon belül lezajlanak (bár a hatásuk hosszabb szálszakaszon tapasztalható). A brammákat azon változások számával jellemzem, melyek érintették az adott brammát, és mértékük meghaladta a korábban meghatározott határértéket (4.2.1 és 4.2.2 fejezet).

4.3.2 Közbensőüst dugópozíció változás

A merülőcsőből kilépő acél áramlása nagyban függ a kirakódott zárványcsoportok elhelyezkedésétől, szűkítő, terelő hatásától. A zárványleválásra utaló dugópozíció változás esetén bizonytalan, hogy a levált zárványcsoport az áramlás hatására fel tud-e úszni az öntőporból képzett salakrétegbe, vagy valahol bezáródik az öntött szál megszilárduló kérgébe. A bizonytalanság miatt a kritikus mértékű dugópozíció változás esetén a változás 400 mm-es körzetét (kristályosítóban lévő acélszint) veszélyeztetett szálszakasznak tekintetem. A veszélyeztetett szálszakasz brammát érintő részarányával jellemeztem az eseményt. Ez alapján, ha a teljes veszélyeztetett szálszakasz a bramma öntési tartományára esik, akkor 1-gyel, ha az

egyik része az egyik, míg másik része másik bramma öntési szakaszára esik, akkor a két brammát a megoszlás mértéke alapján jellemeztem. Amennyiben egy brammát több ilyen veszélyeztetett szakasz is érintette, akkor az értékek összegével jellemeztem a brammát.

A zárványleválásra utaló hirtelen változásokon felül a brammát jellemeztem az öntése során fellépő közbensőüst dugópozíció változás idő és öntött hossz szerinti iránytangensével is, mely a folyamat során fellépő zárványkirakódás mértékére utal.

4.3.3 Vegyes összetételű szálszakaszok

Amennyiben a bramma öntése érint vegyes összetételű szálszakaszt, akkor a bramma értékelése a bramma és a vegyes szálszakasz közös hosszának tömege, valamint az összetételi kiegyenlítődéshez szükséges öntött tömeg (40 tonna) hányadosa alapján történik.

4.3.4 Jelentősen lassított szálszakaszok

Amennyiben a bramma öntése közben (a bramma az öntőgép metallurgiai hosszában tartózkodott) az öntés sebessége a technológiában meghatározott minimum szint alá csökken, akkor az érintettség ténye rögzítésre kerül.

4.3.5 Túlhevítettség mértéke

Korábbi megfigyelések [110] alapján az öntött acél túlhevítettségének mértéke összefügg a leminősülések mértékével, ezért minden brammához hozzárendeltem az öntése során mért túlhevítettség értékek mediánját. Az öntött acél likvidusz hőmérsékletének meghatározása az üstmetallurgiai állomáson mért kémiai összetétel alapján történik. A túlhevítettség számításához figyelembe vettem az adatfeldolgozó program által meghatározott tényleges adaghatárokat, mert a könyvelt és a tényleges adaghatár korábban ismertett okok miatt (2.4.1 fejezet) számos esetben jelentősen eltért egymástól. Ezen felül figyelembe vettem a közbensőüst acélhőmérséklet mérő szondájánál megfigyelhető, hőterjedési tehetetlenségből adódó 180 másodperces adateltolódást (késését) is.

$$T_{\text{túlhev}} = T_{\text{öntési}} - T_{\text{likvidusz}} \quad (18)$$

*„Könnyen lehet, hogy a szép eredmény egyedül a hibás adatgyűjtési módszernek tudható be.
Könnyen lehet, hogy a valóság mást mutat, és az sem kizárt, hogy sokkal lehangolóbb.”*

Seth Stephens-Davidowitz (amerikai közgazdász)

5 Adatelemzés megbízhatóságának vizsgálata

A megalkotott adatfeldolgozó rendszer által szolgáltatott eredmények megbízhatósága csak akkor ítéhető meg, ha azokat össze lehet hasonlítani tőle független, hiteles adatokkal, eredményekkel. A folyamatos öntés technológiájának jellegéből kifolyólag számos olyan adatra lehet támaszkodni, mely erre a vizsgálatra alkalmas.

A nem-állandósult események (pl. jelentős kristályosítói szintingadozás) elhelyezkedése sok esetben kitüntetett helyet foglal el az öntött szálon (pl. öntés indítás, öntés vége) ezért az abban a szálszakaszban öntött brammák technológiából fakadóan érintettek az adott öntési eseménnyel. Ezt az összefüggést használtam fel arra, hogy meghatározzam a brammák érintettségének korrelációját a technológia, valamint az adatfeldolgozó rendszer szerinti öntési eseménnyel.

Például az öntés kezdetén jelentkező jelentős öntési sebesség, és kristályosítói acélszint változások egyértelműen köthetők a szekvens kezdő brammákhoz, míg a lassítás (minimum sebesség alatti öntés) eseménye minden esetben érinti a szekvens kezdő, illetve záró brammákat. Mind a szekvens kezdő, illetve záró, mind a lassítás eseménye könnyen definiálható, a brammák érintettsége egyértelműen megadható, ezért összehasonlítható az adatfeldolgozó rendszer által azonosított jelentős, nem-állandósult állapottal való érintettséggel.

Az adatfeldolgozó rendszer jószágát igazoló elvárt korreláció mértéke minden esetben az összehasonlított eseményektől függenek, de kijelenthető, hogy egyik esemény tekintetében sem várható el tökéletes egyezés ($R^2 = 1$) még az adatfeldolgozó program tökéletes működése mellett sem.

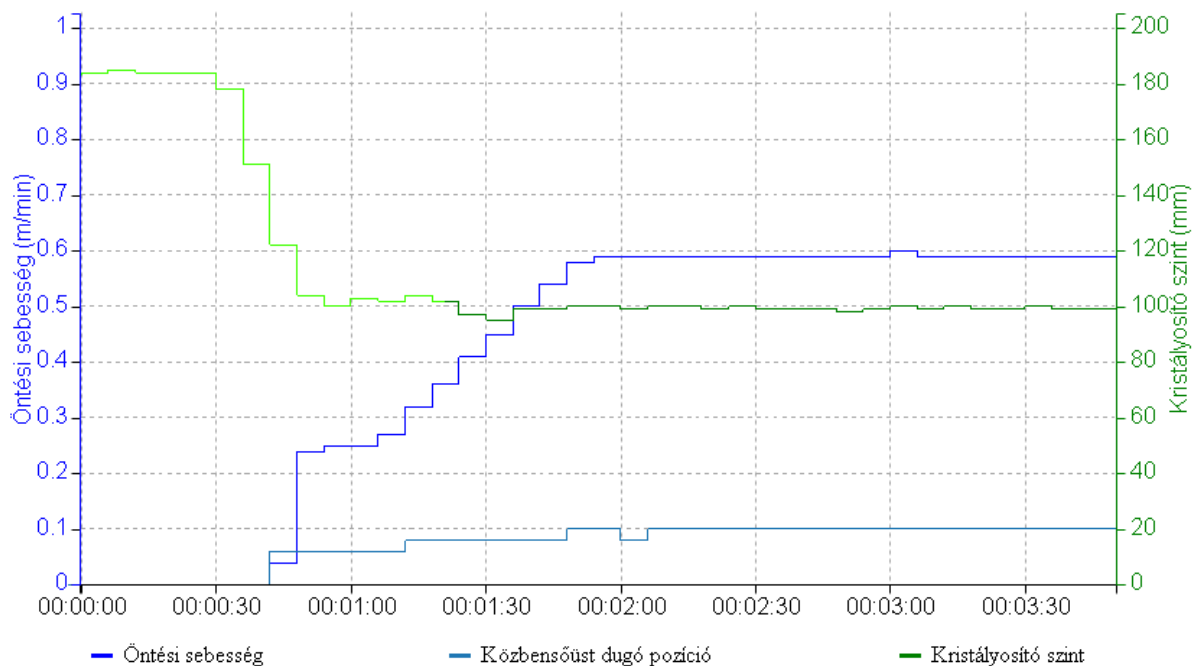
A korrelációt mértékét (R^2) 0,2-től tekintetem gyengének, 0,4-től közepesnek, és 0,7-től erősnek.

A következő 6. fejezetben kerül ismertetésre az adatfeldolgozó rendszer által minősített brammák leminősüléseinek alakulása. Az ott megfigyelhető összefüggések tovább erősítik a

brammák minősítésének, és ez által az adatfeldolgozó rendszer eredményeinek megbízhatóságát.

5.1 Az idő és öntött hossz alapú változások relevanciájának vizsgálata

A folyamatok időbeni követése és értékelése elsősorban a gyártási folyamatról ad információt, azonban csak hozzávetőleges információt ad a termék (öntött szál/bramma) adott szakaszát érő, annak minőségét befolyásoló hatásokról. A korábban ismertetett adatfeldolgozó rendszer segítségével lehetőség nyílt az öntés során bekövetkező változások öntött hossz alapú vizsgálatára is [111]. Az öntött szál első brammájánál közel sem tekinthetők állandósultnak az öntés körülményei. Rövid idő és öntött hossz alatt jelentős öntési sebességváltozás (álló helyzetből ajánlott öntési sebességre emelik a húzás sebességét), és a kristályosítói szintváltozás (feltöltés miatt, valamint a szabályzás jellegéből fakadóan) érinti (57. ábra). Ezek a körülmények felül az öntőgép másodlagos hűtőzónájában sem alakult ki még az állandósult hűtési és megtámasztási állapot.



57. ábra Öntésindítás jellegzetes görbéi

A fenti körülmények miatt a szekvens kezdő brammáknál megvizsgáltam az idő és öntött hossz alapú jelentős változások (öntési sebesség, kristályosítói acélszint, közbensőüst dugópozíció), valamint a szekvens kezdés tényének (0: nem; 1: igen) korrelációját (22. táblázat). Az öntés kezdésénél még nem áll fenn a zárványleválás kirakódásának, illetve leválásának veszélye, ezért az öntés kezdéséhez tartozó dugópozíció változási szakaszban (még, ha mértéke meg is haladja a kritikus szintet) nincs minősítve a bramma a határértéket meghaladó változások

alapján. Ezen okokból a szekvens kezdő és a jelentős közbensőüst dugópozíció változással terhelt brammák között nincs számottevő korreláció sem idő, sem öntött hossz alapú változások esetén.

22. táblázat Jelentősebb idő, és öntött hossz alapú változások, és a szekvens kezdő brammák korrelációja (R^2)

Változás	Alap	Öntési sebesség		Kristályosító szint		Közbensőüst dugópozíció		Szekvens kezdő
		Idő	Hossz	Idő	Hossz	Idő	Hossz	
Δ Seb	Idő	1	0,678	0,002	0,425	0,100	0,100	0,410
	Hossz	0,678	1	0,003	0,705	0,151	0,151	0,704
Δ Szint	Idő	0,002	0,003	1	0,009	0,001	0,001	0,001
	Hossz	0,425	0,705	0,009	1	0,132	0,132	0,860
Δ Dugó	Idő	0,100	0,151	0,001	0,132	1	0,977	0,134
	Hossz	0,100	0,151	0,001	0,132	0,977	1	0,134
Szekvens kezdő		0,410	0,704	0,001	0,860	0,134	0,134	1

A táblázatban látható korrelációk összehasonlítása alapján az alábbi megállapítások tehetők:

1. Az öntési sebesség, illetve a kristályosítói acélszint esetén az idő alapú változásokkal szemben az öntött hossz alapú változások mutatnak erősebb korrelációt a szekvens kezdő brammákkal. Ez alapján az öntött hossz alapú változások vizsgálatával relevánsabb vizsgálatok valószínűsíthetők, mint az idő alapú változások esetén.
2. Az öntési sebességnél megfigyelhető, hogy az idő és az öntött hossz alapú változások közepesen korrelálnak egymással, tehát a későbbi vizsgálatoknál érdemes mindkét szempontot tovább vizsgálni.
3. Jelentős színtingadozások jellemzően együtt fordulnak elő jelentős öntési sebességváltozásokkal. Ebben az esetben is az öntött hossz alapú változásoknál figyelhető meg erősebb korreláció.
4. Az idő alapú kristályosítói acélszint változás nem mutat jelentős korrelációt sem a többi változással, sem a szekvens kezdő brammákkal. Ez alapján kijelenthető, hogy a brammavizsgálatok szempontjából nem releváns.
5. A jelentős közbensőüst dugópozíció változásnál megfigyelhető, hogy az idő és öntött hossz alapú változások között erős korreláció van. Ez arra enged következtetni, hogy a zárványleválásra utaló jelentős dugópozíció változás jellemzően olyan öntési szakaszban fordul elő, melyben nem változik (jelentősen) az öntési sebesség, tehát az öntött hossz, és az eltelt idő hányadosa (közel) állandó.

Az eredmények alapján kijelenthető, hogy a hossz alapú jelentős öntési sebességváltozások, valamint a jelentős kristályosítói szintváltozások erős ($R^2 \geq 0,7$) korrelációt mutatnak a referenciaváltozásokhoz (szekvens kezdő) képest, ezért relevánsnak tekinthetők. Az idő alapú jelentős öntési sebességváltozás relevanciája a közepes ($R^2 \geq 0,4$) korrelációja miatt megkérdőjelezhető, ezért további vizsgálatok szükségesek használhatóságának ellenőrzésére. Az idő alapú jelentős kristályosítói szintváltozás az eredmények alapján nem tekinthető relevánsnak.

5.2 Öntési sebességváltozások relevancia vizsgálata

Az öntés indításakor, valamint befejezésekor öntött brammák a technológia jellegéből kifolyólag jelentős öntési sebességváltozással érintettek, ezért megvizsgáltam az öntési sebességváltozással kapcsolatos brammaminősítési paraméterek és szekvens kezdő/záró brammáinak korrelációját.

23. táblázat Öntési sebességcsökkenéssel kapcsolatos körülmények korrelációja (R^2)

Változás		Öntési sebesség		Lassított	Kezdő vagy záró
	Alap	Idő	Hossz		
Öntési sebesség	Idő	1	0,678	0,201	0,188
	Hossz	0,678	1	0,291	0,327
Lassított		0,201	0,291	1	0,452
Kezdő vagy záró		0,188	0,327	0,452	1

A 23. táblázat alapján a lassítással érintett brammák esetén gyenge ($R^2 \geq 0,2$) korreláció figyelhető meg a jelentős mértékű sebességváltozással érintett, és a szekvens kezdő/záró brammákkal kapcsolatban, azonban jelentősen magasabb korreláció nem várható el, mert a lassítás gyakran előfordul olyan esetekben is, amikor a másik két körülmény nem. A 24. táblázatban látható, hogy a minimális öntési sebesség alá lassított brammák aránya ~3-4-szerese a jelentős öntési sebességváltozással érintett brammákéhoz képest. A körülmények fényében tapasztalható gyenge korreláció is tovább erősíti azt a megállapítást (előző 5.1 fejezet), miszerint az adatfeldolgozó rendszer megbízható módon azonosítja a jelentős öntési sebesség változással terhelt brammákat.

24. táblázat Különböző szempontú öntési sebességváltozással érintett brammák termelési arányai

Bramma jellemző		Aránya a termelésben
Jelentős öntési sebességváltozással terhelt	Idő alap	4,69%
	Hossz alap	6,96%
Minimális öntési sebesség alá lassított		19,47%
Szekvens kezdő vagy záró		10,31%

„Adatok nélkül csak egy újabb ember vagy, akinek véleménye van.”

W. Edwards Deming (amerikai statisztikus)

6 Öntési körülmények hatása a leminősülésre

Az ismertett adatfeldolgozó rendszer, alapvető célja többek közt a szakemberek munkájának elősegítése azáltal, hogy könnyebben meghatározhatók azon technológiai paraméterek, melyek közvetlen hatást gyakorolnak hengerelt termék leminősülésére. Az előző fejezetben ismertett határértékek (4.2 fejezet), és bramma jellemzési szempontok (4.3 fejezet), illetve a munkám során alkalmazott néhány egyéb szempont alapján bemutatom a metallurgiai körülmény kapcsolatát a hengerelt termék leminősülésének mértékével. A hengerlési fázis befolyásoló hatása (4.2 fejezet) számos esetben elfedi, az elsősorban felületi megfigyelések alapján történő (le)minősítési gyakorlat pedig sok esetben nem fed fel kellőképpen a belső problémák és a metallurgiai körülmények kapcsolatát [112].

A hengerelt termékek minőségének ellenőrzése több lépésben történik. A meleghengerműben elhelyezett automata felületellenőrző rendszer (Cognex), valamint minőségügyi ellenőrök révén a feldolgozási folyamat során mechanikai, kémiai és zárványvizsgálati próbák eredményei alapján. A minősítési folyamat lehetőséget biztosít mind a teljes nyerstekercs, mind pedig a tekercsből darabolt táblák (le)minősítésére.

Az elsődleges leminősítés akkor történik, ha az ellenőrzések során, a termék felületén (esetenként a termékben) hiba tapasztalható. A végleges leminősítésnél már figyelembe kell venni a termék felhasználási célját is. Számos esetben a felületi hiba nem befolyásolja a további feldolgozást, ezért nem kerül végleges leminősítésre. Ilyen eset lehet például, ha a későbbi feldolgozás során hevítik a terméket, és a hiba mélysége kisebb, mint a leégő réteg vastagsága. A vizsgálataim szempontjából az elsődleges leminősülés adatainak feldolgozása mutatkozott célszerűnek, mert azokat nem befolyásolja a termék felhasználási célja.

A hibák eredet szempontjából származhat metallurgiai, valamint hengerlési folyamatból. Azon termékek, melyek metallurgiai eredetű hibát tartalmaznak, akkor is, ha a hengerműi hiba jelentősebb, metallurgiai jellegű hibaként kerülnek regisztrálásra.

A leminősülések vizsgálatánál kizárólag a metallurgiai okokra visszavezethető, elsődleges leminősülések adatait vettem figyelembe.

A Dunaferr hengerművében feldolgoznak saját gyártású brammákon kívül import brammákat is, azonban vizsgálataim során kizárólag a saját gyártású termékek adatait vizsgáltam.

A leminősített termékeken gyakran több fajta hiba is tapasztalható (pl. zárvány és felszakadás) a minősítés azonban kizárólag a legjelentősebb alapján került az adatbázisban regisztrálásra. Az ebből származó hiányosság/bizonytalanság miatt a leminősülések vizsgálata során nem vettem figyelembe a hiba fajtáját, csak a termékre vonatkozó teljes leminősült tömeget.

A 25. táblázatban látható a metallurgiai okokra visszavezetett leminősülések hibáik szerinti megoszlása.

25. táblázat A hengerelt termékek elsődleges leminősülésének megoszlása a vizsgált időszakban

Hiba megnevezése	Hibák megoszlása	Magyarázat
Szakadt szél	0,36%	A lemez felületén a szélső néhány cm-es tartományában fordul elő
Szélpikkely	9,94%	
Szélrepedt	2,38%	
Felületi pikkely	37,80%	A lemez felületén a szélétől távolabb eső belső területen fordul elő
Felszakadás	4,17%	
Felületi zárvány	17,55%	
Felületi repedés	15,84%	
Öntési hiba	0,06%	Folyamatos öntés során fellépő rendellenességre visszavezetett hiba
Zárványvizsgálatra jelölve	10,24%	A bramma öntése során történt beavatkozás miatt kért zárványvizsgálat alapján
Összetétel hiba	1,63%	Lemezről vett kémia nem felel meg a minőség előírásának
Szakértő által visszautasított	0,02%	Kiemelt átvételes minőségek (pl. nyomástartó edény alapanyag) esetén

A hibák részletesebb eloszlását a 1. melléklet tartalmazza

A vizsgált időszakban az elsődleges, metallurgiai eredetű leminősülések mértéke a termeléshez viszonyítva 2,26% volt.

Az ismertett adatfeldolgozó rendszer által minősített brammák leminősülési adatai alapján a minősítési szempontok egyértelmű kapcsolatot mutatnak a leminősülések alakulásával. Ezek az összefüggések alátámasztják az 5. fejezetben szereplő adatfeldolgozó rendszer megbízhatóságára vonatkozó megállapításokat.

Az ismertetésre kerülő termelési arányok az időszak teljes termelésére, a leminősülési arányok pedig az adott kategória termelési volumenére vonatkoznak.

Annak megítélésére, hogy az adott vizsgált paraméter hatása szignifikánsnak tekinthető-e a brammák leminősülésének szempontjából, z-tesztet (u-próba) alkalmaztam. A teszt nullhipotézise az, hogy a két csoport (pl. kristályosítói acélszint ingadozással terhelt, és nem terhelt brammák) leminősülési arányai azonosak. A teszt eredménye megadja a nullhipotézis valószínűségét. Amennyiben a nullhipotézis (azonosság) valószínűsége alacsonyabb az általam választott, műszaki gyakorlatban általánosan használt értéknél (műszaki gyakorlatban ez az érték jellemzően 0,05, ami 95%-os konfidencia szintnek felel meg), akkor a két leminősülési arány között szignifikáns különbség van, és nem tekinthető azonosnak, tehát a vizsgált körülmény ténylegesen hatással van a leminősülésre.

6.1 Jelentős öntési sebességváltozással terhelt brammák

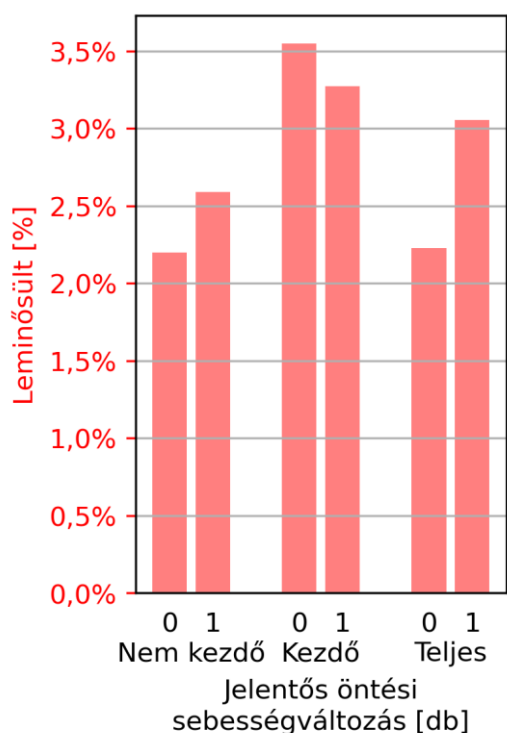
A vizsgált időszak brammáit legfeljebb egy darab jelentős mértékű öntési sebességváltozás érintette (58. és 59. ábra), ezért külön csoportként meghatároztam a jelentős sebességváltozással érintett, és nem érintett brammák leminősülési arányait annak függvényében, hogy szekvens kezdő brammák voltak-e, vagy sem, majd az arányok különbözőségének igazolásához z-teszt segítségével meghatároztam az arányok azonosságának valószínűségét (p) (26. táblázat).

A diagramok x tengelyén szereplő számok jelzik, az adott brammát ért jelentős öntési sebességváltozások számát (0: nem érintette; 1: 1 db érintette).

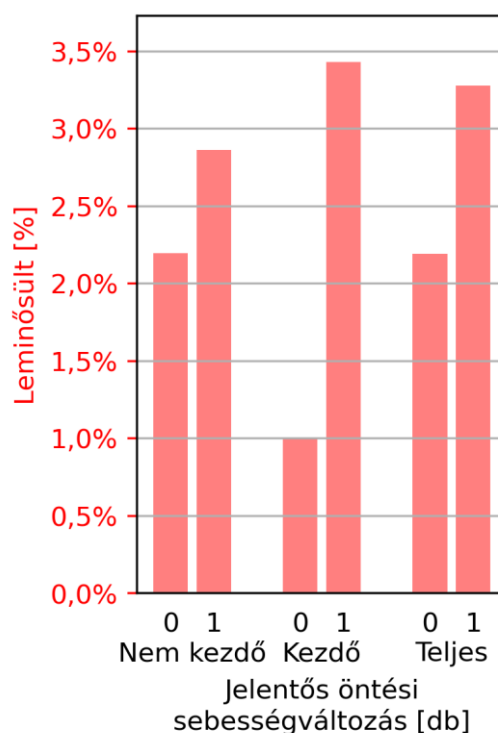
A leminősülések arányait megvizsgáltam szekvens kezdés (Nem kezdő – Kezdő) szempontjából, valamint a teljes adatmennyiségre vonatkozóan (Teljes).

A vizsgált időszak összesített (Teljes) adatai alapján látható, hogy a jelentős öntési sebességváltozással érintett brammák leminősülési arányai mind az idő, mind az öntött hossz alapú változás esetén magasabbak az öntési sebességváltozással nem érintett brammákéhoz képest.

A szekvens kezdés alapján szétbontott brammák adatai alapján viszont látható az az anomália, hogy az idő alapú változásnál a szakirodalom, és az üzemi tapasztalat alapján elvártakhoz képest megfordult a leminősülési arány, melyet a z-teszt alapján még azonosnak sem lehet tekinteni. (26. táblázat piros számok)



58. ábra Időre vonatkoztatott jelentős öntési sebességváltozás leminősülési arányai



59. ábra Öntött hosszra vonatkoztatott jelentős öntési sebességváltozás leminősülési arányai

A z-tesztek eredménye alapján 95%-os biztonsággal kijelenthető, hogy a leminősülési arányok sem az idő, sem az öntött hossz alapú változások esetén nem azonosak ($p < 0,05$).

26. táblázat Jelentős öntési sebességváltozással érintett brammák leminősülési adatai

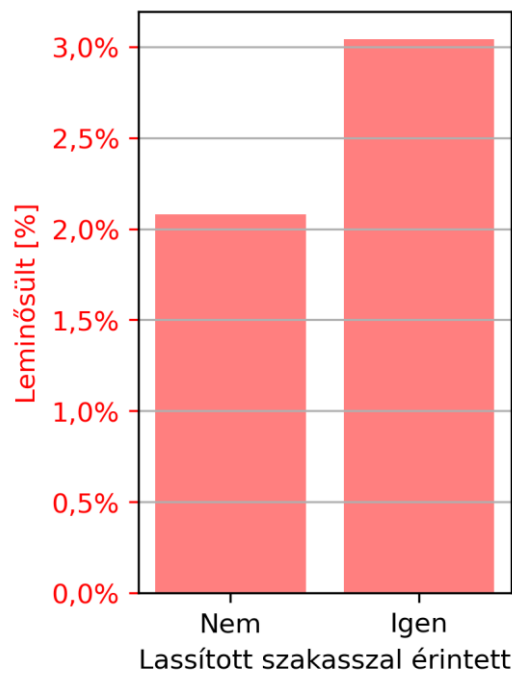
Szekvens kezdő	Alap	Jelentős változások [db]	Termelés tömeg aránya	Leminősülés tömeg aránya	Azonosság valószínűsége (p)
Nem	Eltelt idő	0	93,29%	2,20%	$1,07 \cdot 10^{-09}$
		1	1,50%	2,59%	
	Öntött hossz	0	92,94%	2,19%	$7,19 \cdot 10^{-31}$
		1	1,85%	2,86%	
Igen	Eltelt idő	0	2,02%	3,55%	$1,32 \cdot 10^{-03}$
		1	3,19%	3,27%	
	Öntött hossz	0	0,10%	1,00%	$6,70 \cdot 10^{-16}$
		1	5,11%	3,42%	
Teljes	Eltelt idő	0	95,31%	2,23%	$7,20 \cdot 10^{-109}$
		1	4,69%	3,06%	
	Öntött hossz	0	93,05%	2,19%	$4,42 \cdot 10^{-269}$
		1	6,95%	3,28%	

A jelentős sebességváltozással érintett brammák esetén 69,26%-ban mind az idő, mind az öntött hossz alapú változás meghaladta a korábban meghatározott (4.2.1 fejezet) kívülálló értékek határait.

A vizsgálat igazolja, hogy a jelentős öntési sebességváltozás negatívan befolyásolja az érintett bramma minőségét, valamint alátámasztja, hogy az öntött hossz (termék) alapú vizsgálatok megbízhatóbb eredményt hoznak az idő (folyamat) alapú vizsgálatokkal szemben.

6.1.1 Lassítással terhelt brammák

Megvizsgáltam a jelentős mértékű öntési sebességcsökkentéskor (lassítás) az öntőgépben tartózkodó brammák leminősülési arányait (60. ábra, 27. táblázat). Az eredmények alátámasztották a korábbi tudományos és üzemi vizsgálatok [66, 67] megfigyeléseit.



60. ábra Jelentős öntésslassítással érintett brammák leminősülési arányai

27. táblázat Jelentős öntésslassítással érintett brammák leminősülési adatai

Érintett lassított szakasszal	Termelés tömeg aránya	Leminősülés tömeg aránya	Azonosság valószínűsége (p)
Nem	80,56%	2,08%	0,00
Igen	19,44%	3,04%	

A z-teszt eredménye alapján 95%-os biztonsággal kijelenthető, hogy a leminősülési arányok nem azonosak ($p < 0,05$).

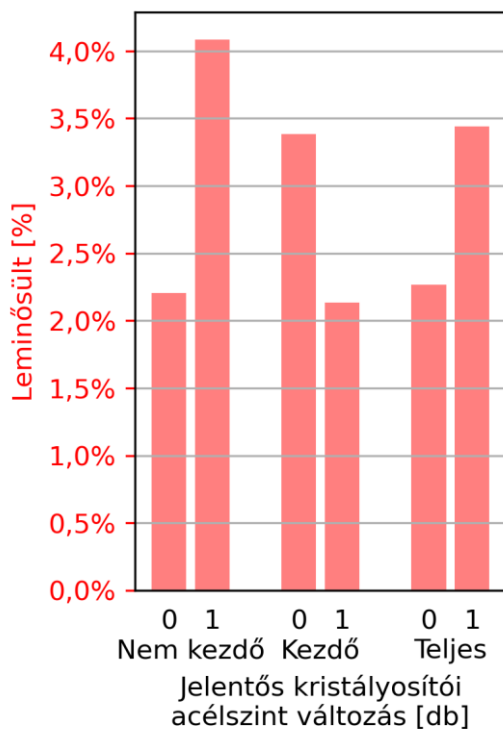
A vizsgálat igazolja, hogy az öntési sebesség minimális szint alá csökkentése negatívan befolyásolja az érintett brammák minőségét.

6.2 Jelentős kristályosítói szintingadozással terhelt brammák

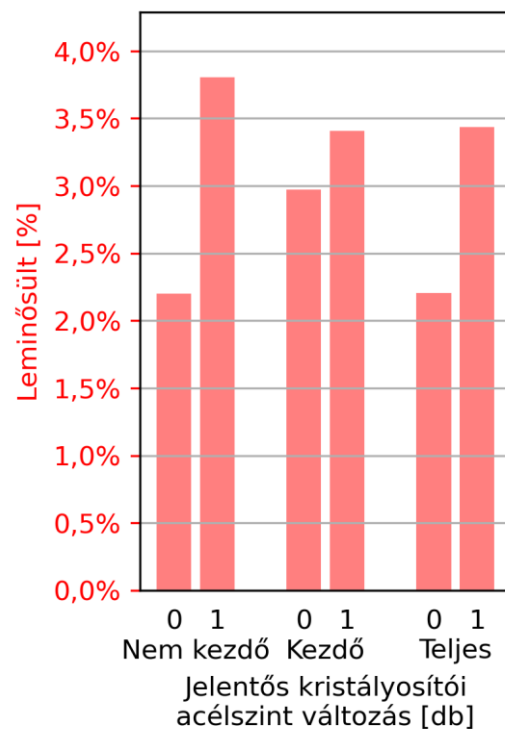
Az öntési sebességváltozáshoz hasonlóan a vizsgált időszak brammáit legfeljebb egy jelentős mértékű kristályosítói szintváltozás érintette (61. és 62. ábra), ezért külön csoportként meghatároztam a jelentős szintváltozással érintett, és nem érintett brammák leminősülési arányait annak függvényében, hogy szekvens kezdő brammák voltak-e, vagy sem, majd az arányok különbözőségének igazolásához z-teszt segítségével meghatároztam az arányok azonosságának valószínűségét (p) (28. táblázat).

A diagramok x tengelyén szereplő számok jelzik, az adott brammát ért jelentős kristályosítói acélszintváltozások számát (0: nem érintette; 1: 1 db érintette).

A leminősülések arányait megvizsgáltam szekvens kezdés (Nem kezdő – Kezdő) szempontjából, valamint a teljes adathalmányra vonatkozóan (Teljes).



61. ábra Időre vonatkoztatott jelentős kristályosító szintváltozás leminősülési arányai



62. ábra Öntött hossza vonatkoztatott jelentős kristályosító szintváltozás leminősülési arányai

A vizsgált időszak összesített (Teljes) adatai alapján látható, hogy a jelentős kristályosítói acélszint változással érintett brammák leminősülés arányai mind az idő, mind az öntött hossz alapú változás esetén magasabbak a kristályosítói acélszint változással nem érintett brammákéhoz képest.

28. táblázat Jelentős kristályosítói szintváltozással érintett brammák leminősülési adatai

Szekvens kezdő	Alap	Jelentős változások [db]	Termelés tömeg aránya	Leminősülés tömeg aránya	Azonosság valószínűsége (p)
Nem	Eltelt idő	0	94,75%	2,21%	$1,45 \cdot 10^{-6}$
		1	0,04%	4,09%	
	Öntött hossz	0	94,43%	2,20%	$2,55 \cdot 10^{-35}$
		1	0,36%	3,81%	
Igen	Eltelt idő	0	5,19%	3,39%	$6,68 \cdot 10^{-2}$
		1	0,02%	2,13%	
	Öntött hossz	0	0,34%	2,97%	$1,06 \cdot 10^{-2}$
		1	4,87%	3,41%	
Teljes	Eltelt idő	0	99,94%	2,27%	$2,90 \cdot 10^{-4}$
		1	0,06%	3,44%	
	Öntött hossz	0	94,77%	2,20%	$3,45 \cdot 10^{-266}$
		1	5,23%	3,44%	

A szekvens kezdés alapján szétbontott brammák adatai alapján az öntési sebességváltozáshoz hasonlóan itt is látható az az anomália, hogy az idő alapú változásnál a szakirodalom, és az üzemi tapasztalat alapján elvártakhoz képest megfordult a leminősülési arány. (28. táblázat piros számok)

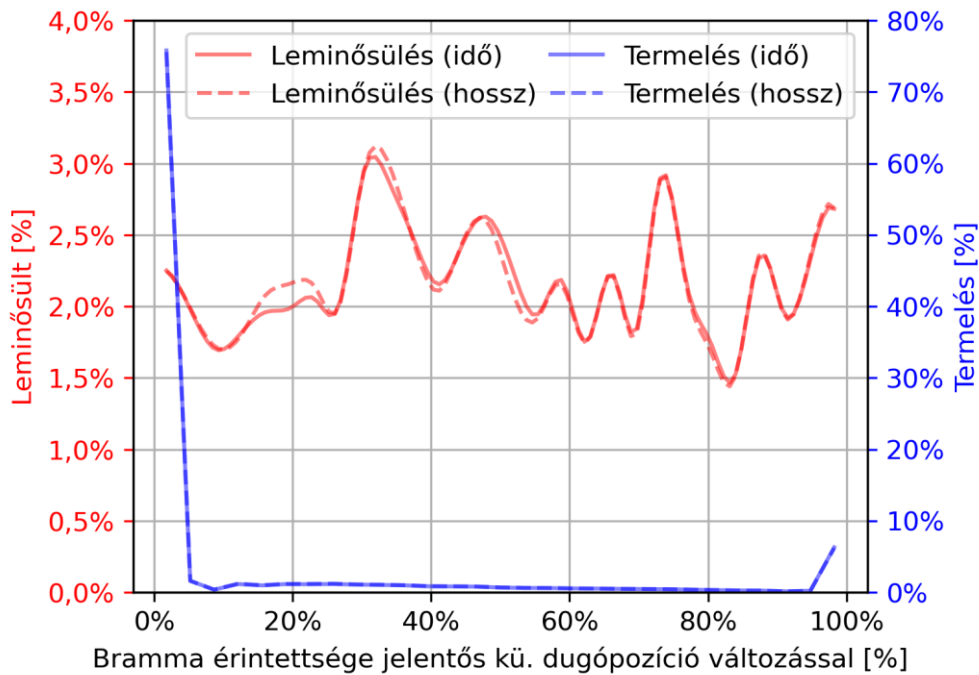
A z-tesztek eredménye alapján 95%-os biztonsággal kijelenthető, hogy a leminősülési arányok sem az idő alapú, sem az öntött hossz alapú változás esetén nem azonosak ($p < 0,05$).

A jelentős kristályosítói acélszint változással érintett brammák esetén csupán 1,28%-ban mind az idő, mind az öntött hossz alapú változás meghaladta a korábban meghatározott (4.2.2 fejezet) kívülálló értékek határait.

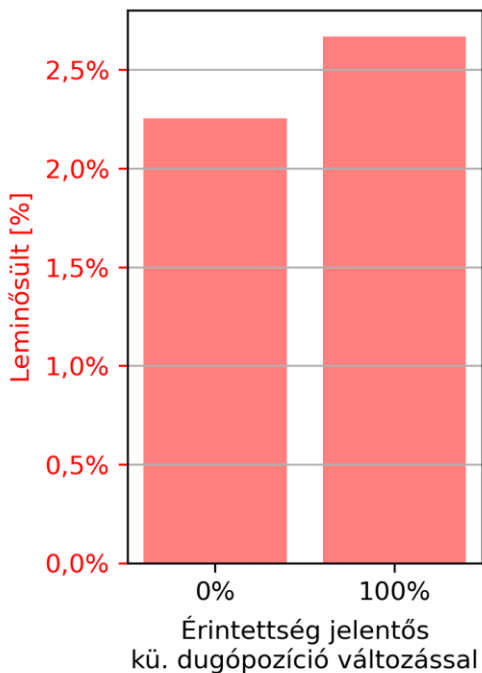
A vizsgálat igazolja, hogy a jelentős kristályosítói acélszint változás negatívan befolyásolja az érintett bramma minőségét, valamint alátámasztja, hogy az öntött hossz (termék) alapú vizsgálatok megbízhatóbb eredményt hoznak az idő (folyamat) alapú vizsgálatokkal szemben.

6.3 Jelentős közbensőüst dugópozíció változással terhelt brammák

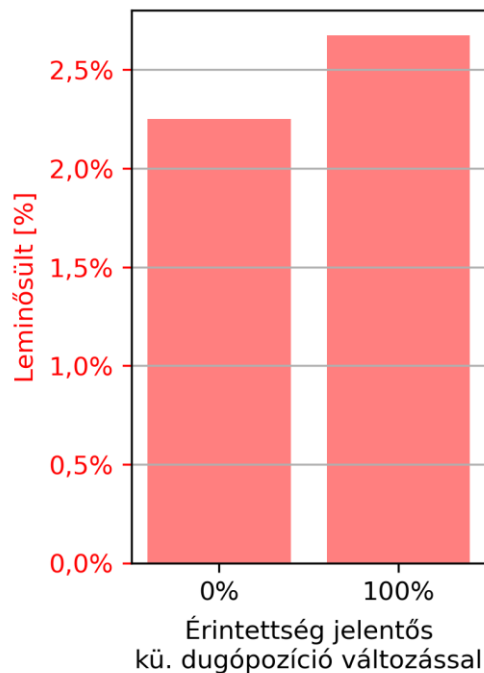
A 63. ábrán látható, hogy a termelt bramma mennyiséget jellemzően vagy nem érintette (74,99%), vagy teljes hosszával érintette (6,19%) a (zárványleválásra utaló) jelentős mértékű dugópozíció változás hatáskörzete.



63. ábra Termelés és leminősülés arányai a jelentős közbensőüst dugópozíció változással terhelt brammák esetén érintettség függvényében



64. ábra Időre vonatkoztatott jelentős közbensőüst dugópozíció változás leminősülési arányai



65. ábra Öntött hosszra vonatkoztatott jelentős közbensőüst dugópozíció változás leminősülési arányai

A jelentős közbensőüst dugópozíció változással érintett brammák leminősülés diagramjai (64. és 65. ábra) alapján számottevő különbségek láthatók a leminősülések között az érintettség mértéke szerint, melyet a z-teszt is alátámaszt (29. táblázat).

29. táblázat Jelentős közbensőüst dugópozíció változással érintett brammák leminősülési adatai

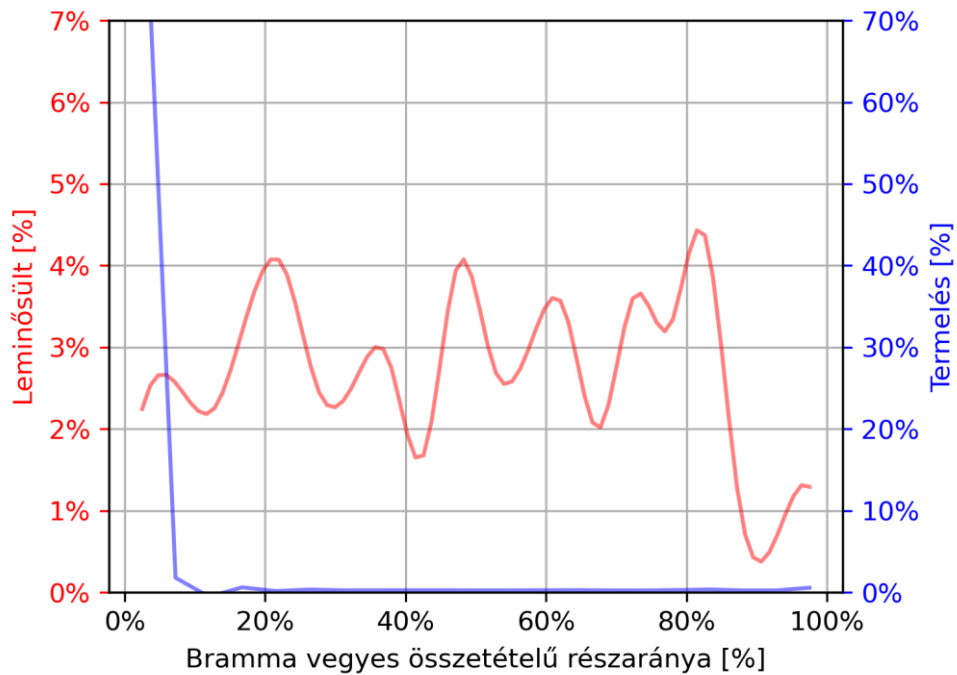
Alap	Érintettség mértéke	Termelés tömeg aránya	Leminősülés tömeg aránya	Azonosság valószínűsége (p)
Eltelt idő	0%	74,99%	2,25%	$5,45 \cdot 10^{-36}$
	100%	6,19%	2,66%	
Öntött hossz	0%	74,74%	2,25%	$1,38 \cdot 10^{-36}$
	100%	6,08%	2,67%	

A z-tesztek eredménye alapján 95%-os biztonsággal kijelenthető, hogy a leminősülési arányok sem az idő alapú, sem az öntött hossz alapú változás esetén nem azonosak ($p < 0,05$).

A vizsgálat igazolja, hogy a jelentős közbensőüst dugópozíció változást okozó események (pl. zárványleválás) negatívan befolyásolják az érintett bramma minőségét.

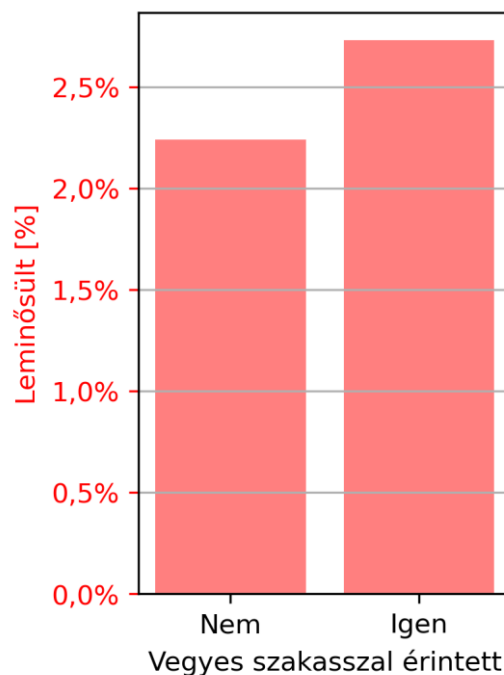
6.4 Vegyes szálszakasszal érintett

Elsősorban termelésszervezési problémák, üzemzavar, illetve kistételes (nem járatos) megrendelések esetén fordul elő, hogy két, akár jelentősen eltérő kémiai előírású adagot kell egymás után egy szekvensben leönteni. A 66. ábrán megfigyelhető a leminősülések alakulása annak függvényében, hogy a bramma mekkora hányadát érintette a vegyes öntésű szálszakasz. Az ábra alapján látható, hogy a brammák túlnyomó többsége nem érintett kevert minőségű szálszakasszal.



66. ábra Leminősülés mértéke a bramma vegyes összetételű részarányának függvényében

Az alacsony termelési arányból (vegyes szálszakasszal részben érintett brammák) adódó bizonytalanságok kiküszöbölésére kettébontottam az adatokat, és megvizsgáltam a vegyes szálszakasszal nem érintett, illetve az érintett brammák leminősülési arányait.



67. ábra Vegyes összetétellel érintett brammák leminősülési arányai

A leminősülési adatok összehasonlítása alapján megfigyelhető (67. ábra, 30. táblázat), hogy a vegyes szálszakasszal érintett brammák leminősülése jelentősen magasabb, mint a tisztán (egy minőségből) öntött brammáké.

30. táblázat Vegyes összetétellel érintett brammák leminősülési adatai

Érintett vegyes szakasszal	Termelés tömeg aránya	Leminősülés tömeg aránya	Azonosság valószínűsége (p)
Nem	94,23%	2,24%	$1,30 \cdot 10^{-47}$
Igen	5,77%	2,73%	

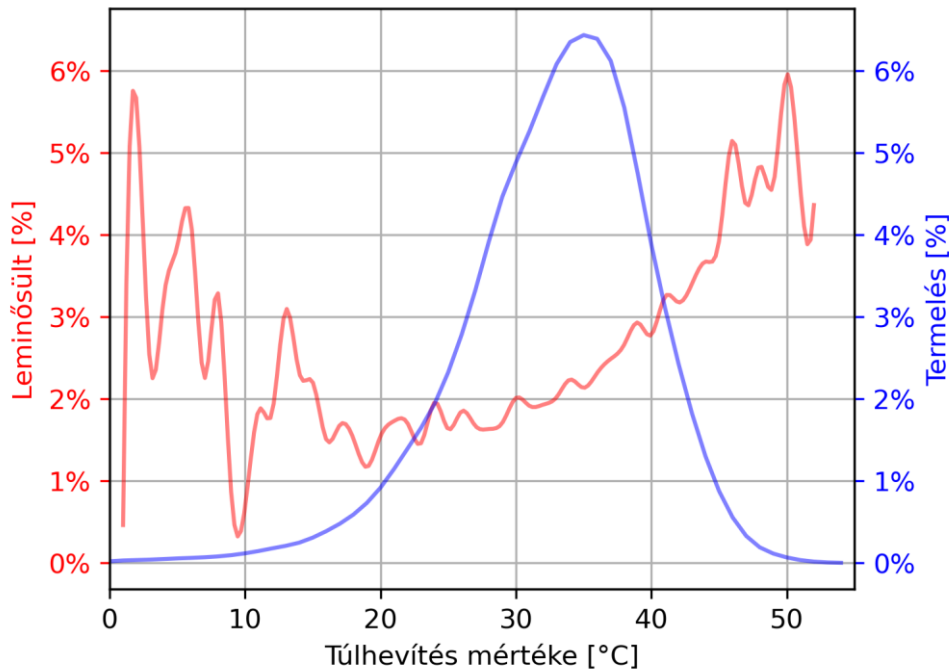
A z-teszt eredménye alapján 95%-os biztonsággal kijelenthető, hogy a leminősülési arányok nem azonosak ($p < 0,05$).

A vizsgálat igazolja, hogy a brammák vegyes öntése (eltérő minőségek egymásra öntése) negatívan befolyásolja az érintett öntött brammák minőségét.

6.5 Túlhevítés mértéke

A túlhevítettség mértéke jelentős összefüggést mutat a brammák leminősülésének arányával. A 68. ábrán megfigyelhető, hogy a leminősülés mértéke a túlhevítés függvényében egy minimumos „U” alakú görbének feleltethető meg. Megközelítőleg 0,5% termelési arány alatt ($\sim 17^\circ\text{C}$ alatt, és $\sim 45^\circ\text{C}$ felett) a leminősülési adatok bizonytalanná válnak, azonban az alsó és felső tartományban is megfigyelhető, hogy a nagy szórás ellenére jellemzően megnövekszik a leminősülés mértéke. $\sim 20^\circ\text{C}$ és $\sim 30^\circ\text{C}$ túlhevítettség között nem változik nagymértékben a leminősülés mértéke, azonban $\sim 30^\circ\text{C}$ - $\sim 35^\circ\text{C}$ környékén meredeken elkezd emelkedni a leminősülések aránya. A túlhevítettség jellemző értéke (mediánja 33°C) ennek a meredek emelkedési szakasznak az alján helyezkedik el. Ezen a meredek szakaszon megfigyelhető, hogy 10°C emelkedés hatására 1-2%-kal is emelkedik a leminősülés mértéke.

A teljes adathalmazra megállapított 2,26% leminősülési értéket 35°C felett lépi át a leminősülési görbe.



68. ábra Termelés és leminősülés arányai a túlhevítettség függvényében

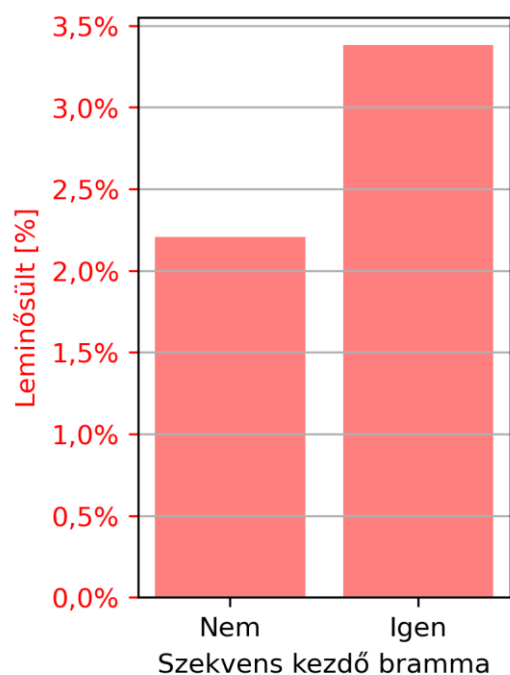
A vizsgálat igazolja, hogy a túl alacsony, illetve a túl magas túlhevítettség (minimumos „U” alakú görbe) negatívan befolyásolja az öntött bramma minőségét.

6.6 Szekvens kezdő, záró brammák

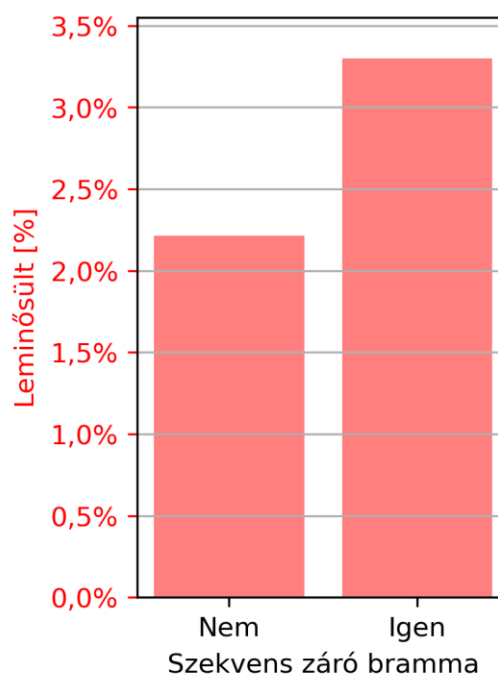
Korábbi üzemi tapasztalatok alapján megvizsgáltam a szekvens kezdő brammákhoz tartozó leminősülések mértékét (69. ábra). Ahogy korábban már szerepelt, ezek a brammák jellemzően érintettek jelentős mértékű öntési sebesség, illetve kristályosítói acélszint változással. A szekvens kezdő brammák 97,99%-a jelentős öntési sebességváltozással (öntött hossz alapú), és 93,40%-a jelentős kristályosítói acélszint változással (öntött hossz alapú) terhelt.

A szekvens utolsó brammáinak leminősülései (70. ábra) hasonló mértéket mutatnak a kezdő brammák leminősülési arányával. A szekvens kezdő brammákkal ellentétben vizsgálatok alapján a záró brammák elhanyagolható mértékben érintettek jelentős öntési sebesség (öntött hossz alapú 1,01%), illetve kristályosítói acélszint változással (öntött hossz alapú 0,21%). A szekvens záró brammáinál felerősödik az örvényhatás [68, 97, 98], mely az egyre csökkenő acélszint miatt egyre könnyebben ragadja magával a felhalmozódott nemfémes zárványokat. Ez a jelenség egyértelműen megnöveli a brammák leminősülésének kockázatát.

A vizsgálat eredményeit a 31. táblázat foglalja össze.



69. ábra Leminősülési arányok brammapozíció (kezdő) függvényében



70. ábra Leminősülési arányok brammapozíció (záró) függvényében

31. táblázat Szekvens kezdő-, és záróbrammák leminősülési adatai

Pozíció	Pozíció igaz a brammára?	Termelés tömeg aránya	Leminősülés tömeg aránya	Azonosság valószínűsége (p)
Kezdő	Nem	94,79%	2,21%	$2,06 \cdot 10^{-240}$
	Igen	5,21%	3,38%	
Záró	Nem	94,91%	2,21%	$1,06 \cdot 10^{-201}$
	Igen	5,09%	3,30%	

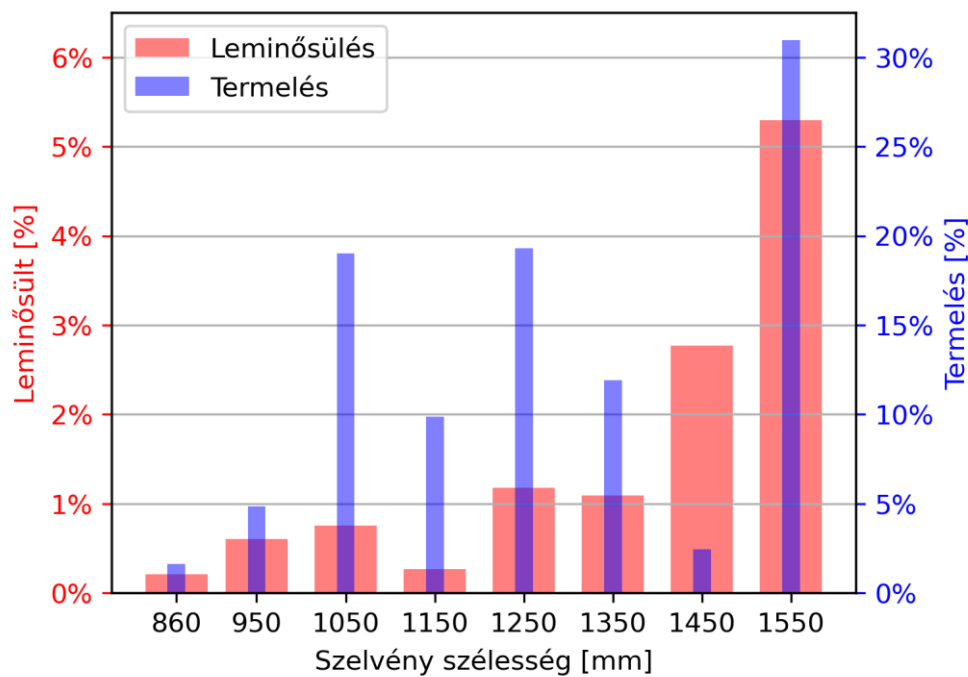
A z-tesztek eredménye alapján 95%-os biztonsággal kijelenthető, hogy a két leminősülési aránypár nem azonos ($p < 0,05$).

A vizsgálat igazolja, hogy a szekvens kezdő és záró brammák öntése során tapasztalható körülmények negatívan befolyásolják az öntött brammák minőségét.

6.7 Szelvény szélesség

Korábbi megfigyelések alapján megvizsgáltam a leminősülések alakulását a szelvény méret függvényében. A várható eredményekkel (nincs kapcsolat) ellentétben a leminősülések mértéke komoly összefüggést mutat a szelvény mérettel (71. ábra, 32. táblázat). Látható, hogy a legszélesebb szelvényen öntött brammák leminősülési mértéke meghaladja az 5%-ot (az átlagos 2,26%-hoz képest), és ezt a tényt tovább súlyosbítja, hogy ez a szelvény méret teszi ki a termelés több mint 30%-át. Ez az összefüggés olyan technológiai problémára utal, mely a gyártási sorban

(Öntőmű, Meleghengermű) szelvény/szalag szélességtől függő, valószínűleg nem megfelelő technológiai paraméter(ek) miatt alakul ki, amely magyarázata lehet például a nem megfelelő hűtési stratégia. Jelen értekezésben ismertetett adatfeldolgozó rendszer megadja a lehetőséget a metallurgiai és hengerlési adatok együttes komplex vizsgálatára. A nagymennyiségű paraméter miatt az adatok vizsgálatára a gépi tanulás eszközei kínálhatnak megoldást. A pontos okok feltárása kiemelt jelentőségű, melyet a jövőben (jelen értekezés keretein kívül) érdemes megvizsgálni.



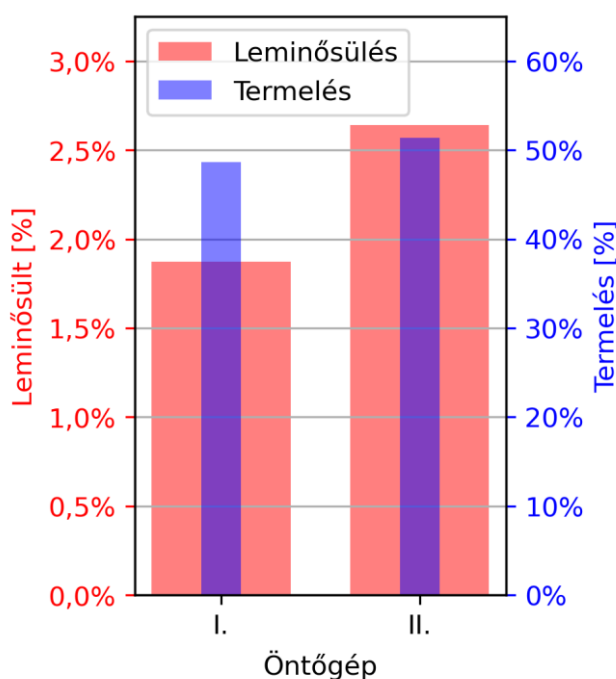
71. ábra Termelés és leminősülés arányai a szelvény szélesség függvényében

32. táblázat Termelés és leminősülés arányai a szelvény szélesség függvényében

Szelvény		Termelés tömeg aránya	Leminősülés tömeg aránya
Megevezés	Szélesség [mm]		
B08	860	1,61%	0,21%
B09	950	4,83%	0,60%
B10	1050	19,03%	0,75%
B11	1150	9,87%	0,27%
B12	1250	19,29%	1,18%
B13	1350	11,93%	1,09%
B14	1450	2,46%	2,77%
B15	1550	30,98%	5,29%

6.8 Öntőgép

A 3.4.2 fejezetben már említésre került, hogy az I. számú öntőgépen 2018 szeptemberében modernizálták a szintszabályzó automatikát, melyre a II. számú öntőgépen már csak az általam vizsgált időszak után 2020 augusztusában került sor. Ez a jelentős különbség lehetőséget biztosított a szintszabályzás modernizáció leminősülésre gyakorolt hatásának vizsgálatára. A termelés közel azonos mindkét öntőgépen, azonban a leminősülések tekintetében jelentős különbség figyelhető meg a 72. ábrán, és az adatokat tartalmazó 33. táblázatban.



72. ábra Termelés és leminősülés arányai az öntőgépeken

33. táblázat Termelés és leminősülés arányai a modernizált (I.) és a modernizálás előtti (II.) öntőgépen

Öntőgép	Termelés tömeg aránya	Leminősülés tömeg aránya	Azonosság valószínűsége (p)
I.	48,63%	1,87%	0,00
II.	51,37%	2,67%	

A z-tesztek eredménye alapján 95%-os biztonsággal kijelenthető, hogy a két leminősülési aránypár nem azonos ($p < 0,05$).

A vizsgálat igazolja, hogy a két öntőgépen öntött termékek hengerlés utáni leminősülése között szignifikáns különbség van, mely különbségnek a II. öntőgép szintszabályzás modernizációja után az azonos feltételek miatt csökkenése várható.

*„Minden jó elme Bacon ideje óta azt bizonyítja, hogy nem lehet igazi tudást szerezni,
amely nem megfigyelt tényeken alapul.”*

Auguste Comte (francia filozófus)

7 Tézisek

Vizsgálataimat az ISD Dunafer Zrt. adatai alapján végeztem el.

A Dunafer folyamatos öntőgépei (2 db) vertikális elrendezésűek. Mindkét öntőgépen párhuzamosan 2-2 szálon történik az öntés. Az öntött szálak szélességi és vastagsági méretének módosítására öntés közben nincs lehetőség. A kristályosító belső keresztmetszetében az öntött szelvény vastagsága fixen 240 mm, míg a szelvény szélessége 860-1550 mm között változtatható. A Dunafer gyártott minőségei széles spektrumot fednek le, de legnagyobb arányban az ötvözetlen szerkezeti-, és lágyacélok teszik ki. Az öntőgép minőségtől és szelvény szélességtől függő ajánlott öntési sebessége 0,45-0,8 m/perc tartományban helyezkedik el.

Az adatjóság biztosításának érdekében a 2008.01.01-2020.06.30-ig terjedő időszak gyártási adatai alapján azonosítottam a folyamatos acélöntés során fellépő tipikus adathibákat, illetve azokat a körülményeket, melyek lehetetlenné teszik az adatok megbízható elemzését. A hibásan rögzített, azonban egyértelműen korrigálható adatokat javítottam az adatbázisban (fejvég hossz, lábvég hossz, ráöntés szám).

Az azonosított tipikus adathibák nem kizárólag Dunafer öntőgép specifikusak, ezért más hasonló folyamatos öntési adatfeldolgozó rendszer kidolgozásánál is felhasználhatók, figyelembe vehetők.

Jelen értekezés vizsgálatainak alapjául a 2018.01.01-től 2020.06.30-ig terjedő időszakot dolgoztam fel, mely elegendő adatot tartalmazott kis adatbizonytalanság mellett a vizsgálatok biztonságos elvégzéséhez. (25.429 db szekvens ⇒ 122.712 db adag ⇒ 977.827 db bramma)

Az acélgyártás, üstmetallurgiai kezelés, folyamatos öntés adatai az acélmű Oracle adatbázisából, a brammák összetételi minősítésének feltételei pedig a termelésirányítás Oracle adatbázisából származnak. A brammákból hengerelt termékek (lemez, tekercs) leminősülési adatai a vállalatirányítási rendszert részét képező SAP/R3 adatbázisából származnak.

A Tézis 1-ben ismertetett alaprendszert már jelenleg is használják a Dunafer szakemberei (Üzem, Technológia, Minőségügy).

A tézisek az értekezés alábbi részei alapján kerültek megfogalmazásra:

1. Tézis: Részletes kifejtés a 3. fejezetben, folyamatábrák a 8-10. mellékletben, míg a megjelenítési felület részei a 11-19. mellékletben található.
2. Tézis: Részletes kifejtés a 4.1 fejezetben található.
3. Tézis: Részletes kifejtés a 4.2 fejezetben, adatok validációja az 5. fejezetben, míg a folyamatábra a 20. mellékletben található.
4. Tézis: Részletes kifejtés az 5. és a 6. fejezetben található.
5. Tézis: Részletes kifejtés a 6. fejezetben található.

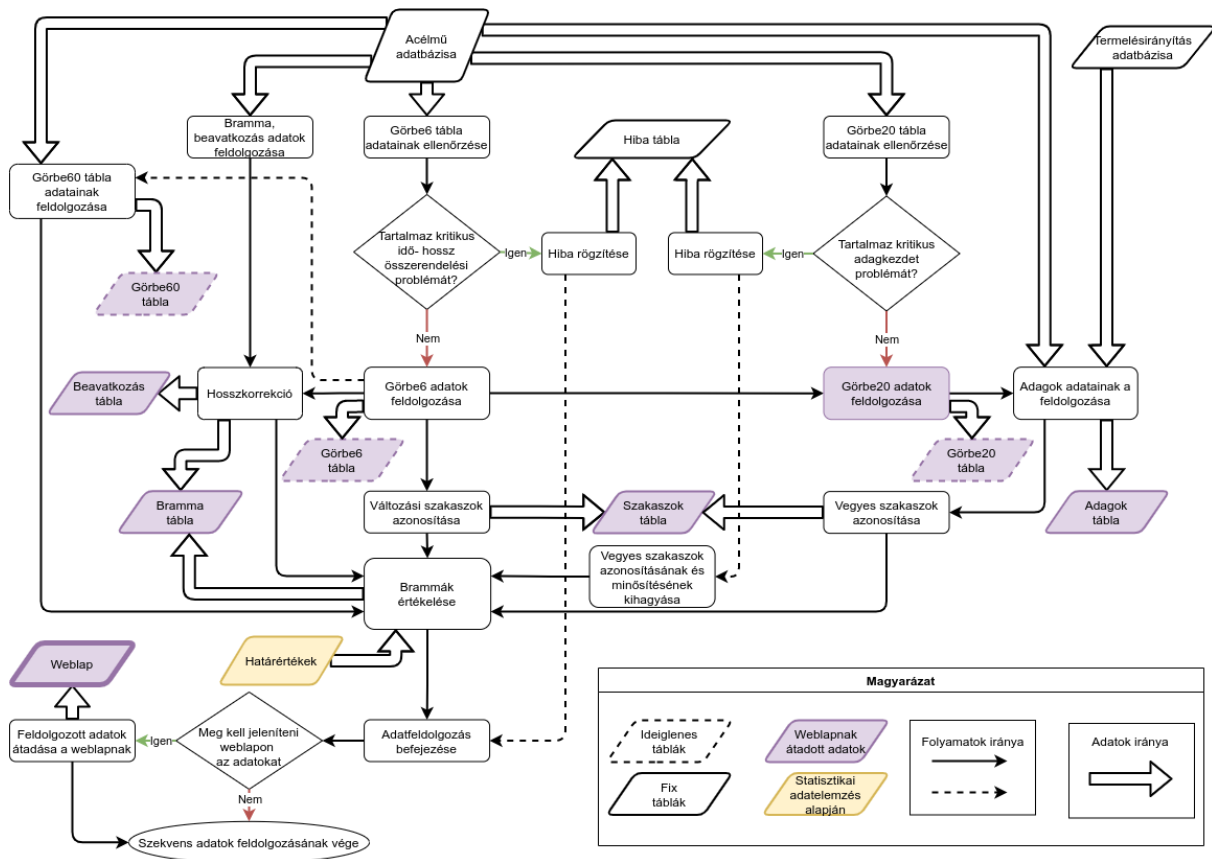
7.1 Tézis 1

Kidolgoztam és megvalósítottam egy adaptálható és bővíthető szekvens (öntési) alapú adatfeldolgozási rendszert a folyamatos acélöntés adatainak elemzéséhez (73. ábra). [6, 109, 111, 112, 113]

Az adatfeldolgozás során a folyamatszempontú, idő alapon rögzített adatelemzési lehetőségen felül kidolgoztam egy termékszempontú, öntött hossz alapú adatelemzési eljárást.

A rendszer megoldást kínál számos mélyebb adatvizsgálatot támogató módszer megalkotásához az alábbi lehetőségek megvalósításával:

1. Diszkrét jellegű adaggyártás és a folyamatos jellegű folyamatos öntés során képződött adatok összeegyeztetésével komplexen vizsgálhatóvá vált a nyersacél gyártásától a folyamatos acélöntés termékéig (bramma) tartó folyamat, mely megalapozza a brammákból hengerelt lapos termék gyártásának automatizálható vizsgálatát;
2. Az öntött szálát ért öntési anomáliák bramma (termék) szinten váltak értékelhetővé;
3. A folyamatos öntés során fellépő zárványkirakódási (szűkülési) folyamat vizsgálhatóvá tétele, mellyel többek közt értékelhető a zárványmodifikáló Ca-os kezelés sikeressége;
4. Jelentős méretű zárványok, zárványcsoportok leválási eseményének lokalizálása az öntött szálon;
5. Öntési sebességváltozással, valamint kristályosítói színtingadozással terhelt szálszakaszok helyének, kiterjedésének, súlyosságának meghatározása;
6. Beavatkozással terhelt szálszakaszok azonosítása, lokalizálása;
7. Vegyes összetételű szálszakaszok azonosítása, kémiai eltérés alapján az átmeneti összetételű szálszakaszok automatizált minősíthetőségének megteremtése.



73. ábra Szekvensadatok feldolgozásának folyamata

7.1.1 Tézis 1.1

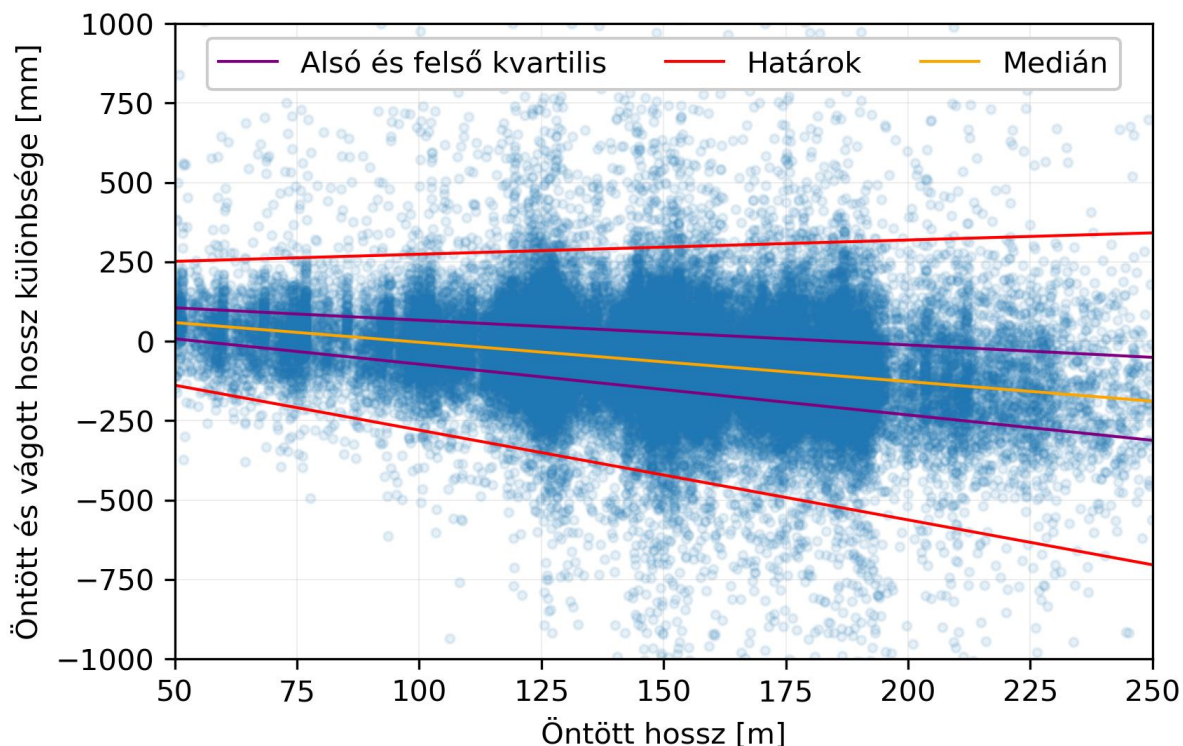
Az adatok értelmezésének érdekében kidolgoztam egy adaptálható, és bővíthető platform független webes alapú adat-vizualizációs rendszert a folyamatos acélöntés jellegzetes eseményeinek megjelenítéséhez.

Az adatmegjelenítő rendszerbe az alábbi adatelemzési lehetőségeket implementáltam:

- szekvens (öntési) alapú adatmegjelenítés;
- dinamikus adatmegjelenítés (öntési szakasz eseményei kiemelhetők);
- időalapú ábrázolás mellett termék szempontú öntött hossz alapú adatábrázolás.

7.2 Tézis 2

A különböző megközelítés alapján rögzített szálhosszadatok (öntőgép által mért öntött, és a ténylegesen levágott szálhossz) összeegyeztethetőségének igazolása során Wilcoxon előjeles rang teszt segítségével bizonyítottam, hogy az öntőgép által rögzített szálhossz és a vágott szálhossz között szignifikáns különbség tapasztalható ($\alpha = 0,05$; $p = 1,738 \cdot 10^{-263}$). [102]



74. ábra Hosszeltérés határértékeinek trendje mozgó ablak alapján

Az öntött szálhossz függvényében ábrázolt öntött és vágott hossz különbség értékeken egy 500 elem széles (adatok ~1%-a) mozgóablak használatával és a boxplot analízis jellegzetes értékeinek meghatározásával (74. ábra, 34. táblázat) kimutattam, hogy az adatokban tendencia figyelhető meg, melyet az alábbi lineáris összefüggéssel jellemeztem:

$$\Delta Hossz_{\text{öv}} = m \cdot L_{\text{öntött}} + b \quad (19)$$

ahol:

$\Delta Hossz_{\text{öv}}$: Öntött és vágott hossz közötti különbség (mm)

$L_{\text{öntött}}$: Öntött hossz (mm)

m: Regressziós egyenes meredeksége

b: Regressziós egyenes konstans tagja

34. táblázat Hosszkülönbség regressziós egyeneseinek paraméterei

	m	b
Felső határ	0,443769	228,894579
3. kvartilis	-0,780165	143,989375
Medián	-1,235780	120,336569
1. kvartilis	-1,596121	87,385906
Alsó határ	-2,820054	2,480702

A meghatározott regressziós egyenesek statisztikai kívülálló érték keresés szempontjából 3 részre bontják a hosszeltérések öntött hosszról függő adatait, mely alapján az öntési adatok hosszalapú összerendelése minősíthetővé válik.

- 1. és 3. kvartilis közötti terület között található az adatok 50%-a. Ezen a területen statisztikailag nem számottevő a hosszeltérés;
- Alsó határ és az 1. kvartilis, valamint a felső határ és a 3. kvartilis közötti terület. Ezen a területen elhelyezkedő adatok statisztikailag még nem veszélyeztetik hosszadatok összerendelését, de már számottevők;
- Az alsó és felső határon kívül eső terület statisztikailag kívülálló értéknek számít, ezért a határokon kívül elhelyezhető adatok bizonytalanná teszik az adatok összerendelést a hosszok alapján.

7.2.1 Tézis 2.1

Wilcoxon előjeles rang teszttel igazoltam ($\alpha = 0,05$; $p = 0,4516$), hogy a regresszió alapján korrigált hosszadatok már azonosnak tekinthetők.

7.3 Tézis 3

Boxplot elemzés segítségével meghatároztam az öntési folyamat szempontjából jelentősnek tekinthető, állandósult állapottól eltérő öntési sebesség, kristályosító szint és közbensőüst dugópozíció változások (idő és öntött hossz alapú) határértékeit (35. - 37. táblázat). A határértékek alapján elvégeztem a brammák minősítését, és validáltam az eredményeket. [110, 111, 112, 113]

35. táblázat Jelentős mértékű öntési sebességváltozás határértékei

Alap	Határok		Mértékegység
	Alsó	Felső	
Eltelt idő	-1900	1300	mm/min ²
Öntött hossz	-2,8	2,0	1/min

36. táblázat Jelentős mértékű kristályosítói színtingadozás határértékei

Alap	Határok		Mértékegység
	Alsó	Felső	
Eltelt idő	-580	540	mm/min
Öntött hossz	-1,084	1,062	mm/mm

A zárványkirakódásra/leválásra utaló, jelentős közbensőüst dugópozíció változás határértékeinek meghatározásánál figyelembe vettem a térfogatáramot befolyásoló szelvényméretet, valamint a zárványkirakódást befolyásoló kalciumos kezelés tényét.

37. táblázat Jelentős mértékű közbensőüst dugó változás határértékei

Szelvény- méret (mm)	Ca-mal kezelt				Ca-mal nem kezelt			
	Idő alapú [1/h]		Öntött hossz alapú [1/m]		Idő alapú [1/h]		Öntött hossz alapú [1/m]	
	Alsó	Felső	Alsó	Felső	Alsó	Felső	Alsó	Felső
860	-3,119600	4,655754	-0,082241	0,157572	-2,242903	8,335415	-0,049134	0,175179
950	-3,255245		-0,091680		-2,385219		-0,057284	0,189817
1050	-3,405961		-0,102168		-2,543347		-0,066340	0,206082
1150	-3,556677		-0,112655		-2,701476		-0,075396	0,222347
1250	-3,707394		-0,123143		-2,859604		-0,084452	0,238611
1350	-3,858110		-0,133631		-3,017733		-0,093509	0,254876
1450	-4,008826		-0,144119		-3,175861		-0,102565	0,271141
1550	-4,159543		-0,154606		-3,333990		-0,111621	0,287405

7.3.1 Tézis 3.1

A szelvényméret függvényében meghatározott jelentős kristályosítói acélszint ingadozások határértékei alapján megállapítottam, hogy a szelvényméret növekedésével növekszik a határértékek közötti távolság, tehát a szintváltozás kompenzációja lassabb. A lassabb szintkompenzáció az anyagáram pótlás tehetetlensége miatt lép fel, ami növekszik a szelvény keresztmetszetének növekedésével.

Az alsó és felső határértékek szelvénymérettel való összefüggésére meghatároztam a határegyenesek paramétereit (38. táblázat).

$$H_{szint} = m \cdot W_{szelvény} + b \quad (20)$$

ahol:

H_{szint} : Kívülállóérték határ (időre: [mm/min], öntött hosszra: [mm/mm])

$W_{szelvény}$: Szelvény szélessége [m]

m: Regressziós egyenes meredeksége

b: Regressziós egyenes konstans tagja

38. táblázat Kívülállóérték határokra illesztett regressziós egyenesek paraméterei és a korreláció mértéke (20. képlet)

	Határ	m	b	R ²
Eltelt idő	Alsó	-67,978939	-490,2153	0,721
	Felső	42,772415	481,7446	0,315
Öntött hossz	Alsó	-0,881976	-0,025969	0,804
	Felső	0,863172	0,041808	0,757

7.3.2 Tézis 3.2

A zárványleválás/kirakódás folyamatának vizsgálata során figyelmen kívül kell hagyni az öntési sebességváltozásból adódó „inert” közbensőüst dugópozíció változásokat, melyek a megváltozott szükséges térfogatáram hatására jönnek létre. Az egységnyi öntési sebesség változására eső térfogatáram változás fix szálvastagságot figyelembe véve egyenes arányban van a szelvény szélességével.

Az öntési adatok alapján azonosított öntési sebesség változási szakaszok elemzésével meghatároztam az egységnyi öntési sebességváltozáshoz tartozó közbensőüst dugópozíció változás mértékét (a) a szelvény méret függvényében. Az így kapott pontokra felvett regressziós egyenes adja a változások arányát adott szelvény méret esetén.

$$a = \frac{\Delta \text{Dugópozíció}}{\Delta \text{Öntési sebesség}} \left[\frac{1}{\frac{m}{\text{min}}} \right] = 3,51187 * W_{\text{szelvény}} + 2,39215 \quad (21)$$

ahol:

a: Egységnyi öntési sebességváltozásra eső közbensőüst dugópozíció változás [1/(m/min)]

Δ Dugópozíció: Közbensőüst dugópozíció változás [1]

Δ Öntési sebesség: Öntési sebesség változás [m/min]

$W_{\text{szelvény}}$: Szelvény méret [m]

7.3.3 Tézis 3.3

Megállapítottam, hogy a bramma minősítésénél használt idő és öntött hossz alapú jelentős közbensőüst dugópozíció változások erősen korrelálnak egymással ($R^2 = 0,977$). Ezen megfigyelés alapján a korábban ismertetett öntési sebesség és kristályosítói acélszint változásokkal szemben nincs jelentős különbség az idő és az öntött hossz alapon vizsgált változások között. Az egyszerűbb (öntött hossz adatbizonytalansága mellett is alkalmazható), idő alapú vizsgálat közel azonos eredményt hoz, mint az öntött hossz alapú.

7.4 Tézis 4

Az öntési sebesség és kristályosítói acélszint változások validációja, valamint a leminősülések vizsgálata alapján bizonyítottam azt a feltevést, miszerint a nem-állandósult állapotú (változási) öntési szakaszokat jobban jellemzik a termék szempontú, öntött hossz alapján számított, mint a folyamat szempontú, eltelt idő alapján számított változásértékek (39. táblázat). [110, 111, 112, 113]

39. táblázat Eltelt idő és öntött hossz alapú változások korrelációja (R^2)

Változás	Alapja	
	Eltelt idő	Öntött hossz
Öntési sebesség	0,410	0,704
Kristályosítói acélszint	0,001	0,860

7.5 Tézis 5

A leminősülési adatok vizsgálata során z-teszt alkalmazásával (95%-os konfidencia szintet figyelembe véve $p < 0,05$) igazoltam azt a feltételezést, hogy az alábbi öntési körülmények növelik a brammák leminősülési kockázatát [110]:

- Boxplot módszerrel meghatározott határértékeken kívüli öntési sebességváltozással érintett brammák
- Boxplot módszerrel meghatározott határértékeken kívüli kristályosítói acélszint változással érintett brammák
- Boxplot módszerrel meghatározott határértékeken kívüli közbensőüst dugópozíció változással érintett brammák
- Jelentős öntésllassítással érintett brammák (technológiában meghatározott minimális öntési sebességnél lassabban öntött)
- Vegyes összetételű szálaszakaszt tartalmazó brammák
- Túl alacsony, illetve túl magas túlhevítettség mellett öntött brammák
- Szekvens kezdő brammák (melyek technológiából adódóan érintettek jelentős öntési sebességváltozással és jelentős kristályosítói szintváltozással)
- Szekvens záró brammák (melyek érintettek jelentős öntésllassítással)

„Egy kutatómunkában soha nincs semmi befejezve.”

Molnár Márk (magyar orvos)

8 Korlátok és jövőbeli fejlesztési tervek

A folyamatos acélöntés során bekövetkező események gyakran rövid idő alatt (1-2 másodperc) zajlanak le. A 6 másodperc alatt képződött mért adatok átlagolása elfedi a változási szakaszok részleteit. A mélyebb vizsgálatához becslésem szerint a jelenlegi adatletárolási gyakoriság kb. 60-szorosára (másodpercenként 10 adatra) lenne szükség, mellyel részleteiben is vizsgálhatók lennének a változási szakaszok. Jelen értekezésben csak a változási szakaszok pozícióinak (időben és öntött hosszban) azonosítására, valamint a változás intenzitásának jellemző mértékének meghatározására volt lehetőség. A nagyobb adatsűrűség biztosíthatna lehetőséget a változási szakaszokban végbemenő folyamatok jellegének pontosabb feltárására.

8.1 Acélgyártási és üstmetallurgiai paraméterek vizsgálata

Azonos minőségből hengerelt termék folyékony fázisból „örökölt” tulajdonságai elsősorban a homogenitástól, zárványtartalomtól és a kémiai összetételtől függenek. Ezen változók hatása főként, a mechanikai tulajdonságokban (pl. szakítószilárdság, nyúlás) mutatkozik meg.

Az acélgyártás és üstmetallurgiai kezelés adatai közül elsősorban azokat érdemes vizsgálni, melyek kapcsolatba hozhatók a keletkező, illetve a visszamaradó zárványok mennyiségével.

- Inertgázos utánöblítés mennyisége a konverterben
- Konverterben mért csapolási acél hőmérséklet
- Deoxidálás céljából adagolt darabos alumínium mennyisége fajtára lebontva („tömör” mokka, laza „shredder”)
- Végső alumíniumtartalom beállításához használt Al-huzal mennyisége az üstmetallurgiai állomáson
- Az üstben lévő acél öblítésére felhasznált inert gáz mennyisége, és a kezelés időtartama forrás szerint (alsó, felső)
- Kémiai minősítő próba alumínium tartalma
- Kalciumos kezelés megléte

A témában már számos kísérleti program indult a Dunafernrél, azonban ezek legnagyobb gyengesége pont a kis számú, vizsgálható adagszám volt. A már ismertett adatfeldolgozó

rendszer segítségével elhárul a kis mintaszám problémája, és ezáltal az adatok könnyebben, komplexen válnak vizsgálhatóvá a statisztikai módszerek segítségével [113].

8.2 Megelőző karbantartás támogatása

Az elemzések lehetőséget biztosítanak egy olyan informatikai rendszer kialakításához, mely támogatást nyújt megelőző karbantartások előrejelzésére. A regisztrált meghibásodások és az öntés során rögzített adatok alapján számos esetben visszakövethető, hogy a meghibásodások előtt az adatok mintázata hasonló. Ezt felhasználva alakítható ki az előre jelző rendszer.

Pl.: A húzóhengerek áramfelvételének alakulása alapján megfigyelhetők olyan kiugró adatok/adatszakszok, melyek előre jelzik a motorok meghibásodásának bekövetkezését. Ezen jelenségek detektálásával könnyebben tervezhető előre megelőző karbantartás elvégzése, és javítható a berendezés üzembiztonsága.

8.3 Reklamáció kivizsgálás támogatása

A kidolgozott informatikai rendszer megteremti az alapot egy, az értékesített termékek utólagos reklamációjának feldolgozását támogató alkalmazás elkészítéséhez, mely a gyártási és öntési paraméterek alapján szakértői támogatást nyújt a reklamált hiba okainak kivizsgálásának szempontjából, ezzel segítve az esetleges gyártási/öntési hiba okának azonosítását [113].

Az alkalmazás jelezheti az alábbiakat a gyártás/öntés során:

- előírt tűrési tartományokon kívül eső paraméterek,
- előírt paraméterektől való eltérések indokoltsága, kompenzálttsága,
- feltételezhetően hibás adatok/mérések,
- paraméterkapcsolatok, melyek eltérnek az elvárttól.

A rendszer segítségével vizsgálhatóvá válnak az egyes reklamációk típusai és a gyártási paraméterek közötti összefüggés.

8.4 Öntési adatok mélyebb elemzése a gépi tanulás eszközeivel

Az értekezésben ismertetett elemzések eredményei és tapasztalatai alapján lehetővé vált a termelési adatok brammákra/tekercsekre lebontott (nyers acél gyártástól a folyamatos öntésen keresztül a hengerlés befejezéséig) komplex vizsgálatára a gépi tanulás eszközeinek felhasználásával. Az eredmények alapján az öntési folyamat pontosabban megismerhetővé, és az esetleges problémák könnyebben előre jelezhetővé váltak.

8.5 3D kollaborációs tér kialakítása

Az értekezésben ismertetett adatmegjelenítés továbbfejleszhető virtuális, 3 dimenziós kollaborációs tér felhasználásával, melyre megfelelő eszközt biztosít a Maxwhere 3D platform. A Maxwhere alkalmazásával hatékonyabb együttműködés érhető el a szakemberek között, mely jelentősen megkönnyíti a problémák feltárását, illetve a további adatelemzéseket.

„A tudomány nem más, mint tények csoportosítása olyan formában, hogy általános törvényeket, vagy következtetéseket lehessen levonni belőlük.”

Charles Darwin (angol természettudós)

9 Összefoglalás

Jelen értekezésben ismertetett adatfeldolgozó és megjelenítő rendszer hosszú múltra tekint vissza. A fejlesztés során szorosan együttműködtem a Dunaferr szakembergárdájával annak érdekében, hogy a kidolgozott rendszer minél pontosabb, áttekinthetőbb és informatív legyen. Fontos szempont volt, hogy használható legyen azoknak a szakembereknek is, akik alacsony informatikai ismeretekkel rendelkeznek. A megközelítőleg 10 éves fejlesztés és adatvizsgálat eredményeképpen sikerült egy olyan adatfeldolgozó rendszert létrehozni, mely megbízhatóan képes azonosítani az öntés szempontjából fontos eseményeket, és megteremti a diszkrét adaggyártás, valamint a folyamatos acélöntés komplex vizsgálatához szükséges kapcsolatot. Segítségével automatizálhatóan, egyben válnak vizsgálhatóvá a hengerelt termékértékelési körülmények a nyersacél legyártásától egészen a hengerlési fázis befejezéséig. Az elemzett adatok felhasználásával a jelenlegi lehetőségekhez képest sokkal mélyebb betekintés nyerhető az öntés technológiai folyamataiba, könnyebben azonosíthatók a minőséget befolyásoló hatások. A termék szempontú (öntött hossz alapú) adatvizsgálat lehetőségének megteremtésével pontosabb információ vált elérhetővé a brammákat ért hatások azonosítása érdekében. Az adatfeldolgozó rendszer további nagy előnye, hogy a feltárt tipikus adathibák ismeretében, valamint az öntési szakaszok azonosítási elvének felhasználásával tetszőlegesen adaptálható további folyamatos öntőművekre. Az adatelemzés programkódjának kiemelt szempontja volt, hogy a későbbiekben további szempontokkal lehessen bővíteni, ezáltal a továbbfejlesztése ne jelentsen problémát. Az elemzési eredmények megbízhatóságát ismert, és könnyen azonosítható öntési körülmények segítségével validáltam, mely alapján az elemzési folyamat megbízhatónak minősült.

Az öntési adatok megjelenítésére a webes felületet találtam legalkalmasabbnak, mert ezzel a megoldással a program részeredményei is azonnal elérhetővé tehetők a felhasználók számára. A webes megjelenítés további nagy előnye volt, hogy a fejlesztett programkódot elegendő volt a szerveren átírni a felhasználók zavarása nélkül. A megjelenítés megvalósítása nagy szerepet játszott az adatfeldolgozó rendszer validációjának első lépésében. A webes felület megalkotása során törekedtem az áttekinthetőség biztosítására. A dinamikus adatábrázolás segítségével a

vizsgált öntési szakaszok tetszőleges részletességgel váltak vizualizálhatóvá, mely nagyban segíti a szakemberek munkáját. További lényeges előnye a webes felületnek, hogy leegyszerűsítette a szakemberek kooperatív munkáját a diagramnézetek megosztásának segítségével. A webes megjelenítés megvalósítása során az adatelemzéshez hasonlóan elsődleges szempont volt az adaptálhatóság biztosítása, ezért az adatfeldolgozási résszel együtt a megjelenítési rész is adaptálható további folyamatos öntőművekbe.

*„Science is nothing but a grouping of facts in such a way that general laws
or conclusions can be drawn from them.”*

Charles Darwin (English naturalist)

10 Summary

The data processing and display system described in this dissertation has a long history. During the development, I worked closely with Dunaferri's team of experts in order to make the developed system as accurate, transparent and informative as possible. An important aspect was to ensure that professionals with low IT knowledge could also use it. As a result of approximately 10 years of development and data analysis, we have succeeded in creating a data processing system that can reliably identify events important for casting and establish the link needed for complex testing of discrete heat production and continuous steel casting. By means of the system, conditions of the rolled product from raw steel production to the end of rolling phase can be examined at the same time. Using the analysed data, a much deeper insight can be gained into the technological processes of casting compared to the current possibilities, and the effects influencing quality can be more easily identified. With the possibility of product-based (cast length-based) data analysis, more accurate information has become available to identify impacts on slabs. Another great advantage of the data processing system is that it can be arbitrarily adapted to other continuous casting machines by knowing the typical data errors discovered and by using the principle of identification of casting stages. A key aspect of the data analysis program code was that it could be expanded with additional aspects in the future, so that its further development would not be a problem. Reliability of the analysis results was validated using known and easily identifiable casting conditions, based on which the analysis process was considered reliable.

I found the web interface to be the most suitable for displaying the casting data, because with this solution the partial results of the program can be made immediately available to the users. Another great advantage of web visualization was that it was enough to rewrite the developed program code on the server without disturbing users. Implementing the visualization played a big role in the first step of validating the data processing system. During the creation of the web interface, I tried to ensure transparency. With the help of dynamic data representation, the examined casting sections can be visualized in any detail, which greatly helps the work of experts. Another significant benefit of the web interface is that it has simplified the cooperative

work of professionals by sharing chart views. During the implementation of the web display, similarly to the data analysis, the primary aspect was to ensure adaptability, therefore, together with the data processing part, the display part can also be adapted to other continuous casting machines.

„Nem kell zseninek lenni ahhoz, hogy valaki kutató lehessen.

Hiszen akkor én magam sem lettem volna az.”

Irène Joliot-Curie (francia atomfizikus és fizikokémikus)

11 Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani azoknak, akik valamilyen módon elősegítették utamat tanácsokkal, baráti szóval, biztatással!

Külön köszönetet szeretnék mondani

- Családomnak, akik nélkül esélyem sem lett volna eljutni még a PhD tanulmányok elkezdéséig sem
- Dunaferri-es kollégáimnak, akik tanácsaikkal, tapasztalataikkal támogattak
 - o Krasznai Sándornak a szakmai tanácsokért, meglátásokért, és a baráti szavakért
 - o Gönczi Pálnak az adatelemzés és adatábrázolás során nyújtott tanácsokért
 - o Lukácsi Istvánnak, Kelemen Tibornak, Megyes Imrének, Krausz Zoltánnak, Hederics Róbertnek, Kiss Ernőnek a szakmai és üzemi segítségért
 - o Anatolij Palkovnyikovnak, Földi Péternek, akik tanácsokkal és informatikai támogatással segítettek munkámat
 - o Galambos Leventének, aki rámutatott számos megoldási lehetőségre, melyekre nem gondoltam
 - o Evgeny Tankhilevich úrnak, aki személyesen támogatta publikációs törekvéseimet
 - o Közvetlen feletteseimnek: Győri Máriának, Józsa Róbertnek, Dr. Móger Róbertnek, Portász Attilának és Witt Csabának, akik támogatták PhD törekvéseimet
 - o Bocz Andrásnak és Dr. Csepeli Zsoltnak az utolsó időszakban nyújtott támogatásért
- Barátaimnak
 - o Dr. Kozsely Gábornak a nézőpontbeli tanácsaiért, és a statisztikában nyújtott segítségéért
 - o Vida Tímeának, aki értő szemmel mutatott rá angol (és néha magyar) nyelvű botlásaimra

- Témavezetőimnek:
 - Dr. Kővári Attilának, akinek meglátásai sok nehéz szakaszon segítettek át, és megmutatta hol vannak az ajtók melyeken célszerű áthaladni, valamint buktatók, melyeket célszerű elkerülni
 - Dr. Baranyi Péternek, akinek révén tágíthattam ismereteimet a kognitív tudományok területén

„Ha egy tudós eredményesen akar munkálkodni szakterületén, tanulmányoznia kell a szomszédos tudományokat is.”

Nyikolaj Nyikolajevics Szemjonov (szovjet fizikus és kémikus)

12 Irodalomjegyzék

- [1] Neef C., Hirzel S., Arens M.: Industry 4.0 in the European Iron and Steel Industry Fraunhofer Institute for System and Innovation Research ISI Germany (2018) p 32
- [2] Harald P.: How could Industry 4.0 transform the Steel Industry?
Konferencia előadás: Future Steel Forum, Warsaw (2017)
- [3] Anderl R., Fleischer J.: VDMA Guideline Industrie 4.0
VDMA Industrie 4.0 Forum Frankfurt am Main, Germany (2016) p 30
- [4] Portász A., Nagy-Rácz I.: Együtt a jövőbe! AI alkalmazása a versenyképes acéltermékek gyártásában
Konferencia előadás: Microsoft Envision Forum, Budapest (2019)
- [5] MES projekt az ISD Dunaferr Zrt-nél.
Projekt alapító okirat 2018.
- [6] Wizner K., Kővári A.: Az acélgyártás/öntés folyamatának elemzése
Konferencia kiadvány: XXI. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), (2019) pp 153-157
- [7] Miller T. W., Jimenez J., Sharam A., Goldstein D. A.: Chapter 9 Oxygen steelmaking process
Könyv részlet: The making, shaping and treating of steel, The AISE Steel Foundation, Pittsburgh, PA (1998) pp 475-524
- [8] Károly Gy., Józsa R.: Konverteres Acélgyártás
Könyv: Miskolci Egyetem Digitális tananyag (2013) p 117
- [9] Szabó Z: Alacsony zárványtartalmú acél gyártásának feltételei
Dunaferr Műszaki Gazdasági Közlemények 4 (2006) pp 203-208
- [10] Naito K., Kitamura S., Ogawa Y.: Effects of BOF top blowing and bottom stirring conditions on suppressing excessive oxidation
Ironmaking & Steelmaking Vol. 29, No. 3 (2013) pp 209-214
- [11] Wakoh M., Sano N.: Behavior of alumina inclusions just after deoxidation
ISIJ International Vol. 47, No. 5 (2007) pp 627-632
- [12] Zhang L.: Nucleation and growth of alumina inclusions during steel deoxidation

Konferencia kiadvány: 85th Steelmaking Conference Proceedings, Iron and Steel Society, Warrendale, PA, Vol. 85 (2002) pp 463-476.

[13] Wizner K., Kővári A.: Efficiency of different kinds of aluminium during deoxidation at the Steelworks of ISD Dunaferr Co. Ltd.

IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 426 (2018) 012052 p 7

[14] Deng Z., Zhu M.: Deoxidation mechanism of Al-killed steel during industrial refining process

ISIJ International Vol. 54, No. 7 (2014) pp 1498-1506

[15] Bessho N., Yamasaki H., Fujii T., Nozaki T., Hiwasa S.: Removal of inclusion from molten steel in continuous casting tundish

ISIJ International Vol. 32, No. 1 (1992) pp 157-163

[16] Zhang L., Taniguchi S., Cai K.: Fluid flow and inclusion removal in continuous casting tundish

Metallurgical and Materials Transactions B Vol. 31B (2000) pp. 253-266

[17] Rocabois P., Lehmann J., Gatellier C., Teres J. P.: Non-metallic inclusion entrapment by slags: laboratory investigation

Ironmaking and Steelmaking Vol. 30. No. 2 (2003) pp 95-100

[18] Yuan Q., Thomas B. G., Vanka S. P.: Study of transient flow and particle transport in continuous steel caster molds: Part II. Particle transport

Metallurgical and Materials Transactions B Vol. 35B (2004) pp 703-714

[19] Holappa L. E. K., Helle A. S.: Inclusion control in high-performance steels

Journal of Materials Processing Technology Vol. 53 (1995) pp 177-186

[20] Harcsik B., Józsa R., Kiss L.: Az üstmetallurgia és a folyamatos öntés technológiatervezésének gyakorlati szempontjai

Könyv: Miskolci Egyetem Digitális tananyag (2013) p 145

[21] Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Áramlástan tanszék (Lajos Tamás): A metallurgiai üstben kialakuló áramlás numerikus szimulációja

Kutatási jelentés: ISD Dunaferr Zrt. (2005) p 26

[22] Miskolci Egyetem Metallurgiai és Öntészeti tanszék (Károly Gyula): Az argonos átöblítés hatékonyságának növelésével a Si-szegény, Al-mal dezoxidált, nagyszilárdságú acélok gyártástechnológiájának fejlesztése

Kutatási jelentés: ISD Dunaferr Zrt. (2005) p 54

- [23] InnoFerCo Kft. (Károly Gyula): Az üstkemencében történő acélkezelés szerepének kutatása az Acélművek Kft adottságai ill. a Dunai Vasmű termékszerkezete figyelembevételével
Kutatási jelentés: Acélművek Kft. (1992) p 93
- [24] Wizner K.: Acélok argonos öblítése az acélgyártás során
Miskolci Egyetem Kutatószeminárium (2004) p 7
- [25] Wizner K.: Az üstmetallurgia fejlődésének nemzetközi trendje, Dunafer adottságai
Miskolci Egyetem, Kutató szeminárium (2004) p 14
- [26] Szabadi Zs., Wizner K.: Desulphurisation in the secondary steelmaking process without heating
Konferencia kiadvány: 11th International Students Day of Metallurgy, Fachschaft metallurgie und Werkstofftechnik der RWTH Aachen, Germany (2004) pp 247-249
- [27] Szabadi Zs., Wizner K.: Application of aluminium slags for desulphurisation in the secondary steelmaking process
Konferencia kiadvány: 10th International Students Day of Metallurgy, Montanuniversität Leoben Austria (2003) pp 168-171
- [28] Seetharaman S., Teng L., Hayashi M., Wang L.: Understanding the properties of slags
ISIJ International Vol. 53, No. 1 (2013) pp 1-8
- [29] Jönsson P. G., Jonsson L., Sichen D.: Viscosities of LF slags and their impact on ladle refining
ISIJ International Vol. 37, No. 5 (1997) pp 484-491
- [30] Silva A. C.: Estimating viscosities in iron and steelmaking slags in the CaO-Al₂O₃-MgO-SiO₂-(TiO₂) system with basis on thermodynamic model
Journal of Materials Research and Technology Vol 1. No. 3 (2012) pp 154-160
- [31] Reis B. H., Bielefeldt W. V., Vilela A. C. F.: Absorption of non-metallic inclusions by steelmaking slags – a review
Journal of Materials Research and Technology Vol. 3, No. 2 (2017) pp 179-185
- [32] Kijac J., Borgon M.: Desulphurization of steel and pig iron
Metallurgija 47 Vol. 4 (2008) pp 347-350
- [33] Heput T., Ardelean E., Socalici A., Maksay S., Gavanescu A.: Steel desulphurization with syntetic slag
Revista de Metalurgia Vol. 43, No. 1 (2006) pp 42-49
- [34] Móger R., Réger M., Ender A., Józsa R., Wizner K.: Optimizing steel-making secondary metallurgy slag at ISD Dunafer Zrt.

Materials Science Forum Vol. 812 (2015) pp 173-179

[35] Samott örlemény adalék felhasználása szekunder salakok hígfolyósságának javítására
(Krasznai Sándor)

Kutatási jelentés: 11/2013 ISD Dunaferr Zrt. Kísérleti program (2013)

[36] Miskolci Egyetem Dunaújvárosi Főiskolai Kar Kohászati intézet: Az öntőüstben történő
alsó és felső befúvású argonos kezelés metallurgiai elemzése (Farkas Péter)

Kutatási jelentés: ISD Dunaferr Zrt. (1998)

[37] Károly Gy., Szélig A., Takácsné Szabó A., Kiss L.: Az argonos átöblítés
hatékonyságának szerepe az acélok tisztaságának javításában

Mechatronika, Anyagtudomány Miskolc Vol. 1, No. 3 (2007) pp 73-86

[38] Michalek K., Morávka J., Gryc K.: Mathematical identification of homogenisation
process in argon stirred ladle

Metalurgia Vol. 48, No. 4 (2009) pp 219-222

[39] Bannenberg N., Bergmann B., Gaye H.: Combined decrease of sulfur, nitrogen,
hydrogen and total oxygen in only one secondary steelmaking operation

Steel Research Vol. 63., No. 10 (1992) pp 431-437

[40] Jonsson L., Jönsson P.: Modelling of fluid flow conditions around the slag/metal
interface in a gas-stirred ladle

ISIJ International Vol. 36, No. 9 (1996) pp 1127-1134

[41] Mazumdar D., Dhandapani P., Sarvanakumar R.: Modeling and optimisation of gas
stirred ladle systems

ISIJ International Vol. 57, No. 2 (2017) pp 286-295

[42] Wizner K.: Üstmetallurgia szerepe a mikroötözött, nagytisztaságú acélok gyártásában
Miskolci Egyetem, Kutató szeminárium (2003) p 12

[43] Peranandhanthan M., Mazumdar D.: Modeling of slag eye area in argon stirred ladles

ISIJ International Vol. 50, No. 11 (2010) pp 1622-1631

[44] Liu W., Tang H., Yang S., Wang M., Li J., Liu Q., Liu J.: Numerical simulation of slag
eye formation and slag entrapment in a bottom-blown argon-stirred ladle

Metallurgical and Materials Transactions B (2018) p 11

[45] Dekkers R., Blanpain B., Wollants P., Haers F., Vercruyssen C., Gommers B.: Non-
metallic inclusions in aluminium killed steels

Ironmaking and Steelmaking Vol. 29, No. 6 (2002), pp 437-444

[46] Sasai K., Mizukami Y.: Mechanism of alumina adhesion to continuous caster nozzle
with reoxidation of molten steel

ISIJ International Vol. 41, No. 11 (2001) pp 1331-1339

[47] Holappa L., Hämäläinen M., Liukkonen M., Lind M.: Thermodynamic examination of inclusion modification and precipitation from calcium treatment to solidified steel

Ironmaking and Steelmaking Vol. 30, No. 2 (2003) pp 111-115

[48] Abraham S., Bodnar R., Raines J., Wang J.: Inclusion engineering and metallurgy of calcium treatment

Journal of Iron and Steel Research International Vol. 25, No. 2 (2018), pp 133-145

[49] Abdelaziz S., Megahed G., El-Mahallawi I., Ahmed H.: Control of Ca addition for improved cleanness of low C, Al killed steel

Iron and Steelmaking Vol 36, No. 6 (2009), pp 432-441

[50] Harcsik B., Tardy P., Karoly Gy.: Examination of nozzle clogging in continuous casting
Revue de Métallurgie 109 (2012) pp 177-186

[51] Ma Z. T., Janke D.: Oxide metallurgy – Its purposes and practical approaches

Acta Metallurgica Sinica Vol. 11, No. 2 (1998) pp 79-86

[52] Lis T: Modification of oxygen and sulfur inclusions in steel by calcium treatment

Metalurgija Vol. 48, No. 2 (2009) pp 95-98

[53] Salasin R., J.: Structure property relationship and cationic doping in [Ca₂₄Al₂₈O₆₄]₄₊ framework: Review

Crystals Vol. 7, No. 143 (2017) p 25, 7050143

[54] Márffy J., Pallósi J., Bocz A.: Zárványosság vizsgálata egyszikrás technikával
(Zárványok 3. rész)

Anyagvizsgálók lapja Vol. 1-2 (2010) pp 42-49

[55] Kijac J., Kovác P., Steranka E., Masek V., Marek P.: The current status of tundish covering slags in slab caster plant

Metalurgija Vol. 43, No. 1 (2004) 59-62

[56] Mazumdar D.: Tundish metallurgy: Towards increased productivity and clean steel

Transactions of the Indian Institute of Metals Vol. 66, No. 5-6 (2013) pp 597-610

[57] Liu J., Liu C.: Optimization of mold inverse oscillation control parameters in continuous casting process

Materials and Manufacturing Processes Vol. 30, No. 4 (2015), pp 563-568

[58] Valdez M., Shannon G. S., Sridhar S.: The ability of slags to absorb solid oxide inclusions

ISIJ International Vol. 46, No. 3 (2006) pp 450-457

- [59] Nakato H., Omiya S., Habu Y., Emi T., Hamagami K., Koshikawa T.: Optimizing mold lubrication for high-speed continuous casting of slabs
Journal of Metals Vol 25, No. 3 (1984) pp 44-50
- [60] Yamauchi A., Sorimachi K., Sakuraya T., Fujii T.: Heat transfer between mold and strand through mold flux film in continuous casting of steel
ISJ International Vol. 33, No. 1 (1993) pp 140-147
- [61] Thomas B. G.: Modeling of continuous-casting defects related to mold fluid flow
Iron and Steel Technology Vol. 3 (2006) p 127
- [62] Thomas B. G.: Chapter 14 Fluid flow in the mold
Könyv részlet: In Making, Shaping and Treating of Steel: Continuous Casting, The AISE Steel Foundation, Pittsburg, PA. (2003) p 41
- [63] Thomas B. G.: Continuous casting (metallurgy)
Yearbook of science and Technology, McGraw-Hill (2004) pp 1-6
- [64] Ha J., Cho J., Lee B., Ha M.: Numerical analysis of secondary cooling and bulging in the continuous casting of slabs
Journal of Materials Processing Technology Vol. 113 (2001) pp 257-261
- [65] Preßlinger H., Ilie S., Reisinger O., Schiefermüller A., Pissenberger A., Parteder E., Bernhard C.: Methods for Assessment of slab centre segregation as a tool to control slab continuous casting with soft reduction
ISIJ International Vol. 46, No. 14 (2006) pp 1845-1851
- [66] Réger M.: Folyamatosan öntött lemezbugák középvonali dúsulása és következményei
MTA Doktori értekezés (2010) Budapest p 134
- [67] Budapesti Műszaki Főiskola Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Anyag és Gyártástechnológiai Intézet (Réger Mihály): Az öntési paraméterek megváltozása miatt kialakuló nem állandósult állapotú viszonyok matematikai modellezése
Kutatási jelentés: ISD Dunaferr Zrt. (2008) Kutatási Tanulmány
- [68] Garcia-Hernandez S., Solari-Diaz G., Ramos-Banderas J. A., Baretto J. de J., Morales R. D.: Fluid dynamics of vortex formation in tundish operations: Mathematical modelling
Steel Research International Vol. 80, No. 4 (2009) pp 256-263
- [69] Zhang Q., Wang L., Wang X.: Influence of casting speed variation during unsteady continuous casting on non-metallic inclusions in IF steel slabs
ISIJ International Vol. 46, No. 10 (2006) pp 1421-1426
- [70] Wang Y., Zhang L.: Transient fluid flow phenomena during continuous casting: Part II – Cast speed change, Temperature fluctuation, and steel grade mixing

ISIJ International, Vol. 50, No. 12 (2010) pp 1783-1791

[71] Erdmann R. G., Poirier D. R., Hendrick A. G.: Permeability in the mushy zone
Materials Science Forum Vol. 649 (2010) pp 399-408

[72] Maurya A., Jha P., K.: Effect of casting speed on continuous casting of steel slab
International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research Vol. 1, No. 1 (2014)
pp 13-21

[73] Zeng J., Chen W.: Effect of casting speed on solidification structure and central
macrosegregation during continuous casting of high-carbon rectangular billet
La Metallurgia Italiana Vol. 7/8 (2015) pp 51-58

[74] Ludlow V., Normanton A., Anderson A., Thiele M., Ciriza J., Laraudogoitia J., van der
Knoop, W.: Strategy to minimise central segregation in high carbon steel grades during
billet casting
Ironmaking and Steelmaking, Vol. 32 No. 1 (2005) pp 68–74.

[75] Sengupta J., Thomas B. G.: Effect of sudden level fluctuation on hook formation during
continuous casting of ultra-low carbon steel slabs

Modeling of casting, welding and advanced solidification process – XI (2006) pp727-736

[76] Shin H.-J., Thomas B. G., Lee G.-G., Park J.-M., Lee C.-H., Kim S.-H.: Analysis of
hook formation mechanism in ultra low carbon steel using CON1D heat flow –
solidification model

Konferencia kiadvány: Materials Science & Technology, New Orleans, LA. (2004) p 16

[77] Brimacombe J. K., Sorimachi K.: Crack Formation in the Continuous Casting of Steel
Metallurgical Transactions B, 8B (1977) pp 489-505

[78] Schmidt K.-D., Friedel F., Imlau K.-P., Jäger W., Müller K. T.: Consequent
Improvement of Surface Quality by Systematic Analysis of Slabs
Steel Research Vol. 74 No. 11/12 (2003) pp 659-666

[79] Thomas B. G., Sengupta J., Ojeda C.: Mechanism of hook and oscillation mark
formation on ultra-low carbon steel

Konferencia kiadvány: Second Baosteel Biennial Conference, Vol. 1, Sanghaj, PRC (2006) pp
112-117

[80] Suzuki D.: Formation of mold level control model by molten steel flow analysis method
Kutatási jelentés: Nippon steel technical report No. 89 (2004) pp 46-49

[81] Vermeulen Y., Coletti B., Blanpain B., Wollants P., Vleugels J.: Material evaluation to
prevent nozzle clogging during continuous casting of Al killed steels

ISIJ International Vol. 42, No. 11 (2002), pp 1234-1240

- [82] Zhang L., Wang Y., Zuo X.: Flow transport and Inclusion motion in steel continuous-casting mold under submerged entry nozzle clogging condition
Metallurgical and Materials Transactions Vol. 39B (2008) pp 534-550
- [83] Miki Y., Kitaoka H., Sakuraya T., Fujii T.: Mechanism for separating inclusions from molten steel stirred with a rotating electro-magnetic field
ISIJ International Vol. 32, No. 1 (1992) pp. 142–149
- [84] Sengupta J., Thomas B. G.: Visualization of hook and oscillation mark formation mechanism in ultra-low carbon steel slabs during continuous casting
Journal of Metals electronic edition (2006) pp 11-34
- [85] Braun T. B., Elliott J. F., Flemings M. C.: The clustering of alumina inclusions
Metallurgical Transactions B Vol. 10B (1979) pp. 171–84.
- [86] Zhang L., Thomas B.G.: Inclusion removal by bubble flotation in continuous casting mold
Metallurgical and Materials Transactions B Vol. 37B (2006) pp. 361-379.
- [87] Tehovnik F., Burja J., Arh B., Knap M.: Submerged entry nozzle clogging during continuous casting of Al-killed steel
Metalurgija Vol. 54, No. 2 (2015) pp 371-374
- [88] Harcsik B., Karoly Gy.: Controlling nozzle clogging by secondary steelmaking without reheating
Steel Research International, No. 9999 (2012) pp 1-7
- [89] Harcsik B.: Hidegen hengerelhető acélok folyamatos öntésénél a kagylószűkülés befolyásolása hevítést nem biztosító üstmetallurgiai műveletekkel
PhD disszertáció: Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Kar (2011) p 123
- [90] Szabó A: Szilícium szegény, alumíniummal dezoxidált acél tisztaságának javítása argonos átöblítés finomításával
PhD disszertáció: Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Kar (2007) p. 143
- [91] Harcsik B., Károly Gy., Tardy P., Józsa R., Szabó Z.: A reoxidáció hatása az acél folyamatos öntése közben kialakuló kagylószűkülésre
Műszaki gazdasági közlemények Dunaferr Dunai Vasmű Rt, Vol. 50 No. 1 (2012) pp 41-48
- [92] Károly Gy., Ghazally S. A., Tardy P., Harcsik B., Józsa R.: Decreasing the nozzle clogging tendency in low-silicon Al-killed mild steels at ISD Dunaferr Co.
Konferencia kiadvány: Clean Steel 8th International Conference, Budapest, Magyarország (2012) pp 1-8

- [93] Girase N. U., Basu S., Choudhary S. K.: Development of indices for quantification of nozzle clogging during continuous slab casting
Iron and Steelmaking Vol. 34, No. 6 (2007) pp 506-512
- [94] Rackers K., Thomas B. G.: Clogging in Continuous Casting Nozzles
Konferencia kiadvány: 78th Steelmaking Conference Proceedings, Iron and Steel Society, Warrendale, PA, Vol. 78 (1995) pp 723-734.
- [95] Bai H., Thomas B. G.: Effects of clogging, argon injection, and continuous casting conditions on flow and air aspiration in submerged entry nozzles
Metallurgical and Materials Transactions Vol. 32B (2011) pp 707-722
- [96] Cicutti C. E., Madias J., Gonzalez J. C.: Control of microinclusions on calcium treated aluminium killed steels
Ironmaking and Steelmaking Vol. 24, No. 2 (1997) pp 155-159
- [97] Solorio-Diaz G., Ramos-Banderas J. A., Bareto J. de J., Morales R. D.: Fluid dynamics of vortex formation in tundish operations: Physical modelling
Steel Research International Vol. 78, No. 3 (2007) pp 248-253
- [98] Garcia-Hernandez S., Solorio-Diaz G., Ramos-Banderas J. A., Bareto J. de J., Morales R. D.: Fluid dynamics of vortex formation in tundish operations: Mathematical modelling
Steel Research International Vol. 80, No. 4 (2009) pp 256-263
- [99] Odenthal H.-J., Bölling R., Pfeifer H.: Numerical and physical simulation of tundish fluid flow phenomena
Steel Research Vol 74, No. 1 (2003) pp 44-55
- [100] Väyrynen P., Vapalahti S., Louhenkilpi S., Chatburn L., Clark M., Wagner T.: Tundish flow model tuning and validation: Steady state and transient casting situations
Konferencia kiadvány: SteelSim Graz/Seggau Austria (2007), pp 147-152
- [101] Michael Galarnyk: Understanding Boxplots, Towards Data Science, 2018.09.12
URL: <https://towardsdatascience.com/understanding-boxplots-5e2df7bcbd51>
Letöltve: 2021. 07. 09.
- [102] Wizner K., Kővári A.: Az ISD Dunaferr Zrt. folyamatos öntőművében az öntött és vágott szálhossz eltéréseinek minősítése
Bányászati és Kohászati Lapok (Kohászat) Vol. 154, No 1. (2021) pp 1-4
- [103] Bahrami A., Kiani Khouzani M., Mokhtari S. A., Zareh S., Yazdan Mahr M.: Root cause analysis of surface cracks in heavy steel plates during the hot rolling process,
Metals Vol. 9, 801 (2019), p 11

- [104] Naumenko V. V., Muntin A. V., Danilenko A. V., Baranova O. A.: Study of the Surface Defect Nature of Hot-Rolled Products in the Edge Zone
Steel in Translation, Vol. 50(1), pp 46-52
- [105] Dhua S. K.: Metallurgical analyses of surface defects in cold-rolled steel sheets
Journal of Failure Analysis and Prevention Vol. 19 (2019), pp 1023-1033
- [106] Sakar P. P., Dhua S. K., Thakur S. K., Tarh S.: Analysis of the surface defects in a hot-rolled low-carbon C–Mn steel plate
Journal of Failure Analysis and Prevention Vol. 17(3) (2017), pp 545-553
- [107] Kujanpää V. P., David S. A., White C. L.: Formation of hot cracks in austenitic stainless steel welds – Solidification cracking
Welding Research Supplement (1986 august), pp 203-212
- [108] Doane D. P.: Aesthetic frequency classifications
The American Statistician, Vol. 30, No. 4 (1976) pp 181-183
- [109] Wizner K., Kővári A.: Root cause analysis of metallurgical defects in continuous cast steel slabs at ISD DUNAFERR Zrt.
IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 903 (2020) 012043, p 8
- [110] Wizner K., Kővári A.: Effect of the production conditions of continuously cast steels on the degree of hot rolled product downgrading
Acta Materialia Transylvanica Vol. 3, No 1 (2020) pp 55-59
- [111] Kővári A., Katona J., Wizner K., Ujbányi T., Nagy B., Berki B., Sudár A: Ember-számítógép-, valamint megjelenítő és elemző interfészek alkalmazási lehetőségei
Dunakavics, Dunaújvárosi Egyetem online folyóirata Vol. 9. No 5 (2021) pp 45-60
- [112] Metallurgiai eredetű hibák reklamáció-kivizsgálását támogató szakértői rendszer kialakítása az ISD DUNAFERR Zrt. technológiájában
Magyar Acél (2020) No. 1 pp 42-48
- [113] Wizner K., Kővári A.: Novel concepts for establishing expert support systems to investigate the defect occurring in metallurgical phases in the technology of ISD DUNAFERR Zrt.
Conference Series: Materials Science and Engineering 903 (2020) 012001, p 6

Mellékletek

1 Melléklet Hibaokra lebontott leminősülések alakulása

Leminősülések alakulása az öntés helyének (öntőgép/szál) függvényében

Hiba	I. Öntőgép			II. Öntőgép		
	1. szál	2. szál	Összesen	1. szál	2. szál	Összesen
Termelés megoszlása	24,26%	24,39%	48,65%	25,58%	25,77%	51,35%
Szakadt szél	0,10%	0,07%	0,17%	0,06%	0,13%	0,19%
Szélpikkely	1,78%	1,74%	3,53%	3,35%	3,06%	6,42%
Szélrepedt	0,46%	0,44%	0,90%	0,71%	0,77%	1,48%
Felületi pikkely	6,83%	7,03%	13,86%	12,27%	11,68%	23,95%
Felszakadás	0,79%	0,92%	1,71%	1,32%	1,14%	2,46%
Felületi zárvány	3,94%	3,35%	7,29%	5,26%	5,00%	10,26%
Felületi repedés	3,39%	3,03%	6,42%	5,40%	4,01%	9,42%
Öntési hiba	0,01%	0,00%	0,01%	0,02%	0,02%	0,04%
Zárványvizsgálatra jelölve	2,93%	3,00%	5,93%	2,24%	2,07%	4,31%
Összetétel hiba	0,22%	0,11%	0,33%	0,84%	0,46%	1,30%
Szakértő által visszautasított	0,02%	0,01%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%

Leminősülések alakulása szelvényméret függvényében

Hiba	Szelvény szélesség (mm)							
	860	950	1050	1150	1250	1350	1450	1550
Termelés megoszlása	1,61%	4,83%	19,03%	9,87%	19,29%	11,93%	2,46%	30,98%
Szakadt szél	0,00%	0,00%	0,18%	0,02%	0,02%	0,00%	0,00%	0,13%
Szélpikkely	0,01%	0,31%	0,97%	0,13%	1,49%	0,45%	0,15%	6,43%
Szélrepedt	0,00%	0,00%	0,15%	0,02%	0,32%	0,00%	0,00%	1,89%
Felületi pikkely	0,01%	0,12%	2,23%	0,18%	3,80%	0,89%	0,33%	30,24%
Felszakadás	0,00%	0,00%	0,29%	0,02%	0,37%	0,16%	0,06%	3,25%
Felületi zárvány	0,03%	0,15%	1,04%	0,55%	1,96%	1,35%	0,38%	12,10%
Felületi repedés	0,00%	0,10%	0,56%	0,01%	0,59%	0,19%	0,24%	14,15%
Öntési hiba	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,06%
Zárványvizsgálatra jelölve	0,09%	0,52%	0,28%	0,10%	1,47%	2,17%	1,83%	3,77%
Összetétel hiba	0,00%	0,09%	0,58%	0,12%	0,00%	0,53%	0,00%	0,30%
Szakértő által visszautasított	0,00%	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Leminősülések alakulása acélminőség függvényében

Minőség aránya a termelésből / Hibák aránya a minőségen belül	Lágyacélok	Melegen hengerelt ötvezetelen szerkezeti acél	Légköri korrózióznak ellenálló acélok	Kazánok és nyomástartó edények	Csőalapanyagok	Finomszemcsés acélok	Nemesíthető, betétben edzhető- és rugóacélok
Termelés megoszlása	38,81%	46,24%	0,03%	3,08%	0,05%	10,71%	0,07%
Szakadt szél	0,06%	0,23%	0,00%	0,02%	0,00%	0,06%	0,00%
Szélpikkely	0,81%	6,85%	0,00%	0,15%	0,00%	2,06%	0,00%
Szélrepedt	0,05%	1,50%	0,00%	0,01%	0,00%	0,80%	0,00%
Felületi pikkely	1,08%	24,75%	0,00%	2,29%	0,00%	9,18%	0,00%
Felszakadás	0,08%	2,36%	0,00%	0,85%	0,00%	0,76%	0,00%
Felületi zárvány	2,33%	10,30%	0,00%	2,54%	0,00%	1,97%	0,00%
Felületi repedés	0,02%	9,79%	0,00%	0,91%	0,00%	4,68%	0,00%
Öntési hiba	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%
Zárványvizsgálatra jelölve	0,04%	9,67%	0,00%	0,02%	0,00%	0,30%	0,00%
Összetétel hiba	1,36%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,25%	0,00%
Szakértő által visszautasított	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

„Kopásálló acélok” és „Elektrotechnikai acélok” minőség gyártása nem történt a vizsgált időszakban.

2 Melléklet Értekezésben használt lényeges paraméterek leírása

Jelölés	Paraméter leírása	Mértékegység	Képlet száma
a	Arány érték	[1/(m/min)]	15, 16, 21
Δ Dugópozíció	Közbensőüst dugópozíció változás	[1]	15, 16, 21
Δ Hossz	Változás alatt öntött szálhossz	[mm]	10, 12
Δ Hossz _{öv}	Öntött és vágott hossz közötti különbség	[mm]	8, 19
Δ Idő	Változás alatt eltelt idő	[min]	9, 11
Δ l	Szálhossz változás	[mm]	6
Δ Öntési sebesség	Öntési sebesség változás	[mm/min]	9, 10, 15, 16, 21
Δ Szint	Kristályosítói szintváltozás	[mm]	11, 12, 13
Δ t	Adatletárolási ciklus (6 mp = 0,1 perc)	[perc]	6
H _{szint}	Kristályosítói szintváltozás kívülállóérték határa	időre: [mm/min] hosszra: [mm/mm]	14, 20
H _{dugó}	Közbensőüst dugópozíció változás kívülállóérték határa	időre: [1/h] hosszra: [1/m]	17
L _{Bramma}	Bramma hideg hossza	[mm]	5
L _{Fejvég}	Fejvég mérete (öntött szál vége)	[mm]	5
L _{Lábvég}	Lábvég mérete (öntött szál eleje)	[mm]	5
L _{öntött}	Öntött szálhossz	[mm]	7, 8, 19
L _{vágott}	Vágott meleg szálhossz	[mm]	5, 7
L _{Zsugor}	Adott bramma hőtágulását (zsugorodását) kompenzáló hossz	[mm]	5
p _{öntött}	Vágott meleg szálpozíció	[mm]	7
p _{vágott}	Vágott hideg szálpozíció	[mm]	7
T _{likvidusz}	Likvidusz hőmérséklet	[°C]	18
T _{öntési}	Öntési hőmérséklet	[°C]	18
T _{túlhev}	Túlhevítés mértéke	[°C]	18
V	Korrigálandó anyagterefogat	[mm ³]	13
V _{öntési}	Öntési sebesség	[mm/min]	6
W _{szelvény}	Az öntött szál szélessége	[m]	13, 14, 16, 17, 21
m	Regressziós egyenes meredeksége		8, 14, 17, 19, 20
b	Regressziós egyenes konstans tagja		8, 14, 17, 19, 20

3 Melléklet Acélgártási lap



I. LD Acélgártási Lap
AC_01_008-0.vevő

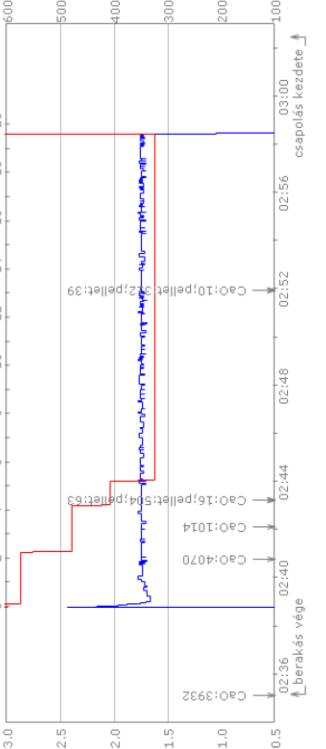
Készült a ACORACLE rendszerrel
Táblázatosítók: MO-01
2017.05.07 20:00:00

ADAGSZÁM: Gyártás dátuma: 2015.10.15
Cél minőség: S235JR+N Cél C: .04 %
Cél hőfok: 1660 °C
C Mn Si S P Cu Al V Nb Mo Cr Ni Ti Ca N O B
Minőségítő próba: /égpróba
.10.0.551 0.008 0.010 .008 0.073 .065 0.001 0.001 0.040 0.040 .027 .001 28

Gyártószemélyzet:
Műszak: 1 Acélgártó: Szabó Gábor
Műszakos üzemvezető: Szilárdi Zsolt
Fűtővezető: Simon Attila
Tolószerszélő: Németh Tamás
SL kezelő: Nyári László

Hulladékok:
Új adagolható E2 :16.20 Laza E8 :00.00 Szilárd vas: 000.00
8mm f.néhez E3 :05.80 Nehéz adagh.ótv.EHRB:00.00 Folyékony vas: 112.30
Vegyes oltózott E4 :05.20 Cu ótvöző :00.00 Salakházás: Nem
Régi adagolható E1 :05.00 Betétbe adagolt FeMn:00.00
Shredder hullad.E40 :05.00 Betétbe adagolt FeSi:00.00 C Mn Si S P
Bálázott új E6 :03.80 Betétbe egyéb ótvöző:00.00 4.11 0.73 0.90 .011 .052
Gépek,ac.ótv. BHRM :01.20 Vegyes adagol.E1/Elo:00.00 (C: 0.008)
Vegyes bálázott Elb :00.00 Forgácsbrikett E5 :00.00 Hőfok: 1358°C (02:05:00)*
Salakból kitem.AÖV1:00.00

Hulladék összesen:42.20 Összesen: 112.30
Metalizált brikett :00.00 Kanalszám: 2 Beontás: 02:36 - 02:37
Berakás: 02:34 - 02:35



T.lidő Oxigén Mész Folyó v.brik llesal. HBI Pellet MgO Koksz Zaug. Topex D.mész
Fűtővezető: (02:38:49-02:58:26)
19.60 6850 5042 0 0 0 0 0 918* 0 0 0 0 0 0 0 0
Összesen 19.60 6850 5042 0 0 0 0 0 918* 0 0 0 0 0 0 0 0

2. oldal I. LD Acélgártási Lap ADAGSZÁM:

pr.idő C Mn S P Cu Cr Ni Mo Hőfok °C, idő
1.LDA (03:02:00) 0.031 .232 .013 .007 .08 0.040 .027 .006 | 1652(03:01:35)

SiO2 CaO FeO MnO MgO Al2O3 Sums P2O5 Báz.
1. LBS 17.92 54.52 14.46 5.88 1.72 3.38 0.05 0.99 03.04
Acélcspapolás: 03:02:26 - 03:07:11 Salakcspapolás: 03:08:07 - 03:08:29
0.37 perc

Salakviszazárás: Nem Útszám: 12/78/3
Az utolsó fűtőházig felhasználó M2: 24.58 m3 Ar: 10.83
Az átánobilitásra felhasználó Ar: 1.60

Ótvözés
idő FeMn Koksz Al CaO Dez.koksz
03:02:32 ----- 30*
03:04:35 70
03:04:36 12* 265
03:04:37
03:04:38 656
03:04:38 16*
03:05:24 669
Összesen 656 82* 281* 669 30*

Alsó argon oblités
Kezelőhely kezdet vége idő mennyiség
I. LD 03:02:26 03:08:24 6.97 3536
I. LD 03:10:14 03:13:39 3.42 1741
I. LD 03:14:08 03:17:12 3.07 1521
I. LD 03:19:06 03:22:42 3.60 869
I. LD 03:23:22 03:25:43 2.35 296
Összesen: 19.40 7963

Ústmetallurgia
SL kezelés: 03:09:24 - 03:26:13 16.82 perc
A R G O N P O R / H U Z A L
Kh kezdet idő mennyiség | Kh. Megnevezés kezdet idő mennyiség (argon)

1 03:10 2.73 2144 | (1)AJ 99% 13mm 03:16 0.68 20
1 03:15 1.53 1246 | (1)C 98% 13mm 03:14 0.47 5
1 03:19 1.42 952 |

C Mn Si S P Al V Nb Mo Cu Cr Ni Ca N B idő
1.LDU .10 0.569 0.004 .012 .007 .078 .001 .001 .005 .08 0.039 .027 .0026 03:11
1.SLUA .10 0.564 0.004 .011 .007 .081 .001 .001 .005 .08 0.039 .027 .0030 03:21

Ceiox mérésék:
03:09-51615 C: 03:14->3.24ppm,1602°C,Al.0428; 03:17->2.33ppm,1599°C,Al.07%;
03:18->2.43ppm,1598°C,Al.063%; 03:23->2.63ppm,1593°C,Al.051%;
SALAK SiO2 CaO FeO MnO MgO Al2O3 Sums P2O5 Báz.
1.SLES 4.83 53.73 6.63 2.68 4.27 25.64 0.12 0.55 11.13
1.SLUS 4.96 54.06 6.35 3.54 4.34 25.61 0.13 0.56 10.91

Megjegyzések:
Az alsó argon gyenge, felülről kezelve.

műszakos üzemvezető ----- acélgártó -----

4 Melléklet Öntési lap

DUNAFERR ZRT
Acélmű
II. FAM ÖNTÉSI LAP
Módosítás száma: 0
Acélmű
Műszak szám: 1
Bizonylat dátum: 2015-10-15 05:54
ADAGSZÁM: B15 -B15
Programozott minőség: S235JR +N
Szelvény: B15 -B15
Programozott minőség: S235JR +N

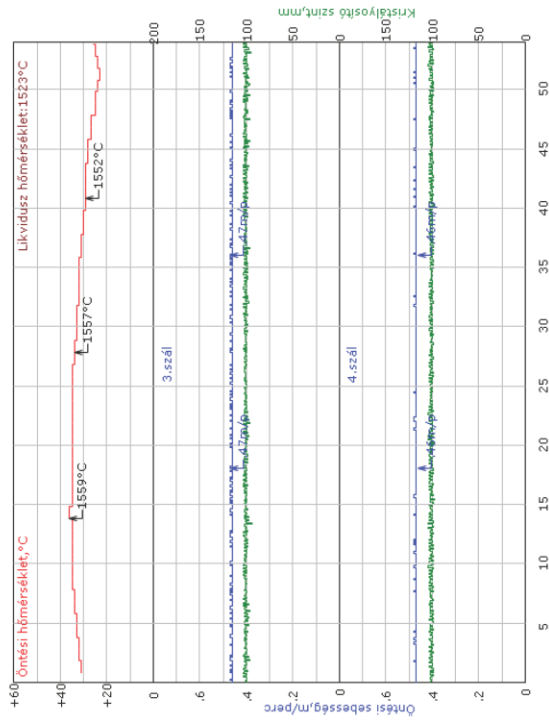
MÉRŐLŐK
3. szál m -- m 4. szál m -- m
PUYANG JIT(1.) .00 PUYANG JIT(1.) .00
AcGYE kód: 2052/0
Öntési osztály: 2
Felület:
BEVÁNYKÖZÁSOK

Megjegyzés:
Ellenőrzésvezető

DUNAFERR ZRT
Acélmű
II. FAM ÖNTÉSI LAP
Módosítás száma: 0
Acélmű
Műszak szám: 1
Bizonylat dátum: 2015-10-15 05:54
ADAGSZÁM: B15 -B15
Programozott minőség: S235JR +N
Szelvény: B15 -B15
Programozott minőség: S235JR +N

MÉRŐLŐK
3. szál m -- m 4. szál m -- m
PUYANG JIT(1.) .00 PUYANG JIT(1.) .00
AcGYE kód: 2052/0
Öntési osztály: 2
Felület:
BEVÁNYKÖZÁSOK

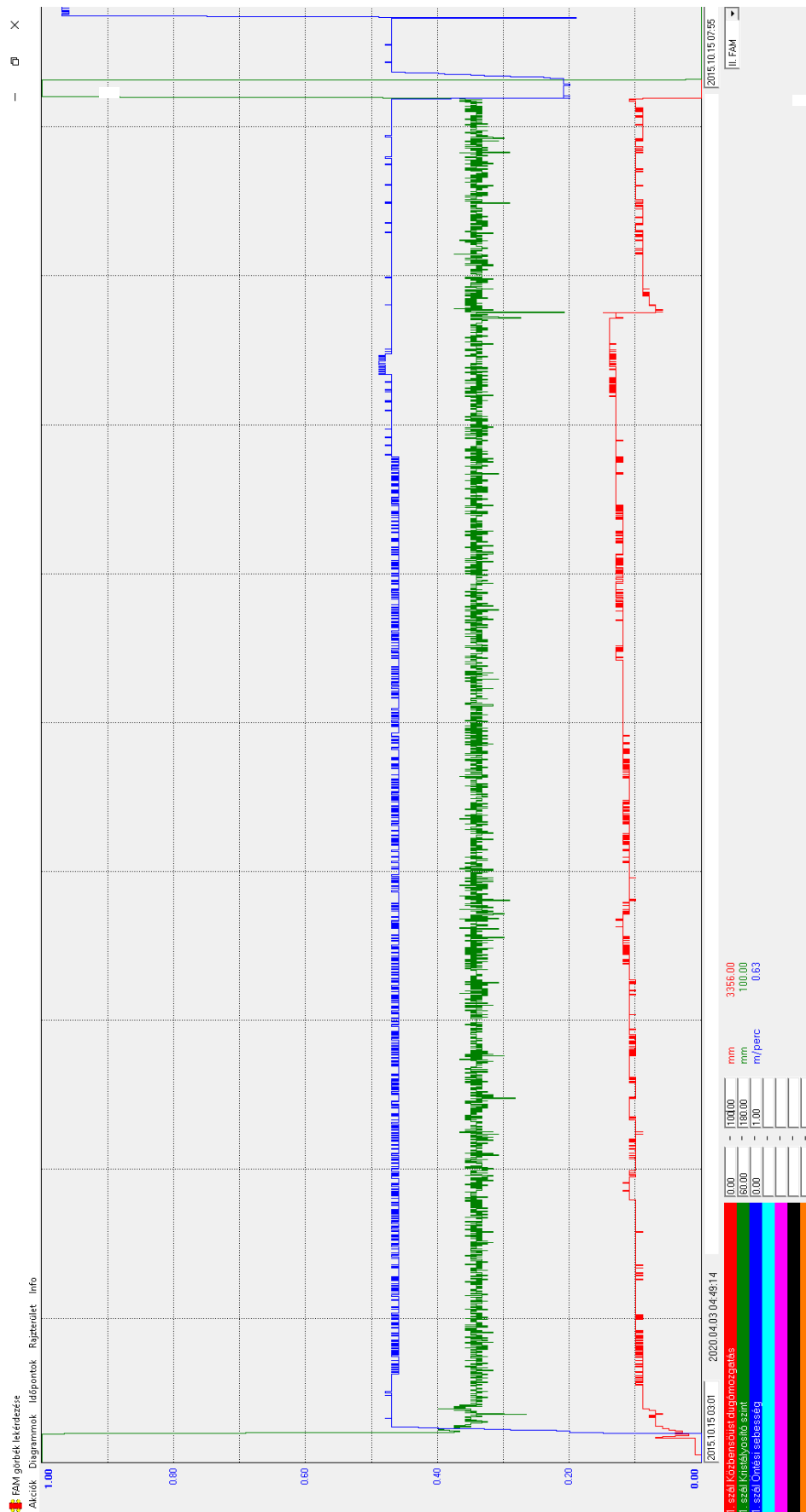
Megjegyzés:
Ellenőrzésvezető



szám	kocsi	adag	dugó	1/2	bélés	fedőpor	
4	2	PUYANG	sima	has	Ankertun FW70	Nermet BF	
ÖNTÉSI HŐMÉRSÉKLET							
Min	Öntési hőmérséklet:	1551°C	1/A zóna,	m ³ /óra:	17.52	17.62	
Max	Öntési hőmérséklet:	1559°C	1/B zóna,	m ³ /óra:	28.55	28.70	
Hőfok különbség: 8°C							
ÖNTÉSI SEBESSÉG							
Ajánlott:	0.48	4. szál	4 zóna,	m ³ /óra:	12.27	12.35	
Átlag:	0.46	0.47	5 zóna,	m ³ /óra:	11.00	11.03	
Összesen: 104.05							
BRAMMÁK							
Öntési idő	3. szál:	B15	ki-	4. szál:	B15	ki-	
Öntésre várás:	54 perc	szám	hossz	súly	vágva	szak	
Kezdet:	04:01.2015.10.15	1.301	8400	23.688	0	1.401	
Vég:	04:55.2015.10.15	2.302	8400	23.688	0	1.402	
Tartam:	54 perc	3.303	8400	23.688	0	1.403L	
EGYEBEK							
Bázisméret:	8400	8400					
Rend. hely:	TK	TK					
Ráböntés szám:	1						
Lábvég,m:	0.000	0.000					
Fejvég,m:	0.000	0.000					
Közb.üst medve,t:	0.000	0.000					
Elfolyás,t:	0.000	0.000					
Nagyüst medve,t:	0.000	0.000					
Egyéb,t:	0.000	0.000					
Kivágva,t:	0.000	0.000					
Összesen,t:	0.000	0.000	3	25200	71.064	0	
Adag:	6 db	Hossz:	50400 mm	Súly:	142.128 t	Kivágva:	0 mm
Összesen: 0.000 t							

FAM mászások üz.vez.

5 Melléklet Famgörbe program



6 Melléklet Adatforrások

A mellékletben az adattáblák azon mezői szerepelnek, melyeket az adatfeldolgozó rendszer felhasznált az adatok értékelése és megjelenítése során. Rövidítések a táblázatok végén találhatóak.

Acélmű Oracle adatszerveréből származó adatok

Famadat	Az adag öntésére vonatkozó alapadatok	
Adagszam	Adagszám	500000-699999
Gep	Öntőgép száma	1 vagy 2
Gyartas_datum	Adag öntésének dátuma	időzóna nélküli dátum
Ontes_kezd	Adag öntésének a kezdő időpontja	időzóna nélküli dátum + idő
Ontes_veg	Adag öntésének a befejező időpontja	időzóna nélküli dátum + idő
Szelveny1	Szelvényméret (szélesség) kódja az 1-es szálon	B08-B15 (860-1550 mm)
Szelveny2	Szelvényméret (szélesség) kódja a 2-es szálon	B08-B15 (860-1550 mm)
Raontesek	Adag sorszáma a szekvensben	0-val kezdődő futósorszám
Labveg_hossz1	Lábvég hossza az 1. szálon	[m]
Labveg_hossz2	Lábvég hossza a 2. szálon	[m]
Fejveg_hossz1	Fejvég hossza az 1. szálon	[m]
Fejveg_hossz2	Fejvég hossza a 2. szálon	[m]
Bizonylatszam	Az adaghoz tartozó bizonylatszám	0-val kezdődő futósorszám
Terv_acgyekod	Acélgártási előírás azonosítója	4 karakteres kód
Terv_acgyemodsz	Acélgártási előírás módosítás száma	futósorszám

Szalhiba	Öntés közben bekövetkezett beavatkozások listája	
Adagszam	Adagszám	500000-699999
Gep	Öntőgép száma	1 vagy 2
Szal	Szál száma	1 vagy 2
Beavatk_kezd	Beavatkozás kezdete	[m] adag kezdetétől számítva
Beavatk_kod	Beavatkozás azonosító kódja	szám
Beavatk_ert	Beavatkozás vége	[m] adag kezdetétől számítva

Merulo	Merülő cső cseréjének pozíciói	
Adagszam	Adagszám	500000-699999
Gep	Öntőgép száma	1 vagy 2
Szal	Öntött szál száma	1 vagy 2
Merulo_m_tol	Merülőcső cseréjének pozíciója a szálon	[m] az adag kezdetétől számítva

Proba	Összetételi elemzés eredmények az adaggyártás/üstmetallurgiai kezelés során	
Adagszam	Adagszám	500000-699999
Típus	A minta típusának azonosítója	pl. LDA: Konverter acél, VP: Végpróba, stb...
Sorszam	Minta sorszáma	0-val kezdődő futósorszám
Visszavonva	Visszavont mérés esetén tartalmaz értéket	időzóna nélküli dátum + idő
C	Karbon	[%]
Mn	Mangán	[%]
Si	Szilícium	[%]
S	Kén	[%]
P	Foszfor	[%]
Cu	Réz	[%]
Cr	Króm	[%]

Ni	Nikkel	[%]
Mo	Molibdén	[%]
Al	Alumínium	[%]
Ti	Titán	[%]
V	Vanádium	[%]
Nb	Nióbium	[%]
Zr	Cirkon	[%]
Sn	Ón	[%]
Arzen	Arzén	[%]
B	Bór	[%]
W	Wolfram	[%]
N	Nitrogén	[%]
O	Oxigén	[%]
Ca	Kalcium	[%]
Pb	Ólom	[%]
Sb	Antimon	[%]

Huzadag	Adagba adagolt porbeles és tömör huzalok listája	
Adagszam	Adagszám	500000-699999
Huzalkod	Huzal típusának a kódja	szám
Huzaltomeg	Adagolt huzal tömege	[kg]

Ontlapfo	Öntési bizonylatok	
Adagszam	Adagszám	500000-699999
Gep	Öntőgép száma	1 vagy 2
Biz_modszam	Bizonylat sorszáma	0-val kezdődő futósorszám
Likviduszhofok	Összetétel alapján számított likvidusz hőmérséklet	[°C]

Bramma	Öntött brammák listája	
Adagszam	Adagszám	500000-699999
Gep	Öntőgép száma	1 vagy 2
Szal	Öntött szál száma	1 vagy 2
Br_szam	Bramma azonosító száma	3 jegyű szám, 1. számjegy a szál azonosító, utána futó sorszám
Br_hossz	Bramma hideg hossza	[mm]
Br_suly	Bramma tömege	[tonna]
Kivagott	Bramma végén kivágott szálhossz	[m]

Gorbe6	6 másodpercenként rögzített öntési adatok	
Mintavet_ido	Adatrögzítés időpontja	időzóna nélküli dátum + idő
Ontesi_seb1	Öntési sebesség az 1. szálon	[m/min]
Ontesi_seb2	Öntési sebesség az 2. szálon	[m/min]
Krist_szint1	Kristályosítói acélszint az 1. szálon	[mm] (krist. tetejétől mérve)
Krist_szint2	Kristályosítói acélszint az 2. szálon	[mm] (krist. tetejétől mérve)
Ku_dugomozg1	Közbenső üst dugópozíció az 1. szálon	mértékegység nélküli szám
Ku_dugomozg2	Közbenső üst dugópozíció az 2. szálon	mértékegység nélküli szám
Szalhossz1	Öntött szálhossz az 1. szálon	[cm] (adagkezdetknél nullázva)
Szalhossz2	Öntött szálhossz az 2. szálon	[cm] (adagkezdetknél nullázva)
Tolozarhelyzet	Nagyüst tolozár pozíciója	mértékegység nélküli szám
Tolozarnyomas	Nagyüst tolozár olajnyomás értéke	[bar]
Krist_szint_mod1	Szintszabályzó automatika az 1. szálon	automata: 1; kézi: 0
Krist_szint_mod2	Szintszabályzó automatika az 2. szálon	automata: 1; kézi: 0

Gorbe20	20 másodpercenként rögzített öntési adatok	
Mintavet_ido	Adatrögzítés időpontja	időzóna nélküli dátum + idő
Szal1_viz1A	Hűtővíz térfogatárama az 1. szálon az 1A mhz-ban	[m ³ /h]
Szal1_viz1B	Hűtővíz térfogatárama az 1. szálon az 1B mhz-ban	[m ³ /h]
Szal1_viz2	Hűtővíz térfogatárama az 1. szálon a 2-es mhz-ban	[m ³ /h]
Szal1_viz3	Hűtővíz térfogatárama az 1. szálon a 3-as mhz-ban	[m ³ /h]
Szal1_viz4	Hűtővíz térfogatárama az 1. szálon a 4-es mhz-ban	[m ³ /h]
Szal1_viz5	Hűtővíz térfogatárama az 1. szálon az 5-ös mhz-ban	[m ³ /h]
Szal2_viz1A	Hűtővíz térfogatárama a 2. szálon az 1A mhz-ban	[m ³ /h]
Szal2_viz1B	Hűtővíz térfogatárama a 2. szálon az 1B mhz-ban	[m ³ /h]
Szal2_viz2	Hűtővíz térfogatárama a 2. szálon az 2-es mhz-ban	[m ³ /h]
Szal2_viz3	Hűtővíz térfogatárama a 2. szálon a 3-as mhz-ban	[m ³ /h]
Szal2_viz4	Hűtővíz térfogatárama a 2. szálon a 4-es mhz-ban	[m ³ /h]
Szal2_viz5	Hűtővíz térfogatárama a 2. szálon az 5-ös mhz-ban	[m ³ /h]
Krist1_viz	Hűtővíz térfogatárama az 1. szál kristályosítójában	[m ³ /h]
Krist2_viz	Hűtővíz térfogatárama az 2. szál kristályosítójában	[m ³ /h]
Nu_tomeg	Nagyüst bruttó tömege (fordító villában mérve)	[tonna]
Ku_tomeg	Kü. bruttó tömege	[tonna]
Masod1_vizmenny	Mhv. térfogatárama a gerincvezetékben az 1. szálon	[m ³ /h]
Masod2_vizmenny	Mhv. térfogatárama a gerincvezetékben az 2. szálon	[m ³ /h]
Ku_Armenny1	Kü. 1. szál záródugójánál adagolt argon mennyisége	[liter/min]
Ku_Armenny2	Kü. 2. szál záródugójánál adagolt argon mennyisége	[liter/min]
Langvago_O2nyom1	1. szál lángvágó szinten a vágó oxigén nyomása	[bar]
Langvago_O2nyom2	2. szál lángvágó szinten a vágó oxigén nyomása	[bar]
Brammavast1_fhh	1. szál felső hh-nél mért bramma vastagság	[mm]
Brammavast1_ahh	1. szál alsó hh-nél mért bramma vastagság	[mm]
Brammavast2_fhh	2. szál felső hh-nél mért bramma vastagság	[mm]
Brammavast2_ahh	2. szál alsó hh-nél mért bramma vastagság	[mm]
Motoraram1_fhh	1. szál felső hh. motorjának felvett áram mértéke	[A]
Motoraram1_ahh	1. szál alsó hh. motorjának felvett áram mértéke	[A]
Motoraram2_fhh	2. szál felső hh. motorjának felvett áram mértéke	[A]
Motoraram2_ahh	2. szál alsó hh. motorjának felvett áram mértéke	[A]
Hengernyom1_fhh	1. szál felső hh. nyomása (összeszorító ereje)	[bar]
Hengernyom1_ahh	1. szál alsó hh. nyomása (összeszorító ereje)	[bar]
Hengernyom2_fhh	2. szál felső hh. nyomása (összeszorító ereje)	[bar]
Hengernyom2_ahh	2. szál alsó hh. nyomása (összeszorító ereje)	[bar]
Ku_Arnyom1	Kü. 1. szál záródugójánál adagolt argon nyomása	[bar]
Ku_Arnyom2	Kü. 2. szál záródugójánál adagolt argon nyomása	[bar]

Gorbe60	60 másodpercenként rögzített öntési adatok	
Mintavet_ido	Adatrögzítés időpontja	időzóna nélküli dátum + idő
Szal1_viznyom1A	Hűtővíz nyomása az 1. szál 1A mhz-ban	[bar]
Szal1_viznyom1B	Hűtővíz nyomása az 1. szál 1B mhz-ban	[bar]
Szal1_viznyom2	Hűtővíz nyomása az 1. szál 2-es mhz-ban	[bar]
Szal1_viznyom3	Hűtővíz nyomása az 1. szál 3-as mhz-ban	[bar]
Szal1_viznyom4	Hűtővíz nyomása az 1. szál 4-es mhz-ban	[bar]
Szal1_viznyom5	Hűtővíz nyomása az 1. szál 5-ös mhz-ban	[bar]
Masod1_viznyom	Hűtővíz nyomása az 1. szál gerincevezetékében	[bar]
Szal2_viznyom1A	Hűtővíz nyomása a 2. szál 1A mhz-ban	[bar]
Szal2_viznyom1B	Hűtővíz nyomása a 2. szál 1B mhz-ban	[bar]
Szal2_viznyom2	Hűtővíz nyomása a 2. szál 2-es mhz-ban	[bar]
Szal2_viznyom3	Hűtővíz nyomása a 2. szál 3-as mhz-ban	[bar]
Szal2_viznyom4	Hűtővíz nyomása a 2. szál 4-es mhz-ban	[bar]
Szal2_viznyom5	Hűtővíz nyomása a 2. szál 5-ös mhz-ban	[bar]
Masod2_viznyom	Hűtővíz nyomása a 2. szál gerincevezetékében	[bar]
Krist1_hofokbe	Krist. hűtővíz bemenő hőmérséklete az 1. szálon	[°C]
Krist1_hofok1_ki	Krist. hűtővíz kimenő hőmérséklete az 1. szálon	[°C]
Krist2_hofokbe	Krist. hűtővíz bemenő hőmérséklete az 2. szálon	[°C]
Krist2_hofok1_ki	Krist. hűtővíz kimenő hőmérséklete az 2. szálon	[°C]
Ku_acehofok	Kü-ben mért acél hőmérséklete	[°C]

mhv.: Másodlagos hűtővíz
mhz.: Másodlagos hűtőzóna
krist.: Kristályosító
kü.: Közbensőüst
hh.: Húzóhenger

SAP R/3 vállalatirányítási rendszerből származó adatok

Leminosules	Elsődlegesen leminősült hengerelt termékek listája	
Tekercs	Tekercs azonosítója	6 karakteres azonosító
Tabla	Tekercsből darabolt tábla azonosítója	szám (ha a teljes tekercs leminősült, akkor a mező üres)
Jel	Leminősülés jellege	E: Elsődleges; V: Végleges
Gyartas	Hengerlés dátuma	időzóna nélküli dátum
Minoseg	Acélminőség	Szöveg
Tomeg	Leminősült tömeg	[tonna]
Hiba	Leminősülés hibakódja	szám

Termeles	Hengerelt késztermékek listája	
Tekercs	Tekercs azonosítója	6 karakteres azonosító
Adagszam	Adagszám	500000-699999
Br_szam	Bramma azonosítója	3 jegyű szám, 1. számjegy a szál azonosító, utána futó sorszám
Gyartas	Hengerlési dátum	időzóna nélküli dátum
Minoseg	Acélminőség	szöveg
Tomeg	Tekercs tömege	[tonna]

Termelésirányítás Oracle adatbázisából származó adatok

VGyU_kemia	Vertikális gyártási utasításban megadott kémiai előírás a gyártott acélra	
VGyUKod	Vertikális gyártási utasítás kódja	3 karakter
VGyUModszam	Vertikális gyártási utasítás módosítás száma	0-val kezdődő futósorszám
Vastagoszt	Vastagság osztály besorolás	1 jegyű szám
C_min	Karbon minimum	[%]
C_max	Karbon maximum	[%]
Mn_min	Mangán minimum	[%]
Mn_max	Mangán maximum	[%]
Si_min	Szilícium minimum	[%]
Si_max	Szilícium maximum	[%]
S_min	Kén minimum	[%]
S_max	Kén maximum	[%]
P_min	Foszfor minimum	[%]
P_max	Foszfor maximum	[%]
Cu_min	Réz minimum	[%]
Cu_max	Réz maximum	[%]
Cr_min	Króm minimum	[%]
Cr_max	Króm maximum	[%]
Ni_min	Nikkel minimum	[%]
Ni_max	Nikkel maximum	[%]
Ti_min	Titán minimum	[%]
Ti_max	Titán maximum	[%]
Al_min	Alumínium minimum	[%]
Al_max	Alumínium maximum	[%]
V_min	Vanádium minimum	[%]
V_max	Vanádium maximum	[%]
Nb_min	Nióbium minimum	[%]
Nb_max	Nióbium maximum	[%]
Mo_min	Molibdén minimum	[%]
Mo_max	Molibdén maximum	[%]
Zr_min	Cirkon minimum	[%]
Zr_max	Cirkon maximum	[%]
Sn_min	Ón minimum	[%]
Sn_max	Ón maximum	[%]
Ca_min	Kalcium minimum	[%]
Ca_max	Kalcium maximum	[%]
O_min	Oxigén minimum	[%]
O_max	Oxigén maximum	[%]
N_min	Nitrogén minimum	[%]
N_max	Nitrogén maximum	[%]
B_min	Bór minimum	[%]
B_max	Bór maximum	[%]
Cr_Cu_Mo_Ni_min	Kombinált elemek összegének a minimuma	[%]
Cr_Cu_Mo_Ni_max	Kombinált elemek összegének a maximuma	[%]
Cr_Mo_Ni_min	Kombinált elemek összegének a minimuma	[%]
Cr_Mo_Ni_max	Kombinált elemek összegének a maximuma	[%]
Cu_Cr_min	Kombinált elemek összegének a minimuma	[%]
Cu_Cr_max	Kombinált elemek összegének a maximuma	[%]
Nb_Ti_V_min	Kombinált elemek összegének a minimuma	[%]
Nb_Ti_V_max	Kombinált elemek összegének a maximuma	[%]
V_Nb_min	Kombinált elemek összegének a minimuma	[%]

V_Nb_max	Kombinált elemek összegének a maximuma	[%]
C_egyenert_min	Karbon egyenérték minimuma	[%]
C_egyenert_max	Karbon egyenérték maximuma	[%]
Kemia_MJ1	1. Egyéb feltétel kódja	szám
Kemia_MJ1_min	1. Egyéb feltétel minimuma	[%]
Kemia_MJ1_max	1. Egyéb feltétel maximuma	[%]
Kemia_MJ2	2. Egyéb feltétel kódja	szám
Kemia_MJ2_min	2. Egyéb feltétel minimuma	[%]
Kemia_MJ2_max	2. Egyéb feltétel maximuma	[%]

Az elem(kombinációk) minimuma, illetve maximuma csak akkor tartalmaz értéket, ha tartozik hozzá előírás. Ellenkező esetben a mező üres (null).

7 Melléklet Feldolgozott adatok tábláinak szerkezete

Szekvens	Szekvens alapú adathoz szükséges alapadatok, valamint különböző szemlélet alapján rögzített szálhossz értékek	
Szekvens_Id	Szekvens azonosító	futósorszám
Gep	Öntőgép száma	1 vagy 2
Ontes_Kezd	Szekvens öntésének kezdete	Időzóna nélküli dátum
Ontes_Veg	Következő szekvens öntésének kezdete	Időzóna nélküli dátum
Ontott1	1. szál öntött hossz	[mm]
Ontott2	2. szál öntött hossz	[mm]
Vagott1	1. szál vágott hossz	[mm]
Vagott2	2. szál vágott hossz	[mm]

Bramma	Brammák korrigált adatai, valamint az öntésükre jellemző körülmények	
Szekvens_Id	Szekvens azonosító	futósorszám
Szal	Öntött szál száma	1 vagy 2
Adagszam	Adagszám	500000-699999
Br_Szam	Bramma azonosító száma	3 jegyű szám, 1. számjegy a szál azonosító, utána futó sorszám
Kivagva	Kivágott szálszakasz jelzése	0: nem; 1: igen
Hossz_Kezd	Bramma kezdete	[mm]
Hossz_Veg	Bramma vége	[mm]
Ido_Kezd	Bramma kezdete	[sec]
Ido_Veg	Bramma vége	[sec]
Tulhev	Bramma öntése során mért túlhevítettség	[°C]
Dseb_Ido	Jelentős öntési sebességváltozás (időre)	[db]
Dseb_Hossz	Jelentős öntési sebességváltozás (hosszra)	[db]
Dszint_Ido	Jelentős krist. színtingadozás (időre)	[db]
Dszint_Hossz	Jelentős krist. színtingadozás (hosszra)	[db]
Ddugo_Ido	Jelentős kü. dugópozíció változás (időre)	érintettségként 0-1, összegezve
Ddugo_Hossz	Jelentős kü. dugópozíció változás (hosszra)	érintettségként 0-1, összegezve
Ddugo_Ido_Full	Kü. dugópozíció változás (időre)	[1/h]
Ddugo_Hossz_Full	Kü. dugópozíció változás (hosszra)	[1/m]
Vegyeselem	Vegyeselem szálszakasszal érintettség mértéke	0-1
Vegyeselem_Dvgyu	Másik bramma előírásainak nme.	Bináris szám
Vegyeselem_Sajat	Saját összetételi előírásának nme	Bináris szám
Lassitas	Érintettség lassított szálszakasszal	0-1 (érintettség mértéke)

Beavatkozás	Beavatkozások korrigált listája	
Szekvens_Id	Szekvens azonosító	futósorszám
Szal	Öntött szál száma	1 vagy 2
Kod	Beavatkozás kódja	szám
Hossz_Kezd	Beavatkozás kezdete	[mm]
Hossz_Veg	Beavatkozás vége	[mm]
Ido_Kezd	Beavatkozás kezdete	[sec]
Ido_Veg	Beavatkozás vége	[sec]

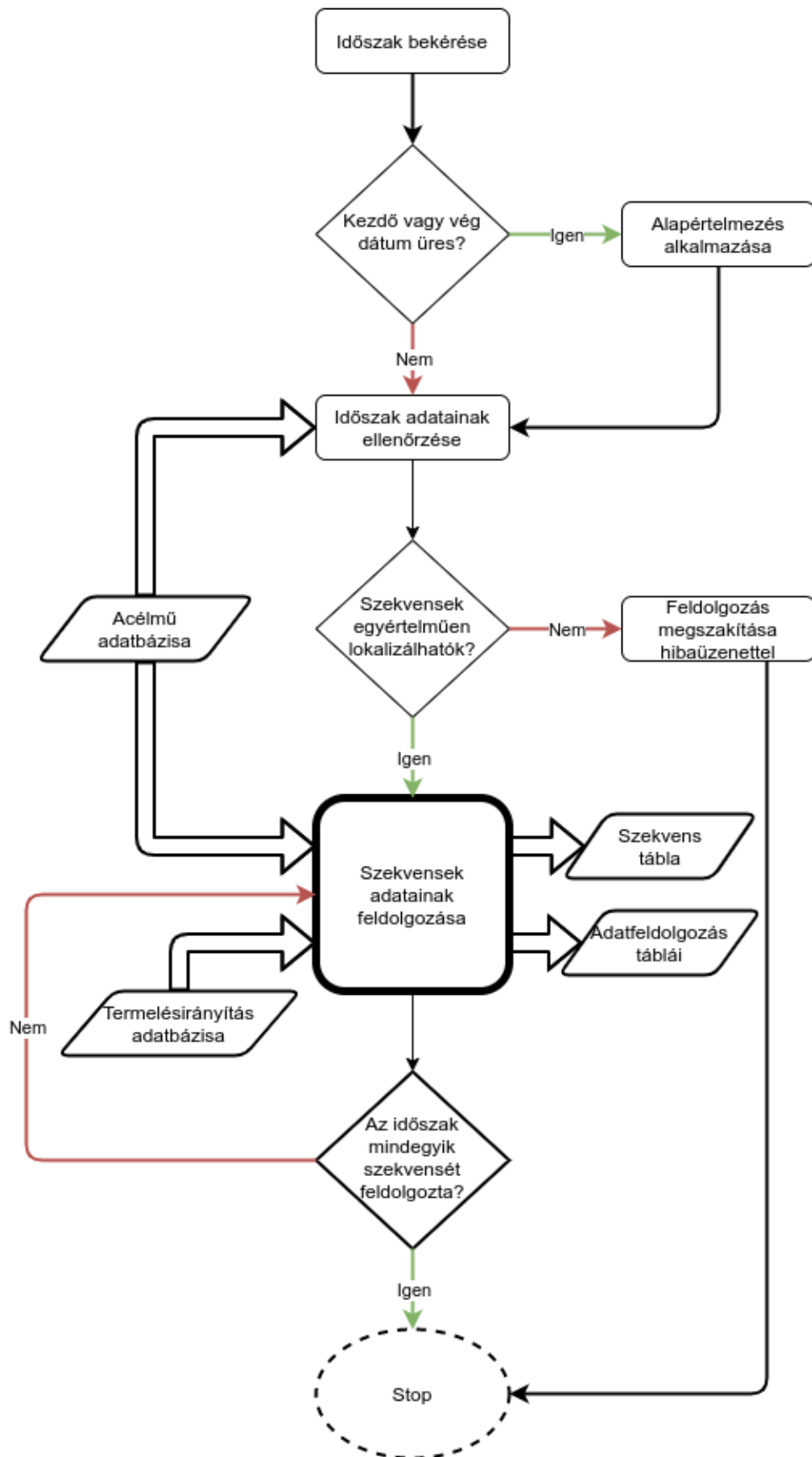
Szakasz	Azonosított öntési szakaszok az adatsorokon „görbéken”	
Szekvens_Id	Szekvens azonosító	futósorszám
Szal	Öntött szál száma	1 vagy 2
Gorbe	Adatsor azonosítója	pl. 0: Öntési sebesség; 1: Krist. szint
Ido_Kezd	Szakasz kezdete	[sec]
Ido_Veg	Szakasz vége	[sec]
Hossz_Kezd	Szakasz kezdete	[mm]
Hossz_Veg	Szakasz vége	[mm]
Dertek_Ido_Max	Legnagyobb mértékű változás (időre)	Gorbe mezőtől (adat fajta) függ
Dertek_Hossz_Max	Legnagyobb mértékű változás (hosszra)	Gorbe mezőtől (adat fajta) függ

Hiba	Adatelemzés szempontjából kritikus adathibák listája	
Szekvens_Id	Szekvens azonosító	futósorszám
Szal	Öntött szál száma	1 vagy 2
Kod	Hibakód	szám
Ido	Az öntés indítás és a hiba között eltelt idő	[sec]

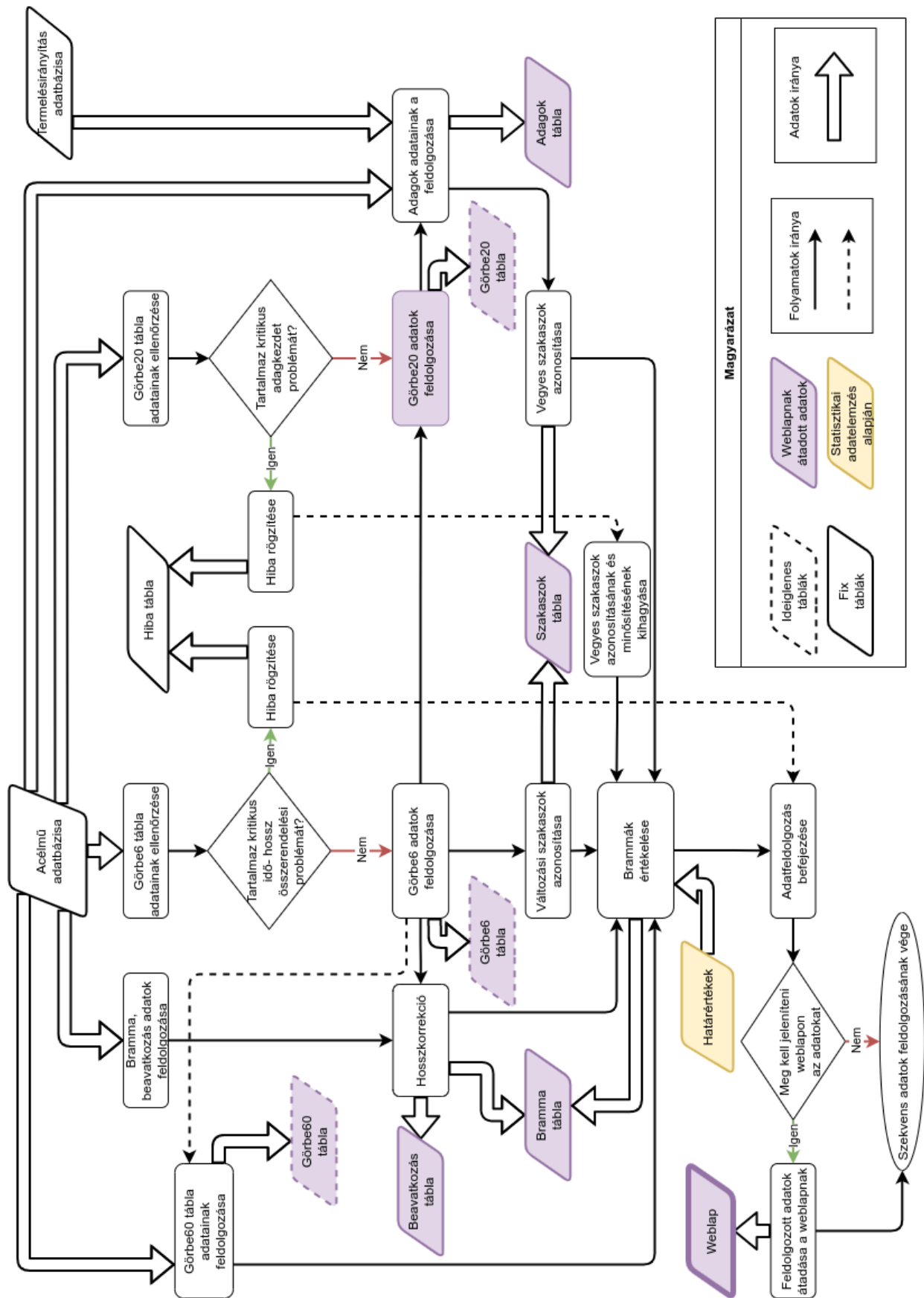
nme: Nem megfelelő elemek
kü.: Közbensőüst
krist.: Kristályosító

Az adattáblák minden mezőjénél, ahol pozíció kerül rögzítésre (pl. bramma kezdet), ott a szekvens öntésének kezdetétől eltelt idő/öntött hossz kerül letárolásra.

8 Melléklet Időszak szekvenseinek adatfeldolgozási folyamata



9 Melléklet Szekvens adatok feldolgozásának folyamata



11 Melléklet Adatlekérdezés widget csoport

Adatlekérdezés

Adagszám: 2-es gép

12 Melléklet Esemény megjelenítés dialógus ablak

Esemény megjelenítés

Azonosítási jelölések

- Vágott bramma határok
- Tényleges adag kezdet
- Kivágások

Beavatkozások Invertálás

- Merülő cső csere
- Nagyüst oxigénezés
- Nagyüst beszűkülés
- Hőfejlesztő adagolás
- Közbenső üst kagyló oxigénezés
- Felzáratlan merülő cső
- Merülőcső tisztítás
- Megfolyás
- Záratlan dugó
- Rápumpálás
- Kagyló és merülő cső tisztítás

Öntési sebesség ingadozás

Idő alapján Semelyik Jelentős Mind

Hossz alapján Semelyik Jelentős Mind

Lassítással érintett szakasz

Kristályosítói acélszint ingadozás

Idő alapján Semelyik Jelentős Mind

Hossz alapján Semelyik Jelentős Mind

Kü. dugópozíció változás

Idő alapú Hossz alapú

Vegyes összetétel

Semelyik Eltérő Mind

13 Melléklet Megjelenítési beállítások widget csoport

Megjelenítési beállítások

14 Melléklet Megjelenítendő folyamatadat választó dialógus ablak

Görbék kiválasztása

Összeállítás neve: Zárványleválás

Mentés

Bal oldali y tengelyen ábrázolt

Semmi

Öntési sebesség

Kristályosító szint

Közbensőüst dugó pozíció

Tolózár helyzet

Tolózár nyomás

HTZ akku nyomás

5 másodlagos zóna vízmennyiség

Σ másodlagos hűtővíz mennyiség

Kristályosító hűtővíz mennyiség

Nagyüst tömeg

Közbenső üst tömeg

Közbenső üst argon mennyiség

Lángvágó oxigén nyomás

Húzóhengereknél brammavastagság

Húzóhengerek motorárama

Húzóhengerek hengernyomása

Közbenső üst argon nyomás

5 másodlagos zóna víznyomás

Közös másodlagos zóna víznyomás

Közbenső üst acél hőfok

Túlhevítés mértéke

Kristályosító víz hőfok

Kristályosító hűtővíz hőfokemelkedés

Jobb oldali y tengelyen ábrázolt

Semmi

Öntési sebesség

Kristályosító szint

Közbensőüst dugó pozíció

Tolózár helyzet

Tolózár nyomás

HTZ akku nyomás

5 másodlagos zóna vízmennyiség

Σ másodlagos hűtővíz mennyiség

Kristályosító hűtővíz mennyiség

Nagyüst tömeg

Közbenső üst tömeg

Közbenső üst argon mennyiség

Lángvágó oxigén nyomás

Húzóhengereknél brammavastagság

Húzóhengerek motorárama

Húzóhengerek hengernyomása

Közbenső üst argon nyomás

5 másodlagos zóna víznyomás

Közös másodlagos zóna víznyomás

Közbenső üst acél hőfok

Túlhevítés mértéke

Kristályosító víz hőfok

Kristályosító hűtővíz hőfokemelkedés

Jelleghelyesen ábrázolt

Semmi

Öntési sebesség

Kristályosító szint

Közbensőüst dugó pozíció

Tolózár helyzet

Tolózár nyomás

HTZ akku nyomás

5 másodlagos zóna vízmennyiség

Σ másodlagos hűtővíz mennyiség

Kristályosító hűtővíz mennyiség

Nagyüst tömeg

Közbenső üst tömeg

Közbenső üst argon mennyiség

Lángvágó oxigén nyomás

Húzóhengereknél brammavastagság

Húzóhengerek motorárama

Húzóhengerek hengernyomása

Közbenső üst argon nyomás

5 másodlagos zóna víznyomás

Közös másodlagos zóna víznyomás

Közbenső üst acél hőfok

Túlhevítés mértéke

Kristályosító víz hőfok

Kristályosító hűtővíz hőfokemelkedés

Ok

Mégse

15 Melléklet Információk widget csoport

Információk

Statisztikák

Bramma jellemzők

Segédlet

?

16 Melléklet Információk és statisztikák dialógus ablak

Információk és statisztikák

Sikeres idő-hossz összerendelés: **IGEN**

Sikeres adagkezdet keresés: **IGEN**

Megnevezés	1-es szál	2-es szál	
Öntött szál hossza	127 588	126 084	mm
Vágott szál hossza	127 630	126 000	mm
Öntött és vágott méret különbsége	-42	84	mm
Öntött és vágott hossz aránya	1.000	1.001	
Vágott hossz korrekció	-0.033	0.067	%

Géphossz: **9 865 mm**

Normál lábvéghossz: **400 mm**

Mintavétel gyakoriság: **6 mp**

Normál üzemmenet

Maximális szálhosszváltozás: **150 mm**

Maximális adatkésés induláskor: **120 mp**

Határértékek		1. szál		2. szál		
Változások	Alap	Min	Max	Min	Max	
Öntési sebesség	Idő	-1900	1300	-1900	1300	mm/perc ²
	Hossz	-2.8	2.0	-2.8	2.0	1/perc
Kristályosító szint	Idő	-595.583	548.042	-595.583	548.042	mm/perc
	Hossz	-1.393	1.380	-1.393	1.380	mm/mm
Kü. dugópozíció	Idő	-3.334	8.335	-3.334	8.335	1/óra
	Hossz	-0.112	0.287	-0.112	0.287	1/m

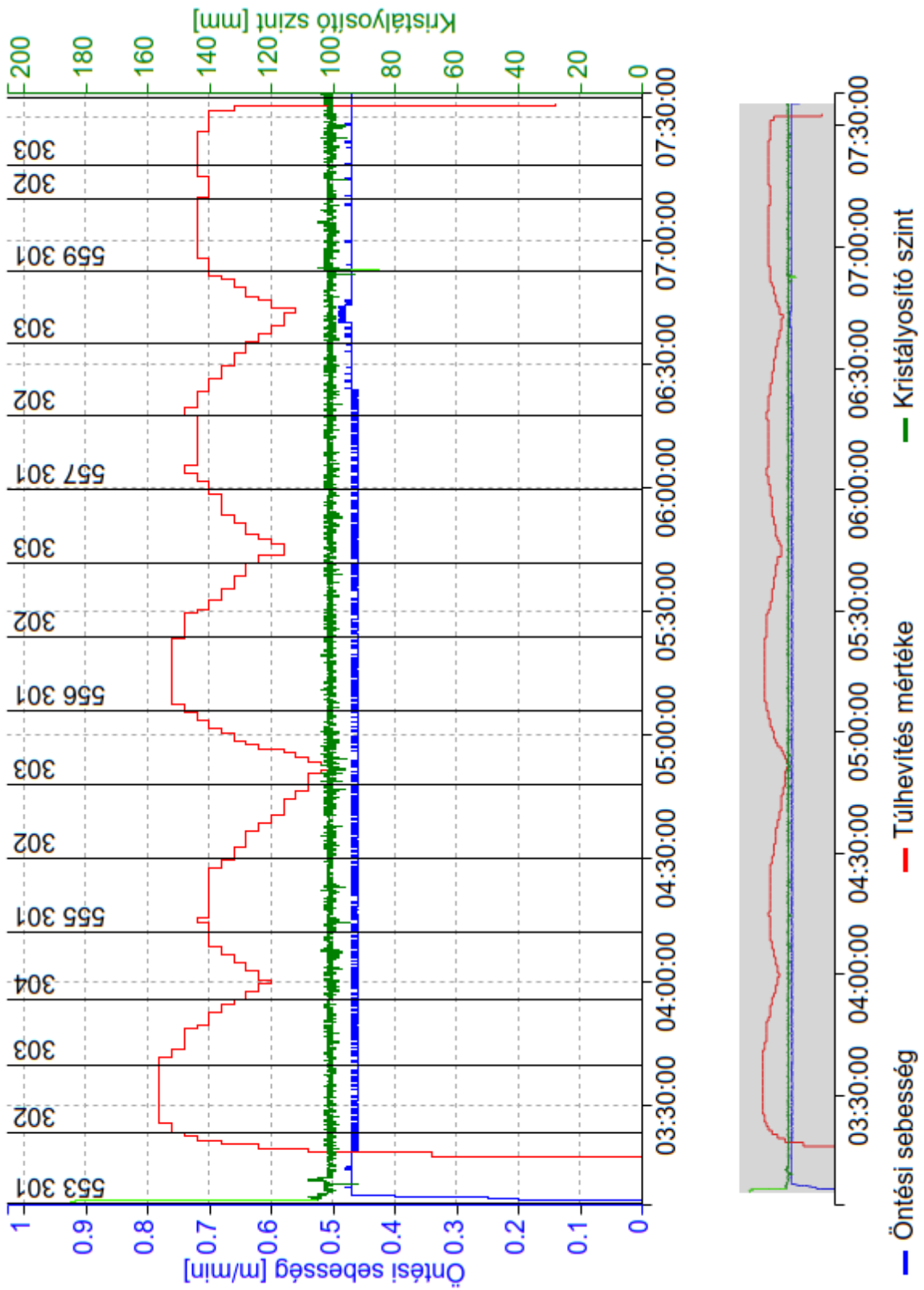
Ok

17 Melléklet Bramma statisztika dialógus ablak

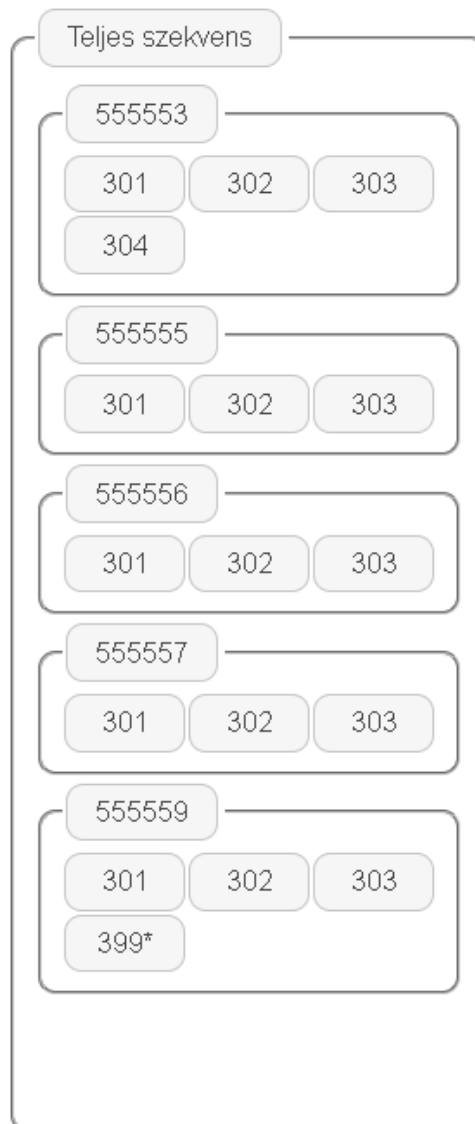
Adag		Bramma		ΔSeb		ΔSzint		ΔDugó		ΔDugó teljes		Túlhev	Vegyes		Lassított
		Idő	Hossz	Idő	Hossz	Idő	Hossz	Idő	Hossz	Idő	Hossz		Arány	VGYU	
553	301	1	1			1	1.00	1.00	1.00	4099	154.0	35			1
	302									2.850	0.1003	39			
	303									2.675	0.09412	35			
	304									1.343	0.04722	34	0.9275		
555	301									1.343	0.04722	35		C	
	302									1.343	0.04722	29		C	
	303									1.343	0.04722	33	0.8389	C	
556	301									1.343	0.04722	38			
	302									1.343	0.04722	34			
	303									1.343	0.04722	34	0.8334		
557	301									1.343	0.04722	36		AI	
	302									1.343	0.04722	34		AI	
	303									1.343	0.04722	32	0.8388	AI	
559	301						0.425	0.425	0.425	1047	36.16	36	0.0024		
	302						0.575	0.575	0.575	2.791	0.09634	36			1
	303									2.791	0.09634	35			1
	399*									2.791	0.09634				1

Ok

18 Melléklet Megjelenített diagram terület



19 Melléklet Nagyítási gyorsgomb csoport



20 Melléklet határértékek meghatározásának folyamata

