

Miskolci Egyetem

Kerpely Antal Tudományok és Technológiák Doktori Iskola



Doktori (Ph.D.) értekezés

A konverteres acélgyártás hulladékbetét-összeállítási technológiájának optimalizálása, indirekt acélhulladék-összetétel meghatározási módszer kifejlesztésével

Készítette:

Taszner Zoltán

okleveles kohómérnök

Témavezetők:

Dr.Grega Oszkár, Ph.D, egyetemi docens

Dr. Ender Alfred, dr.rer.nat., főmetallurgus

Miskolc 2007

1	Bevezetés	5
1.1	Célkitűzések ismertetése	6
1.2	Az acélgártási technológiák áttekintése betétanyag szempontjából	7
1.2.1	Acélgártás elektromos ívfényes kemencében	8
1.2.2	Acélgártás oxigénes konverterben	9
1.3	A kísérleti helyszín technológiai adottságainak bemutatása.....	9
1.3.1	A kombinált fúvatos	10
1.3.2	A direkt-csapolás	10
1.3.3	A folyamatmodellezés alapjai.....	12
1.3.3.1	Statikus modellek	12
1.3.3.2	Dinamikus modellek	13
1.3.3.3	Kombinált modellek.....	13
1.4	A kutatást motiváló folyamatok.....	14
1.4.1	A gazdasági környezet elemzése	14
1.4.2	A világ acéltermelésének alakulása	15
1.4.2.1	Általános tendenciák	15
1.4.2.2	Európa acéltermelése	16
1.4.3	A világ acélhulladék exportja és importja	16
1.4.4	Az acéltermelés növekedésének hatása a nyersanyagok árára	17
1.5	Az acélgártási folyamatokhoz kapcsolódó technikai kultúra helyzete	19
1.5.1	A sokváltozós adatelemzés alkalmazása az acéliparban.....	20
1.5.2	Sokváltozós adatelemzés alkalmazása a konverteres acélgártásban.....	21
1.6	Az acélhulladékok.....	22
1.6.1	Az acélhulladékok csoportosítása	24
1.6.1.1	Származási hely szerint.....	25
1.6.1.2	Kémiai összetétel szerint.....	25
1.6.1.3	Fizikai tulajdonságuk szerint	26
1.6.2	Kísérőelemek hatása az acél tulajdonságaira.....	26
1.6.3	Az acélgártás során nem vagy nehezen eltávolítható elemek	28
1.6.4	Az acélgártás során részben eltávolítható elemek	31
1.6.5	Az acélhulladékok minőségével kapcsolatos problémák.....	33
1.6.6	Szennyeződések bekerülése az acélhulladékba	34
1.6.7	Felületkezelt hulladékok (Zn, Sn).....	36
1.6.8	Az acélhulladék minősítésére alkalmas vizsgálati módszerek összevetése	37
1.7	A szakirodalom feldolgozása alapján levonható következtetések.....	39
2	A fémbetét-összeállítás optimalizálása	41
2.1	Az acélhulladék-összetétel meghatározó algoritmus alapjai	41

2.2	Mérési adatbázisok elkészítése az algoritmus kifejlesztéséhez	42
2.2.1	Az adathalmazok alkalmazhatóságának vizsgálata	44
2.3	Az anyagmérleg	46
2.3.1	A salakmérleg	46
2.3.2	Anyagmérleg (elemek).....	46
2.4	Adatkorrekció a salakmunka modellezésével	48
2.4.1	A króm megoszlásának modellezése (Cr).....	48
2.4.2	A salak vastartalom a karbontartalom és bázikusság függvényében	50
2.4.3	Foszformegoszlás (L_P) és mangánmegoszlás (L_{Mn}).....	51
2.4.4	Kénmegoszlás (L_S).....	51
2.4.5	A megoszlási függvények modelljének együtthatói	52
2.4.6	Koncentrációk számítása a fürdőben	54
2.5	Az acélhulladék kísérőelem-koncentráció meghatározása	54
2.5.1	Hulladék-összetétel meghatározása az anyagmérleg teljesülésével	54
2.5.2	A legkisebb négyzetek módszerének alkalmazása (LSR)	56
2.5.3	Az egyenletrendszer megoldása.....	56
2.5.4	A hulladélcsoportok elemtartalmának kifejezése a számított együtthatókból.	57
3	Az acélhulladék összetétel-meghatározás alkalmazása	58
3.1	A réztartalom meghatározása (Cu)	59
3.2	A hulladék óntartalma (Sn).....	60
3.3	A krómtartalom meghatározása (Cr)	61
3.4	A hulladék kén-, mangán-, és foszfor tartalma (S, Mn, P)	62
3.5	A számított eredmények értékelése	65
3.6	Elemek koncentrációjának alakulása 2003-2005-ig	70
4	Az adaggyártás optimalizálása számított acélhulladék-összetételek alapján.....	76
5	Az algoritmus üzemi integrálása	78
6	Összefoglalás.....	80
7	Új tudományos eredmények.....	82
8	Irodalomjegyzék.....	85
9	Tudományos közlemények	89
	Köszönetnyilvánítás	90

Előzmények

Kohómérnöki tanulmányaim során a Miskolci Egyetem Vaskohászattani Tanszéke és a Duisburgi Egyetem Alkalmazott Anyagtechnológiai Intézetének együttműködése keretében, egy tanulmányi és egy gyakorlati szemesztert töltöttem Németországban. Sikeres pályázatomban köszönhetően ezt a tevékenységet az Északrajna-Wesztfáliai Oktatási Kutatási és Fejlesztési Minisztérium valamint az Inwent GmbH ösztöndíjasaként végeztem. Üzemi gyakorlati időmet diplomatervezőként a ThyssenKrupp Steel AG Duisburg-Bruckhauseni acélművének Minőségbiztosítási és Eljárástechnológiai Részlegénél töltöttem. A „Konverteres acélgyártó eljárás modellezése, metallurgiai, fizikai-kémiai és matematikai összefüggések alapján” című, 2003-ban megvédett diplomatervem az ott, Dr Alfred Ender főmetallurgus vezetésével végzett kutatási munkám eredményeiből készült. Ezt követően, mint nappali tagozatos doktorandusz, a részleg vezetőségének ajánlásával lehetőséget kaptam az együttműködés folytatására.

Az előkészítő tárgyalások után, 2004 tavaszán az akkori Vaskohászattani Tanszék irányításával és támogatásával kezdtem hozzá a dolgozatomban összefoglalt kutatómunka kivitelezéséhez. Az egyetem részéről a Metallurgiai és Öntészeti Tanszék és Dr. Grega Oszkár egyetemi docens, a ThyssenKrupp Steel AG részéről a Duisburg-Bruckhauseni acélmű Minőségbiztosítási és Eljárástechnológiai Részlegtől, Dr. Alfred Ender főmetallurgus, tudományos iránymutatására támaszkodhattam. A tudományos munkámról a hazai és külföldi szakmai fórumokon túl az európai acélgyárak nagy részét tömörítő Német Vaskohászok Egyesületének (VdEh) hulladékbizottságában is rendszeresen beszámoltam (VdEh. Stahlwerksausschuss).

Az együttműködés célja az volt, hogy egy magas színvonalú, kiemelkedő infrastruktúrájú európai üzem termelése és EU harmonizált rendszerei között is hatásos eredményeket felmutató, üzemi szempontból releváns kutatást végezzenek. Remélve, hogy téziseim az európai és a csatlakozás utáni új kihívásokhoz felzárkózó hazai nehézipar számára egyaránt irányadóak lesznek.

1 Bevezetés

Az acél civilizációnk egyik legjelentősebb anyaga. Gyártástechnológiájának fejlesztése, tulajdonságainak kiaknázása, évszázadok óta meghatározó mozgatórugója a műszaki fejlődésnek. Az elmúlt évtizedek során a környezettudatosság elterjedésének, az emelkedő nyersanyagáraknak és minőségi követelményeknek köszönhetően, az acéltermelés iparosításával szinte egyidős, acél-újrahasznosítás is egyre jobban a figyelem középpontjába került. A mind szélesebb felhasználási területről származó elhasználódott acéltermékek (end of life products) egyes csoportjait, már a legújabb minőségbiztosítási előírások definiálják, ezek betartása és betarttatása azonban, nagy kihívás az acélgyártók számára. Az acélgyártás során felhasznált acélhulladékfajták eltérése a szabványoktól, szemmel nem látható szennyezettsége, hasznosítható elemtartalma közvetlenül nem kimutatható az adaggyártás folyamán, illetve nem, vagy csak ráfordítás-igényes vizsgálatokkal vezethető vissza az egyes acélhulladék-csoportokra. Az acél kísérőelemeinek nagy része, termodinamikai tulajdonságaik miatt nem vagy csak nagyon nehezen távolítható el az acélgyártás során, így a beadagolt fémbetét összetételének nyomonkövetése elemi jelentőségű.

A modern acélgyártási technológiák esetében már az egyes adagok technológiai szempontból összes fontos paraméterét mérik. Ezek gyűjtése, kiértékelése, összekapcsolása alapvető optimalizálási feladatokra, metallurgiai összefüggések modellezésére, hibakeresésre és folyamatirányításra is alkalmas. Ennek a lehetőségnek a bázisán indítottam kutatásaimat azzal a céllal, hogy az acélhulladék kémiai összetétel-meghatározásának újszerű, az eddigiektől eltérő és az acélgyártási folyamat eredményessége szempontjából hatékonyan használható módszerét kidolgozzam, s a gyakorlat számára is alkalmazható formában megfogalmazzam. Ez alapján az üzemi adatok komplex vizsgálatával megalkottam egy olyan – metallurgiai összefüggéseken és statisztikai módszereken alapuló – számítási algoritmust, amely a hulladékok minőségi változásának nyomonkövetésével lehetővé teszi a dinamikus betét-összeállítást és megbízható képet ad az egyes beolvasztott hulladékcsoportok minőségének alakulásáról.

1.1 Célkitűzések ismertetése

Az automatizálás fejlődése és az LD technológia intenzifikálása szoros kapcsolatban áll a folyamatot leképező és irányító modellek fejlődésével és alkalmazásával, aminek eredménye az acélipari versenyképesség és a gyártási hatásfok folyamatos növekedése. A gazdaságosság és az automatizáltság terén napjaink elvárásai folyamatos kihívást jelentenek a modellfejlesztőknek. A folyamatmodellek előállításának célja a folyamat végállapotának minél pontosabb becslése. Metallurgiai szempontból a modellnek alkalmasnak kell lennie az olvadék végállapotának meghatározására, különös tekintettel annak hőmérsékletére, karbon- és kísérőelem-tartalmára. A tudományos modellek az aktuális számítástechnikával összekapcsolva alapozták meg a komplex metallurgiai összefüggések szisztematikus leírásának lehetőségét. A konverteres acélgyártó folyamat végső paramétereinek számítását nagyban meghatározó fémbetét-összetétel 15-25%-át kitevő acélhulladék, ideális esetben nem befolyásolja jelentősen a mérlegszámítások eredményeit. Napjaink technológiai és gazdasági tényezőinek együttes hatásai azonban azt a törekvést motiválják, hogy a konverteres acélgyártáshoz kapcsolódóan tudományos alapokra helyezett megoldás készüljön a fémes hulladékbetét összeállítási rendszer hiányosságainak korrigálására.

Az egyre dinamikusabban változó acélhulladék ár és összetétel, valamint a magas minőségi, gazdasági követelmények összehangolásának érdekében fogalmaztuk meg a kutatómunka célját.

A kutatás célja a konverteres acélgyártási technológia fémbetét-összeállítási rendszerének fejlesztése, amelynek segítségével a jelenleg használt betétmodellek anyagmérlegét az aktuális hulladékösszetétellel kiegészítve lehetővé válik a fémbetét-összeállítás dinamikus megváltoztatása, az acélminőség, az acélhulladék-rendelkezésre állás és a termelési költségek figyelembe vételével.

A kitűzött cél elérésének kulcsa, egy, az acélhulladék kémiai összetételének nyomonkövetésére alkalmas algoritmus kifejlesztése:

- a jelenleg használatos, hiányos üzemi hulladékösszetétel-lista aktualizálása,
- az üzemi fémes-betétmodell pontosabb bemenő adatainak biztosítása a kiszámíthatóbb adaggyártás elérése érdekében,
- a konverteres acélgyártásnál alkalmazott egyes hulladékcsoporthoz kémiai összetételének

valós idejű meghatározása,

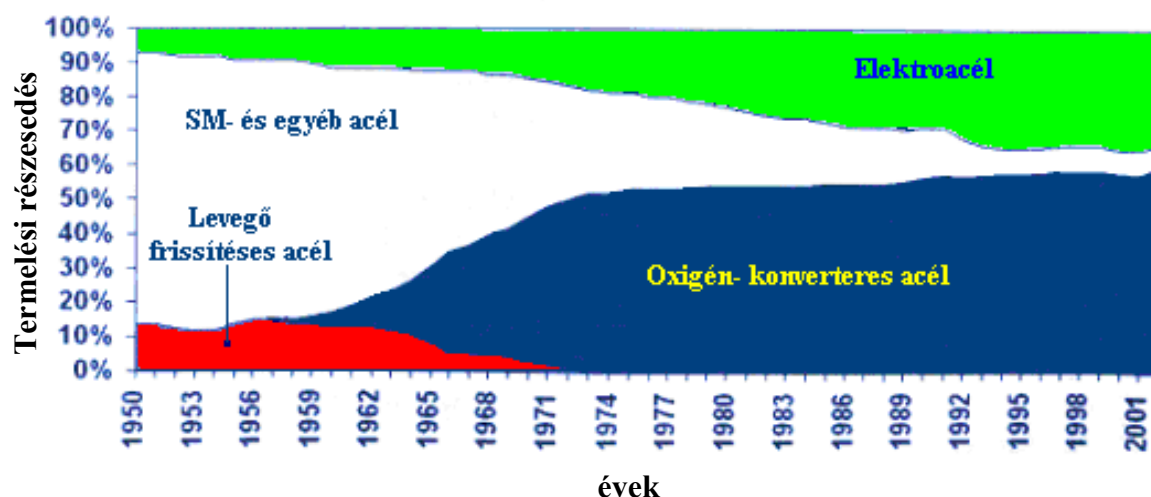
- dinamikus költségoptimalizálási megoldás beillesztése az üzemvitelbe,
- a beszállítók minőségbiztosítása,
- a hulladékminőség előrejelzés lehetőségének feltárása.

A következőkben szakirodalmi áttekintés és saját vizsgálatok alapján feltárom az ismertetett feladat hátterét, szükségességét és technológiai lehetőségeit, majd bemutatom az elvégzett kutatási feladatok részleteit, alkalmazását és a tudományos eredményeket.

1.2 Az acélgyártási technológiák áttekintése betétanyag szempontjából

A nagyüzemi acélgyártás fejlődésének eredményeként két alapvető technológia uralja a világ acéliparát. Az integrált acélgyártás során az előkészített vasércet nagyolvasztóban nagy karbontartalmú nyersvassá redukálják, majd oxigénfúvatásos konverterben acéllá frissítik. A másik jellemző technológia – az elektromos ívfényes acélgyártás – során acélhulladékokat olvasztanak be, esetleg egyéb vashordozók adagolásával. Az elavult hatásfokú Simens-Martin kemencék eltűnőben vannak és csak a világ egyes elmaradott részein üzemelnek csekély számban, elhanyagolható termelési részesedéssel, a legújabb fejlesztésű „egylépcsős”, ércalapú acélgyártás pedig még gyerekcipőben jár.

A kezdeti technológiák eltűnésének okai általában a gazdasági változásokban és az egyre növekvő mennyiségi, minőségi és hatékonysági elvárásokban keresendők. A '60-as években az LD konverterek, míg a '80-as évek környékén, az elektromos ívfényes acélgyártás részarányának növekedése volt jellemző. A végbement technológiai fejlődés nagymértékben versenyképesebbé tette a két eljárást, beállítva ezzel egy látszólagos egyensúlyt a termelésben. Ma a világ acéltermelésének közel 1/3 részét elektrókemencékben és 2/3 részét LD konverterben állítják elő, az egyéb megoldások termelése nem számottevő. Az **1. ábrán** az egyes acélgyártási technológiák elterjedésének üteme látható az idő függvényében [1,2,3,4].



1. ábra Az acélgyártási technológiák részarányának alakulása a termelésben [4]

1.2.1 Acélgyártás elektromos ívfényes kemencében

Az elektromos ívfényes kemencék (EAF) betétanyaga a szilárd vashordozó, amely lehet acélhulladék, illetve többféle vasszivacs – a rendelkezésre állás és a gyártandó acél minőségének függvényében. Jellemző, hogy jelentős mennyiségű – akár 100% – hulladékot adagolnak, amelyet transzformátorban gerjesztett nagyteljesítményű elektromos energia hatására grafit elektródákon keletkező ív segítségével olvasztanak be. A hulladék és egyéb adalékok kémiai hőtartalmának hasznosulását, a salakképződés folyamatát, valamint a beolvasztás hatásfokát manipulátorokon vagy a kemence oldalába épített égőkön keresztül bejuttatott tüzelőanyagok, (pl: szénpor, földgáz és oxigén) segítségével fokozzák. A nagy hulladék részarány gazdaságilag nagyon kedvező, ha az acélhulladék korlátlanul rendelkezésre áll, és a minősége is megfelelő. Az acélhulladék azonban szükségszerűen a korábbi acéltermelés függvénye, így ha az gyengébb minőségű volt, illetve az acéltermék életciklusa során szennyeződött, akkor a kiinduló alapanyag minőségi problémákat okozhat [9]. A gyakorlatilag szennyeződésektől mentes vashordozók adagolásával csökkenthető az acélhulladékok nem eltávolítható szennyeződéseinek hatása (hígítás), de általánosan gazdaságatlanabb, mint a 100% hulladék alkalmazása. A klasszikus EAF acélgyártás jellemző termékei a magasabb ötvözőelem-tartalmú acélok voltak. Az 1970-es évek közepére az ötvözött acélgyártás mellett, a kemence szerkezeti fejlődésével és a kemenceteljesítmény ugrásszerű növelésével a villamos ívkemence az acél újrahasznosítás meghatározó berendezésévé vált. Az acélhulladékokat helyettesítő szennyeződésmentes vashordozók adagolásával napjainkra már az alacsony kísérőelem-tartalmú lemeztermékek gyártása is megoldott [5,6,7].

1.2.2 Acélgyártás oxigénes konverterben

Az integrált – vasérc alapú – acélgyártás jellemző eleme a konverter (BOF), ahol a nagyolvasztóból származó, karbonban dús nyersvasból oxigén-fúvatással „kiégetik” a nem kívánatos és adott körülmények között oxidációra képes elemeket. Az oxigénfúvatásos eljárás ismertetőjegye, hogy a kísérőelemek oxidációja során képződő többlet hőenergiát hasznosítják az acélhulladék beolvasztására. A folyamat energiaigénye 50%-ban a fizikai és 50%-ban kémiai eredetű. A folyamatban képződő többlet hő a teljes fémbetét 15-30% -át kitevő hulladék beolvasztásához elegendő. Az autotherm acélgyártás egyik előnye az EAF-el szemben, hogy a 70-80% nyersvas adagolása révén a hulladék nem kívánatos szennyeződései kisebb koncentrációban vannak jelen, így általánosságban kevésbé óvatos acélhulladék adagolással is alacsony ötvöző-tartalmú acélt lehet előállítani. Habár az integrált acélgyártás során általában több vastartalmú „saját” – a termelésből származó – hulladék keletkezik, mint egy ú.n. mini-acélműben, a végméret-közeli gyártástechnológiák fejlődése révén a tendencia csökkenő, így az egyre nagyobb mennyiségű „idegen” amortizációs hulladék bizonytalan összetétele (szennyezőtartalma), valamint ennek ingadozása a reprodukálhatóság szempontjából káros [1,8,9,10].

1.3 A kísérleti helyszín technológiai adottságainak bemutatása

A Ruhr-vidék szívében fekvő Duisburg városa fontos piaci szerepet tölt be az acéltermelésben. A város évi 15 millió tonnás termelésével napjainkban Európa nehéziparának legjelentősebb szereplője, a bruckhauseni acélmű frekventált helyzetének köszönhetően az ipari innováció központjává vált. Napjaink egyik legmodernebb konverterüzeme – A Bruckhauseni 1-es Oxigén-acélmű – a szinte folyamatos fejlesztések eredménye. 1969-ben, az utolsó Thomas- és SM- kemencék leállítása után, a technika akkori állásának megfelelően 2db LD konvertert (betéttömeg 2 x 380 t) helyeztek üzembe. Az „Ox. 1.” mintegy évi 4 millió tonnás termelését vékony- és órozott, IF, magasan ötvözött trafó- és dinamó-, valamint karbonacélok alkotják. Az üzemben rendelkezésre áll, egy, a beadagolandó nyersvas 100%-át kezelő nyersvas-kéntelenítő berendezés. A betétanyagokat beadagolás után a TBM* konverterben frissítik, majd az utána kapcsolt szekunder metallurgiai berendezésekben tovább kezelik. A szekunder kezelés első állomása egy argonozó állás, ahol az olvadék argonos homogenizálása történik. Rendelkezésre áll továbbá egy RH – vákuumozó berendezés, amely az acél keringetési gázmentesítését végzi. A nem

*TBM: Thyssen Blowing Metallurgy

vákuumozandó minőségek kezelése az üstmetallurgiai berendezésben „Ladle Treatment Station” (LTS) történik. Itt védőgázas atmoszférában az ötvözést és a dezoxidálást végzik. A védőgázas atmoszféra egy merülőharang alatt alakítható ki. Szükség esetén lehetőség van az adag aluminotermikus hevítésére is. A legújabb berendezés szintén egy üstkemence, amely kizárólag a szélesbramma-öntőgép kiszolgálására készült. A másodlagos acélkezelési lehetőségek előtt a következőkben ismertetett technológiai megoldások szolgálják a reprodukálható primer acéltermelést [11,12].

1.3.1 A kombinált fűtás

A fő frissítési szakaszban keletkező szénmonoxid a fémfűtő és a salak intenzív keveredését idézi elő, amit a heves karbon-oxidáció után fellépő enyhe fűtőmozgás követ. A már nyugodt rendszerben így inhomogenitások léphetnek fel, a frissítés végpontjáig nem feltétlenül alakul ki a salak és a fémfűtő közötti egyensúly. A '80-as évek elején e jelenségből kiindulva kezdődött el az inertgázos fenékfűtőkák fejlesztése. Akkoriban azonos alapokon nyugvó, de különböző megoldású rendszerek világszerte bevezetésre kerültek. A fűtőkákon keresztül befűtött inert gáz keverő hatása, jelentős mértékben segíti az acélfűtő homogenizációját. A TKS-nél további – a konverterhez tartozó – technológiai kiegészítések is segítik a jól reprodukálható termelést:

- Folyamatautomatizálás és számítógépes vezérlés szublánczás mérések alapján (kombinált modell).
- A nyersvas kén- szilícium- és foszfor- tartalmának konverteren kívüli csökkentése. (A konverterben kizárólag frissítés történik kevés salak jelenlétében.)
- Acélhulladék-betét arányának növelése (előhevítés, CO- utánégés növelése kétkörös lánczsák segítségével, karbon adagolással)
- Salakmentes csapolás, salakfelismerő rendszer segítségével [12, 13].

1.3.2 A direkt-csapolás

A konverteres acélgyártó eljárásoknál a direkt-csapolás, azaz a fűtési végpont előtti leállítás – kémiai összetétel- és hőmérséklet-mérés – nélküli adagvezetés megvalósításának alapkövetelményei a metallurgiai összefüggések pontos ismerete, az optimalizált eljárás technika és a nagyfokú folyamat reprodukálhatóság. A ThyssenKrupp Steel AG-nál, a direkt csapolás fejlődésének alapkövét 1983-ban a kombinált fűtési-összeállítás bevezetésével

rakták le. A TBM eljárásban az alsó és felső fúvatású berendezések előnyeiket egyesítették. A hagyományos LD–vel ellentétben, ennél a konverternél az eredmény egy egyensúly-közeli, reprodukálható lefutású folyamat. Ezt követően a TBM konvertert alaposabb vizsgálatoknak vetették alá, hogy az így nyert metallurgiai összefüggések, és a folyamatról szerzett kimerítő ismeretek alapján megpróbálják a folyamatot modellekkel optimalizálni és irányítani. Ma már kizárólag az úgynevezett betétmodellek választják és számítják ki valamennyi beadagolásra kerülő anyag mennyiségét. A szublándsák és egy on-line gáz analizátor segítségével a frissítési folyamatot folyamatosan nyomon követő rendszer képes a metallurgiai követelményeket nagy pontossággal teljesíteni. Ezáltal az adagok közel 90%-ánál lehetséges a kontrollpróba nélküli csapolás, kizárólag a folyamatmodell segítségével nyert adatok alapján [14].

Napjainkra – a folyamatos fejlesztések eredményeképpen – a direkt csapolásos rendszer megközelíti képességének lehetséges csúcsát. Hatásfokának további növelése, elsősorban a bemeneti változók szórásának további csökkentésével – a folyamatban résztvevő anyagokat érintő analitikai mérések pontosságának növelésével – lehetséges. A homogénnek tekinthető betétanyagok- (nyersvas, ötvözők, stb.) és a kiszolgáló berendezések esetében a műszerezettség javítása, illetve a mintavételezés pontosságának növelése, a technológia általános fejlődésével arányosan történik. A betéttömeg jelentős részét kitevő acélhulladékokat tekintve, továbbra sem áll rendelkezésre olyan technológiai megoldás, amely lehetővé tenné minőség alakulásának folyamatos nyomon követését. Mivel az acélműi folyamatirányító modell nem rendelkezik közvetlen információval a hulladékok állapotáról, az acélhulladékok minőségében bekövetkező hirtelen ingadozás, nagyban ronthatja a reprodukálhatóságot. [13,14]

A folyamatmodellezés alapjainak összefoglalásával világítok rá az előbbieken felvázolt probléma széleskörű – azaz bármilyen színvonalú betétmodellel felszerelt acélművet érintő – jelentőségére.

1.3.3 A folyamatmodellezés alapjai

A metallurgiai számítások története és a célzott minőségű acélok előállítása feltehetőleg egyidősek, először azonban csak a múlt század technikai fejlődése és növekedése tette lehetővé a folyamatleíró paraméterek egyre pontosabb mérését és rögzítését. A mérés-technika, és az adatfeldolgozás napjainkban is észlelhető fejlődése egyre pontosabb folyamatleírást tesz lehetővé. A modellalkotás alapja a folyamat lehetőleg nagy pontosságú mennyiségi és energetikai leírása. Az anyag- és hőmérlegek részletes kiszámítása után különböző megoldási lehetőségek szerint modellezhető a folyamat. A megfelelő modellezési irány kiválasztása függ a rendelkezésre álló berendezés mérési adatainak pontosságától, az automatizáltságának mértékétől, és a metallurgiai, minőségi elvárásoktól. A következőkben ismertetem az általánosan használt folyamatmodellezési formákat. [15]

1.3.3.1. Statikus modellek

A statikus modell a kívánt csapolási hőmérséklet, összetétel és főként a karbontartalom eléréséhez anyag- és hőmérlegek alapján határozza meg a szükséges nyersvas, hulladék, érc és befúvandó oxigén mennyiségét. Az ilyen nem alkalmazkodó modelleknél a folyamathoz szükséges betétanyagok mennyiségét lehet előre meghatározni. Az aktuális adag pontos leírásához a sztöchiometriai és termodinamikai számítások mellett, számos korábbi adag adatainak kiértékelésére is szükség van. Az ilyen típusú modell alkalmazásánál a fürdő frissítés közbeni változásai már nem tudják befolyásolni a számított végeredményt. A statikus modell, a rendszerbe kapcsolódásának idejétől függően betét-összeállítást, illetve fúvatási program beállítást végezhet. Abban az esetben, ha a rendszer végállapota eltér a számított értékektől, a modell számításai alapján lehetséges az utánfúvatási idő, illetve a hűtőanyagok mennyiségének kiszámítása [16, 17].

A statikus modellek alkalmazásánál a folyamatirányítás minősége jelentősen javítható a korábbi adagok mért értékeinek adaptálásával (alkalmazkodó statikus modell). A folyamatból vett aktuális adatok és a mért bemeneti nagyságrendekkel megismételt számítások után jelentősen nagyobb pontossággal lehet elérni az előírt csapolási értékeket. A folyamat aktuális értékeinek mérése közvetlenül szolgáltat információkat a fürdő állapotáról, a karbontartalomról és a hőmérsékletről, valamint lehetővé teszi a visszakövetkeztetéseket, mint pl. a folyamatos gázösszetétel elemzés esetében [14, 16, 18].

1.3.3.2.Dinamikus modellek

A statikus modellek számításai alapján a csapolási karbontartalom és hőmérséklet értékek csak relatív nagy szórással reprodukálhatóak. A dinamikus modell a fúvatás időtartama alatt a rendszerből folyamatosan gyűjtött eredményeket használja a fürdőhőmérséklet és a karbontartalom dinamikus kijelzéséhez, valamint a folyamat kívánt végeredményének eléréséhez. Az ehhez használt értékeket a folyamatos füstgázanalízis, a zajmérések, a lándzsavibráció és szublándsás mérések szolgáltatják. A dinamikus modelleket elsősorban az acélgyártó folyamat szimulációjára és megfigyelésére fejlesztették ki. Alkalmazásuk célja a folyamat végén lehetséges legkisebb, akár pontszerű csapolási ablakban végződő karbon és hőmérséklet értékeinek elérése. A kiszemelt csapolási ablak elérésének nagyobb találati biztonsága csökkenti az utánfúvatások számát, ezáltal az adagidőt. Szintén kedvező szempont a túlhevítés mértékének csökkenése és az alacsony vasoxidáció, amely hosszabb tűzállófalazat élettartamot és magasabb fémes kihozatalt eredményez. A kívánt csapolási feltételek elérésére vonatkozóan a legfőbb feladatot – ahogyan a statikus modelleknél is – az oxigénmegoszlás számítás, a vasoxidáció, a CO-utánégés, a szilárd adalékok beoldódása különböző számítási közelítéseinek összekapcsolása valamint az eltérő pontosságú mérési eredmények összevetése jelenti [18,19].

1.3.3.3.Kombinált modellek

A ThyssenKrupp Steel AG konvertereinél kombinált rendszerű folyamatmodellt alkalmaznak. A betétösszetétel számításhoz használt statikus folyamatmodell irányítja az oxigénlándsza állását, az oxigén térfogatáramát, megállapítja az öblítógáz fajtáját, valamint ezek előre megadott séma szerinti térfogatáramát, korai salakképződés és optimális frissítési arányra hangolva a rendszert. A statikus modell segítségével meghatározott befúvatandó oxigéntérfogat 95%-nál a szublándsza segítségével megméri a fürdő hőmérsékletét. A folyamatos konvertergáz analízis szolgál a frissítés sebességének kiszámítására és a fúvatási végpont meghatározására. A dinamikus folyamatmodell lehetővé teszi továbbá a nyersacél összetételének kiszámítását. Az eddigi vizsgálatok alapján a végösszetétel kiszámított karbon és mangán értéke összhangban van az analitikus vizsgálatok eredményeivel. Ezáltal az adagok 90%-ánál alkalmazható a direkt csapolás. A kívánt találati ablak elérése a konvertergáz-elemzés segítségével egyszerűbb és olcsóbb hőmérséklet és próbavételi funkciókra redukálja a szublándsás méréseket [20].

1.4. A kutatást motiváló folyamatok

Az acélgyártás hulladék-összeállítási technológiájának optimalizálása és a hulladék minőségének értékelése, szinte mindennapos feladat a termelést irányító mérnökök számára. A folyamatirányító modellek bemenő adatainak pontosítása érdekében sztohasztikus és analitikai eljárások alkalmazásával már évtizedek óta gondoskodnak a napi termelésben felhasznált anyagok minőségének ellenőrzéséről. Kutatásaim szerint az alkalmazott eljárások hatásfok, automatizáltság és az adatok naprakészségének tekintetében még nem érték el a technika adta lehetőségek maximumát. A felhasznált szilárd-fémбетét költség-részaránya, a minőségi problémák előfordulása és a gazdasági mutatók alakulása határozzák meg, hogy az egyes üzemek mennyi energiát fordítanak az acélhulladékok vizsgálatára. Az elmúlt évek heves gazdasági változásai erősen motiválták az acélgyártók ilyen irányú törekvéseit. A következő összefoglalás rávilágít a probléma jelentőségére. Az adatok és kimutatások a kutatás során feldolgozott, illetve a téma szempontjából legjelentősebb 2003 és 2005 közötti időszakra vonatkoznak.

1.4.1. A gazdasági környezet elemzése

Ázsia és ezen belül Kína lendületes gazdasági fejlődése már több mint egy évtizede foglalkoztatja a világpiac résztvevőit. A 2003-as év végen Kína acéligényének növekedése felborította a kereslet és kínálat közötti egyensúlyt. Az USD gyengülése és a nemzetközi politikai feszültségek hozzájárultak a globalizációs trend növekedéséhez. Az acéligény növekedése magával húzta a nélkülözhetetlen nyersanyagok – kokszt, vasérc, ötvözőfémek és az acélhulladék – világpiaci árát is. A súlypontok áthelyeződtek, a verseny az európai acélgyártók számára egyre nehezebbé vált. A teljes költség egyre nagyobb hányadát a hulladék ára tette ki. A gazdasági robbanás óta eltelt években sem változott jelentősen ez a tendencia, lelassult ugyan a fejlődés üteme, de hosszú távú stabilitásról korántsem beszélhetünk.

A versenyképesség fenntartása érdekében olyan irányelvekre, megoldásokra van szükség, amelyek lehetővé teszik a betétanyagok felhasználásának költség és minőség szerinti optimalizálását [21].

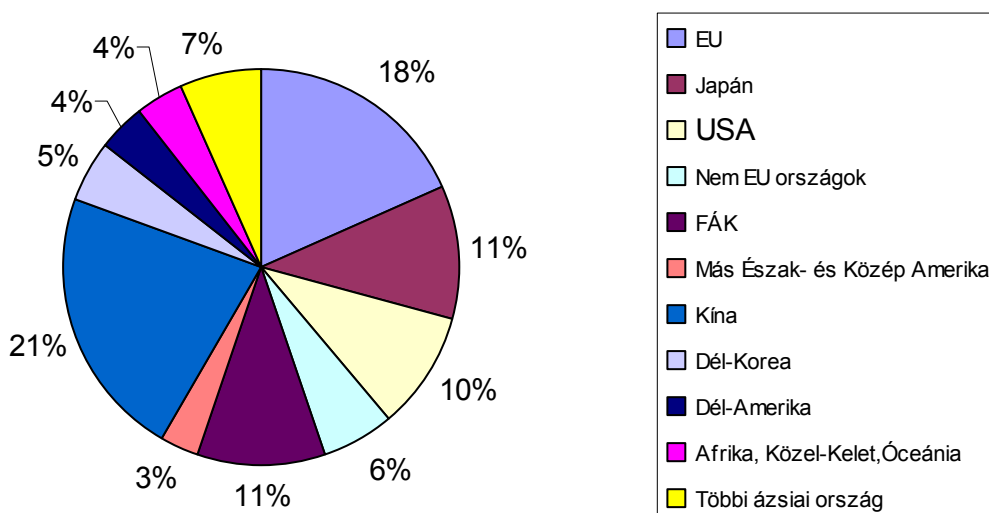
A következő összefoglalásban a kutatásaim eredményének értékelése szempontjából jelentős időszak (2003-2005) év változásait és annak hatásait mutatom be.

1.4.2. A világ acéltermelésének alakulása

1.4.2.1. Általános tendenciák

50 évvel ezelőtt a világ nyersacéltermelése még nem érte el a 200 millió tonnát, napjainkban, pedig ez a szám meghaladja az 1,2 milliárd tonnát. A hihetetlen növekedés, pedig folytatódik. Az 1990-es évek eleje óta a világ országai közül is Kína a legnagyobb nyersacéltermelő. A 2004-es évben 272,5 millió tonna acélt termelt, ami a világ termelésének 25,8%-át adta, így a 2003-as évhez képest 23,2%-kal növekedett a termelése. A világ többi részén a termelés 4,5%-kal növekedett, így a termelés 762,4 millió tonnát tett ki. A 20 legnagyobb acéltermelő ország – amelyek a világ acéltermelésének 90%-át állítják elő – közül négy országban is kétszer annyival nőtt a termelés, mint a korábbi években. Ezek az országok: Kína (23, 2%), Lengyelország (16, 9%), Törökország (11, 9%), és Mexikó (10%). A világ gazdaságilag legfejlettebb országainak – Japán, USA, Oroszország, Dél-Korea és Németország – együttes acéltermelését is hamarosan meghaladja a világelső Kína nyersacéltermelése [3].

Ázsia 2004-ben a világ összes acéltermelésnek mintegy 47%-át adta. A **2. ábra** a világ acéltermelésének régiónkénti megoszlását szemlélteti, kiemelve a jelentős acéltermelők részesedését.

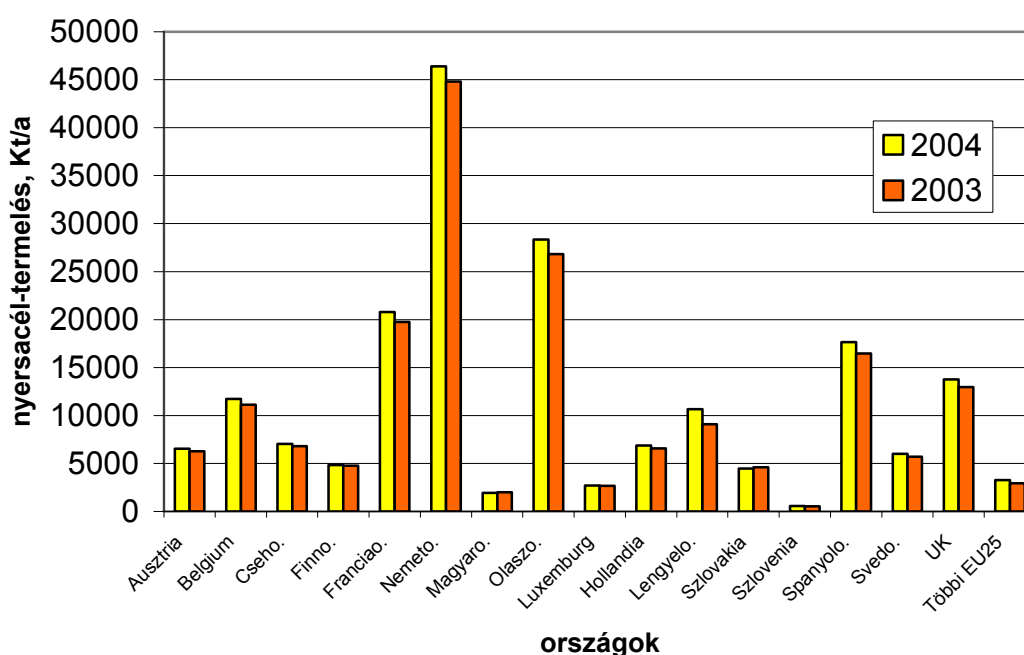


2. ábra A világ acéltermelésének országonkénti, ill. régiónkénti megoszlása 2004-ben [3]

A világ acéltermelésének növekedése elsősorban az ázsiai termelés hatása, így a részesedés eltolódása keleti irányú. Az Európai Uniót pozíciójának megtartásában a 2004 májusi bővítés segítette [2,3].

1.4.2.2.Európa acéltermelése

A 2004. május 1.-i EU bővítés alkalmával 10 ország kapott helyet az Unióban, közöttük Lengyelország, Csehország, Szlovákia, Magyarország és Szlovénia. Ez mintegy 15%-os termelésnövekedést jelent az EU 15 számára. Az EU15 által termelt 168.344 ezer tonna a bővítéssel (EU25) 193.507 ezer tonnára emelkedett. Legnagyobb mértékű növekedés, mintegy 16,9 %-os a lengyel acéliparban volt megfigyelhető. Termelési csökkenés a magyar és szlovén acéliparban történt. A **3. ábra** szerint az Uniós országok acéltermelése továbbra is a gazdasági fejlettségi színvonal mutatója.



3. ábra Az EU országainak acéltermelése 2003- és 2004-ben [3]

1.4.3. A világ acélhulladék exportja és importja

A acélgyártás volumenének növekedése maga után vonja a hulladék-betétanyag mennyiségének a növekedését. Ahogy a nyersacéltermelés is minden korábbi rekordot megdöntött, úgy 2004-ben a nyersanyag export is mintegy 8 %-kal haladta meg a 2003-as értékeket. A rekord mértékű nyersanyagáramlás észlelhető volt a vas- és acélhulladék kereskedelemben is. Körülbelül 25 millió tonnával növekedett meg az igény a kereskedelmi

hulladék iránt, ami azt eredményezte, hogy az árak is minden rekordot megdöntöttek. A hulladék árak erősen változóak, de a folyamat, ami az utóbbi években a piacokon megfigyelhető példa nélkül álló. Számos gazdasági problémát okoztak az acélgyártóknak, akik mint alapvető nyersanyag számítottak a hulladékra. A miniacélművek elvesztették hagyományos előnyüket a költségek terén, szemben az integrált acélművekkel. Ha a helyzet nem változik és a világ acéligénye egyenletesen növekszik, egyre nehezebbé válik majd a helyzet az acélhulladék és más alternatív alapanyagok területén.

A nemzetközi hulladékkereskedelem jelentősége a hulladék felhasználás és a szállítási költségek emelkedése miatt folyamatosan növekszik. Az acélművek országhatároktól függetlenül a hozzájuk közel eső területekről igyekeznek beszerezni az alapanyagot. Mivel a szállítás költségei a távolság függvényében jelentősek lehetnek, az országhatárok közelében elhelyezkedő acélművek előnyösebb helyzetben lehetnek a szomszédos országok hozzájuk közeli régióiban, mint az érintett ország távolabbi acélművei.

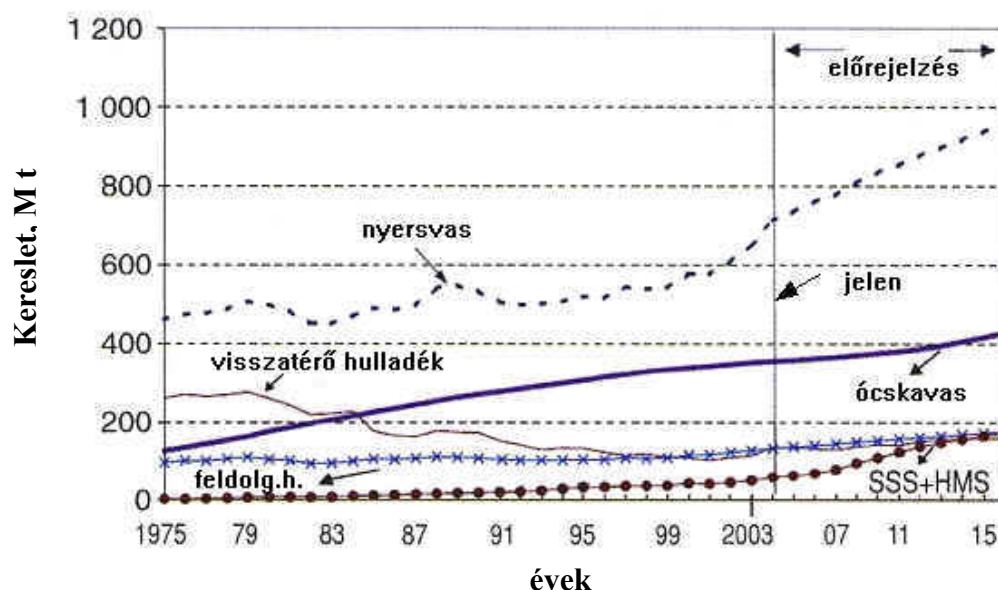
Törökország a 2004-es évben is megtartotta a legnagyobb importőr pozícióját. Elsődlegesen Oroszországtól, majd Romániától és Ukrajnától importál hulladékot. Kína a következő legnagyobb importőr, legnagyobb ellátója az USA, majd Kazasztán és Japán. A harmadik legnagyobb importőr Dél-Korea, importál az USA-tól, Japántól és Oroszországtól [3, 21, 22, 23, 24].

1. Táblázat A világ jelentős acélhulladék exportőrei és importőrei 2003-ban[3]

Jelentős exportőrök	2003 millió tonna	Jelentős importőrök	2003 millió tonna
USA	10,767	Törökország	11,079
Oroszország	6,973	Kína	10,520
Nagy-Britannia	7,219	Benelux államok	7,108
Németország	6,719	Dél-Korea	6,066
Japán	5,720	Spanyolország	6,344

1.4.4. Az acéltermelés növekedésének hatása a nyersanyagok árára

Az acélgyártás volumenének növekedése maga után vonja a hulladék-betétanyag iránti kereslet növekedését **4.ábra** [21].



4. ábra A fémes betétanyagok iránti kereslet alakulása az idő függvényében [25]

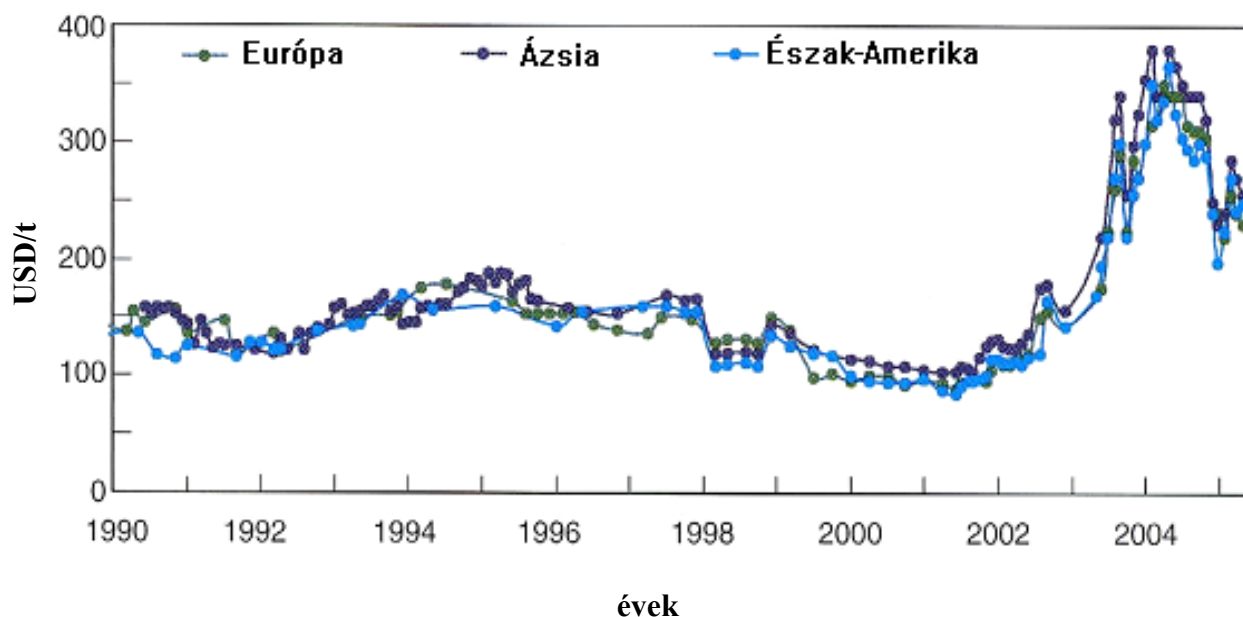
Rekord mértékű nyersanyagáramlás volt észlelhető a vas- és acélhulladék kereskedelemben, valamint a termeléshez szükséges hozaganyagok területén is [22]. Az 5. ábrán a Német Acélkereskedők Szövetségének kimutatása szerint, az irányadó 2-es hulladékcsoport ára 2004 végén ~270%-on tetőzött a 2001. évi középárfolyamhoz viszonyítva. Az Eurofer hulladék középárfolyama is hasonló trendet mutat.



5. ábra Nehéz (E2) acélhulladék átlagos árának alakulása Németországban 2001-2006-ig[25]

A 6. ábrán látható, hogy a 90-es évek eseménytelensége után a vasérc áremelkedésének hatására a vasszivacs ára is jelentősen emelkedett. A diagrammról látszik a

világ minden iparilag fejlett területén azonos mértékű áremelkedés.



6. ábra A vasszivacs árának alakulása földrészek szerint [27]

1.5. Az acélgyártási folyamatokhoz kapcsolódó technikai kultúra helyzete

A fajlagos munkaerő és energia igény racionalizálására irányuló törekvések és a számítógépes, elektronikai technológia robbanásszerű fejlődésének hatására, már az 1970-es években megindult az ipari technológiák automatizálása. Ez a fejlesztés motiválta az egyre részletesebb mérési és adatgyűjtő rendszerek elterjedését a könnyű- majd a nehéziparban egyaránt. A nagy elektronikus adatmennyiség lehetővé tette az egyre pontosabb gyártás-szimulációra alkalmas modellek elkészítését és elterjedését, valamint a vegyészetben ill. a gépgyártásban elfogadott klasszikus statisztikai optimalizálási módszerek széleskörű alkalmazását is. Napjainkra az ipari folyamatok irányításának és leképezésének fontos eszközévé vált a többváltozós adatelemzés (MVDA) és a mesterséges neurális hálózatok (ANN) alkalmazása [28, 29,30,31,32].

A számos acélipari folyamat irányítási és optimalizálási törekvés egyike az acélhulladék tulajdonságainak meghatározására alkalmas módszerek kifejlesztése. Közvetett, pl: statisztikai megoldásokon kívül, direkt eljárásokkal is kísérleteztek az elmúlt évtizedekben. Széleskörű kutatások elsősorban az Európai Szén- és Acélközösség (European

Coal and Steel Community) projektjei keretében folytak. Az ultrahangos acélhulladék sűrűségmérés és a „Gamma Neutron Activation Analysis” kifejlesztése mellett optikai eljárások is napvilágot láttak, habár ezek beruházási és karbantartási költségei meg sem közelítik az elfogadható, rentábilis szintet [33].

1.5.1. A sokváltozós adatelemzés alkalmazása az acéliparban

Az Európai Szén- és Acélközösség kutatási programjai keretében, már a '90-es évek elején felmerült a statisztikai előrejelzési módszerek acélipari alkalmazásának lehetősége (pl: MLR – Multiple Linear Regression vagy OLS – Ordinary Least Squares) az európai hulladékpiacon megtalálható acélhulladék csoportok fajlagos energiaszükségletének, fémes kihozatalának és kémiai összetételének becslésére. A szakirodalom értelemszerűen túlnyomórészt a nagy acélhulladék részarányúval üzemelő EAF technológiához kapcsolódóan foglalkozik az acélhulladék minősítésére szolgáló rendszerekkel [34-41]. Az ECSC projektek keretében a '90-es évek közepén francia és spanyol acélművek termelési adataira illesztett „előrejelző” modell eredményeit nagy mennyiségű, szokatlan acélhulladék keverékkel gyártott adagokból származó adatokkal egészítették ki [34]. Ez a módszer lehetővé tette, az egyes kísérőelemek (mint Cu, Sn, Ni) több havi átlagos koncentrációjának meghatározását a legtöbb szabványos hulladékcsoportban, nem tért ki a fajlagos energiafelhasználás és a kihozatal mértékére, direkt módon nem tette lehetővé a dinamikus költségoptimalizált termelésirányítást. Az eredményeket az európai hulladékszabvány (ESGS) egyes csoportjainak elemkoncentráció határérték meghatározásához használták a '90-es évek közepén. Amerikában hasonló munkát végzett Maiolo és Evenson (Deacero S.A. de C.V, Mexico), ahol viszont az egyes hulladékcsoportok fajlagos energiafelhasználásra gyakorolt hatását vizsgálták [36]. A kémiai energia és számos folyamatleíró paraméter összefüggéseinek kimutatására, statisztikai becslési módszert alkalmazott Köhle is, több ívkemence adatainak átlagos értékeiből [35]. A modell többféle vashordozóval (DRI, HBI) kevert betét alkalmazását is kezelni tudta, de a hulladékcsoportok összetételének meghatározása, csak durva közelítéssel sikerült.

A többváltozós adatelemzés acélipari hasznosításában úttörő szerepet játszik a kanadai Dofasco cég. Munkatársai eredményesen implementálták e módszereket a folyamatos öntés ellenőrzésére és a nyersvas kéntelenítésének szabályozására [37,38]. A MVDA alkalmazásának legrészletesebben dokumentált hasznosítási területe azonban, az EAF

elektróda és égő szabályozó rendszereihez készült neurális hálózatok [39]. Szintén neurális modellt készített Baumert, Engel és Weiler az acélgyártás folyamatvégpont-meghatározására [40].

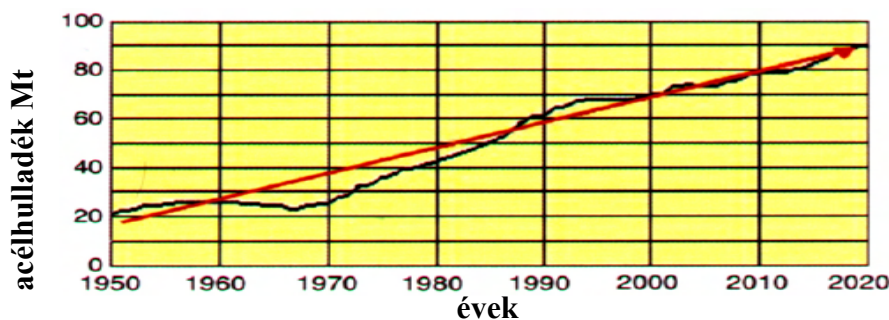
1.5.2. Sokváltozós adatelemzés alkalmazása a konverteres acélgyártásban

Az oxigénfúvatásos acélgyártás esetében alapvető a statikus, folyamatleíró anyag- és hőmérleg számítás, amelyekhez kapcsolódóan szintén megtalálható a közelítő modellek optimalizálási célú alkalmazása. Az ilyen statikus illetve dinamikus бетét vagy fúvatási modellek mérlegeiben az acélhulladékkal bevitt elemek mennyiségét rendszerint tapasztalati úton, kísérletezéssel nyert adatok átlagából becsülik meg [15,16,17,19,33]. A nemzetközi szakirodalom szűkölködik a konverteres acélgyártáshoz kapcsolódó, az ideális бетétösszeállítást célzó megoldásokban. Eddig csak kevés tudományosan megalapozott kísérlet, acélhulladék ellenőrző megoldás került bemutatásra. Közvetlenül az ECSC program nyomában 1998-ban publikáltak egy az elődhez hasonló megoldást, valamint kísérletet tettek egy valós idejű fém-es-kihozatal értékelő modell megalkotására [41]. A kivitelezés részleteiben legtöbbször a célzott szokatlan összetételű kísérleti adagok gyártása és az adatok lineáris regressziós kiértékelése szerepel. Egy ilyen – 5-50 adagos – kísérleti gyártási sorozatban, az állandó alap бетétkeverékben egy adott hulladéksoport részarányát fokozatosan növelik. A vizsgált csoport fokozatosan növelt részaránya és a fürdő – többnyire Cu, Sn, Ni – koncentrációja közötti lineáris összefüggésből határozható meg a keresett fajlagos elemkoncentráció. Minden egyes hulladéksoport esetében újabb széria legyártása szükséges, amely nehezen, illetve ritkán illeszthető a növekvő piaci igényeket kiszolgáló, gazdasági szempontból optimalizált termelési programba [42].

Szakmai tevékenységem során számos acélműben találkoztam egyedi fejlesztésű, illetve ipari megoldásokat készítő cégek különböző folyamatirányító és бетétmodelljeivel. Szinte minden érintett megpróbált megoldást találni az „idegen” бетét monitorozására, de a jelentős ráfordítások árán létrejövő módszerek többnyire nem ellenőrizhetően tudományos értékűek ill. lokálisan alkalmazható „fekete doboz” megoldásokat takarnak.

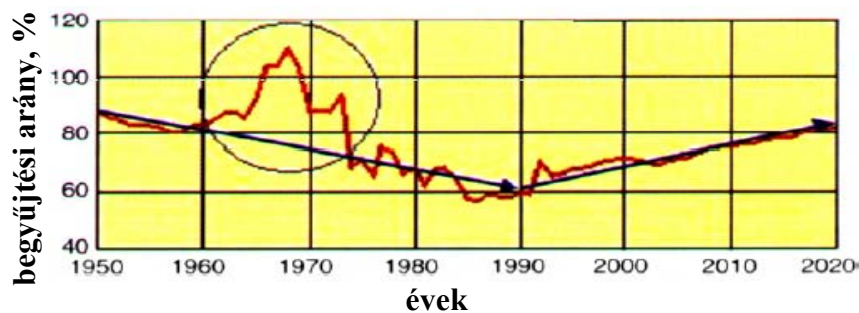
1.6. Az acélhulladékok

Napjainkban a világ acélszükségletének több mint 40%-át elhasználódott acéltermékekből állítják elő. A **7.ábra** az elmúlt évtizedek tendenciája alapján Európa hulladéktermelésének alakulását mutatja az idő függvényében.



7. ábra Európai hulladék-keletkezés várható alakulása mt/a [28]

A **8.ábrán** látható tendencia a keletkezett hulladékból begyűjtött mennyiség (%). Az ipari, társadalmi, környezetvédelmi igény együttes hatásának köszönhetően az acélhulladék begyűjtésének aránya növekszik. A '60-as '70-es évek tájékán észlelhető anomália jól szemlélteti a fellendült ipar és a tömegtermelő LD acélművek hulladékigényének hatását a frissen iparosodott hulladékpiacra. A csökkenő begyűjtési tendencia után a hatalmas igényt régi források kiaknázásával fedezték.

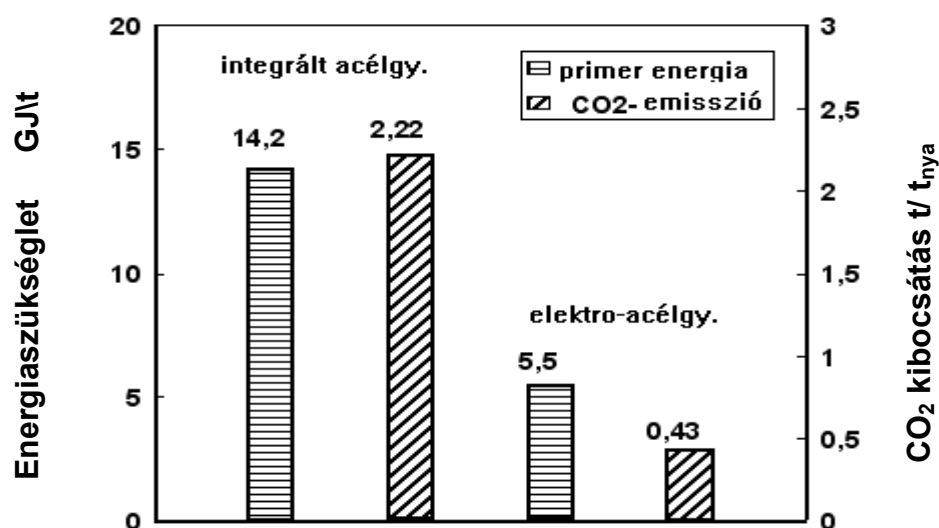


8. ábra Az acélhull. begyűjtési arányának alakulása Európában [28]

Az ábrák alapján nyomonkövethető, hogy a világ acéltermelésének növekedésével, nem csak a hulladék mennyisége, az elhasználódott acéltermékek újrahasznosítása is már arányosan növekszik. A helyben rendelkezésre álló alapanyag – acélhulladék – gazdasági előnyei mellett lényeges környezetvédelmi szempontok is motiválják az újrahasznosítást.

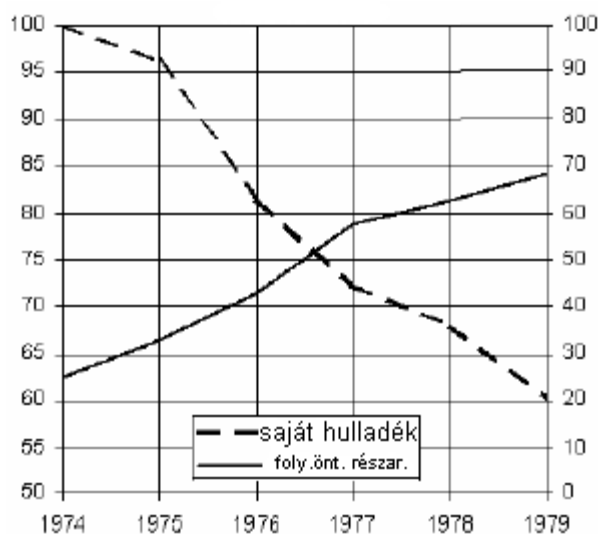
Az integrált acélgyártással ellentétben az EAF acélgyártás csak a beolvasztáshoz szükséges mennyiségű energiát használ, kisebb fajlagos CO₂-emisszó mellett. Egyértelmű, hogy ilyen módon a konverteres acélgyártás szilárd-fémbetét részarányának növelése is

hasonló gazdasági és környezetvédelmi előnyöket jelent. A **9. ábrán** látszik az acélhulladék újrahasznosítással elérhető megtakarítás.



9. ábra Nyersacélgyártás környezeti hatása és energiaszükséglete[43]

Az acélgyártási technológiákból származó változó összetételű termékek feldolgozásának melléktermékeként keletkező „saját” hulladékot számos idegen forrásból származó hulladékfajta egészíti ki. Rendszerint értékes hulladéknak tekintjük a termelés során keletkező egyfajta forrásból származó acélhulladékot és gyengébb minőségűnek a begyűjtésből származó ócskavasat [33]. A folyamatos öntés és a végméret-közelgyártási technológiák elterjedésének hatására egyre kevesebb a saját tiszta hulladék, ami technológiai, gazdasági szempontból kedvező, de figyelembe kell venni az idegen hulladék árát és az ismeretlen összetételből származó gazdasági és minőségi hátrányokat is. A **10. ábra** a folyamatos öntés elterjedésének időszakából származik ('70-es évek). Jól megfigyelhető a „saját” termelésből származó hulladékok mennyiségének drasztikus csökkenése. Napjainkban már a saját hulladék és a folyamatosan öntött acél részaránya szinte állandó.



10. ábra A „saját” hulladék mennyiségének változása a folyamatos öntés elterjedésének függvényében (1974=100%) [45]

Az acélhulladékok keletkezésének vizsgálata alapján egyértelműen kijelenthető, hogy mivel minden acélhulladék valamely korábbi acélgyártásból származik, így mennyisége a korábbi termelési volumen függvénye. Ez az egyenes arányosság rövidtávon csak a termelés során keletkező hulladékok esetében érzékelhető. Az amortizációs hulladékok esetében a rendelkezésre állást erősen befolyásolja, hogy a legyártott termékek szolgálati ideje eltérő hosszúságú és nem feltétlenül ott keletkezik a hulladék, ahol termékként legyártották. A begyűjtési rendszerek sajátosságai (szelektálás, kezelés) erősen befolyásolják a minőséget [1,33,34]. Az acél életciklusának elemzésére és a környezeti hatások tanulmányozására a Nemzetközi Vas és Acél Intézet (IISI) jelentős forrásokat mozgósít.

1.6.1. Az acélhulladékok csoportosítása

A hulladékok acéliparban betöltött szerepének elemzéséhez a szakirodalom széleskörűen foglalkozik e betétanyagok különböző szempontok szerinti csoportosításával.

Szakirodalmi összefoglalás alapján az acélhulladékokat, mint acélgyártási betétanyagokat az alábbiak szerint csoportosítom [10,33,34]:

- származási hely szerint ,
- kémiai összetétel szerint,
- fizikai tulajdonságok szerint.

1.6.1.1.Származási hely szerint

- o visszatérő hulladék: bugavég, hengerműi hulladék,
- o feldolgozási hulladék: forgácsolási, lyukasztási, vágási hulladék,
- o amortizációs hulladék: előregegett bontott gépkocsi-karosszéria; háztartási gépek, tartályok, bontott szerkezeti acélok, csomagolóipari hulladékok.

A visszatérő és a feldolgozási hulladékok eredete és összetétele elméletileg nyomomonkövethető. A folyamatos öntés elterjedése és a végméret közeli gyártási eljárások fejlődése miatt az egy helyen képződő mennyiség drasztikusan csökkent, ebből következően a keveredés valószínűsége is nagyobb az egyre szélesedő termékskála és feldolgozási forma miatt. Összetétele azonban (termelés függvényében) kis szórású, így kevésbé problematikus a felhasználása. A kívánt acélösszetétel szempontjából, a külső forrásból érkező, típus – a szabványban előírtak – szerint csoportosított, ismeretlen összetételű amortizációs hulladék kísérőelem tartalma a legjelentősebb kockázati tényező [45].

1.6.1.2.Kémiai összetétel szerint

Az európai és magyar acélhulladék-szabvány szerint „a kísérőelem az ismételt felhasználás során a gyártástechnológia eszközeivel el nem távolítható (szennyező), mely a termék tulajdonságait károsan befolyásolja”. Ez a definíció a cél szempontjából szükséges csoportosítás részletességét nem elégíti ki. A kísérőelemeket az acélgyártási technológia folyamat során való viselkedésük megítélésére oxidjai képződésének termodinamikai normál szabadentalpia- változása alapján szükséges csoportosítani.

A szennyező kifejezést elsősorban az ötvöztelen acélhulladékok esetén használjuk, de ide sorolandók a gyártási folyamat során eltávolítható elemek is. Más gyártástechnológia esetén ezek vagy nem zavaró, vagy hasznosítható ötvözőelemnek számítanak. Az acélgyártás kísérőelemei: C, Mn, Si, S, P, Cu, Sn, Zn, Pb, Bi, Sb, As, Ni, Cr, Mo és V. Meg kell említeni, hogy az irodalomban nincs formális osztás a kísérő és nyomelemek között, így kutatásaim alapján definiálom, hogy a nyomelemek fémes vagy nemfémes elemek, kis koncentrációjúak, és viszonylag ártalmatlanok az acél tulajdonságaira [10, 46, 47,48].

- Kísérőelemek oxidjai képződésének termodinamikai normál szabadentalpia- változása alapján:
 - o az acélgyártás körülményei között oxidálódnak, és teljes mennyiségben a salakba

- kerülnek, vagy a szállóporral és gázokkal távoznak (pl:Zn, C),
- o az acélgyártás körülményei között részben oxidálódnak és megoszlanak a salak és fémfürdő között (pl:Cr),
 - o az acélgyártás körülményei között nem oxidálódnak, teljes mennyiségben a fémfürdőben maradnak (pl:Cu).

Az utóbbi csoport tovább osztható a kísérőelem megjelenési formája szerint:

- Tiszta állapotban, együtt jelennek meg az acélhulladék darabjaival, gyakran az acélhulladék darabok közé bezáródva. A szennyezők keverednek a hulladék vas részével, de mechanikailag szétválaszthatóak. Például: elhasznált elektromos motorok (vas és réz együtt van tiszta állapotban),
- A kísérőelemek bevonó anyagként jelennek meg az acéltermékeken. Vas és nem-vas fémek bevonata számos rétegből épül fel, különböző fázisokat tartalmazva. Például: galvanizált, horganyzott lemez (cink, ón vékony réteg van a lemezen),
- A kísérőelemeket ötvözőként használják bizonyos acélminőségeknél. A szennyezők oldva vannak az acélhulladék zömében és termodinamikai viselkedésüktől függően vagy eltávolíthatók az eljárás során (pl. Cr), vagy végleg a terméket szennyezik (pl. Ni, W, Mo).

1.6.1.3.Fizikai tulajdonságuk szerint

- o Darabnagyság (adagoláshoz előírt méret)
- o Térfogatsűrűség
- o Idegenanyag tartalom (műanyag, föld, maradványok, stb.)

1.6.2. Kísérőelemek hatása az acél tulajdonságaira

A kísérőelemek két tipikus formában hajlamosak dúsulásra az acélban:

- Makroszópikus szegregáció dúsult fázis kialakulásával, nem egyensúlyi körülmények között képződve. Ezek gyakran összefonódnak oxidációs reakciókkal, a felszínen szulfidos formában megjelenve,
- Finom szegregáció, ami kristályhatárokon fordul elő, egyensúlyi körülmények között, a gyors hűtés kedvezően hat rá.

A kísérőelemek hatással lehetnek az acél tulajdonságaira, annak továbbalakítása során (kristályosodás, melegalakítás), illetve használat során is. A legtöbb gondot okozó tulajdonságok:

- melegtörékenység,
- felszín állapot: tapadó reve képződés hengerlés során,
- repedés újramelegítéskor (hegesztési varrat esetén),
- kúszásállás,
- kristályhatármenti korrózió,
- megeresztési ridegség,
- nem megfelelő szakítószilárdság és szívósság.

Általánosan mondható, hogy a legtöbb kísérőelem növeli a szilárdságot és a keménységet. Az edzhetőséget és a fajlagos ellenállást változóan befolyásolják. A **2. Táblázat**ról leolvasható az elemek legjellemzőbb hatása az acél tulajdonságaira.

2. Táblázat Elemek hatása az acél tulajdonságaira [47]

		C	Mn	Si	S	P	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Nb	Al	Sn	Pb	Zn	Sb
Mechanikai tul. és felületi minőség	meleg-törékenység	C	C		N	N	N	C						N	N	N	N
	ellenállás melegalakításnak						N	N	N	N	N	N		N			
	Ellenállás hidegalakításnak						N	N	N	N	N	N		N			
	Szilárdság	N	N	N	C	N	N	N	N	N	N	N		C	C	C	C
	keménység	N	N	N		N			N	N	N	N	N				
	alakíthatóság	N	N	N		N		N	N	N							
	kopásállóság	N						N	N	N		N					
	forgácsolhatóság	N		C	N	N									N		
	szívósság		N		C	C		N	N	N	N	N	N				
	kifáradás				C	C		N		N							
	hegeszthetőség	C	C		C	C		N									
	elektromos tulajdonságok			N													
	korróziós tulajdonságok					N	N	N	N	N							
	felületi minőség				C		C							C	C	C	

N= Növeli

C= Csökkenti

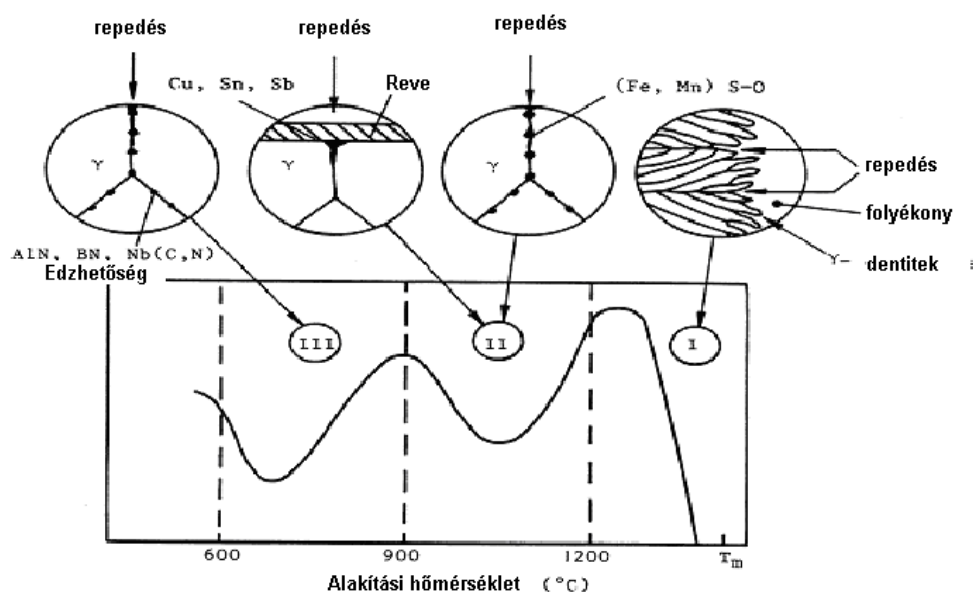
1.6.3. Az acélgártás során nem vagy nehezen eltávolítható elemek

Az elemek kémiai, termodinamikai viselkedésének csoportosítása szerinti főcsoportok közül az acélgártás hőmérsékletén nem eltávolítható elemek dúsulása okozza a legtöbb problémát. A réz (Cu) ón (Sn) nikkel(Ni) gyakori dúsulása károsan befolyásolja az acélok tulajdonságait. A kísérleti helyszínen a minőségi problémák a réz és az ón koncentráció ingadozásával hozhatóak összefüggésbe. A szakirodalomban az öntési-, alakítási-technológiákhoz kapcsolódóan részletes leírások is fellelhetők a kísérőelemek által okozott minőségi problémákkal kapcsolatban [34,35,41,46,47, 49].

A réz hatása az acél tulajdonságaira

Teljesen oldódik az acélfürdőben és nem alakul oxiddá, karbiddá vagy szulfiddá. Így a réz tartalmat a fürdőben hígítással lehet gazdaságosan csökkenteni. Rézdúsulás előfordulhat felszíni reveképződés következtében, és bizonyos hőmérsékleten folyékony fázist képez, ami felszíni repedést okoz (melegtörékenység). Előfordulhat szakadás melegalakítás közben, kovácsolást is beleértve, egy látszólag alacsony koncentráció, pl.: 0,2% Cu fölött. Folyékony fázis akkor alakul ki, amikor 1100-1300 °C-os tartományban az ausztenit réz-tartalma meghaladja az oldhatósági határt. Ezt a határt más elemek is befolyásolják. Oxidáció során a felszíni kén összekapcsolódik a rézzel, és CuS-dá alakulva káros hatása lehet, gyenge felületi minőséget is okozhat. A melegtörékenység kockázata növekszik, a növekvő Sn és/vagy C tartalommal. Az ón erőteljesen károsítja a felületi minőséget, repedés képző, ami azzal magyarázható, hogy csökkenti a réz oldódását az ausztenitben. Ilyen módon az antimon (Sb) is potenciális probléma lehet, mivel az ausztenit rézoldó képességére hasonló hatása van, mint az ónnak. A **9. ábra** sematikusan mutatja az ötvözők hatásának általános összefüggéseit a repedések kialakulására. A repedések kialakulásának oka, hogy a felszíni reve rétegben lévő réz dúsulások átalakulnak folyékony fázissá, amely eljut a szemcsehatárig és a kritikus hőmérséklet tartományban a képlékenység csökkenéséhez vezet, szemcsehatármenti törést okozva. A réztartalom melegtörékenységet okozó hatása ellensúlyozható nikkel adagolásával. A 2:1 arányú Ni:Cu adagolásról általában elfogadott, hogy mentesít a felszíni repedések kialakulásától. A gyakorlatban 1:1 arányt találtak megfelelőnek a melegtörékenység megelőzésére, de ez jelenősen függ a hőkezelés hőmérsékletétől. Ennek az előnynek az a magyarázata, az hogy a nikkel növeli a réz oldhatóságát az ausztenitben. Ha a réz szilárd oldatban van jelen „merekíti” a ferritet és

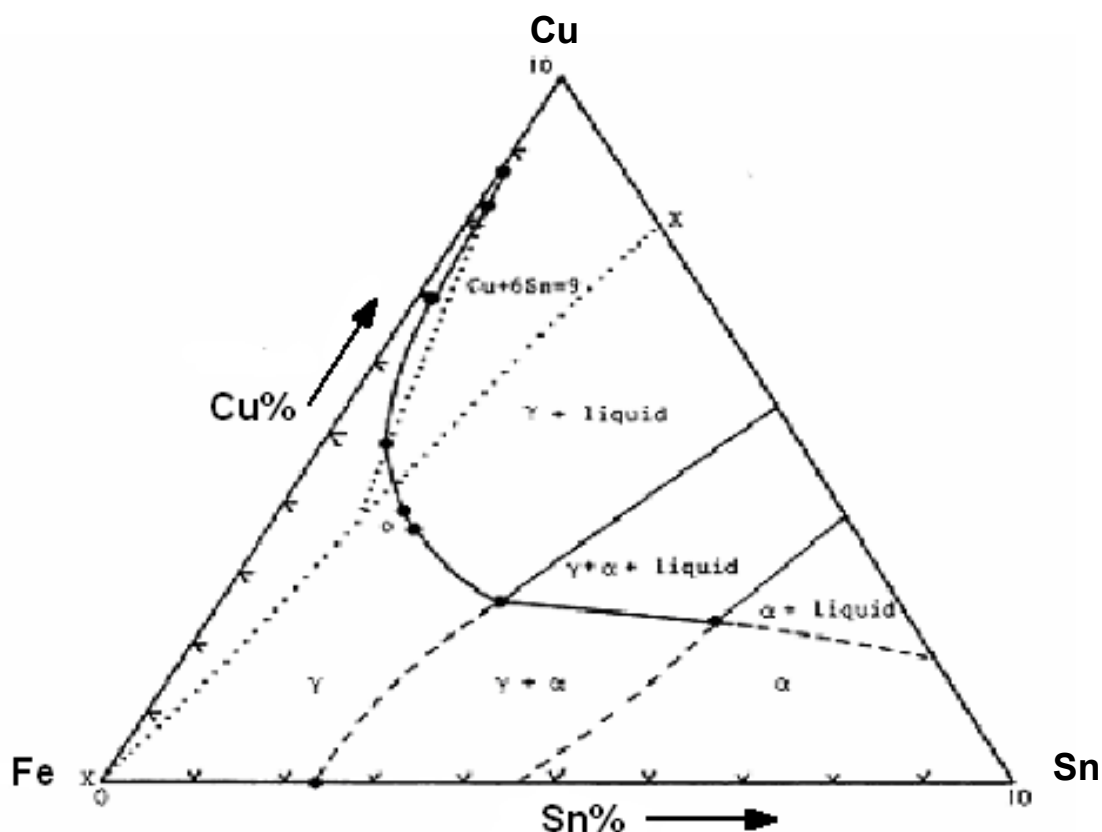
csökkenti az alakíthatóságot, **11.ábra**. Növeli az atmoszférikus korrózióval szembeni ellenállást, és pácoláskor megakadályozza a sav oldását, növelve a tapadást.



11. ábra Különböző ötvözőelemek hatása a ridegedésre magas hőmérsékleten [50]

Az ón hatása az acél tulajdonságaira

Az acéloknál jellemzően nem ötvöző,- hanem bevonóelemként használják. Az acéolvadéokban tulajdonképpen korlátlanul oldódhat, de a szilárd acélban nagyon behatárolt az oldódása. Acélgyártási körülmények között nem oxidálódik, koncentrációja csak hígítással csökkenthető. A kristályosodása, kiválása melegtörékenységet és felületi hibákat okozhat a fázis határokon és a felszínen. Alacsony karbontartalmú acéloknál a lágyítás során pedig ridegséget okozhat. A réztartalmú acéloknál az ón-koncentráció növekedése elősegíti a felületi repedésképződést. Ez főleg annak a következménye, hogy csökkenti a réz oldódását az ausztenitben. A **12. ábrán** a Fe-Cu-Sn rendszer vasban-dús sarka látható 1200 °C-on. Világos, hogy ezen a hőmérsékleten az ón-koncentráció 1%-os emelkedése megközelítőleg a felére csökkenti a réz oldhatóságát az ausztenitben.



12. ábra Fe-Cu-Sn rendszer Fe-ban dús sarka 1200C-on [51]

Az Cu- és Sn-tartalom közötti kapcsolat növeli a melegtörékenység kockázatát, ami a karbon-tartalom növekedésével tovább erősödik. A következő elméleti összefüggés segítségével meghatározható, hogy kialakul-e a melegtörékenység:

$$\text{Cu} + 6\text{Sn} > A,$$

ahol „A” 0,4-1,0, nagyobb a melegtörékenység kockázata, attól függően, hogy milyen acélminőségről van szó, illetve a hevítési, és hengerlési feltételektől.

A nikkelt hatása az acél tulajdonságaira

Mint a réz, a nikkelt sem távolítható el az acéolvadékból. A nikkelt-tartalom csak hígítással csökkenthető. A nikkelt jótékony hatással van a melegtörékenységre. A legszélesebb körben elfogadott magyarázat, hogy növeli a réz oldhatóságát az ausztenitben. De ez a teória nem teljes, mert 1:1 Ni.Cu aránynál állapították meg, hogy megelőzhető a melegtörékenység. Ha szilárd oldatban van jelen „merevít” a ferritet és csökkenti az alakíthatóságot. Javítja az átedzhetőséget, csökkenti a torzulást hőkezelés során. Nikkeladagolással lehetséges a szilárdsági és szívóssági követelmények teljesítése alacsony karbon-tartalom esetén is. Javítja a hegeszthetőséget, plaszticitást és szívósságot különösen alacsonyabb hőmérsékleten.

1.6.4. Az acélgyártás során részben eltávolítható elemek

Az antimon hatása az acél tulajdonságaira

Az antimon az ólom ötvöző eleme, elsődlegesen szilárdító hatású. Valószínűleg ugyanolyan káros, mint az ón, mert majdnem azonos arányban csökkenti a réz oldhatóságát az ausztenitben. Ha a kísérőelemek hatását értékeljük, az antimon hatását is figyelembe kell venni, mert hajlamossá teszi az acélt a melegtörékenységre.

Megeresztési ridegség előfordulhat, ha az acélt lassan hűtik le vagy 550-530 °C-os tartományban tartják, ezt általában P, Sn, Sb és As okozza. A molibdén adás akadályozhatja az ilyen ridegség kialakulását. A ridegedést okozó elemek, azok a kísérőelemek, amelyek szegregálódnak a kristályhatáron és elsődlegesen ridegedést okoznak. Bizonyíték létezik, hogy a Bi, S, Sb, Se, Sn, Te, As, Ge, P és Si is ilyen elem.

A kísérőelemek nagyon kis mennyiségben (<200ppm) is ridegedést okozhatnak. Bár a ridegedés kapcsolatban van a melegítési idővel és hőmérséklettel.

Az antimon az ólommal és krómmal együttesen hozzájárul, hogy a leválasztott port veszélyes hulladékká minősítik.

A cink hatása az acél tulajdonságaira

A Zn tulajdonképpen oldhatatlan az acélban. Az acélgyártás hőmérsékletén túlnyomó részben ZnO formájában elgőzölög, amely eltávozik a kemence füstjével és a porleválasztóban jelenik meg. Ha a betétben sok cink van, akkor nem feltétlenül fog mind elgőzölni. Az adag végén egy kevés maradhat a lecsapolt acélolvadékban is. A folyamatos öntés kezdetén a cink elkülönülhet az acéltól és elkezd lerakódni a kokilla belső felszínén. Ezért ártalmas lehet az öntőforma hőátadó-képességére. Ha a hőelvonás mértéke nem megfelelő, akkor a megszilárduló kéreg felszíne áttörhet. A termelés megszakítása, a felszerelés javítása különösen a kokilla rongálódása miatt lehet nagyon költséges. Az öntött ill. hengerelt szálban melegtörékenységet okozhat, vagy elősegítheti annak kialakulását.

Az ólom hatása az acél tulajdonságaira

Az acélban nagyon behatárolt az ólom oldhatósága. A többnyire bevonó anyagokból származó ólom és PbO az acélgyártás hőmérsékletén elgőzölög (a fém ólom oxidokat és más vegyületeket is képez). Az ólom és az ólom-oxid a kemence füstgázzal eltávozik. Az ólom az egyik fő oka a leválasztott por veszélyességének. Ha az ólom jelentős mennyiségben jelen van a kemencében, egy része az olvadékban cseppekké alakulhat és lesüllyedhet a fürdő aljára. Ha az ólomcsepp behatol a kemence tűzálló bélésébe, jelentősen csökkenti a falazat élettartamát. Ha nagy mértékű falazat sérülés fordul elő, az olvadt acél keresztül törheti a kemence falazatot is.

Az ólom oldhatósága a szilárd acélban még kisebb, mint az olvadt acélban. Az ólom „kijethető” a megszilárduló acélból, de gyenge felületi minőséget, vagy hibát eredményez, melegtörékenységet okozhat. Bevonatként, vagy bevonó anyagok ötvözőelemeként használva az atmoszférikus korrózió ellen nyújt védelmet. Az ólom egyedüli hasznos szerepe az acélgyártásban, hogy növeli az alakíthatóságot.

A króm hatása az acél tulajdonságaira

A króm erős karbidképző, növelheti a kopásállóságot és a lágyulás elleni ellenállást. Növeli az átedzhetőséget. Ha a króm-tartalom $> 4\%$, akkor a korróziós ellenállás nagyban javul. Nem teljesen oxidálható ki a fürdőből, magas hőmérséklet és nagy mennyiségű salak szükséges hozzá.

A molibdén hatása az acél tulajdonságaira

A molibdén erős karbidképző. Nagy hatással van az átedzhetőségre. Javíthatja magas hőmérsékleten a korróziós ellenállást és a szívóssági tulajdonságokat. Nem teljesen oxidálható ki a folyékony acélból.

A vanádium hatása az acél tulajdonságaira

A vanádium növeli a keménységet és a szívósságot. Erősen növeli az acél lágyítással szembeni ellenállását. Nitrogénnel kötve megakadályozza az alakítás utáni öregedést.

1.6.5. Az acélhulladékok minőségével kapcsolatos problémák

Az ipari fejlődés története során az egyre növekvő termelés és hulladék-felhasználás gazdasági előnyeinek következtében megnőtt a hulladékbegyűjtés mértéke is. Az ismertetett csoportosítási kritériumokat alkalmazva a kémiai szennyeződés növekedése a következő okokra vezethető vissza:

- országonként, ill. egyes cégenként is eltérő szabályozási rendszer,
- az elektronikai berendezések egyre szélesebb körű elterjedése (autóipar),
- a felületkezelte, korrózióálló acéltermékek elterjedése (élelmiszer-ipar),
- az előkészítés és osztályozás hiánya.

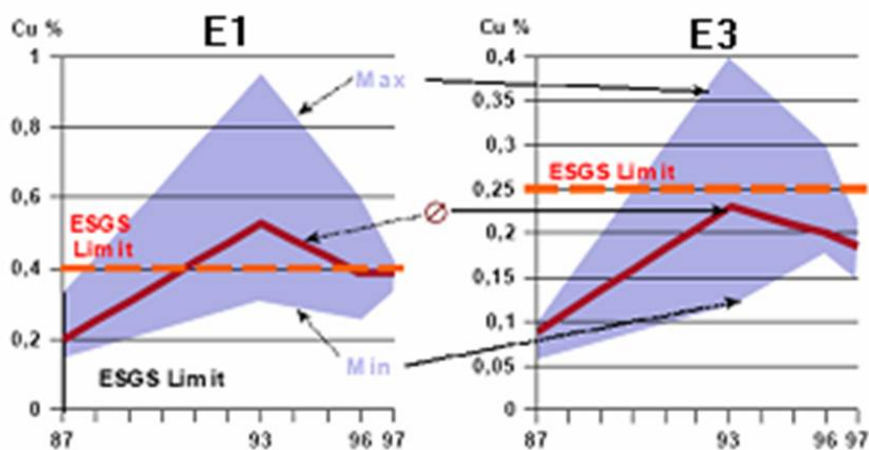
E tényezők hatására az acélhulladék minősége a '80-as években rohamosan romlani kezdett. A kísérőelemek dúsulásának kompenzálása már alternatív, (szennyeződésektől mentes- HBI, DRI, vasérc) vashordozók adagolásával sem tűnt gazdaságosan megoldhatónak. A bajok megoldására a '90-es években minőségbiztosítási forradalom zajlott le Európa hulladékpiacán. Az 1980-as évek végére a hulladék begyűjtési rendszer elterjedőben volt de a hulladékpiac kezdett kaotikussá válni. Társadalmi és ipari igény jelentkezett az újrahasznosítás rendszerezésére. Ez a tényező motiválta a különböző rendszerek egységesítését, vagyis az európai hulladék-osztályozási rendszer létrejöttét (European Scrap Grading System). Az acélhulladék-kereskedelem globalizálódása és a gyártástechnológiák mind nagyobb fokú érzékenysége miatt a hulladékpiacnak közös nyelvet kellett találni a tartós minőségi romlás elkerülése érdekében. A **3. táblázat** a magyar szabvány egy eleme, ahol már az egységes európai jelöléseket és határértékeket is láthatjuk. A teljes szabványban, minden említett paraméterhez tartozó átfogó definíció található meg. A hulladékkereskedők kötelesek az egyes hulladékcsoportokra vonatkozó előírásokat betartani. Ez lehetővé teszi az egyes csoportok kereskedelmi besorolását és a betét-összeállítás tervezését. Az ennél alaposabb kimutatás globálisan jelenleg nem megvalósítható a hulladékok sokfélesége miatt [33, 34, 46, 49].

3. Táblázat Az ötvöztelen acélhulladékok szabványos kísérőelem-tartalma [48]

Acélhulladék	Megengedett kísérőelem-tartalom(m%)
--------------	-------------------------------------

Kategória	Az európai acélhulladék jegyzék szerinti jel ²	A magyar szabvány szerinti jel ²	Cu	Sn	Cr, Ni, Mo	S	P
Régi acélhulladék	E3	AN 1, AN 2, AN 3, AN 0	≤0,25	≤0,01	Σ≤0,250	≤0,045	≤0,045
	E1	AL1, AL2, AL01, AVS1, AV0 1	≤0,40	≤0,02	Σ≤0,300	≤0,045	≤0,045
Új acélhulladék Alacsony kísérőelem tartalommal	E2	UN 1, UB 1, UN 2, UN 0	Σ≤0,300			≤0,045	≤0,045
	E8	UL 1, UBL 1	Σ≤0,300			≤0,045	≤0,045
	E6	ULS 1, UBLS 1, BLS 1, BLO 1	Σ≤0,300			≤0,045	≤0,045
Shreddezett acélhulladék	E40	ALh 1	≤0,25	≤0,02	-	≤0,045	≤0,045
Hulladékegétől származó acélhulladék	E46	AE 1	≤0,50	≤0,07	-	≤0,045	≤0,045
Acélhulladék magas Kísérőelem-tartalommal	EHRB	AR 1, AR 2, ARS 1	≤0,45	≤0,03	Σ≤0,350	-	-
	EHRM	ARM 1, ARM 2	≤0,40	≤0,03	Σ≤1,000	-	-
Acélforgács	E 5 H	AF 1, AFS 1	Nincs kialakult módszer a vegyi összetétel ellenőrzésére				
	E 5 M	AF 2, AFS 2, AF 0	≤0,40	≤0,03	Σ≤1,000	≤0,100	≤0,045

A 13. ábrán két általános hulladékcsoporth (E1 és E3) réztartalmának alakulása figyelhető meg a szórás és az átlagos értékek, valamint a szabványban előírt határértékek feltüntetésével az idő függvényében.



13. ábra Az ESGS bevezetésének hatása a hulladékok összetételére [33]

Az acélhulladékok minőségének biztosítására az Európai Acélhulladék Besorolási Rendszer bevezetése hatásosnak bizonyult, de korántsem végleges megoldás. Több tanulmány szerint a régi hulladékok rézkoncentrációja továbbra is növekedni fog [33, 49, 52].

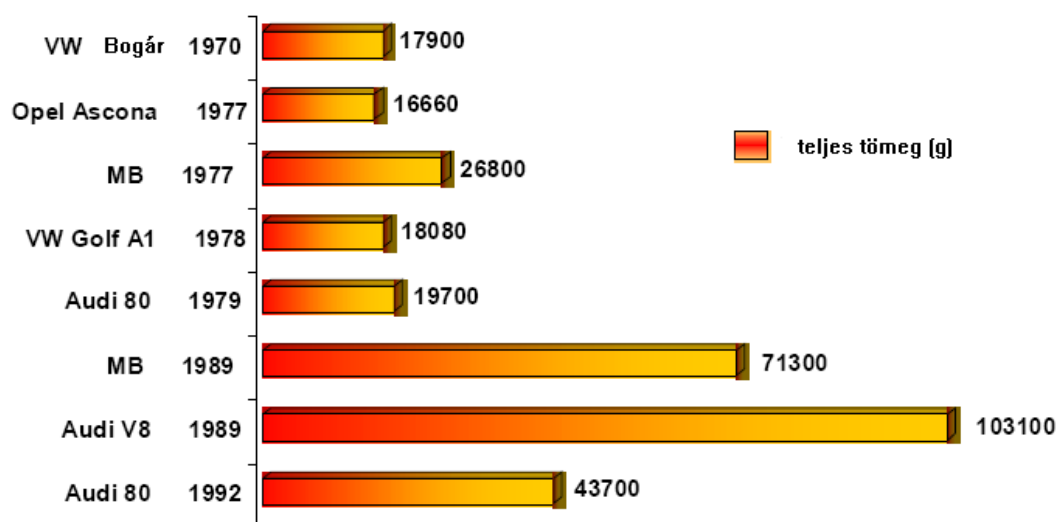
1.6.6. Szennyeződések bekerülése az acélhulladékba

Az elsődlegesen tiszta acélt felhasználó járműipar egyik lényeges problématerülete a

felhasznált acéllemezek korrózióvédelme. Az acélok felületvédelem nélküli korrózióállósága, csak magas ötvözéssel oldható meg, így gazdasági szempontból nem kifizetődő az alkalmazásuk. Továbbá az egyre javuló mechanikai tulajdonságok sem feltétlenül esnek egybe a korrózióállóság kritériumával. Kézenfekvő megoldás tehát a karosszéria elemeinek felületkezelése. Az ismert „horganyzási” technológia a ’80-as években terjedt el az autóiparban. A felületek védelméből bekerülő anyagmennyiség azonban nem jelentős zavaró tényező. A probléma az acélgyártás során nem eltávolítható elemek dúsulása, ezek közül is elsősorban a réz jelenléte. A réz rendkívül jó vezetőképessége és alakíthatósága miatt minden elektromos berendezés elengedhetetlen tartozéka. A modern gépjárművek elektronikai és kényelmi berendezéseinek kábelelei, villanymotorjai komoly rézhordozók.

Rezet tartalmazó berendezések: Elektromotorok, tengelyvéghersely, szivattyúk, csúszócsapágyak, záruk, csatlakozók, csapágyperselyek, generátorok, szinkrongyűrűk, félvezető foglalatok, szelepvezető perselyek, kábelkorbács, hűtő, fékbetétek, porlasztófűvőkák Stb. [33, 52].

A **15. ábrán** az autóiparban használt elektronika fejlődésének hatása látható a felhasznált réz mennyisége alapján. A ’90-es évek felső kategóriás gépjárműveinek luxusberendezései a mai tömegautók átlagos berendezéseivé váltak, így ennek áttekintése szemlélteti legjobban a technikai fejlődés hatását a járművek „réztartalmára” [52].



14. ábra Az autókban felhasznált réz mennyiségének alakulása [45]

Megállapítható továbbá, hogy a régebbi gépkocsikban a réz egy-egy ponton koncentrálódik, míg a modern járművek esetében ez eloszlik a teljes géptestben. Egy mai felső középkategóriás autó kényelmi berendezéseit 20-50 elektromotor vezérli.

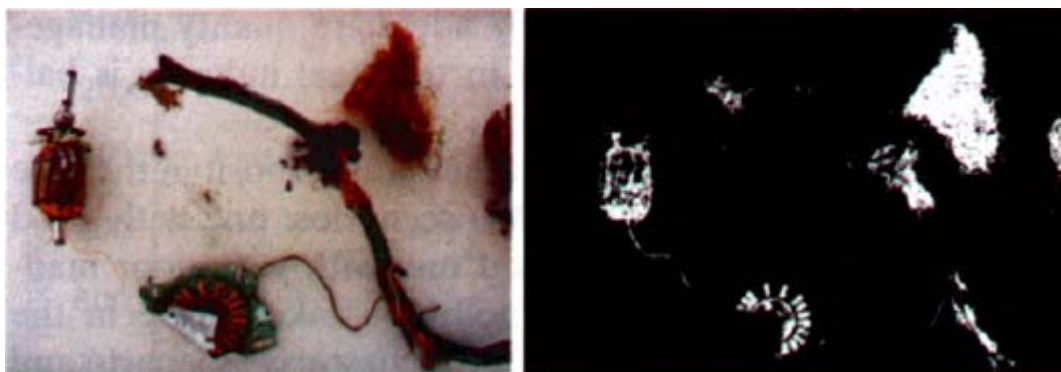
Az autógyárak szerepe a nem kívánatos elemek és az acélhulladék keveredésének kérdésében egyre jelentősebb. Az acél körforgásának fenntarthatósága érdekében tehát az egyes

kiegészítők újrahasznosítás-orientált tervezése szükséges:

- réztartalmú összetevők egyszerű kiszerezhetősége,
- az acél és a réz szétválaszthatóságának biztosítása,
- esetenként a réz helyettesítése alumíniummal vagy üvegszállal,
- a kábelek réztartalmának csökkentése a BUS technológia alkalmazásával.

Gyakorlatban az amortizálódott gépkocsik összetevőinek szétválasztására kétszintű eljárást alkalmaznak, amelynek első lépcsője a szétszerelés, második a shredderezés (aprítás). Az újrahasznosítás terén kevésbé fejlett országokban ez többnyire az értékesíthető tartozékok kiszerezését követő bálázást vagy shredderezést jelent. [33, 52]

Egy ígéretes technológia a jövőben alkalmas lehet a nagymennyiségű hulladék futószalagon történő szétválasztására. A **16.ábrán** az infravörös színeképelemzést végző eljárás látható, amely lehetővé teszi a rézdarabok felismerését. Az azonosított darabokat sűrített levegő segítségével eltávolítanák el a futószalagról.



15. ábra Az infravörös színeképelemzés eredménye [33]

1.6.7. Felületkezelt hulladékok (Zn, Sn)

A modern acélgyártási technológiák fejlődése révén lehetőség van az acél tulajdonságainak a felhasználási profilnak megfelelő nagy pontosságú beállítására. Különösen széleskörű csomagoló ill. járműipari felhasználást tesz lehetővé a lemeztermékek felületkezelése. Lényeges előny egy könnyűszerkezetes acélkarosszéria esetében a felületek korrózióállósága. Az élelmiszeriparban többnyire az óozott lemeztermékek kerülnek felhasználásra, mint italos vagy konzervdobozok.

A tartós korrózióvédelem iránti igény növekedése miatt a cink bevonatú termékek előállítása egyre növekvő tendenciát mutat. Ezen belül is a tűzihorganyzott lemezek a legkelendőbbek.

A hidegen hengerelt vékony-lemeztermékek előállítása során az elmúlt 30 évben a

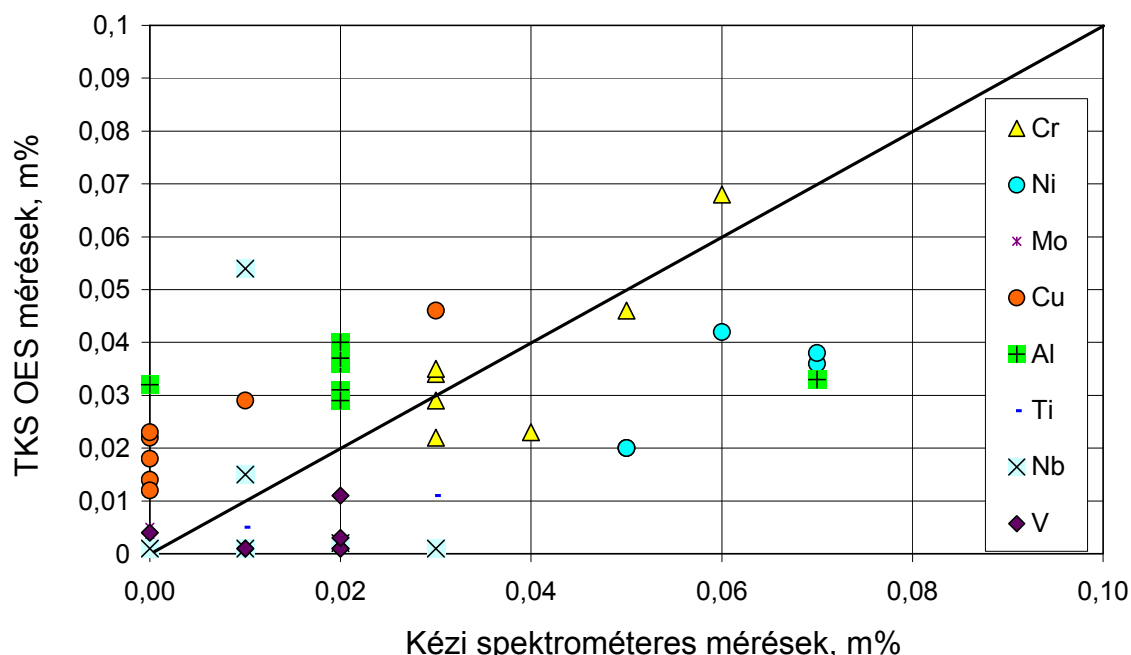
nem felülkezelte lemezek előállításának aránya erősen csökkent. Bár a statisztikai kiértékelések alapján az ónozott lemezek (fehéráru) részarányának emelkedése csak néhány százalék volt, itt sokkal jelentősebb anyagmennyiségről beszélhetünk, mint 30 éve. A hidegen hengerelt finomlemezek gyártástechnológiájának fejlődése az anyagvastagság csökkenéséhez vezetett, ahogyan a bevonatok fejlesztése is hasonló irányban történt. Tehát a felhasznált anyagmennyiség szinte alig növekedett, mégis sokkal több csomagolás készül ezzel az eljárással. A legújabb élelmiszeripari csomagolások vastagsága 0,12 mm is lehet. A 2002-es év során, az európai piacon értékesített összes fehérlemezről 2 millió tonna került újrafelhasználásra, 8 %-al növelve az újrahasznosítási arányt. Az uniós gyártók így a 2005-re önként tervezett 60% -ot már 2002-ben elérték. Az európai Unió 2008-ban életbe lépő fémcsomagolásokra vonatkozó rendeletének érvényesülésében (50%-os begyűjtés Al és Fe) az ónozott acéllemez komoly szerepet játszik [43, 44].

1.6.8. Az acélhulladék minősítésére alkalmas vizsgálati módszerek összevetése

Az acélhulladékok összetételének in situ meghatározására több módszer is kínálkozik, a kérdés e lehetőségek valódi hatásfoka és aktualizálhatósága. A korábbi üzemi kísérletek és saját kísérleti tapasztalataim értékelése alapján a következő eredményekre jutottam [34].

- Beolvasztásos vizsgálat, amely során a kérdéses hulladékfajtákat egyenként, kontrollált körülmények között olvasztják be:
 - o Előnyei: a beolvasztott minták összetétele homogén, könnyen analizálható mintákat produkálhatunk.
 - o Hátrányai: költséges, így ritkán aktualizálható, mintavétel szempontjából nem konzekvens a pontszerű dúsulások esetleges beolvadása és az éves hulladék felhasználáshoz képest elenyésző vizsgált mennyiség miatt.
- Kézi analitikai módszerek alkalmazása, azaz a spektrometria elvén működő készülékek használata helyszíni mintavételezéssel. A hulladéktéren gyűjtött minták csoportosítása és elemzése után a minták automatikus kiértékelése (átlagolása) révén meghatároztam a vizsgált csoportok vélt összetételét.
 - o Előnyei: elfogadható költségek, könnyen aktualizálható, tetszőlegesen változatos mintavételi pontok választhatóak.
 - o Hátrányai: a védőgáz nélküli spektrométer kifogásolható analitikai érzékenysége, nagy a hibás mintavételezés lehetősége.

A 16. ábra segítségével a védőgázos, nagy analitikai pontosságú spektrométer (TKS OES - Optical Emission Spectrometer) és kézi formátumú változatának eredményeit hasonlítom össze saját mérések alapján, kis koncentrációtartományban.



16. ábra Kézi és védőgázos asztali spektrométerek eredményeinek összehasonlítása

Az azonos mérési eredmények helyét jelölő $tg\alpha=1$ egyenestől mérhető távolság alapján látható, hogy a 0,1 m% alatti tartományban a kézi spektrométer adatai több esetben is jelentősen eltérnek a hitelesebb védőgázos mérési eredményektől. A kézi készülék – a gyártó szerint – nem analitikai pontosságú, így ebben a tartományban nem ad konzekvens eredményeket, más célból keresett nagyobb minőségi csoportok, koncentrációk összehasonlítására viszont kiválóan alkalmas.

- Üzemi adatok statisztikai kiértékelése, az üzemi adatok, mint pl. acél és salak összetétel, valamint a beadagolt hulladékfajta mennyisége alapján történő kiértékelés.
 - o Előnyei: költségkímélő, könnyen aktualizálható, a tetszőlegesen nagy mennyiségű vizsgált adat révén nagy az abszolút statisztikai pontosság valószínűsége.
 - o Hátrányai: Adatbázisfüggő, a téves következtetések elkerülésére érdemes több oldalról kontrolláltan alkalmazni. Jelenleg nincs univerzális formában alkalmazható ilyen eljárás.

1.7. A szakirodalom feldolgozása alapján levonható következtetések

Kutatásom elméleti és kísérleti háttérének megalapozásához az elmúlt évtized kapcsolódó szakirodalmát tekintettem át.

A szabályozások, előírások egységesítésére tett erőfeszítések már az ezredforduló előtti utolsó évtizedében gyors és látványos eredményt hoztak az acélhulladékok minőségének biztosításában. Az ezt követő látszólagos eseménytelenség közepette a világ figyelme lassan Ázsia ipara felé fordult. A termelési súlypontok áthelyeződésének mértéke lassan minden előrejelzést fölülmúlt, majd robbanásszerű iramot vett. Az ezredforduló utáni ázsiai – ezen belül elsősorban kínai – termelésnövekedés, a nyersanyagok árának drasztikus emelkedését, valamint ingadozó ellátást is eredményezett. Az acélhulladékokban rejlő gazdasági és környezetvédelmi potenciál kiaknázása egyre inkább a figyelem középpontjába kerül.

A több, mint 30 éve megindult ipari informatika fejlődésének napjainkra kialakult szintjén a mérés- adatgyűjtés és az automatizálás már a legtöbb helyen átvette a nehézipar munkaerőigényének túlnyomó részét. A modern kohászati folyamatok reprodukálhatóságáért anyag- és hőmérlegeken alapuló statikus betétmodellek vagy dinamikus folyamatirányító rendszerek felelnek. Az ehhez szükséges mennyiségi és minőségi adatok begyűjtése a gyártási láncban elhelyezett mérési pontok alapján történik. A mérési pontokról származó adatok alapján a modellek sztochiometriai, statisztikai és termodinamikai összefüggések segítségével reprodukálják az üzemi körülményeket és lehetőséget adnak a mérnökök kezébe, az előírt acélminőségek optimális gyártási körülményeinek beállítására.

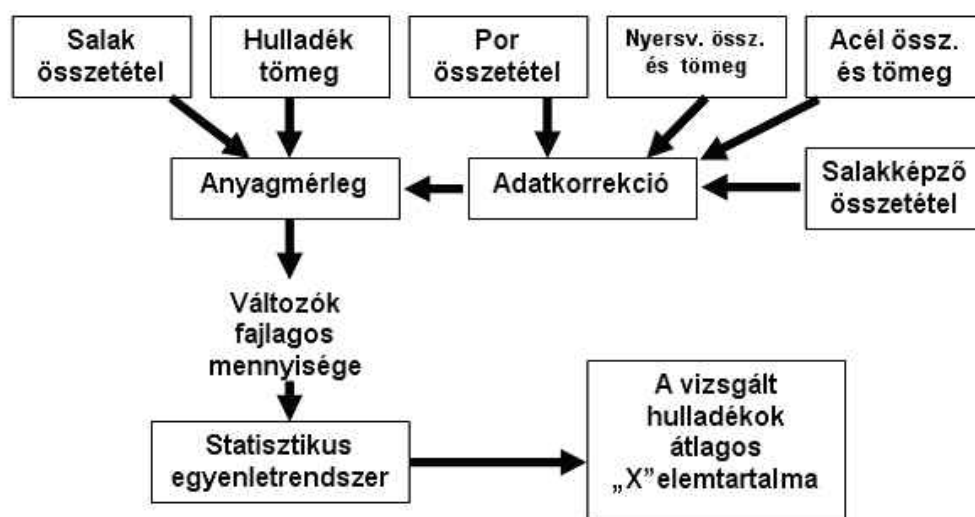
Az acélhulladékok – mint az anyagmérleget befolyásoló nagy mennyiségű fémes betét – lehetséges csoportosítását korszerű életciklus elemzések támasztják alá és szabványok írják elő, összetételének ingadozása mégis gyakori jelenség. Az anyagmérlegre alapozott számítások pontosságát jelentősen befolyásolja a nagy mennyiségű inhomogén betétanyag – az acélhulladék – összetételének változása. Megbízható és folyamatos minőség elemzését a jelenleg ismert analitikai és empirikus módszerekkel, csak bizonytalan érvényességi idejű eredményekkel lehet elvégezni, így a folyamatirányítás megbízhatósága a mindenkor szilárd fémbetét minőségének függvénye. A végméret közeli gyártástechnológiák elterjedésével az ismert forrásból származó homogén acélhulladékok mennyisége jelentősen lecsökkent, így az amortizálódott termékek hatása erősödik.

A modern ipari technológiák, így az acélgyártásnál is számos területen alkalmazzák a sokváltozós adatelemzési megoldásokat. A korábban kifejlesztett megoldások azonban csak más ráfordítás-igényes és alkalmanként elvégezhető vizsgálatokkal együtt tették lehetővé a termelési adatok alapján végzett fémbetét monitorozást. Éves rendszerességű vizsgálatok alapján nem lehet hatékonyan reagálni a szinte folyamatosan változó fémbetét- minőség változásaira. Ennek tükrében tehát időszerű a folyamatos acélhulladék-monitorozás megvalósítása.

2. A fémбетét-összeállítás optimalizálása

2.1. Az acélhulladék-összetétel meghatározó algoritmus alapjai

Az acélhulladék összetétel meghatározására alkalmas algoritmus elemeinek összeállítása során, alapvetően modern acélgyártási technológia során mért – a бетétmodelleket is kiszolgáló – adatokra támaszkodtam. A hagyományos üzemi adatok termelési időszak és minőség szerinti csoportosításával, illetve a hiányosságok, téves adatokat érintő korrekciójával képeztem az algoritmus kifejlesztéséhez szükséges adatmátrixot. Az adatkorrekció során az adatsorokban szereplő legyártott adagok tulajdonságainak ismeretében a mérlegből még hiányzó paramétereket (pl: salakmennyiség, nettó nyersacél tömeg) számításokkal határoztam meg. Több beadagolt acélhulladék-csoport esetében a rendszerben több független változó, ezért olyan matematikai eljárást kellett alkalmazni, amely az anyagmérleg teljesülésének feltétele mellett az összes hulladékбетétre jutó „X” elemtartalmat „n” független változó – hulladékcsoporthoz – között differenciálja „n” adatsor alapján. A feladat megoldására a korrigált anyagmérleggel kombináltam egy, a legkisebb négyzetek módszere szerint felírt „n” változós egyenletrendszert. A 17. ábrán az algoritmus elemei láthatóak [1, 3, 4].



17. ábra Az acélhulladékok összetételének meghatározására alkalmas módszer folyamatábrája

A teljes anyagmérleg felírásához az ábráról hiányzó– salak és por – értékeket az adatkorrekció során számításokkal illetve a por esetében átlány szerinti mennyiséggel kiegészítve határoztam meg (adatkorrekció), ezért nem szerepelnek a bemenő adatok között.

2.2. Mérés adatbázisok elkészítése az algoritmus kifejlesztéséhez

Az adaggyártás során rendszerint kevés információ áll rendelkezésre közvetlenül a folyamatból. A fémfűtő- és salak összetételének dinamikus összehangolása vagy hőmérsékletük mérése a folyamatleíró adatok állandó rögzítése nélkül nem lehetséges. A folyamat információinak kinyeréséhez a következő eljárásokat alkalmazzák [15]:

- a fűtőhőmérséklet és összetétel meghatározása,
- a beadagolt segédanyagok tömegének mérése,
- az egyes hulladékfajták beadagolt mennyiségének mérése,
- a fémfűtő oxigéntartalmának meghatározása,
- a leválasztott por összetételének és térfogatának ciklikus meghatározása,
- az acél tömegének mérése az üstben (FAM),

Az adathalmazok feldolgozásával összeállítottam egy 3 éves időszak (2003; 2004; 2005) termelését átfogó adatbázist. A **4. Táblázatban** összefoglalva az évente több mint 10.000 adag közül azokat emeltem ki, amelyekben soronként kevesebb, mint 5%-os az adathiány, kivéve azokat az elemeket, amelyeknek mérése nem minden minőség esetében kötelező.

4. Táblázat Termelési adatok száma a vizsgált időszakban

évek	2003	2004	2005
esetszám (n)	5896	8904	7579

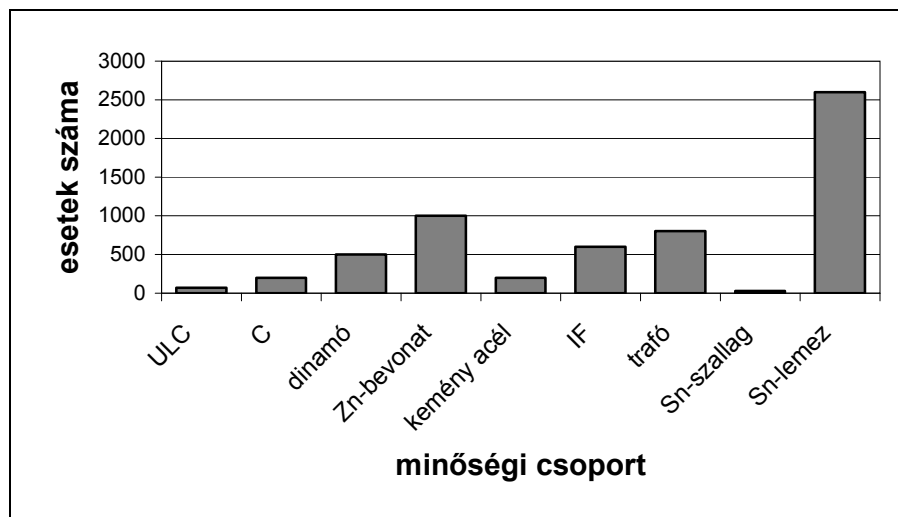
A mérési adatbázis jellemzését a 2003 évi adatok statisztikája alapján szemléltetem. Az adagok regisztrált paramétereit és azok jellemző értékét az **5. Táblázat** tartalmazza.

5. Táblázat A mérési adatbázis paraméterei

2003			Kiválasztott adagok				
statistika			n	Min.	Max.	középérték	szórás
Nyersvas	C	%	5896	4,06	4,99	4,73	0,09
	Si	%		0,10	1,55	0,404	0,141
	Mn	%		0,13	0,36	0,215	0,025
	P	%		0,06	0,09	0,072	0,006
	S	%		0,001	0,039	0,006	0,006
	Ti	%		0,009	0,217	0,0649	0,0355
	Al	%		0,050	0,298	0,0501	0,0039
	Cu	%		0,002	0,016	0,0046	0,0012
	Cr	%		0,015	0,127	0,0215	0,0030
	Ni	%		0,009	0,027	0,0143	0,0022
	Sn	%		0,005	0,013	0,0050	0,0001
	As	%		0,003	0,004	0,0030	0,0000
	V	%		0,007	0,026	0,0179	0,0020
	Mo	%		0,001	0,003	0,0010	0,0002
Nyersacél előpróba	C	%	4519 491 673	0,01	0,095	0,035	0,011
	Mn	%		0,03	0,15	0,078	0,018
	P	%		0,002	0,038	0,0103	0,0041
	S	%		0,002	0,028	0,0085	0,0036
	Ti	%		0,001	0,002	0,0011	0,0001
	N	g/t		10	102	26,8	15,3
	Cu	%		0,002	0,175	0,0122	0,0093
	Cr	%		0,006	0,078	0,0168	0,0043
	Ni	%		0,009	0,053	0,0171	0,0026
	Sn	%		0,001	0,027	0,0078	0,0048
	As	%		0,001	0,003	0,0013	0,0005
	Nb	%		0,001	0,003	0,0020	0,0001
	V	%		0,001	0,003	0,0010	0,0002
	Mo	%		0,001	0,048	0,0013	0,0011
Konvertersalak	(Fe) _{össz}	%	5896	8,4	37,3	18,37	2,97
	MnO	%		1,29	4,13	2,31	0,34
	CaO	%		30	61,5	45,69	3,72
	SiO ₂	%		5,5	21,9	11,44	1,73
	MgO	%		1,0	25,5	10,44	2,35
	P ₂ O ₅	%		0,8	2,3	1,46	0,22
	(S)	%		0,03	0,87	0,07	0,03
	TiO ₂	%		0,3	2,6	1,04	0,40
	Al ₂ O ₃	%		0,4	6,4	2,47	0,94

A gyártott adagok széles minőségi skálán helyezkednek el 7 termékcsoporthoz, amelyeknél a hulladék adagolásához előírt technológia is eltérő, **18. ábra**. A lemez-, bevonatolt lemez-, trafó-, dinamó-, IF-, nagyszilárdságú- és karbonacélok számos variációját csoportosítva látható, hogy legnagyobb gyakorisággal hideghengerlésre, majd bevonatolásra

készült lemezminőséget gyártottak. Mivel ez a minőségi csoport a rendelkezésre álló adatok 45%-át teszi ki, ezt a halmazt vettem a kiértékelés alapjául (**18.ábra**).



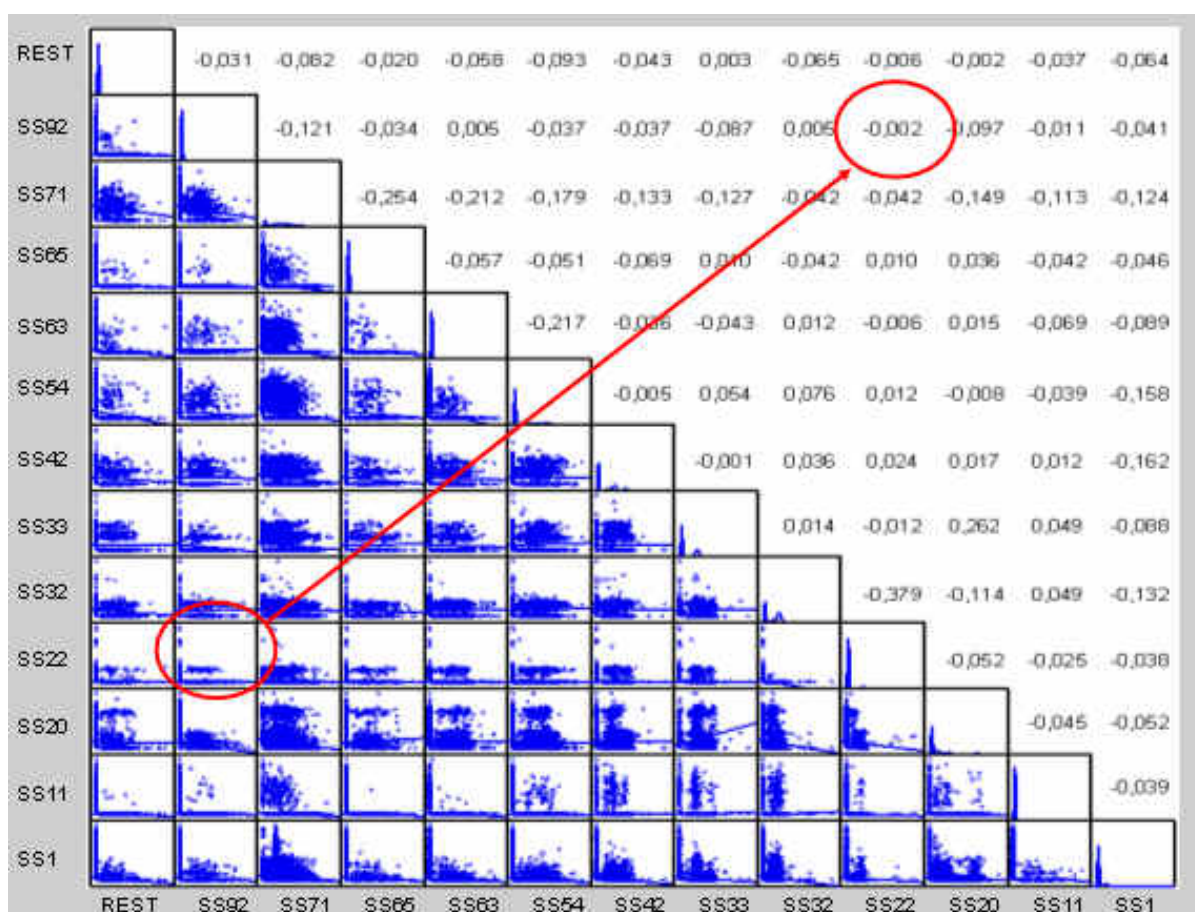
18. ábra A regisztrált adatok minőségi csoportok szerinti megoszlása (2003)

2.2.1. Az adathalmazok alkalmazhatóságának vizsgálata

Az egyes adatsorok (adagok) hulladékkal bevitt elemtartalma a teljes anyagmérleg felírásával határozható meg. Feltételezve, hogy az egyes hulladékcsoporthoz vizsgált szennyező, ill. ötvöző koncentrációja eltérő, ennek változása összefüggést kell, hogy mutasson a hulladékcsoporthoz beadagolt mennyiségével. A többváltozós adatelemzés során a változók közötti lineáris kapcsolat szorosságát a korrelációs együtthatóval mérjük. Ha a változók között mesterséges összefüggések vannak, fennáll a téves következtetés veszélye. A hibatagok közötti kapcsolat autókorrelációt okozhat. Gyakorlati példán szemlélítve a problémát, ha a rendszer változói az egyes adagolt hulladékcsoporthoz beadagolt mennyisége, és az üzemi adagolási előírás – adott acélminőség esetében – meghatározza az adott acélhulladék maximális adagolható mennyiségét, akkor fokozott a veszély, hogy a statikus előírás a hulladékcsoporthoz beadagolt mennyisége és az egyes elemek dúsulása közötti mesterséges összefüggéshez vezet. Az ilyen esetek kiszűrésére számos statisztikai vizsgálati módszer áll rendelkezésre, mint pl: Durbin- Watson vagy Pearson féle teszt. Pearson módszerénél az 1. egyenlet alapján a változók közötti korreláció mértéke becsülhető a mintából, értéke „-1”-től „1”-ig, „0” esetén nincs korreláció.

$$r(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n d_{x_i} \cdot d_{y_i}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n d_{x_i}^2 \cdot \sum_{i=1}^n d_{y_i}^2}} \quad (1.1)$$

A **19. ábrán** a 2003-as évben gyártott adagokba adagolt hulladékmennyiségek összefüggéseinek elvégzett Pearson féle teszt eredménye látható. A négyzetek a grafikus összefüggést ill. a tükörképben ugyanennek Pearson szerinti mérőszámát mutatják. A vizsgálat eredménye alapján kijelenthető, hogy az adagonként összeállított hulladékkeverék elemei nem mutatnak mesterséges összefüggést. A jelenség a további statisztikai vizsgálat szempontjából kedvező. Magyarázata, hogy a statikus adagolási előírások a nagyüzemi acélgyártás számtalan változó paraméterének – mint a nyersvas mennyiség, hulladék rendelkezésre állás, üzemidők miatti véghőmérséklet eltérések – következtében véletlenszerű rendezetlenséget okoznak.



19. ábra 2003 évi adagok hulladékbetét autokorreláció-vizsgálata, mint tükördiagram

2.3. Az anyagmérleg

Az algoritmus alkalmazásának alapfeltétele az egyes elemekre felírt anyagmérlegek elkészítése. Szükséges a kimeneti és bementi források, a nyersacél, salak, por, tömegének pontos meghatározása. A nyersacél és salak mennyiségének meghatározásához, a mért értékek hiányában számítással jutottam.

A nyersacél nettó tömege sem áll rendelkezésre, de a későbbi technológiai fázisoknál mért tömeg és a beadagolt hozaganyagok mennyiségének ismeretében kiszámítható. A rendelkezésre álló kvantitatív adatokkal történő számoláshoz tisztázni kellett a mérés helyét ill. a számítás módját, mértékegységét az adatbankban. A hibalehetőségek csökkentése, és az eredmények összehasonlíthatósága érdekében az értékeket fajlagos (kg/t nyersacél), illetve százalékos formában használtam.

2.3.1. A salakmérleg

Az acélgyártás körülményei között oxidálódó kísérőelemek megoszlásának számításához szükséges paraméter az egyes adagokhoz tartozó salakmennyiség. Pontos kiszámításának elméleti lehetősége az összes elem oxidációjából származó anyagmennyiség meghatározása, de a tapasztalatok alapján célravezető megoldás a CaO mérleg felírása:

$$m_{salak} = 100 \cdot \left(m_{mész} \cdot \frac{\% < CaO >_{mész}}{100} + m_{dolo} \cdot \frac{\% < CaO >_{dolo}}{100} - m_{por} \cdot \frac{\% < CaO >_{por}}{100} \right) / \% (CaO)_{salak} \quad (2.1)$$

2.3.2. Anyagmérleg (elemek)

A kiértékeléshez szükséges elemekre vonatkozó összes anyagmennyiség számítást az elemek oxidképződéseinek az FeO képződéséhez viszonyított normál szabadentalpia változása alapján végeztem:

1. Nem oxidálódó, oldódik a vasban pl: Cu és Sn

(“Me”= fém kg/t nyersacél):

$$m_{hulladék}^{Me} = m_{nyersacél}^{Me} - m_{nyersvas}^{Me} \quad (2.2)$$

Az elem “Me” salak fémfűrdő és por közötti megoszlása esetén:

$$m_{hulladék}^{Me} = m_{nyersacél}^{Me} + m_{por}^{Me} - m_{nyersvas}^{Me} \quad (2.3)$$

2. Nem-oxidálódó, megoszlás a salak és fémfűtő között pl: kén.

S-mérleg ("S" kg/t nyersacél):

$$m_{hulladék}^S = m_{nyersacél}^S + m_{salak}^S + m_{por}^S - m_{nyersvas}^S - m_{mész}^S \quad (2.4)$$

3. Nem- oxidálódó, gőzölés pl: Zn

fajlagos fém-mérleg ("Me" kg/t nyersacél):

$$\text{A por összetétel mérésével: } m_{hulladék}^{Me} = m_{por}^{Me} \quad (2.5.)$$

4. Részben oxidálódó, a fémfűtő és a salak között oszlik meg pl: Mn és P.

Me-mérleg ("Me" kg/t nyersacél):

$$m_{hulladék}^{Me} = m_{nyersacél}^{Me} + m_{salak}^{Me} + m_{por}^{Me} - m_{nyersvas}^{Me} \quad (2.6)$$

5. Oxidálódó, teljes átmenet a salakfázisba pl: Si

Azonos a (6) egyenlettel a nyersacélhoz tartozó koncentráció elhagyásával.

2.4. Adatkorrekció a salakmunka modellezésével

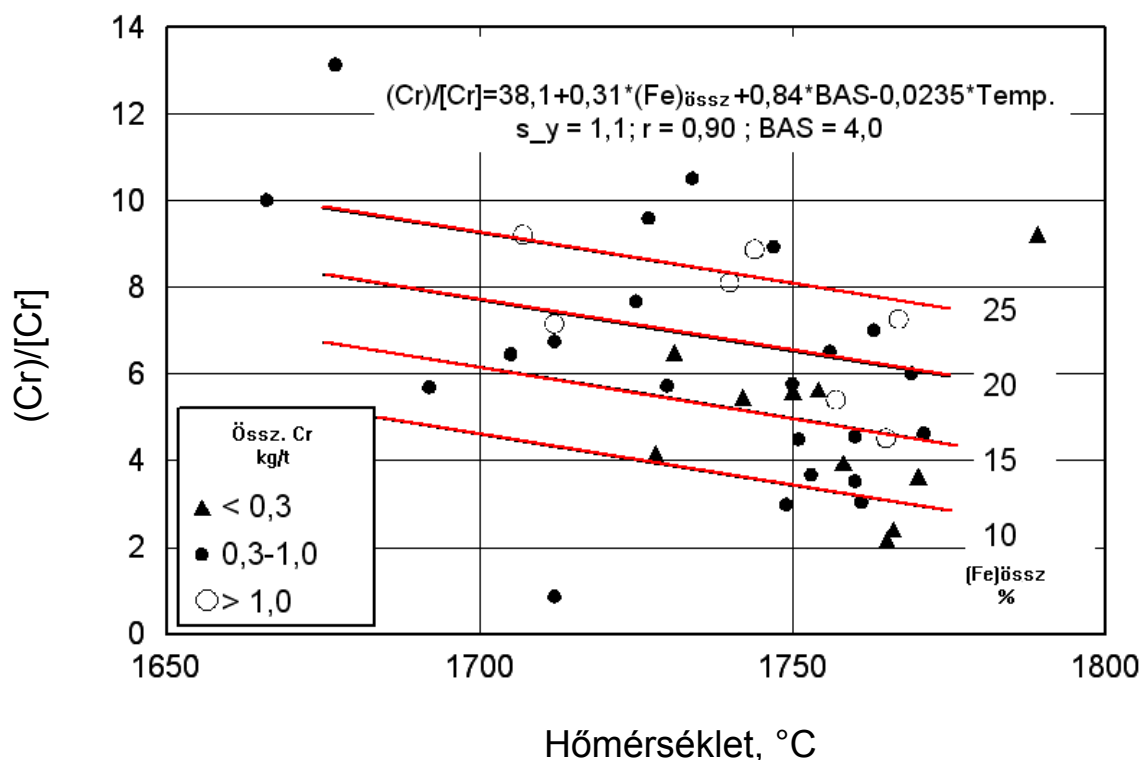
Az oxidálódó elemek koncentrációjának indirekt kimutatásához a salak és a fürdő közötti megoszlási hányadosok ismerete (L_{Me}) nyújt segítséget, amely a gyártási körülményekhez tartozó egyensúlyi állapotot tükrözik. Ezek mértéke a termodinamika törvényszerűségei szerint a salak összetétel, a fürdő összetétel és a hőmérséklet változásának függvényei [8]. A megoszlási függvényeket leképező egyenletek megalkotásához, tehát ezeket a változókat is tartalmazó közelítő modellezési módszer alkalmazható. A számítások jelentőségét a következő (2.4.1) példa szemlélteti

A többváltozós regressziós analízis (MLR) segítségével, lehetőség nyílik a folyamatváltozók közötti összefüggések modellezésére. A vizsgált acélminőségi csoportok jellemző megoszlási modelljét a 2003 évi termelési adatbázis felhasználásával határoztam meg. Az egyenletekhez, az adatbázisból többváltozós lineáris regresszió módszerével „ $A_0 - A_n$ ” együtthatók kerültek meghatározásra. A regressziókat az esetszám „ n ” és a korrelációs együttható „ r^2 ” jellemzi. Az adatbázisban nem részletezett metallurgiai összefüggéseket korábbi átfogó üzemi vizsgálatokból nyert adatokkal egészítettem ki [12].

2.4.1. A króm megoszlásának modellezése (Cr)

A króm esetében egy, az acélgyártás során részben oxidálódó elemről beszélünk. A salak elemzése során metallurgiai szempontból jelentős mennyiségű króm koncentráció mutatható ki. Mivel a vizsgált acélmű nem nemesacélok gyártására specializálódott, ezért az adaggyártás során a salak krómtartalmát a normál üzemvitel során nem analizálják. Az összefüggések vizsgálatához korábbi üzemi kísérletek adatait vettem alapul, amelyből az adaggyártás során több alkalommal, a fúvatás 30, 60, 92 és 100% -nál vett salak és filterpor próbák elemzését átvettem. Ezek alapján határoztam meg a megoszlási hányados $(Cr)/[Cr]$ és a porral távozó króm $\{Cr\}$ értékét. Az összesen 41 adagból nyert megoszlási adatok vizsgálata alapján többváltozós lineáris regressziós analízis segítségével felírható a krómtartalom, a salak bázikusság $BAS=(CaO/SiO_2)$, a salak vastartalom (Fe_{salak}) és a fürdő hőmérséklet ($T_{acél}$) függvényében az adagra jellemző megoszlási hányados. A számított koefficiensek segítségével azonos metallurgiai programmal gyártott adagoknál hiányos vagy hibás elemzések esetén is megfelelő pontossággal kiszámítható a salak krómtartalma **20.ábra:**

$$(\text{Cr})/[\text{Cr}] = 38.1 + 0.31 \cdot \text{Fe}_{\text{salak}} + 0.84 \cdot \text{BAS} - 0.0235 \cdot T_{\text{acél}} \quad (3.0)$$



20. ábra A króm megoszlás a hőmérséklet és a salak vastartalom összefüggése azonos báziskusságú (BAS=4) adagok esetében

A bemeneti és kimeneti mennyiségek ismeretében felállítható a krómmérleg, ahol a keresett mennyiség a teljes acélhulladék betéttel bevitt Cr mennyisége.

$$C_{\text{Cr, hull}} = C_{\text{Cr, acél}} + C_{\text{Cr, salak}} + C_{\text{Cr, por}} \cdot - \frac{m_{\text{vas}}}{m_{\text{acél}}} * C_{\text{Cr, vas}} \quad (3.1)$$

Ahol: $C_{\text{Cr, acél}}$: a nyersacél Cr tartalma, kg Cr / t acél

$C_{\text{Cr, vas}}$: a nyersvas Cr tartalma, kg Cr / t nyersvas

$C_{\text{Cr, hull}}$: az összes hulladékkal beadagolt fajlagos krómtartalom, kg Cr / t acél,

$C_{\text{Cr, por}}$: a fajlagosan kibocsátott filterpor krómtartalma, kg

m_{vas} : a nyersvas fajlagos tömege

$m_{\text{acél}}$: az acél tömege

2.4.2. A salak vastartalom a karbontartalom és bázikusság függvényében

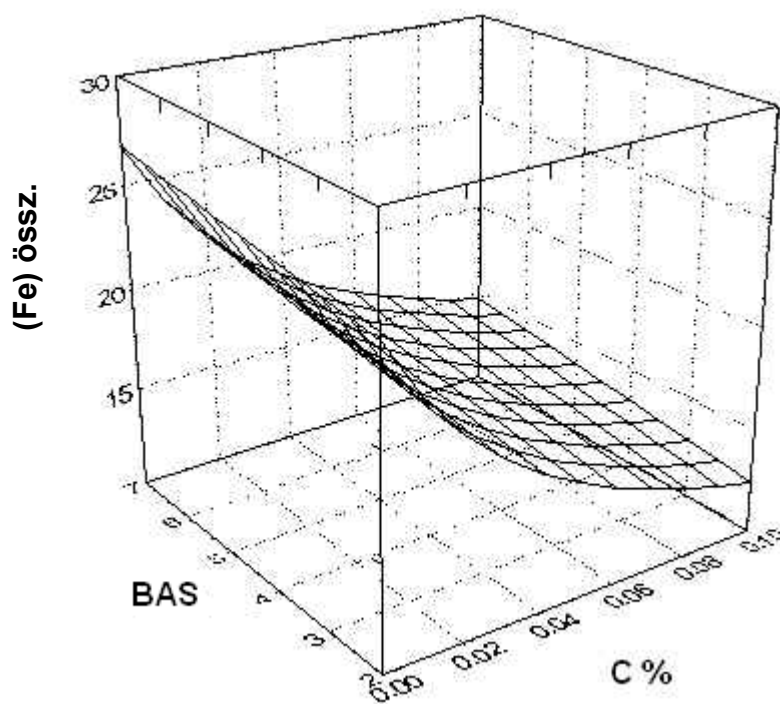
A L_{Cr} analógiájára az adaggyártás során rögzített paraméterek esetében is alkalmazható a módszer. Ennek jelentősége, a kisebb adatmátrixok esetében a hiányzó adatok becslése, illetve jelentős szórás esetén az ellenőrzés. Az egyes minőségi csoportokra szűkített adatbázisok kis esetszáma miatti hibás következtetések esélye csökkenthető.

A salak összes vastartalma $(Fe)_{össz}$ és a karbon a $[C]*[O]$ -egyensúly esetén hiperbolikus függvényt alkotnak. Amelyet korábbi üzemi kísérletek is alátámasztanak. Ez alapján az

$$(Fe)_{össz} = \left(\frac{A_1 \%C + 1}{A_2 \%C + A_3} \right) + A_4 (BAS - A_5) \quad (3.2)$$

összefüggés írható fel. A bruckhauseni 1-es acélmű (Br Ox1) 2003-as adatbázisából az előbbi egyenlet alapján a következő hiperbolikus együtthatók adódtak.

$A_1 = 4,047$ $A_2 = 0,791$ $A_3 = 0,042$, az $A_4 = 0,4447$ és $A_5 = 0,1411$ állandók a hiperbolikus függvény regressziós sajátosságai miatt statisztikai úton kerültek kiszámításra. A **21. ábrán** látható a hozzátartozó teljes függvény [8].



21. ábra $(Fe)_{össz}$ - függvény, mint 3D-Diagramm, 1700°C-on

$$(A_1 * C_{\text{Próba}} + 1)/(A_2 * C_{\text{Próba}} + A_3) + A_4 * (BAS - A_5) \quad (3.3)$$

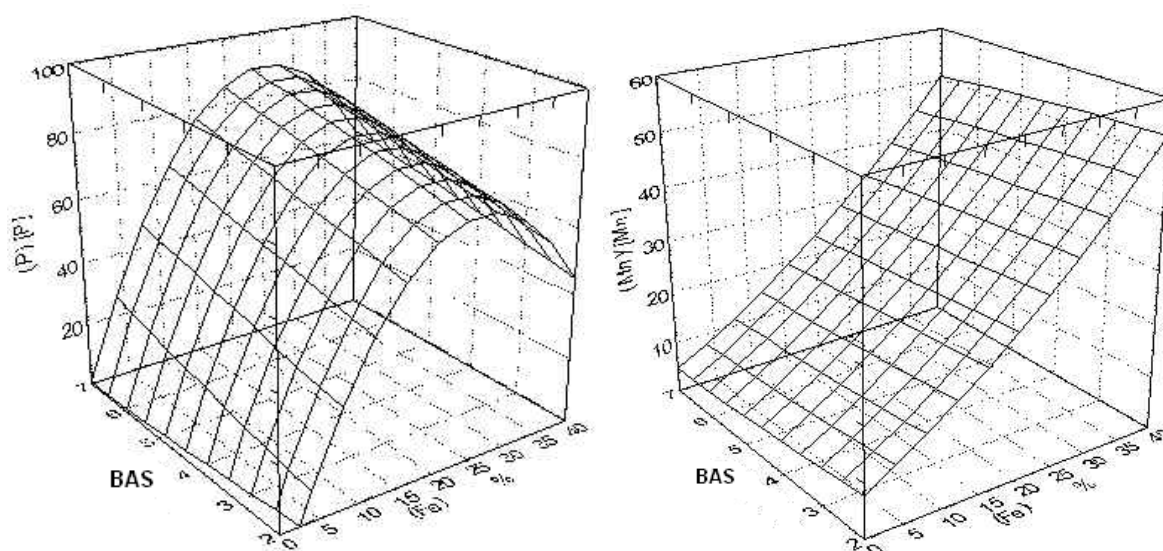
$$n = 4520 \quad r^2 = 0.059$$

2.4.3. Foszformegoszlás (L_P) és mangánmegoszlás (L_{Mn})

A foszfor és a mangán megoszlása, hasonló tulajdonságaik révén azonos polinómok segítségével definiálható. Mindkét egyenlet felírható a következő séma szerint:

$$(P)/[P]_{\text{és}}(Mn)/[Mn] = A_1 * (Fe)_{\text{össz}} + A_2 * (Fe)_{\text{össz}}^2 + A_3 * BAS + A_4 * T_{\text{nya}} + A_0 \quad (3.4)$$

Az egyenlethez tartozó függvények a **22. ábrán** láthatóak.

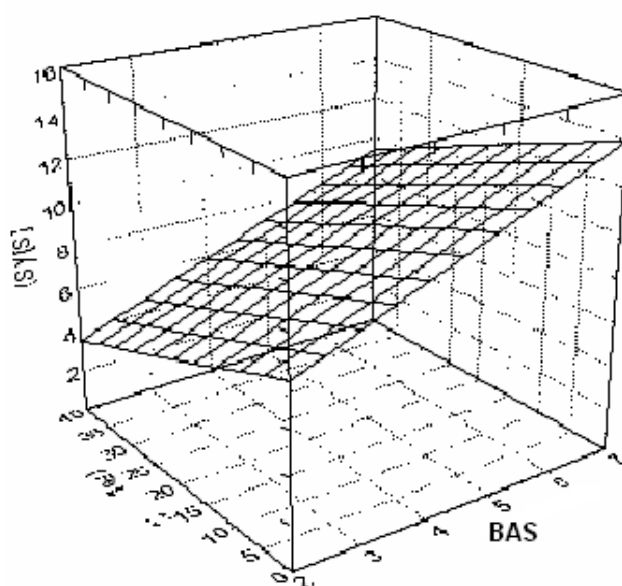


22. ábra L_P és L_{Mn} –függvények 3D-diagrammja, 1700°C –nál

2.4.4. Kénmegoszlás (L_S)

A konverterfolyamat gyenge kéntelenítő hatása miatt a konverterbe már előre kéntelenített nyersvasat adagolnak. A kén megoszlási függvényének matematikai meghatározásánál a bázikusság a fő befolyásoló tényező a **23. ábrának** megfelelően.

$$(S)/[S]_{\text{számított}} = A_1 * BAS - A_2 * (Fe)_{\text{össz}} * A_3 * T_{\text{nya}} - A_0 \quad (3.5)$$

23. ábra L_S - függvény, mint 3D-diagramm 1700°C-nál.

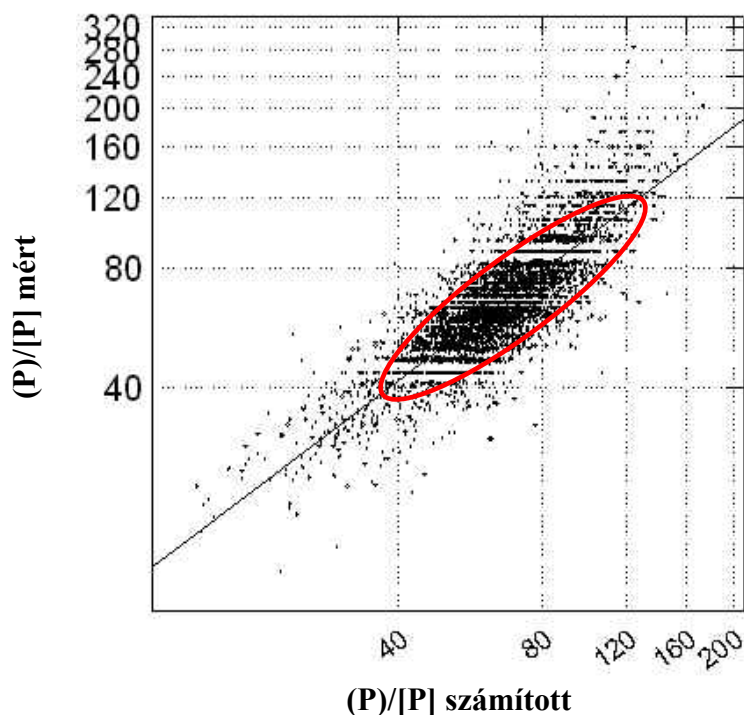
2.4.5. A megoszlási függvények modelljének együtthatói

Az összes meghatározott koefficiens-mátrix a **6. táblázat**ban látható.

6. Táblázat A megoszlási függvények modelljének együtthatói

megoszlás	A_1	A_2	A_3	A_4	A_0	n	r^2
L_P	6,89445	-0,1339	3,4434	-0,7792	1301,31	2615	0,483
L_{Mn}	0,7706	0,009463	-0,6585	-0,0892	160,82	2615	0,612
L_S	1,1816	0,1148	0,00918		-9,8799	2615	0,190

A statisztikailag nyert metallurgiai jellemzők közül az L_P és L_{Mn} számított és mért értékeinek összehasonlítása szinte azonos képet mutat, a kén esetében a kisebb r^2 értéknek megfelelően az eltérés valamivel nagyobb. A **24. ábrán** a $(P)/[P]$ számított és mért értékeinek összehasonlítása látható.



24. ábra A $(P)/[P]$ számított és mért értékeinek összehasonlítása $n=2615$, $r^2=0,48$

A 7. táblázat a mért paraméterek szórását szemlélteti kiemelve az L_p szórását. Ez alapján pontosabb vizsgálatok nélkül is megállapítható, hogy a számított értékek a tág gyakorlati szóráson belül esnek.

7. Táblázat A salakkomponensek tulajdonságai

Ox1/Br (01.01. – 31.12.2003)	kiválasztott adagok				
Statisztika	n	min.	max.	közép	Szórás
T °C	2615	1616	1780	1701,1	21,0
BAS (CaO)/(SiO ₂)	2615	2,00	8,18	4,08	0,71
(Fe) _{össz} %	2615	8,4	37,3	18,4	3,0
(P)/[P]	2615	13,8	283,7	70,2	25,8
(P)/[P] (1700°C)	2615	14,7	206,0	68,9	17,3
(Mn)/[Mn]	2615	11,0	62,5	23,9	5,1
(Mn)/[Mn] (1700°C)	2615	12,2	72,3	23,8	4,5
(S)/[S]	2111	2,4	124,3	8,7	3,4

A nagy gyakorlati szórás teszi szükségessé a közelítő modellek alapján végzett adatellenőrzést, amely alapján a metallurgiai szempontból elfogadható szóráson kívüli értékek automatikusan korrigálhatóak vagy kizárhatóak az értékelésből. Az elfogadható szórás tetszőlegesen változtatható. Jelen esetben a az adatok 95%-ra jellemző érték az elfogadott.

2.4.6. Koncentrációk számítása a fürdőben

A számított fémkoncentrációk $[Me]$ a megoszlási függvények alapján a következő egyenlet szerint alakulnak:

$$[Me]_{\text{számított}} = Me_{\text{betét,kg}} / (M_{\text{salak}} / 100 * ((Me)/[Me]_{\text{számított}})) \quad (3.6)$$

Ugyanígy képezhető az oxidkoncentráció a megoszlási hányadosokon keresztül, azaz

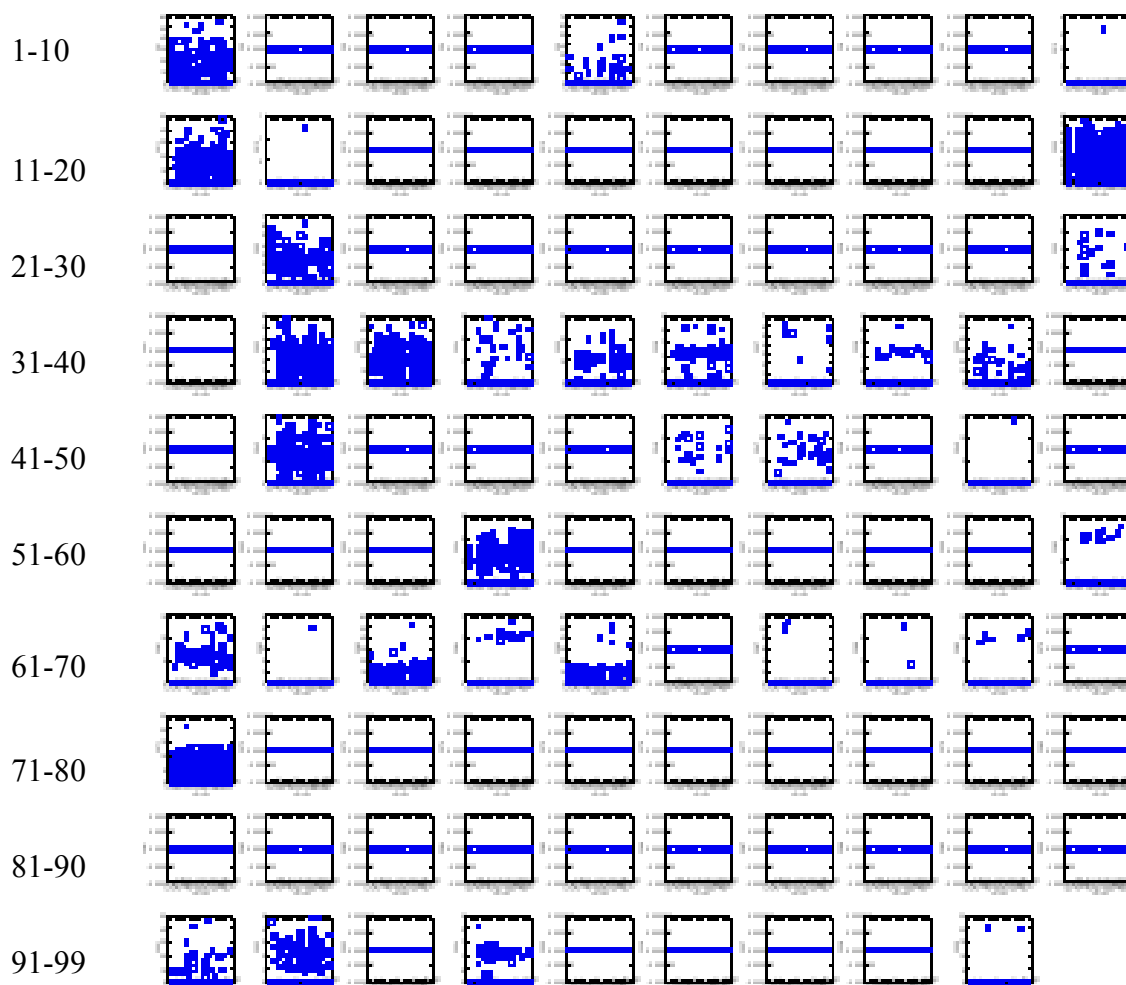
$$(Me_xO_y)_{\text{számított}} = [Me]_{\text{számított}} * ((Me)/[Me]_{\text{számított}}) * g \text{ mol } (Me_xO_y) / x * g \text{ atom } [Me] \quad (3.7)$$

A két utóbbi egyenlet kénre is alkalmazható. Abban az esetben Me_xO_y helyett kén (Me) szulfid kerül behelyettesítésre.

2.5. Az acélhulladék kísérőelem-koncentráció meghatározása

2.5.1. Hulladék-összetétel meghatározása az anyagmérleg teljesülésével

Az egyes hulladékcsoportok összetételének meghatározásához rögzíteni kell a minőség szempontjából releváns hulladékcsoportokat. Mivel az anyagmérlegek felírásával a teljes szilárd fémbetét elemtartalma határozható meg, az egyes hulladékcsoportok mennyisége és a vizsgált elemek koncentrációja közötti összefüggés csak abban az esetben helytálló, ha a beadagolt összes hulladék hatását figyelembe vesszük. Az Ox. 1. acélmű technológiájában megtalálható „99” szelektált acélhulladék-csoport szinte mindegyikét adagolják, de csak 10-15 minőség nevezhető a termelés szempontjából releváns hulladékcsoportnak. A **25. ábra** négyzeteinek „y” tengelye a hulladékcsoportok felhasznált mennyiségét mutatja a gyártott acélminőségek esetében (x). A négyzetek telítettsége szemlélteti a csoportok adagolásának gyakoriságát, (1-99 –ig) soronként haladva.



25. ábra A hulladékfajták alkalmazásának gyakorisága bevonatos lemeztermékek gyártásánál

Az értékelés szempontjából az összes ki nem választott hulladékcsoport összege képezi az anyagmérleg teljesülése szempontjából fontos maradvány – indexben „residue” – változót.

Az anyagmérleg alapján meghatározott teljes adagra vonatkozó hulladékkal bevitt elemtartalom m_X^{SStot} kifejezhető a releváns hulladékcsoportok és a „maradvány” hulladékcsoporthoz tartozó együtthatók kiszámításával.

$$m_X^{SStot} = \sum_{i=1}^n A_i \cdot SS_i + A_{\text{residue}} \cdot SS_{\text{residue}} \quad (4.1)$$

SS_i [kg/t acél] az „i” hulladékcsoport fajlagos mennyisége,

SS_{residue} [kg/t acél] a maradvány hulladékcsoport fajlagos mennyisége,

m_X^{SStot} [kg/t acél] x elem fajlagos mennyisége az összes hulladékban,

A_i és A_{residue} a meghatározott együtthatók.

2.5.2. A legkisebb négyzetek módszerének alkalmazása (LSR)

A legkisebb négyzetek módszerével (Least Square Refinement) felírt mátrix az elméleti modell paramétereit úgy határozza meg, hogy a tényleges és a becsült paraméterekkel illesztett modellek négyzetes eltérése (eltérések négyzetösszege) minimális legyen.

(4.2)

Mátrix $A = SS^{-1} \cdot m$

$$\begin{aligned} A_1 \sum SS_{1,j}^2 + A_2 \sum SS_{1,j} \cdot SS_{2,j} + \dots + A_{\text{residue}} \sum SS_{1,j} \cdot SS_{\text{residue},j} &= \sum SS_{1,j} \cdot m_{X,j}^{SStot} \\ A_1 \sum SS_{2,j} \cdot SS_{2,j}^2 + A_2 \sum SS_{2,j}^2 + \dots + A_{\text{residue}} \sum SS_{2,j} \cdot SS_{\text{residue},j} &= \sum SS_{2,j} \cdot m_{X,j}^{SStot} \\ \vdots & \\ A_1 \sum SS_{\text{residue},j} \cdot SS_{1,j} + A_2 \sum SS_{\text{residue},j} \cdot SS_{2,j} + \dots + A_{\text{residue}} \sum SS_{\text{residue},j}^2 &= \sum SS_{\text{residue},j} \cdot m_{X,j}^{SStot} \end{aligned}$$

Ahol:

A_X = koncentrációra utaló koefficiens

$SS_{i,j}$ = i hulladékcsoporthoz fajlagos tömege j adagban

$m_{X,j}^{SStot}$ = x elem hulladékból származó teljes tömege j adagban

Az egyenlet megoldásával a következő mátrixot kapjuk (4.3).

$A \cdot m = SS$

$$\begin{aligned} A_1 \cdot SS_{1,1} + A_2 \cdot SS_{2,1} + \dots + A_{12} \cdot SS_{12,1} + A_{\text{residue}} \cdot SS_{\text{residue},1} &= m_{X,1}^{SStot} \\ A_1 \cdot SS_{1,2} + A_2 \cdot SS_{2,2} + \dots + A_{12} \cdot SS_{12,2} + A_{\text{residue}} \cdot SS_{\text{residue},2} &= m_{X,2}^{SStot} \\ \vdots & \\ A_1 \cdot SS_{1,n} + A_2 \cdot SS_{2,n} + \dots + A_{12} \cdot SS_{12,n} + A_{\text{residue}} \cdot SS_{\text{residue},n} &= m_{X,n}^{SStot} \end{aligned} \quad (4.3)$$

2.5.3. Az egyenletrendszer megoldása

Az elméleti algoritmus eseti alkalmazása, a számítások kivitelezése, a szinte mindenhol általános matematikai, táblázatkezelő szoftverek segítségével is megoldható, de az ilyen megoldás, nem teszi „önjáró” alkalmazássá az algoritmust, viszont lehetőséget ad az ellenőrzésre, fejlesztésre. Az LSR egyenletek szoftverbe integrálható matematikai megoldására a Simplex eljárást alkalmaztam. Ez a numerikus módszer lineáris egyenletrendszerek megoldására az úgynevezett csúszóváltozók megadásával alkalmas. Az így előálló lineáris egyenletrendszer „m” egyenletet, mint segédfeltételt, „n” szerkezeti

változót és „m” csúszóváltozót tartalmaz. Az eljárás az optimális megoldásra koncentrálódik, amelyet úgy kaphatunk meg, ha n-változót 0-val egyenlővé tesszük, majd a maradék egyenletrendszer „m” egyenlettel és „m” ismeretlennel oldjuk meg. Ez a megoldási módszer nem jelent mást, mint hogy a módszer az optimális megoldás megtalálására a megengedett intervallumon belül a sarokpontba szorítja magát. A megoldás keresése közben az eljárás koordinátaugrást alkalmaz, ami azt jelenti, hogy minden szerkezeti változót nullává tesz, ezáltal az alapot alkotó csúszóváltozók értékei azonnal beállnak.

2.5.4. A hulladélcsoportok elemtartalmának kifejezése a számított együtthatókból

„ A_i ”, dimenzió nélküli szám (kg/t) / (kg/t), tömegtörttel, „ χ ” kifejezhető a vizsgált elemtartalom az adott független változóban (hulladékcsoportban).

$$A_i = \frac{m_{X_i}^{SS_i}}{SS_i} = \chi_{SS_i}^X \Rightarrow \frac{\%Me_i}{100} \quad (4.4)$$

$$\%Me_i = A_i \cdot 100$$

3. Az acélhulladék összetétel-meghatározás alkalmazása

Az acélhulladék-csoportok minőségének ellenőrzése más módon nem teszi lehetővé, hogy összehasonlító vizsgálatot végezzünk – az 1.7.8. fejezetben foglaltakat figyelembe véve –, így a statisztikai korrelációt jelző mérőszámok és jellemző összetételbeli tulajdonságok alapján értékelem az eredményeket.

A jelenlegi üzemi betétösszeállítási előírás analitikai átlagértékeket tartalmaz, amelyeket részben korábbi beolvasztásos kísérletek eredményeivel korrigáltak. Ezeket, a készítésük óta eltelt idő és technológiai változások figyelembe vételével lehet csak összehasonlítani a következőkben számított eredményekkel. A megbízhatóság értékelésének objektív módja a számított koncentrációk visszahelyettesítése az anyagmérlegbe.

$$\begin{aligned}
 A_1 \cdot SS_{1,1} + A_2 \cdot SS_{2,1} + \dots + A_{12} \cdot SS_{12,1} + A_{\text{residue}} \cdot SS_{\text{residue},1} &= m_{X,1}^{\text{SStot}} \\
 A_1 \cdot SS_{1,2} + A_2 \cdot SS_{2,2} + \dots + A_{12} \cdot SS_{12,2} + A_{\text{residue}} \cdot SS_{\text{residue},2} &= m_{X,2}^{\text{SStot}} \\
 \vdots & \\
 A_1 \cdot SS_{1,n} + A_2 \cdot SS_{2,n} + \dots + A_{12} \cdot SS_{12,n} + A_{\text{residue}} \cdot SS_{\text{residue},n} &= m_{X,n}^{\text{SStot}}
 \end{aligned} \quad (5.1)$$

A „x” elem hulladékból származó teljes számított tömege és a mért tömeg közötti mérlegeltérések mértéke jellemzi a megbízhatóságot.

Ha m_{xj}^{sstot} (számított) = m_{xj}^{sstot} (mért), akkor a mérlegek eltérése = 0

A tesztelési szakaszban a teljes 2003-as termelési év kiválasztott csoportján végeztem el a számításokat, melynek célja az algoritmus eredményeinek ellenőrzése és az elemek kimutathatóságának vizsgálata volt. A kiértékelést Cu, Sn, Cr, Mn, S, P tartalomra végeztem. A számításokat a mérlegeltérés (standard error of estimation), a korrelációs együttható r^2 és az esetszám (n) jellemzi.

3.1. A réztartalom meghatározása (Cu)

Réz anyagmérleg, az acélhulladékkal bevitt összes réz mennyiségének meghatározására.

$$C_{Cu,hull} = C_{Cu,acél} - \frac{m_{vas}}{m_{acél}} \cdot C_{Cu,vas} \quad (5.2)$$

Ahol: $C_{Cu,acél}$: a nyersacél összes réztartalma, kg Cu / t acél

$C_{Cu,vas}$: a nyersvas összes réztartalma, kg Cu / t nyersvas

$C_{Cu,hull}$: az összes hulladékkal beadagolt fajlagos réztartalom, kg Cu / t acél,

m_{vas} : a nyersvas tömege

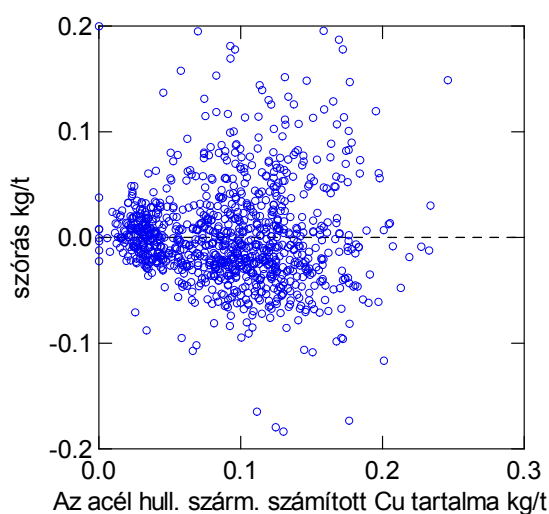
$m_{acél}$: az acél tömege

Az LSM mátrix megoldásával az egyes független változókhoz tartozó koefficiens „ A_i ”, amelyből a (4.4) egyenlet alapján a keresett elem koncentrációja a sztenderd hiba feltüntetésével:

$$n=2603, \quad r^2=0,78$$

Koef.	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A res.
kg/t	0,009	0,011	0,019	0,013	0,031	0,119	0,165	-0,024	0,057	0,051	0,038	0,005	0,135
Std. hiba	0,08	0,008	0,002	0,006	0,004	0,004	0,005	0,006	0,008	0,011	0,010	0,008	0,853

A mérleg szórása a Cu- koncentráció esetében.



26. ábra Az acél hulladékból származó számított Cu tartalom értékének eltérése a mért értékektől

3.2. A hulladék óntartalma (Sn)

A hulladékkal bevitt összes óntartalom esetében a réztől eltérően már a jelentős kiporzás miatt figyelembe vettem a porvesztéseket különböző porfrakciók átlagos összetételének vizsgálatával és elegyszámítás segítségével:

$$\Delta C_{Sn,hull} = C_{Sn,acél} - \frac{m_{vas}}{m_{acél}} \cdot C_{Sn,vas} + C_{Sn,por} \quad (5.3)$$

Ahol: $C_{Sn,acél}$: a nyersacél összes óntartalma, kg Sn / t acél

$C_{Sn,vas}$: a nyersvas összes óntartalma, kg Sn / t vas

$\Delta C_{Sn,hull}$: az összes hulladékkal beadagolt fajlagos óntartalom, kg / t acél

m_{vas} : a nyersvas tömege

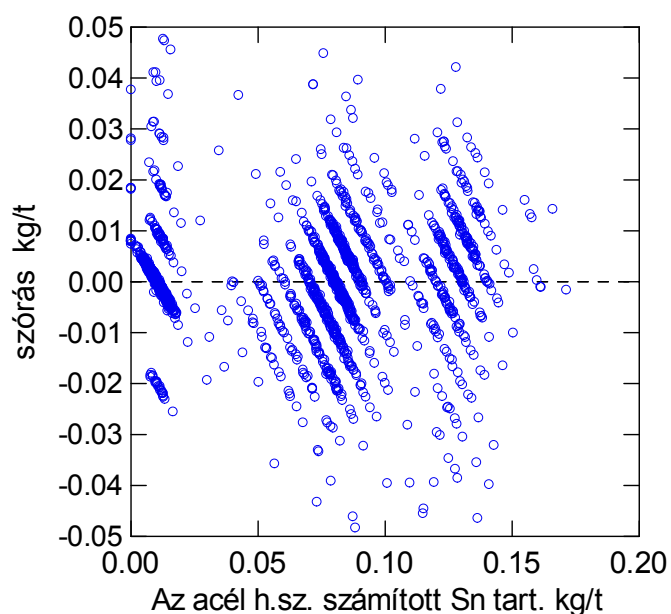
$m_{acél}$: az acél tömege

$C_{Sn,por}$: a filterpor összes óntartalma, kg Sn / t acél

A kiértéklés további menete megegyezik a Cu esetében vázoltakkal. $n=2444$, $r^2 = 0,98$

Koef.	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A res.
kg/t	0,006	0,004	0,006	0,008	0,008	0,008	0,227	0,0042	0,004	0,006	0,014	0,008	0,009
Std. hiba	0,001	0,001	0,0003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001

A mérleg szórása a Sn- koncentráció esetében.



27. ábra Az acél hulladékból származó számított Sn tartalom értékének eltérése a mért értékektől

3.3. A krómtartalom meghatározása (Cr)

$$C_{Cr,hull} = C_{Cr,acél} + C_{Cr,salak} + C_{Cr,por} \cdot \frac{m_{vas}}{m_{acél}} * C_{Cr,vas} \quad (5.4)$$

Ahol: $C_{Cr,acél}$: a nyersacél összes Cr tartalma, kg Cr / t nya

$C_{Cr,vas}$: a nyersvas összes Cr tartalma, kg CR / t nyv

$C_{Cr,hull}$: az összes hulladékkal beadagolt fajlagos krómtartalom, kg Cr / t nya,

$C_{Cr,por}$: a filterpor összes krómtartalma, kg Cr /t nya

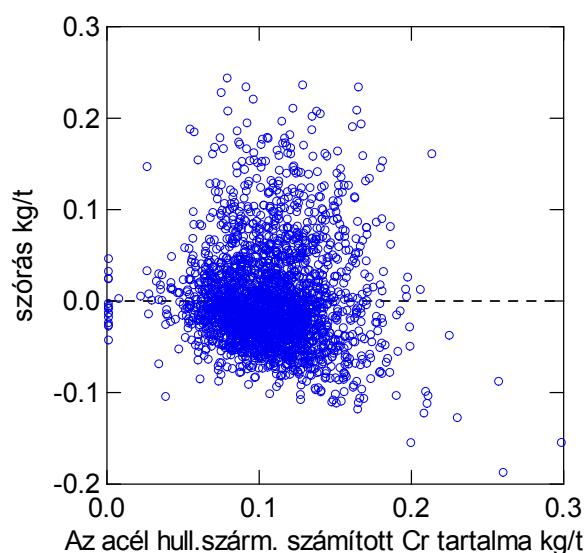
m_{vas} : a nyersvas tömege

$m_{acél}$: az acél tömege .

$n=2447$, $r^2 = 0,80$

Koef.	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A res.
kg/t	0,053	0,063	0,053	0,048	0,087	0,082	0,063	0,0002	0,0062	0,097	0,078	0,036	0,141
Std. hiba	0,009	0,008	0,002	0,006	0,005	0,004	0,005	0,007	0,009	0,011	0,011	0,010	0,006

A mérleg szórása a Cr- koncentráció esetében



28. ábra Az acél hulladékból származó számított Cr tartalom értékének eltérése a mért értékektől

3.4. A hulladék kén-, mangán-, és foszfor tartalma (S, Mn, P)

Az acélhulladék kén-, mangán-, és foszfor tartalmának meghatározását a krómmal azonos elven végeztem el. A feladat megoldásának pontossága szempontjából fontos, hogy ezekben az esetekben éves periódust felölelő adatbázisok kiértékelése esetén nincs szükség a megoszlási hányados alapján végzett számításokra, a kén tartalmat minden be és kimenő oldali anyagban analizálják és bekerül az adatbázisba. Az adathiány kevesebb mint 5%.

A kén anyagmérleg felírásánál figyelembe kell venni a salakképző mészke és dolomit kén tartalmát is ($C_{S, \text{salakképző}}$). A szükséges adatokat a beszállító bocsátotta a rendelkezésemre:

$$C_{S, \text{hull}} = C_{S, \text{acél}} + C_{S, \text{salak}} + C_{S, \text{por}} - C_{S, \text{salakképzők}} + C_{S, \text{vas}} \quad (5.5)$$

Ahol: $C_{S, \text{acél}}$: a nyersacél összes kén tartalma, kg / t nya

$C_{S, \text{vas}}$: a nyersvas fajlagos kén tartalma, kg / t nya

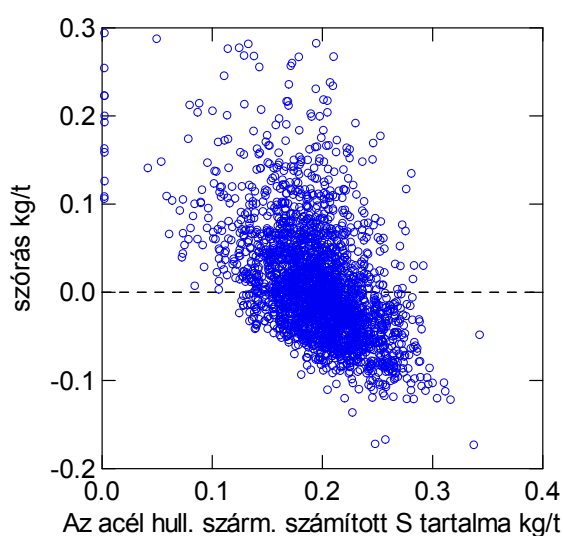
$C_{S, \text{hull}}$: az összes hulladékkal beadagolt fajlagos kén tartalom, kg / t nya,

$C_{S, \text{por}}$: a filterpor összes kén tartalma, kg / t nya

$n=2512$, $r^2 = 0,800$

Hull.	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A res.
kg/t	0,0193	0,0238	0,0255	0,0166	0,0281	0,0567	0,0393	0,0563	0,0463	0,029	0,0397	0,0297	0,0374
Std. hiba	0.0049	0.0046	0.0013	0.0036	0.0028	0.0024	0.0030	0.0040	0.0048	0.0065	0.0061	0.0053	0.0033

A mérleg szórása a S- koncentráció esetében



29. ábra Az acél hulladékból származó S tartalmának számított értéke a mért értékekhez viszonyítva

A mangán esetében a hozaganyagok mangántartalma elhanyagolható.

A mangán anyagmérleg:

$$C_{Mn, hull} = C_{Mn, acél} + C_{Mn, salak} + C_{Mn, por} - C_{Mn, vas} \quad (5.6)$$

Ahol: $C_{Mn, acél}$: a nyersacél Mn tartalma, kg / t nya

$C_{Mn, vas}$: a nyersvas Mn tartalma, kg / t nya

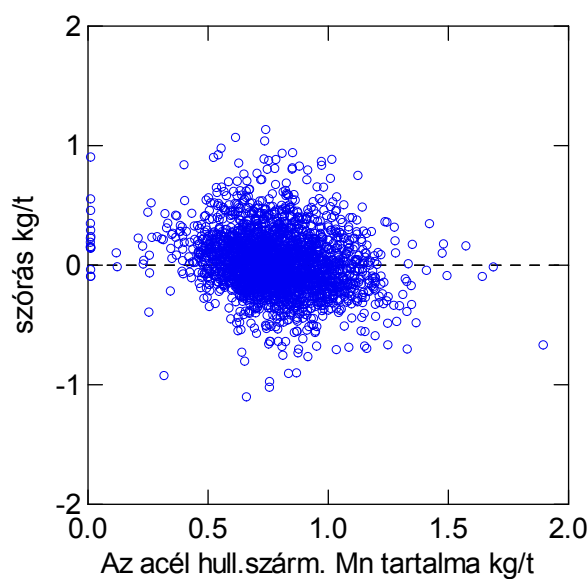
$C_{Mn, hull}$: az összes hulladékkal beadagolt fajlagos Mn tartalom, kg / t nya

$C_{Mn, por}$: a filterpor Mn tartalma, kg / t nya

$$n=2513, r^2 = 0,91$$

Hull.	A1	A2	A3	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A rest
kg/t	0,634	1,018	0,69	0,614	0,715	0,802	0,406	0,29	0,515	0,865	0,923	0,651	0,708
Std. hiba	0,043	0,040	0,011	0,031	0,024	0,021	0,026	0,035	0,042	0,057	0,053	0,047	0,029

A mérleg szórása a Mn- koncentráció esetében



30. ábra Az acél hulladékból származó számított Mn tartalom értékének eltérése a mért értékektől

A foszfor mérleg:

$$C_{P,hull} = C_{P,acél} + C_{P,salák} + C_{P,por} - C_{P,vas} \quad (5.7)$$

Ahol: $C_{P,acél}$: a nyersacél (P) tartalma, kg / t nya

$C_{P,vas}$: a nyersvas fajlagos (P) tartalma, kg / t nya

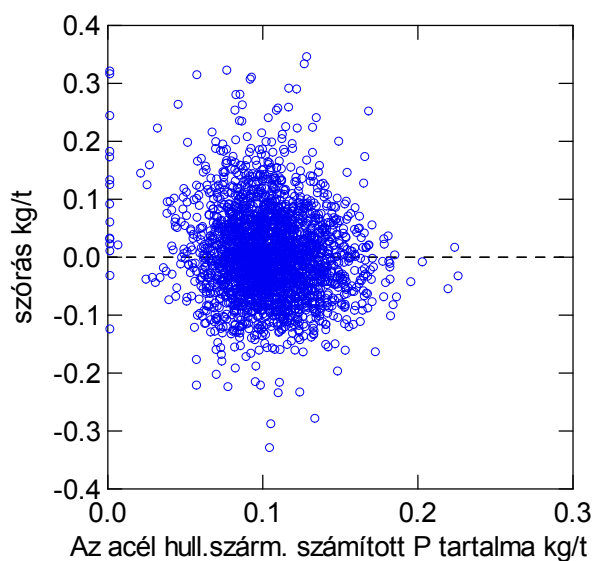
$C_{P,hull}$: az összes hulladékkal beadagolt fajlagos (P)tartalom, kg / t nya,

$C_{P,por}$: a filterpor (P) tartalma, kg / t nya

$n=2342$, $r^2 = 0,74$

Koef	A1	A2	A3	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A rest
kg/t	0,00634	0,01018	0,0069	0,00614	0,00715	0,00802	0,00406	0,0029	0,00515	0,00865	0,00923	0,00651	0,00708
Std. Hiba	0.043	0.040	0.011	0.031	0.024	0.021	0.026	0.035	0.042	0.057	0.053	0.047	0.029

A mérleg szórása a P koncentráció esetében:



31. ábra Az acél hulladékból származó P tartalmának számított értéke a mért értékekhez viszonyítva

3.5. A számított eredmények értékelése

A rézkoncentráció esetében az egyes független változók szórása elhanyagolhatóan kicsi 0,002-0,011 között változik. A teljes mérlegeltérés 55g/t. A maradványok szórása egyenletes eloszlást mutat.

Az ónkoncentráció esetében szinte jelentéktelen mérlegeltérésekről beszélhetünk (9 g/t). Amely az óntartalmú acélhulladék jól elkülöníthető, a többi minőségtől szeparált nagy ónkoncentrációja által okozott erős regresszióra vezethető vissza. Az elemek ilyen eloszlása nagyban növeli a matematikai módszer megbízhatóságát.

A króm esetében a hiányos elemzések következtében komplex anyagmérleggel számoltam. Az egyenletek összefüggései miatt ennek érzékenysége nagy. A szórás mértéke szinte alig haladja meg a $\pm 0,1$ kg/t értéket, amely megfelel az elvárásoknak. Az 55g/t-ás mérlegeltérés és a pontok egyenletes szórása igazolja a számítás helytállóságát.

A kén esetében a mérlegszórás mértéke max $\pm 0,3$ kg/t egy pozitív irányú eltolódással. Ennek oka nem tisztázott de feltehetően az adag kiválasztási kritériumokban keresendő. Az eredmény a kén metallurgiai szerepének ismeretében elfogadható, bár magasabb a mért értékeknél.

A mangán esetében a mérlegeltérés 0,27kg/t. A nagyobb eltérés egyértelmű oka a Mn magas és egyenletes koncentrációja az összes hulladékcsoportban. Az eredmény a mangán metallurgiai szerepének ismeretében kielégítőnek mondható.

A foszfor esetében a szórás mértéke 76g/t. Figyelembe véve a P egyenletes megoszlását és mérlegérzékenységét az érték átlagosnak tekinthető, a P megoszlására jellemző.

Az összes változór jellemző paramétert a **8. táblázat** tartalmazza:

8. Táblázat Az elemkoncentráció kiértékelésre jellemző értékek

elem	Cu	Sn	Cr	S	Mn	P
n	2603	2440	2447	2512	2500	2493
r ²	0,78	0,98	0,8	0,9	0,94	0,66
SEE	0,055	0,00923	0,055	0,064	0,275	0,076

Az 2003-as adatbázis alapján nyert és statisztikailag alátámasztott eredmények összevetése más mérési eredményekkel, a rendelkezésre álló egyéb eredmények kora és a

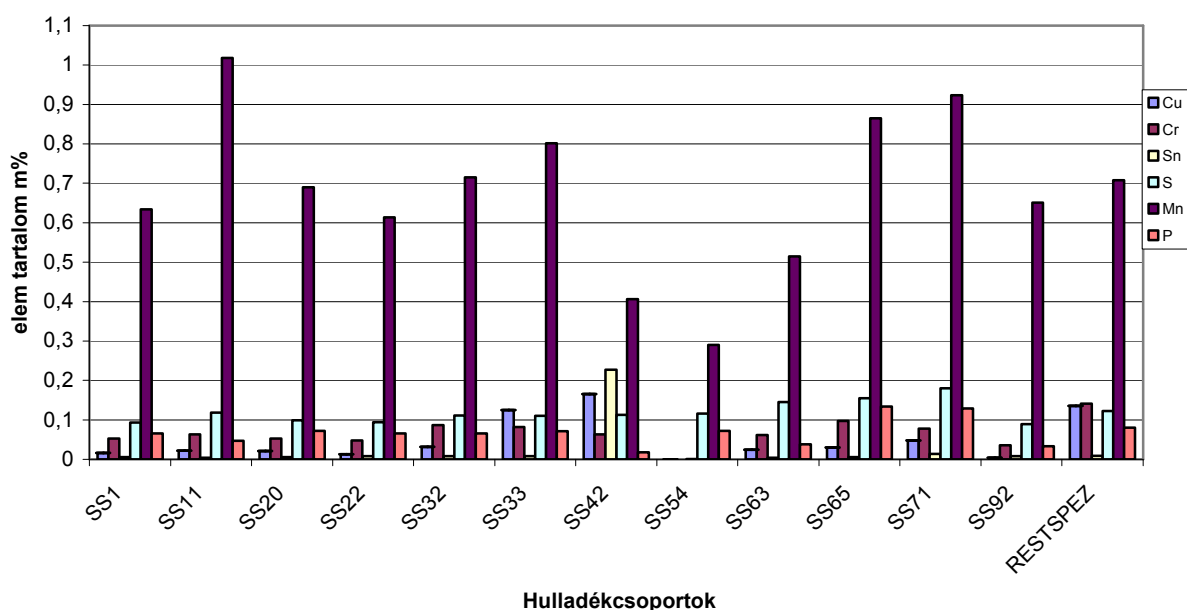
hulladékösszetétel – már korábban tárgyalt – változásai miatt nehezen kivitelezhető feladat. Az üzemi előírás szinte semmilyen információt nem hordoz az elemek nagy részéről. Az egyetlen közel megbízható referencia a bevonatos hulladékok Sn tartalmáról készült üzemi kísérletsorozat átlageredménye, amely több mint 10 éves adatokra támaszkodik.

A kiértékeléséhez nyújt segítséget az egyes jelölésekhez tartozó hulladékcsoportok ismerete. A **9. táblázat** alapján a kódszámok visszavezethetők a hulladékcsoportokra. .

9. táblázat A hulladékcsoportok jelölése

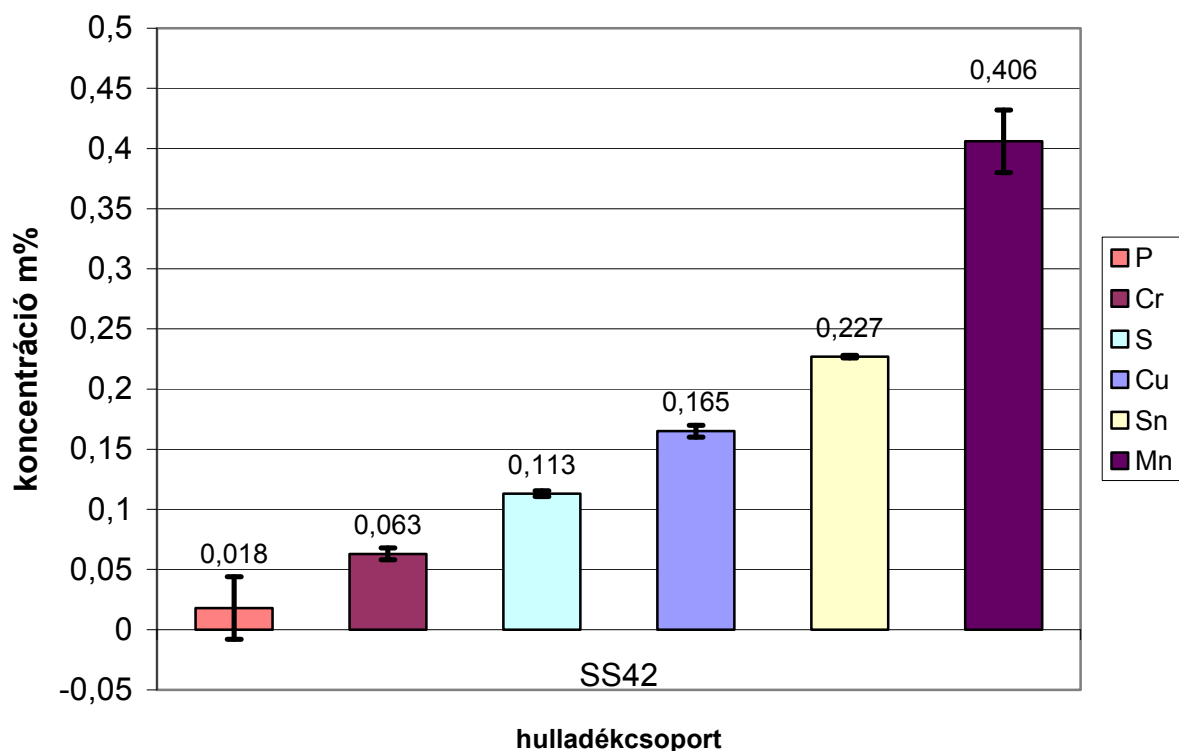
SS1	bugavég
SS11	sin
SS20	hengerlési hulladék
SS22	lemez
SS32	nehéz hulladék E3
SS33	régi hulladék, konstrukció
SS42	konzerv-Bála
SS54	nyersvas hulladék
SS63	LD-medve
SS65	salak vas
SS71	magas Si tartalmú trafo
SS92	lemez új

A megnevezések alapján látható, hogy a 32, 33, 42 –es csoportok vásárolt amortizációs hulladék, míg a többi releváns csoport termelési vagy feldolgozó. A **32. ábráról** a hulladékcsoportok 2003-as évre számított átlagos koncentrációi olvashatóak le –az áttekinthetőség kedvéért – a szórás feltüntetése nélkül.



32. ábra Kísérőelemek koncentrációja az összes vizsgált acélhulladék csoportokban

A diagramm eredményeit részletezve kitűnik a bevonatos hulladékcsoport ónkonzentrációja. A **33. ábrán** a 42. hulladékcsoport vizsgált elemkoncentrációja látható a szórás feltüntetésével.

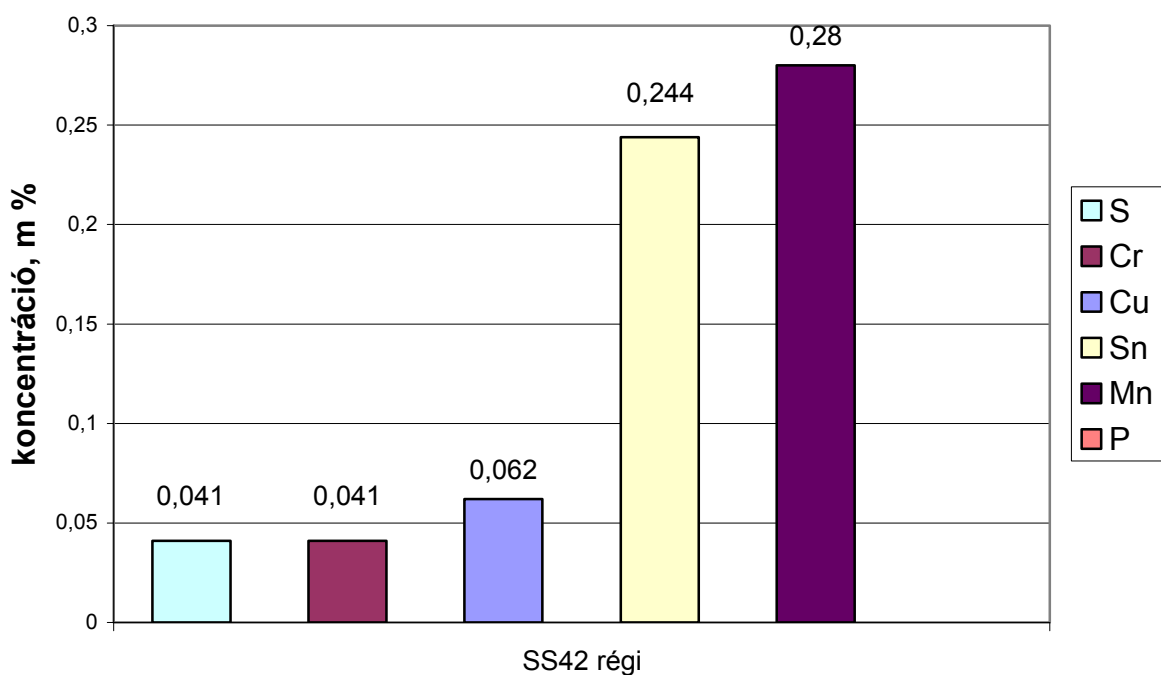


33. ábra Kísérőelemek koncentrációja a 42. sz. hulladékban

Összehasonlítási alap az üzemi technológia kialakításához korábban használt összetételi táblázat, amelynek részben beolvasztásos vizsgálatok szolgáltak alapjául.

A felhasznált acélhulladékok szennyezettségével kapcsolatban a következő megállapítások tehetők. A meghatározott összetételek a visszatérő hulladékcsoportok összetételével összehasonlítva jó eredményt mutatnak. Korábban legtöbbször hulladékbeolvasztásos vizsgálatokra alapozva határozták meg a várható összetételeket, a legutóbbi ilyen kísérletsorozat eredménye, ami rendelkezésemre áll, megközelítőleg 15 éves, összevetésre alkalmas de a hulladék begyűjtési rendszer és a gyártási paraméterek változása miatt csak hozzávetőleges pontossággal. A pontosság meghatározásának érdekében tehát, egy megbízható forrást kellett találnom az összehasonlításra. Az egyik ilyen támpont pl: a szelektíven begyűjtött konzerv bála hulladék (SS42) óntartloma, amely esetében nyomonkövethető a gyártás során felhasznált ón mennyisége és a rövid életciklus miatt nagy

biztonsággal ellenőrizhető. 1993 előtt viszont a begyűjtési rendszer külön nem terjedt ki az élelmiszeripari bevonatolt lemezekre, így ezek őntartalmát a szemétegető szeparátor hulladék értékelése mutatta ki. A következő diagrammok (**33.** és **34. ábra.**) a 15 évvel ezelőtti szeparátor hulladék és a mai „SS42” azaz a szelektíven gyűjtött élelmiszeripari csomagolóanyag csoport összetételét mutatják.

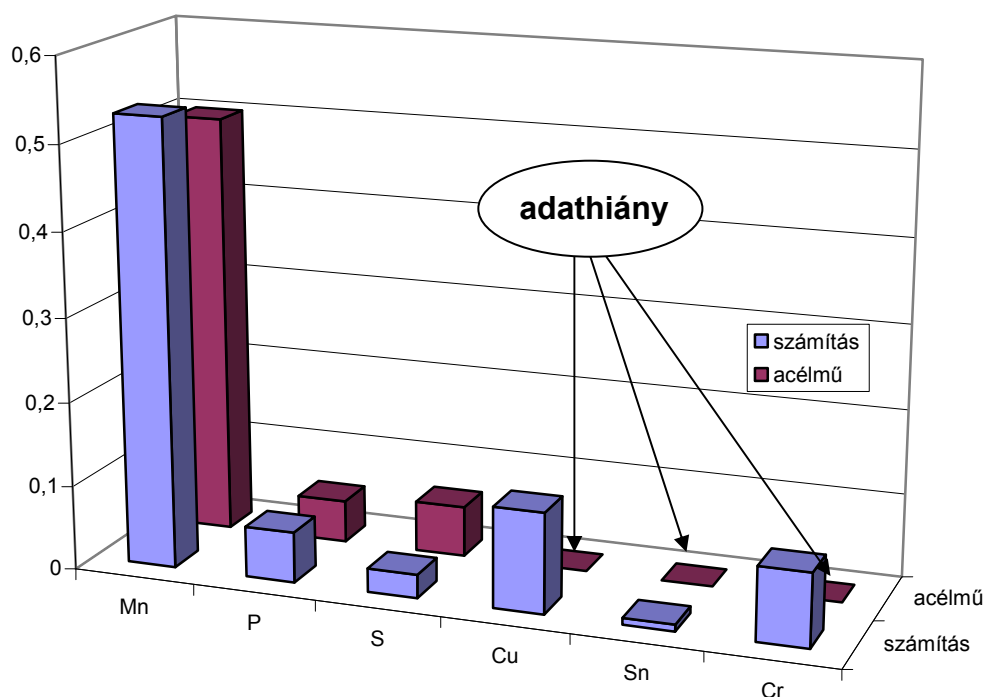


34. ábra Kísérőelemek koncentrációja a szeparátor hulladékban 1990

Az eredmények alapján nyomonkövethető az élelmiszeripari bevonatos lemezek gyártástechnológiai fejlődését jellemző változás. A konzerv ill. üdítődobozok lemezzvastagsága jelenleg átlagosan 30%-al kevesebb, mint pl. a 70-es években. A 0,5 mm vastagság körüli hengerléshez napjainkban a repedékenység megakadályozása céljából magasabb Mn tartalmú acélt alkalmaznak, ahogyan ezt az eredmény is mutatja.

Másik tendencia is bizonyításra talál, mégpedig a réz dúsulása, amely közel háromszoros értéket mutat, miközben a Sn esetében szinte teljes az azonosság a korábbi próbákkal. Az Sn koncentráció minimális eltérése azonban nem a bevonat összetételének változásáról, hanem a hordozó acéllemezhez viszonyított tömegének arányváltozásáról tanúskodik.

A **35. ábrán** a 33 kódjelű (EU3) csoport 2003-as adatok alapján készített éves középértéket vetettem össze a jelenlegi betétmodell bázis adataival. Jól látszik, hogy a problémát jelentő elemekről az üzemi modell nem szolgáltat semmilyen információt.



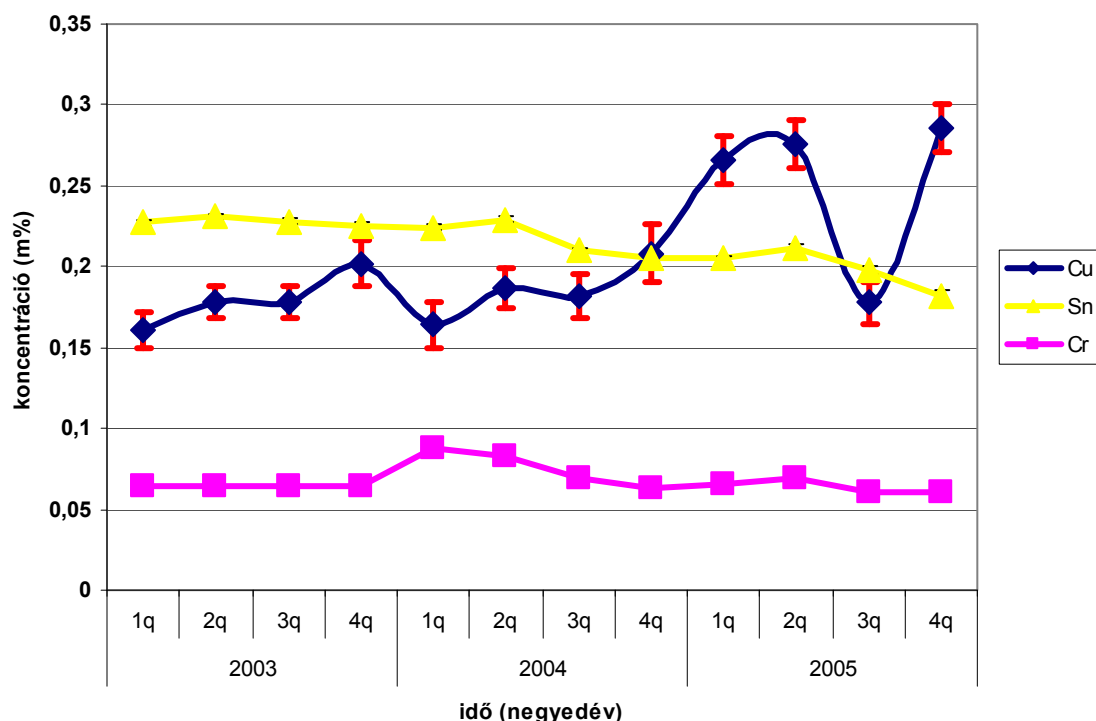
35. ábra Vegyes nehéz hulladék összetétele, számított és acélműi adatok összevetése

Az elvégzett számítások alapján kijelenthető, hogy a hagyományos üzemi adatbázisok feldolgozásával a hosszadalmas és ráfordítás-igényes kísérletezéssel meghatározott elemkoncentrációkkal egyező eredményeket lehet elérni alkalomszerű statisztikai vizsgálatokkal. Továbbá az üzemi modell eddig a változó Cu, Sn, Cr, tartalom miatt nem rendelkezett ezekre vonatkozó értékekkel, a betétösszeállításnál a hulladékellenőrök megfigyeléseire alapozva változtatták az egyébként is csekély részarányt..

A kiértékelési módszer fejlesztése közben nyert tapasztalatok alapján végeztem el a kiértékelési intervallum csökkentését a 3 éves vizsgálati időszakra vonatkozóan a problémás elemekre szűkítve.

3.6. Elemek koncentrációjának alakulása 2003-2005-ig

Az adatbázisok további feldolgozásánál a 2003-tól 2005-ig terjedő időszak összetételeinek kidolgozására összpontosítottam. A pontos értékek alapján történő betét-összeállításhoz meg kell vizsgálni, hogy kisebb szabadsági fok (adagszám) esetén is megbízhatóan követhető-e a koncentrációváltozás. Analitikai összehasonlításra nincs lehetőség, ezért a korábban kifejtett módon következtettem az eredmények megbízhatóságára. A minimális esetszám kiválasztásához csökkenő adatmennyiséggel végeztem számításokat. Megállapítottam, hogy az adatmátrix a nagy varianciájú elemek (Cu, Sn, Cr) esetén $n > 100$ adag alapján végzett számításnál a mérleg szórása még nem mutat jelentős eltérést (max. 10%) az éves átlagoknál tapasztalhatóhoz képest. Az adatmátrix és a vizsgált időintervallum szűkítését tűzve ki célul, a negyedéves átlagokat jelenítettem meg, amely így „~400” adagos folytatólagos adatmátrixokat jelent. Bár az eredményeim 12 releváns acélhulladék csoportra készültek, a gyártás szempontjából érdekes minőségekkel foglalkozom (33. és a 42.). A **36.ábra** részletesen mutatja a 42. csoport összetételének alakulását az idő függvényében. A pontok összekötése csak a szemléltetést szolgálja.



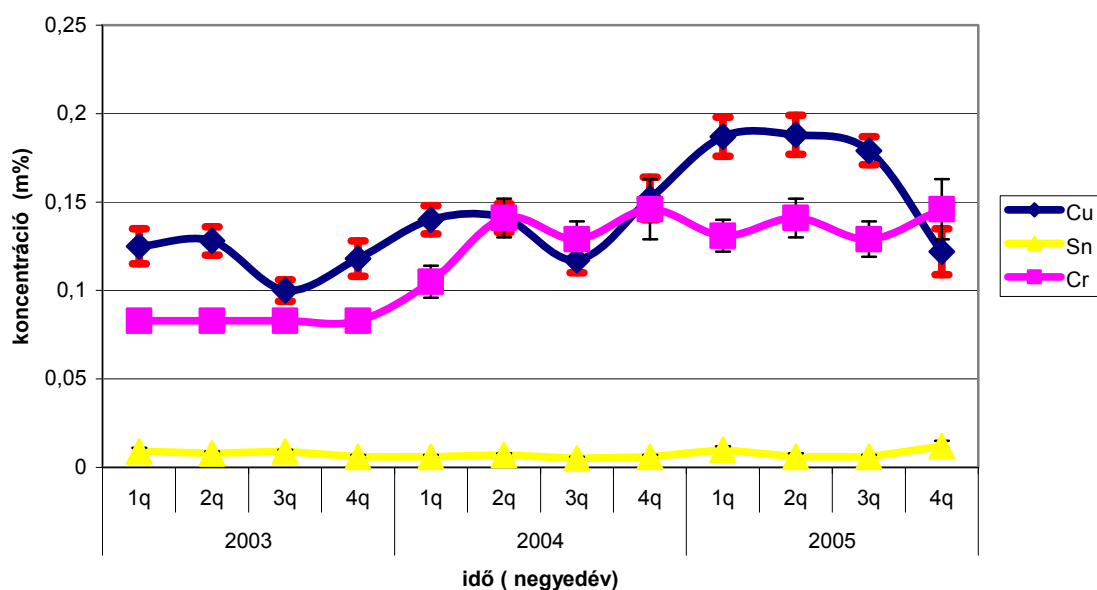
36. ábra bálázott hulladék (42) Cu, Sn és Cr tartalmának alakulása az idő függvényében

Ha megfigyeljük az ábrát, látható, hogy jelentős ingadozás csak a réz koncentráció esetében volt. 2004 második felétől jelentősen emelkedett a réztartalom és csekély mértékben, de csökkent az ónkoncentráció. Mivel ez a hulladékcsoport előírás szerint szinte kizárólag bevonatos termékeket tartalmazhat az ónkoncentráció csökkenése, bizonyíték lehet az idegen hulladék jelenlétére.

Az acélműi megfigyelések szerint, az amortizációs hulladékok minősége jelentősen romlott 2005-ben. A beszállítók számára a hulladékarak hirtelen és nagymértékű változása bizonytalan piaci körülményeket is jelent, amely alapja lehet az antropogén hatások felerősödésének.

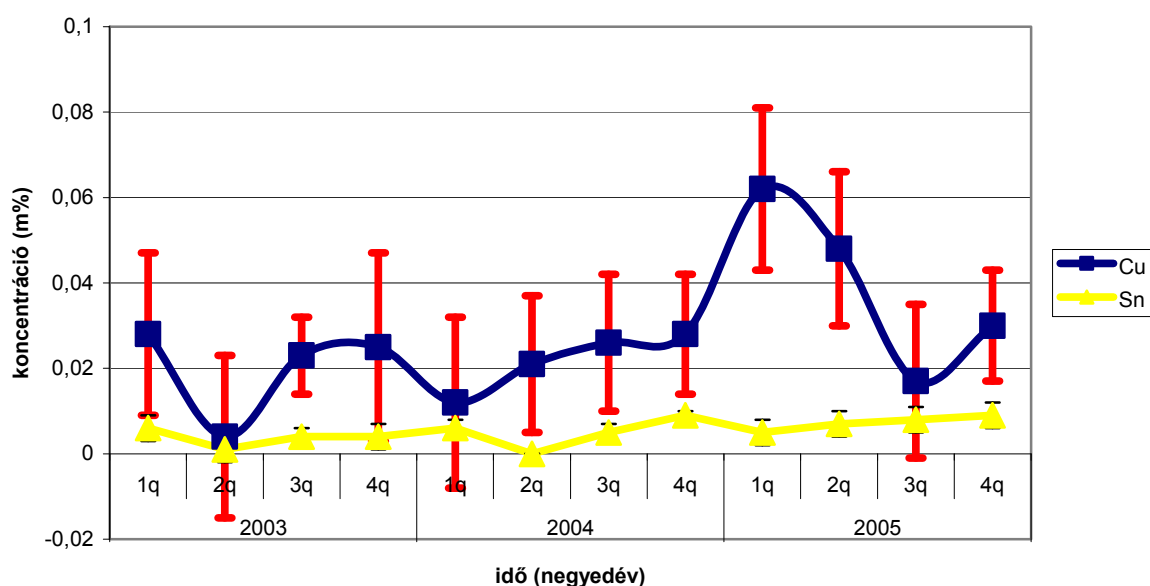
Az „E 3” itt „33” kódjelű nehéz vegyes hulladék összetétele hasonló változást mutatott. Megfigyelhető, hogy a réz mellett a króm koncentráció is növekedésnek indult.

37.ábra.



37. ábra 33 kódjelű hulladék Cu, Cr és Sn tartalmának alakulása az idő függvényében

Egyéb hulladékcsoportok (termelési hulladékok) esetében a variációk száma kicsi, az elemek megoszlása (variancia) egyenletes, a koncentráció alacsony. A **38.ábra** a szennyezetlen, saját hulladék koncentrációjának alakulását szemlélteti, ahol a módszer regressziós tulajdonságainak köszönhetően jól megfigyelhető az alacsony koncentrációjú elemek nagy szórása. A 2005 első negyedévet jellemző növekedés itt természetesen nem reprezentatív, szintén a regressziós tulajdonságok hatása. Az eredmény elhanyagolható.



38. ábra A 11 kódjelű termelési (sin) hulladék Cu és Sn koncentrációjának alakulása az idő függvényében. Az egyenletes eloszlású elemek esetében, mint Pl: Mn, P, S, a fenn meg lehetőségen bizonytalan az adatredukció eredménye. Mivel ezek az elemek nem dúsulnak, éves átlagok alapján lehetséges a pontos meghatározásuk. A 10-22. Táblázat a negyedéves intervallumok részletes eredményeit tartalmazzák. Az adathiány miatt nem értékelhető pontokat „0”, a nem vizsgáltakat „-” jelöli.

10. Táblázat 1-es acélhulladék Cu, Sn, Cr koncentrációjának alakulása

SS1	2003				2004				2005			
Elem, m%	1q	2q	3q	4q	1q	2q	3q	4q	1q	2q	3q	4q
Cu	0,011	0	0,004	0,036	0	0,007	0	0,069	0	0	0	0
std.err.	0,015	0	0,016	0,027	0	0,017	0	0,017	0	0	0	0
Sn	0,008	0,005	0,006	0	0,002	0,003	0,002	0,007	0	0	0	0
std.err.	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004	0,003	0,002	0,002	0	0	0	0
Cr	-	-	-	-	0,014	0,013	0	0,063	0	0	-	-
std.err.	-	-	-	-	0,044	0,024	0	0,035	0	0	-	-

11. Táblázat 11-es acélhulladék Cu, Sn, Cr koncentrációjának alakulása

SS11	2003				2004				2005			
Elem, m%	1q	2q	3q	4q	1q	2q	3q	4q	1q	2q	3q	4q
Cu	0,028	0,004	0,023	0,025	0,012	0,021	0,026	0,028	0,062	0,048	0,017	0,03
std.err.	0,019	0,019	0,009	0,022	0,02	0,016	0,016	0,014	0,019	0,018	0,018	0,013
Sn	0,006	0,001	0,004	0,004	0,006	0	0,005	0,009	0,005	0,007	0,008	0,009
std.err.	0,003	0,003	0,002	0,003	0,002	0	0,002	0,001	0,003	0,003	0,003	0,003
Cr	-	-	-	-	0,05	0,077	0,034	0,032	0,088	0,055	-	-
std.err.	-	-	-	-	0,02	0,022	0,022	0,022	0,079	0,081	-	-

12. Táblázat 20-as acélhulladék Cu, Sn, Cr koncentrációjának alakulása

SS20	2003				2004				2005			
Elem, m%	1q	2q	3q	4q	1q	2q	3q	4q	1q	2q	3q	4q
Cu	0,021	0,009	0,022	0,023	0,021	0,02	0,015	0,025	0,03	0,03	0,026	0,025
std.err.	0,005	0,004	0,003	0,007	0,006	0,005	0,005	0,005	0,006	0,006	0,004	0,004
Sn	0,006	0,006	0,006	0,005	0,005	0,006	0,006	0,006	0,007	0,006	0,008	0,007
std.err.	0,001	0,001	0,001	0,005	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Cr	-	-	-	-	0,042	0,051	0,038	0,037	0,194	0,168	-	-
std.err.	-	-	-	-	0,006	0,007	0,006	0,008	0,025	0,025	-	-

13. Táblázat 22-es acélhulladék Cu, Sn, Cr koncentrációjának alakulása

SS22	2003				2004				2005			
Elem, m%	1q	2q	3q	4q	1q	2q	3q	4q	1q	2q	3q	4q
Cu	0,005	0,006	0,021	0,07	0	0,016	0,018	0,007	0,038	0,023	0,028	0,023
std.err.	0,011	0,01	0,009	0,042	0,007	0,021	0,009	0,014	0,011	0,011	0,011	0,007
Sn	0,008	0,007	0,006	0,002	0,009	0,002	0,006	0,003	0,007	0,005	0,008	0,008
std.err.	0,002	0,002	0,002	0,005	0,002	0,004	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002
Cr	-	-	-	-	0,007	0,046	0,025	0,009	0,169	0,18	-	-
std.err.	-	-	-	-	0,019	0,03	0,012	0,021	0,047	0,047	-	-

14. Táblázat 32-es acélhulladék Cu, Sn, Cr koncentrációjának alakulása

SS32	2003				2004				2005			
Elem, m%	1q	2q	3q	4q	1q	2q	3q	4q	1q	2q	3q	4q
Cu	0,036	0,018	0,02	0,032	0,033	0,044	0,057	0,049	0,033	0,046	0,042	0,089
std.err.	0,009	0,007	0,009	0,014	0,009	0,008	0,01	0,015	0,015	0,017	0,01	0,015
Sn	0,005	0,008	0,009	0,005	0,005	0,006	0,006	0,006	0,001	0,004	0,004	0
std.err.	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,003	0,002	0
Cr	-	-	-	-	0,106	0,088	0,083	0,109	0,238	0,327	-	-
std.err.	-	-	-	-	0,01	0,012	0,013	0,023	0,063	0,077	-	-

15. Táblázat 33-as acélhulladék Cu, Sn, Cr koncentrációjának alakulása

SS33	2003				2004				2005			
Elem, m%	1q	2q	3q	4q	1q	2q	3q	4q	1q	2q	3q	4q
Cu	0,125	0,128	0,1	0,118	0,14	0,141	0,117	0,152	0,187	0,188	0,179	0,122
std.err.	0,01	0,008	0,006	0,01	0,008	0,008	0,007	0,012	0,011	0,011	0,008	0,013
Sn	0,009	0,008	0,009	0,006	0,006	0,007	0,005	0,006	0,01	0,006	0,006	0,012
std.err.	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,003
Cr	0,083	0,083	0,083	0,083	0,105	0,141	0,129	0,146	-	-	-	-
std.err.	0,004	0,004	0,004	0,004	0,009	0,011	0,01	0,017	-	-	-	-

16. Táblázat 42-es acélhulladék Cu, Sn, Cr koncentrációjának alakulása

SS42	2003				2004				2005			
Elem, m%	1q	2q	3q	4q	1q	2q	3q	4q	1q	2q	3q	4q
Cu	0,161	0,178	0,178	0,202	0,164	0,187	0,182	0,208	0,266	0,276	0,178	0,286
std.err.	0,011	0,01	0,01	0,014	0,014	0,012	0,014	0,018	0,015	0,015	0,013	0,015
Sn	0,227	0,231	0,228	0,225	0,224	0,229	0,21	0,205	0,205	0,211	0,198	0,182
std.err.	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,004
Cr	0,064	0,064	0,064	0,064	0,088	0,083	0,069	0,063	-	-	-	-
std.err.	0,06	0,06	0,06	0,06	0,016	0,016	0,018	0,027	-	-	-	-

17. Táblázat 54-es acélhulladék Cu, Sn, Cr koncentrációjának alakulása

SS54	2003				2004				2005			
Elem, m%	1q	2q	3q	4q	1q	2q	3q	4q	1q	2q	3q	4q
Cu	0	0	0,008	0	0	0	0,038	0,023	0	0,054	0	0,008
std.err.	0,013	0	0,01	0	0,014	0	0,015	0,026	0	0,019	0	0,013
Sn	0	0,003	0,001	0,01	0,008	0	0,005	0,003	0,003	0,002	0,003	0,01
std.err.	0	0,003	0,002	0,002	0,002	0	0,002	0,002	0,002	0,004	0,003	0,003
Cr	-	-	-	-	0	0,005	0,039	0,071	0,138	0,115	-	-
std.err.	-	-	-	-	0	0,029	0,02	0,037	0,074	0,085	-	-

18. Táblázat 63-as acélhulladék Cu, Sn, Cr koncentrációjának alakulása

SS63	2003				2004				2005			
Elem, m%	1q	2q	3q	4q	1q	2q	3q	4q	1q	2q	3q	4q
Cu	0,055	0,076	0,033	0,043	0,068	0,05	0,043	0,035	0,059	0	0,042	0,036
std.err.	0,018	0,015	0,011	0,026	0,02	0,019	0,016	0,025	0,022	0,23	0,018	0,014
Sn	0,009	0,004	0,003	0,002	0,005	0,009	0,006	0,006	0	0,007	0,001	0,005
std.err.	0,003	0,003	0,002	0,003	0,002	0,003	0,002	0,002	0	0,004	0,003	0,003
Cr	-	-	-	-	0,075	0,046	0,051	0,031	0,254	0,162	-	-
std.err.	-	-	-	-	0,023	0,027	0,021	0,036	0,093	0,101	-	-

19. Táblázat 65-ös acélhulladék Cu, Sn, Cr koncentrációjának alakulása

SS65	2003				2004				2005			
Elem, m%	1q	2q	3q	4q	1q	2q	3q	4q	1q	2q	3q	4q
Cu	0,056	0,099	0,019	0,018	0,055	0,014	0,02	0,147	0,014	0,041	0,102	0,037
std.err.	0,02	0,023	0,018	0,025	0,032	0,033	0,024	0,043	0,035	0,029	0,026	0,023
Sn	0,012	0,004	0,004	0,003	0,013	0	0,008	0,007	0	0	0	0
std.err.	0,004	0,004	0,004	0,003	0,004	0	0,003	0,004	0	0	0	0
Cr	-	-	-	-	0,144	0,038	0,059	0,124	0,349	0,487	-	-
std.err.	-	-	-	-	0,037	0,046	0,032	0,06	0,145	0,131	-	-

20. Táblázat 71-es acélhulladék Cu, Sn, Cr koncentrációjának alakulása

SS71	2003				2004				2005			
Elem, m%	1q	2q	3q	4q	1q	2q	3q	4q	1q	2q	3q	4q
Cu	0,042	0,047	0,067	0,032	0,057	0,012	0,046	0,049	0,064	0,042	0,102	0,021
std.err.	0,024	0,019	0,016	0,026	0,027	0,023	0,022	0,024	0,026	0,026	0,019	0,017
Sn	0,016	0,009	0,015	0,021	0,014	0,016	0,018	0,018	0,012	0,029	0,013	0,015
std.err.	0,004	0,003	0,003	0,004	0,003	0,004	0,003	0,002	0,004	0,005	0,003	0,004
Cr	-	-	-	-	0,03	0,051	0,047	0,11	0,777	0,702	-	-
std.err.	-	-	-	-	0,03	0,032	0,029	0,041	0,108	0,114	-	-

21. Táblázat 92-es acélhulladék Cu, Sn, Cr koncentrációjának alakulása

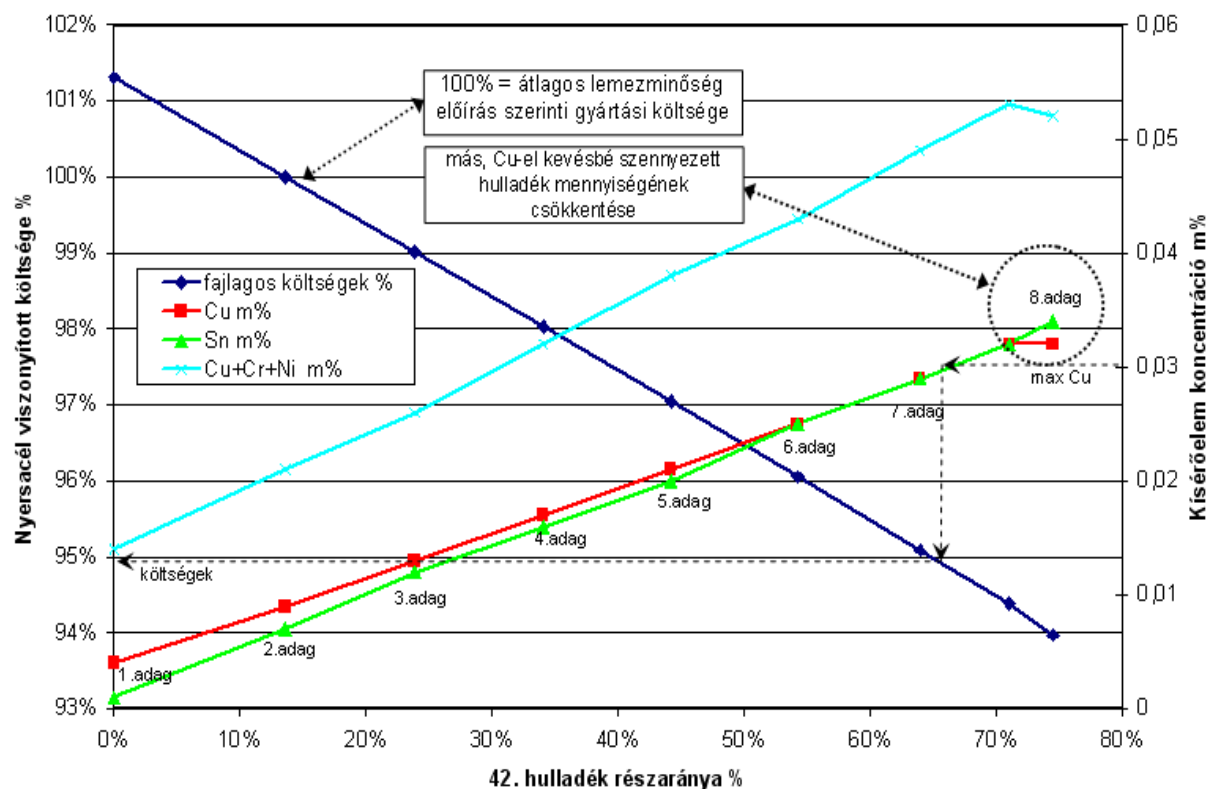
SS92	2003				2004				2005			
Elem, m%	1q	2q	3q	4q	1q	2q	3q	4q	1q	2q	3q	4q
Cu	-	-	0,011	0,002	0,012	0,031	0,009	0,019	0,024	0,024	0,035	0,023
std.err.	-	-	0,012	0,014	0,012	0,011	0,01	0,014	0,014	0,014	0,01	0,008
Sn	0	0	0,005	0,008	0,006	0,006	0,006	0,005	0,004	0,003	0,009	0,007
std.err.	0	0	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,003	0,002	0,002
Cr	-	-	-	-	0,05	0,03	0,037	0,084	0,091	0,116	-	-
std.err.	-	-	-	-	0,014	0,015	0,013	0,021	0,06	0,063	-	-

22. Táblázat maradvány acélhulladék Cu, Sn, Cr koncentrációjának alakulása

RES.	2003				2004				2005			
Elem, m%	1q	2q	3q	4q	1q	2q	3q	4q	1q	2q	3q	4q
Cu	0,244	0,214	0,02	0,142	0,118	0,066	0,136	0,215	0,209	0,198	0,099	0,094
std.err.	0,012	0,011	0,01	0,012	0,01	0,006	0,008	0,009	0,001	0,01	0,009	0,013
Sn	0,004	0,007	0,01	0,009	0,007	0,007	0,007	0,006	0,009	0,009	0,009	0,009
std.err.	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,003
Cr	-	-	-	-	0,131	0,094	0,17	0,199	0,612	0,539	-	-
std.err.	-	-	-	-	0,011	0,009	0,011	0,012	0,043	0,046	-	-

4. Az adaggyártás optimalizálása számított acélhulladék-összetételek alapján

A konverteres acélgyártás fajlagos költségeinek csökkentése szinte mindennapos feladat és célkitűzés az acélgyártók körében. A hulladék betét költség-résarányának növekedésével erre az alapanyagra is nagyobb hangsúlyt fektetnek. A minőségi problémák kiküszöbölése és olcsó nyersanyagok beszerzése két ellentétes irányú hatás. A kutatásom eredményeként létrejött módszerrel összetételeket a hozzájuk tartozó szórással korrigálva, lehetőség nyílik a jelenleg használt adagolási előírások aktualizálására. Eddig az üzemi hulladéklistában főképpen tapasztalati értékek szerepeltek és a nyomelemeket nem is tartalmazták, az egyes hulladékok adagolása ennek ellenére meglehetősen nagy pontosságú volt. A szűk intervallumot lefedő átlagok számításával lehetőség adódik a hulladékadagolási rend, az eddiginél dinamikusabb változtatására, különös tekintettel a nem eltávolítható elemek koncentrációjára. A hatékonyságot alátámasztandó, elvégeztem egy anyag- és hőmérlegekre, valamint megoszlási függvényekre alapozott komplex költségoptimalizálást. Virtuális konverterben szimuláltam az amortizációs hulladék résarányának növeléséből származó gazdasági előnyöket, annak bemutatására, hogy mekkora lehetőségek rejlenek a minőségbiztosítási területek – hulladékellenőrök, hulladéktér(daru), acélgyártók, – és a kidolgozott módszer összekapcsolásában. A számított adagok tulajdonságaikban tökéletesen megfelelnek a valós acélgyártás során készült adagok paramétereinek. A **39.ábra** az idgen hulladék résaránya, a gyártási költség és a szennyezőelem koncentráció közötti összefüggéseket szemlélteti.



39. ábra komplex költségoptimalizálás eredménye

A **KoSiMo 1.0** virtuális konverter segítségével elvégzett optimalizálás során egy átlagos lemezminőséghez tartozó adagolási előírást módosítottam. A 42. amortizációs hulladék részarányának növelése során megfigyeltem a növekvő kísérőelem koncentráció hatását a teljes anyagmérlegre (a fémek kihozatal figyelembevételével). A kísérleti minőség együttesen 0,1m% maximális Cu, Cr, Ni tartalmat ír elő. Mivel az adagolt hulladék jelentős mennyiségű Sn-t tartalmaz ezért úgy tekintjük, hogy ezt is a maximális koncentráció-határérték alá esik. A szemléltető kísérletben a 42-es hulladékcsoport réztartalma, a vizsgált időszakra vonatkozó, szóráson belüli érték.

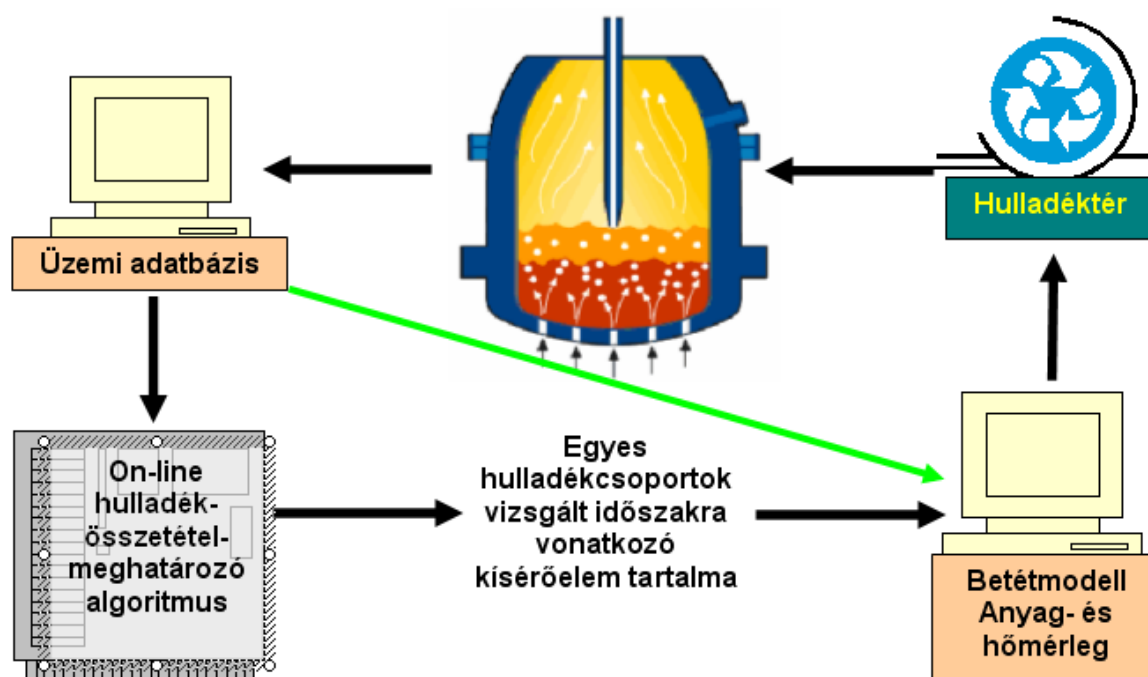
Az eredmények alátámasztják, hogy a dinamikus hulladék-összeállítási előírás alkalmazásával jelentősen – esetünkben 5%-al – csökkenthetők a fajlagos előállítási költségek.

Az adaggyártás legutóbbi adatai alapján képzett elemkoncentrációk átlaga és a kiértékelés megbízhatóságának mérőszámai, lehetőséget adnak továbbá az előírt elemkoncentrációk átlépésének kockázatelemzésére.

5. Az algoritmus üzemi integrálása

A 3. és 4. fejezetek alapján levonható következtetés, hogy termelés költséghatékonyság szempontjából a legrövidebb, még megbízható eredményeket szolgáltató időszak megfigyelése az optimális. Egymást követő, független adatbázisok értékelésével a legkisebb elérhető összetétel átlag Cu esetében egy acélminőséget vizsgálva megközelítőleg 5-10 hét termelése, amennyiben az esetleges adathiányt számítással korrigáljuk. Az elemkoncentráció folyamatos megfigyelése akkor lehetséges, ha az algoritmus egy rögzített esetszámú, de a termelés függvényében frissülő adatbázis alapján becsüli meg a beadagolt hulladékok összetételét.

A módszer üzemi integrálásának terve a **40.ábrán** látható, ahol az üzemi adatbázis és a betétmodell közötti „zöld nyíl” az üzemi adatgyűjtő rendszer és a betétmodell kapcsolatát szemlélteti, a hulladékbetét értékelése nélkül.



40. ábra On-line hulladék összetétel meghatározó algoritmus üzemi integrálása

A folyamatos kiértékelés bevezetésével az amortizációs hulladékcsoportok kémiai összetételének meghatározásához kidolgozott algoritmus lehetővé teszi a dinamikus adagolási előírás alkalmazását, amely minden egyes adag esetén javaslatot tesz az egyes acélminőségek

gyártásához legalkalmasabb acélhulladék keverék összeállítására a hulladékcsoportok változó kémiai összetételének, árának és rendelkezésre állásának függvényében.

Az algoritmus a széleskörű alkalmazása lehetővé teszi az acélgyártók számára, hogy kis reakcióidővel reagáljanak a hulladék minőségének változására, ezzel közvetetten irányítva, befolyásolva a kísérőelemek koncentrációjának nemkívánatos növekedését.

A vasnál nemesebb ötvözőelemeket tartalmazó acélok gyártása esetén lehetőséget ad a acélhulladékkal bevitt ötvözők jobb kihasználására.

Az egyes acélhulladék fajták esetében segít megalapozottan dönteni az előkészítés szükségességéről és mértékéről.

A létező minőségbiztosítási technológiákkal együttesen alkalmazva olyan összefüggések kidolgozására ad lehetőséget, amelyek alapján előre jelezhető egy hulladékfajta eltérése a szabványban előírt értékektől. Ez lényegében a vizsgált összetételek és a vizuális tulajdonságok összekapcsolása, vagy az életciklus vizsgálat alapján nyerhető becsült tulajdonságok pontosítása. (egy adott helyről származó nagy mennyiségű homogén acélhulladék-tömeg összetételének pontosítása a többi hasonlóhoz képest, vagy származási hely alapján definiálni az azonos hulladékcsoportokban lévő összetételbeli eltéréseket)

Az alkalmazás feltételeinek betartása lehetővé teszi a módszer alkalmazását akár más acélművekben is, illetve hozzájárulnak a téma további kutatásához.

6. Összefoglalás

A reprodukálható, minőségi acéltermékek előállításának fejlődésében és a metallurgiai mechanizmusok megértésében rendkívül fontos szerepet játszottak és játszanak ma is az egyes fizikai és kémiai folyamatokat leíró modellek. A mérnökök egyre részletesebb anyag- és hőmérlegeket készítenek és alkalmazzák ezeket a technológiák optimalizálásában, csökkentve ezzel az üzemi kísérletezés költségeit. Ahhoz, hogy a teljes acélgyártási folyamatot egyenletekbe foglalva modellezhessük, szükség van a bemenő és kimenő anyagok lehető legpontosabb mennyiségi és minőségi adataira, a hulladékra vonatkozóan is. Ebben a témában eddig a hulladék hatalmas mennyisége és változó minősége miatt rendkívül kevés megbízható támpont létezett. Kutatásaim eredményei az eddiginél pontosabb képet adnak a hulladék minőségének alakulásáról.

Az algoritmus kifejlesztése során feldolgoztam a téma irodalmát, készítettem hulladékcsoportosításokat, elemeztem az egyes szennyeződések hatását az acélgyártás folyamataira, megalkottam egy üzemi adatokra, metallurgiai összefüggésekre és statisztikus egyenletrendszerekre épülő eljárást a hulladék kísérőelem tartalmának meghatározására és az adatok ellenőrzésére. A számított eredmények pontossága Cu Sn Cr elemek esetében felülmúlta a várakozásaimat, csekély varianciával bíró elemek Mn, S, P pedig rámutattak a hasznosíthatóság gyenge pontjaira. Ebben a dolgozatban a hasznosítható eredmények felhasználásával, a gazdasági környezet tükrében javaslatot tettem a költséghatékonyabb termelés elérésére.

Az oxigénkonverteres acélgyártáshoz kapcsolódóan, hagyományos (szokványos) üzemi adatok felhasználásával kidolgoztam, egy indirekt acélhulladék összetétel meghatározási algoritmust. A metallurgiai összefüggések alapján készült anyagmérleg szükséges paramétereit többváltozós regressziós megoszlási modellek segítségével ellenőriztem, egészítettem ki és számításokkal korrigáltam, így megbízható bemenő értékeket előkészítve a valós idejű összetétel-becsléshez. A jellemző acélhulladék összetételi eredmények megbízhatóságát éves átlagok alapján ellenőriztem. Az eredmények birtokában a hulladékcsoportok egyes kísérőelemeinek kimutathatóságát vizsgáltam, majd következtetéseim alapján kidolgoztam az elemkoncentrációk szűkített időszakra vonatkozó becslésének feltételeit, illetve Cu, Sn, Cr esetében elvégeztem a számításokat. Az adott üzem sajátosságainak megfelelően alkalmaztam eredményeimet a vizsgálati adatbázis és

vizsgálandó elemek körének szűkítésére.

Eredményeim alapján elvégeztem egy összetett költségoptimalizálást a dinamikus adag-összeállítás elvének bemutatása érdekében. Kutatómunkám során a keresett értékek meghatározására a metallurgiai összefüggéseken alapuló anyagmérlegekkel kombinálva hagyományos matematikai statisztikai módszereket alkalmaztam.

7. Új tudományos eredmények

1. A konverteres acélgyártás hagyományos üzemi adatai alapján kidolgoztam a – termelés szempontjából – releváns acélhulladék csoportok Cu, Sn, Cr, Mn, S, P tartalmának meghatározására alkalmas algoritmust. Az algoritmus a hulladékcsoportokból származó elemek mennyiségének (függő változó) kimutatását, a számított paraméterekkel (salak-, nyracél-tömeg) korrigált anyagmérleg alapján, az anyagmérleg teljesülésének feltétele mellett biztosítja. Ezt követően az acélhulladékból származó elemek és az adagolt acélhulladék mennyisége közötti összefüggés meghatározására a legkisebb négyzetek módszerével felírt egyenletrendszert alkalmazza, amely az elméleti modell paramétereit úgy adja meg, hogy a tényleges és a becsült paraméterekkel illesztett modell négyzetes eltérése (a mérleg szórása) minimális legyen.
2. Kidolgoztam az acélhulladék-összetételt termelési adatok alapján folyamatosan (on-line) monitorozó algoritmus bemenő adatait ellenőrző modellt, amely az egyik reakcióterület (salak vagy fürdő) Cr, Mn, S, P elemzése hiányában korábbi üzemi adatok alapján – a nyersacél hőmérséklet, a salak bázikusság és salak FeO- tartalom függvényében többváltozós regresszióval (MLR) – modellezett elméleti megoszlási hányadossal egészíti ki vagy korrigálja a mérési eredményt.
3. Meghatároztam, a konverteres acélgyártás hagyományos üzemi adataira épülő, az acélhulladék kísérőelem tartalmának közvetett becslésére alkalmas algoritmus logikai elemeinek használatára vonatkozó általános feltételrendszert, amely az üzemi gyártási paraméterek termelési program alapján történő csoportosítását, a kiválasztott acélminőségi csoport gyártásához adagolt hulladékcsoportok mennyisége közötti korreláció vizsgálatát, az anyagmérleg bemenő adatainak ellenőrzését, az anyagmérleg-teljesülésének lépéseit rögzíti, így biztosítva a változó körülmények közötti alkalmazhatóságot.

4. Eredményeimet a KoSimO 1.0 konverter-szimulációs szoftver anyagmérlegének kiegészítéséhez alkalmaztam. A módosított szoftveren alapuló költségoptimalizálás segítségével megállapítottam, hogy egy max.0,1m% Cu+Sn+Cr együttes koncentráció előírású finomlemez minőség gyártásánál a „42” kódjelű amortizációs hulladék rendelkezésre állása esetén - a korábbi gyártási előírás alkalmazásával elért fajlagos költségeket 100% -nak tekintve - az üzemi hulladékbeadagolási előírás változtatásával 5%-os fajlagos költségcsökkenés is elérhető.

Summary

Analysing the function of steel scrap and understanding its influence on development, are the main problems that interests the steel producers of the world. To create such an algorithm, the analysis of the actual developments of the quantities, the qualities and compositions of the used scrap types should be continuously monitored in the world's steel industry. Series of local experiments and evaluating statistics focusing on process optimization by scrap have been done at ThyssenKrupp Steel. This includes the current study based on the records of scrap charges. In the previous thesis the development of an indirect scrap evaluation algorithm has been discussed, compared with results of the common ways.

At Bruckhausen steel plant of ThyssenKrupp Steel according to the world tendencies an explosion of scrap prices has been registered in the last years which represents the effects of the dynamically increasing demand. The sustainability of scrap sources as the most frequently discussed question of the producers seems to be partially answered. The main products of this plant are different grades of flat products, hot rolled coated coils for automotive purposes. These steel grades require a high purity and reproducibility which have been ensured by using of high quality scrap so far. Nowadays, a mixture of steel scraps which do not exceed the exact metallurgical requirements would be preferred due to economical tendencies. The aim of the research is to produce an algorithm for scrap quality determination which can be on-line integrated in the steel plant technology. According to this conception, the changes of the concentration of the accompanying elements in the products and the quantity of the unknown-composition scrap show such a coherence from which we can conclude the composition of the different scrap qualities. In the mentioned way and by other examined methods the development of the composition of scrap qualities available in large amounts are studied which forms the basis of the system. After the evaluation of the applied statistical and practical methods we can confirm the result of the target task and the statements that the unknown composition of the obsolete scrap is not just a real source of problem, it is also an economical potential and a possibility to increase the level of process optimization.

8. Irodalomjegyzék

1. P. Tardy, G. Károly: Az oxigénes acélgyártás és elektroacélgyártás lehetséges arányainak alakulása a бетétellátás függvényében, Bányászati és Kohászati lapok, Kohászat, 2003, Vol. 136, No.3, pp.121-126
2. Marczis, Tardy, Stefán, Zámbó; A magyar acélipari helyzet alakulása; Kohászati Lapok, 2005/2 p1-4
3. www.iisi.org
4. Szűcs László – Takács István: A Dunaфerr acéllemez-gyártásának fenntartásához szükséges és működtethető acélgyártási technológia, Bányászati és kohászati lapok, 2003/5. pp. 177-182
5. M. Jellinghaus; Stahlerzeugung im Lichtbogenofen, Verlag Stahleisen, Düsseldorf 1994
6. A. Borowski: Entwicklungstrends bei der Stahlerzeugung in Lichtbogenofen, Stahl und Eisen 1998. Vol. 118, No.2, pp. 51-60.
7. Karl-Heintz Heinen: Elektrostahl-Erzeugung, Verein Deutscher Eisenhüttenleute VDEh, p. 110
8. F. Oeters; Metallurgie der Stahlherstellung, Verlag Stahleisen Düsseldorf, 1989
9. Osztatni Mihály; Konverteracélgyártás, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1982
10. Grega Oszkár; Oxigénnel fúvatott vafűrdőben az acélhulladékok oldódási folyamatának néhány sajátossága; doktori értekezés (1980) NME
11. www.thyssenkrupp-steel.de
12. Winterfeld F.: „LD – Prozeß und kombinierte Blasverfahren“ Kontaktstudium 52/92 Metallurgie des Eisens, Teil 2: Stahlerzeugung VDEh, Düsseldorf, 1992
13. J. A. Philipp, G. Still, W. Volkhausen; Ökologische Vorteile durch das Recycling von Stahlerzeugnissen; Stahl und Eisen 123 (2003) 6/7; 103-106
14. Ender, A.; Herwig U.; Ploch, A.: „Direktabstich-Erzeugung von Weißblech und IF - Stahl bei der Thyssen Stahl AG“ ; Bericht Nr: AV FQP- M2 077/95 (1995) TKS-interner Bericht, Duisburg, 1995

15. Chigwedu, Champion „Beitrag zur Modellierung des LD-Sauerstoffblasverfahrens zur Stahlerzeugung“ Clausthal-Zellerfeld; Clausthal, techn.- Univ.,Diss.,1997 Papierflieger,1997
16. Boom R. Beyer N., Rosier S., Snoeier A ., Kreijger P.: “Static Model Performance in basic oxygen Steelmaking control” McMaster Symposium No.: 9,(1981) BOF End Point Determination
17. Claes J.,Dauby P.: “Operating Discipline Required to Maximize Benefits of an End Point Control Method” McMaster Symposium No.9,(1981), BOF End Point Determination
18. Lange K. W.:„Zur Prozesssteuerung bei Sauerstoffblasverfahren“, Stahl und Eisen 102 (1982)Nr.10, S.47-51
19. Gutte, Heiner : „Statische und dynamische Prozessmodellierung von Sauerstoff-Blasverfahren“ Fortschritt – Berichte VDI, Reihe 5 Nr. 631.Düsseldorf: VDI Verlag 2001
20. Pflipsen H, D., Zitzen W., Höffken R.: „Automatisierung in den stahlwerken der Thyssen Stahl AG – Verbesserung von Produktqualität, Anlagenflexibilität und Produktpalette“ Stahl und Eisen 112 (1992) Nr. 5, S.105-112
21. <http://www.unece.org>. Steel production will be climbing toward the one billion Mt in 2005?
22. O.V. Yuzon, A.M. Sedykh: World trends in the formation and use of scrap metal, Metallurgist, Vol.47, No.5-6, 2003, pp.201-203.
23. <http://www.issb.co.uk/pdf/mb/MB20050110.pdf> Big numbers for 2004—and bigger numbers for 2005? Metal Bulletin Monday 10 January 2005
24. <http://www.engineeringtalk.com/news/mep/mep142.html> World running out of scrap steel, Company news from MEPS, , 18 November 2004
25. Stahl und Eisen 2004/ 3, p82.
26. www.vdsh.de
27. Stahl und Eisen 2005/11

28. Katsuhiko NORO, Mitsugu TAKEUCHI and Yoshimasa MIZUKAMI; Necessity of Scrap Reclamation Technologies and Present Conditions of Technical Development ISIJ Int. , Vol. 37 (1997), pp. 198-206
29. Hatanaka T., Takaneka Y., Oka Y., Kohira S., Komatani M.: “Artificial intelligence for Ironmaking and Steelmaking Operations. Prepared at Department of Metallurgy and Materials Science”(1994), University of Toronto
30. Mayr, A., Lutz, W., Singh, S., K. ,Rao, A.: „Prozessautomation im LD-Stahlwerk bei Tisco sichert höhere Qualität und Produktivität“, Stahl und Eisen 117(1997) Nr. 2,S. 97-102
31. Winterfeld F.: “Metallurgisches Modell zur Einsatzvorausberechnung im Oxygenstahlwerk 3/Ruhrort “ TKS-interner Bericht, Duisburg, 1979Champagne, Dudzic: “Industrial use of multivariate statistical analysis for process monitoring and control”, Proceedings of the American Control Conference, v 1, 2002, pp. 594-599
32. S. Asai, I. Muchi; Theoretical Analysis by the Use of Mathematical Model in LD Converter Operation; Transactions ISIJ 10 (1970), 250-263
33. Jean-Pierre Birat, Scrap as a sustainable resource of iron units for the future; stahl und eisen 123 (2003) Nr.5 p51-57
34. J.-P. Birat et al.; Scrap quality monitoring on the Europeaen scrap market; Proc. 4th Intern. Conf. and Exhib. on *The recycling of metals*, 17-18 June 1999, Vienna, Austria, 154-165
35. Köhle: “Recent improvements in modelling energy consumption of electric arc furnaces”, 7th European Electric Steelmaking Conference; Venice, Italy, 26-29 May 2002, Proceedings vol 1, pp. 305-314
36. Maiolo, Evenson: “Statistical analysis and optimization of EAF operation”, 59th Electric Furnace Conference and 19th Process Technology Conference; Phoenix, AZ; USA; 11-14 Nov. 2001. pp. 105-112. 2002
37. Vaculik, Maccuish, Dudzic, Miletic, Hough, Smith: “Innovative monitoring technology improves caster operation at Dofasco,” Iron and Steelmaker. Vol. 28, no. 9, pp. 23-28. Sept. 2001

38. Quinn, Vaculik: "Improving the desulphurization process using adaptive multivariate statistical modelling", AISE Steel Technology, v 79, n 10, October, 2002, pp. 37-41
39. Bliss, Gilbertson: "Neural networks for EAF power control", Steel Technology International (1995-1996), pp. 121, 124-125.
40. Baumert, Engel, Weiler: "Dynamic modelling of the electric arc furnace process using artificial neural networks", Revue de Metallurgie, Cahiers d'Informations Techniques. Vol. 99, no. 10, pp. 839-849. 2002
41. Bernatzki, Bussieck, Lindner, Lübbecke: "Optimal scrap combination for steel production", OR Spektrum (1998), No 20, pp. 251-258
42. Aktenvermerke über die Sitzungen vom 05.03.2002 und 08.10.2002; Stahlwerksausschuss des VDEh, Arbeitskreis Schrottreycling 77
43. Ender; Untersuchung zur Weiterentwicklung der Stahlerzeugung und Schlackenführung, NRWKZ1 Bericht Duisburg 1999
44. www.izw.de; Informationszentrum Weißblech
45. G. Pofertl, K. Primas, S. Zeller; Charging of direct reduced iron to a 130-ton LD converter – operating and quality results; Iron and Steelmaking 8 (1981) 3; 25-31
46. Dieter Ameling, Stahlrecycling - Ressourcenproduktivität und Umweltschutz; Stahl und Eisen 120 (2000) Nr.7 S53-S57
47. D. Jaffre: Elements & Steel properties, Steel Scrap Seminar, St. Louis, 10. February 2003.
48. MSZ 2593:2003 Acélhulladék és vasöntvénytöredék
49. L. Savov, D. Janke; Recycling of scrap in steelmaking in view of tramp element problem; Metall 52 (1998) 66; 374-383
50. M.M. Wolf; Effects of tramp elements in continuous casting; Iron and Steelmaking Vol 12. (1985) 6; 299-301
51. Effects of tramp elements in flat and long products, Technical steel research, European Commission, 1995. Appendix I., II, III, IV, pp. 1-66
52. www.nachhaltige-metallwirtschaft.de

9. Tudományos közlemények

1. Taszner Z., Grega O., Ender A., Development of scrap evaluation algorithm to optimize the converter charge composition, Materials Science Forum Vols 537-538 2007 pp 701-708
2. Buró B., Taszner Z., Török T., Experimental results tackling the tramp element problem in steelmaking; Acta Metallurgica Slovaca 2006/1 ISSN-1335-1532; p.51-59
3. Taszner Z., Ender A., Grega O., Hulladék ellenőrző rendszerek szükségessége az acélgyártási folyamatok optimalizálásához, VIII. Bányászati Kohászati Földtani Konferencia, Sepsiszentgyörgy, 2006. 04.06-09.
4. Z. Taszner, A. Ender, O. Grega, Application of scrap evaluation methods to optimize the BOF steelmaking process, MicroCAD 2006 International Scientific Conference 16-17 March 2006; p.129-134
5. Taszner Z., Ender A., Ermittlung der Zusammensetzung metallischer Einsatzstoffe auf der Basis von Betriebsdaten und statistischer Methoden, VDEh-Stahlinstitut Acélműbizottsági ülés jelentése, Düsseldorf
6. Taszner Z., Grega O., Ender A., Indirect evaluation of scrap to optimize the converter charge composition, VII. Miedzynarodowa studencka sesja naukowa, Katowice, 2005 ISBN -83-89776-05-7. pp 102-106
7. Taszner Z., Márkus R., Grega O., Ender A., Konverteres acélgyártási folyamat optimalizálása a hulladékбетét összetételének indirekt meghatározásával, VII. Bányászati Kohászati Földtani Konferencia, Nagyvárad, 2005. 03.31-04.03.
8. Taszner Z., Grega O., Ender A., A konverteres acélgyártás fémes бетétanyagainak kísérőelem-tartalom meghatározására alkalmas módszerek összevetése, indirekt kiértékelési módszer bemutatása, ME Doktoranduszok fóruma 2004 november 4-9, szekciókiadvány 157-167 old.
9. Taszner Z., Grega O., Acélmetallurgiai folyamatok matematikai és fizikai modellezési lehetőségeinek összevetése, Poszterelőadás, ME. Doktoranduszok fóruma, 2003.

Köszönetnyilvánítás

Értekezésem a Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Kar, Metallurgiai és Öntészeti tanszékén, valamint a ThyssenKrupp Steel AG Minőségbiztosítási és Eljárástechnológiai részlegénél, Duisburgban eltöltött évek tanulmányai, gyakorlati- és kutatómunkája alapján készítettem.

Köszönöm a tudományos vezetőimnek, Dr Alfred Endernek a ThyssenKrupp Steel AG főmetallurgusának és Dr. Grega Oszkár egyetemi docensnek, hogy kivételes szakmai és emberi támogatásukkal segítettek és irányították munkámat.

Ezúton köszönöm a kutatásban résztvevő intézmények mindenkor vezetőinek, hogy lehetővé tették számomra az értekezésem elkészítését, támogatták törekvéseimet.

Köszönettel tartozom továbbá kollégáimnak, munkatársaimnak az építő javaslataikért és közösen eltöltött évek alatt átadott tapasztalataikért.

Miskolc, 2007 03. 29.

.....
Taszner Zoltán