

Matematikai módszerek használhatóságának vizsgálata a floatüveg-gyártásban

NAGY ÁRPÁD ■ Miskolci Egyetem ■ nagyarpad85@gmail.com

PARÓCZAI CSILLA ■ Guardian Orosháza Kft. ■ cparoczai@guardian.com

SIMON ANDREA ■ Miskolci Egyetem ■ femandi@uni-miskolc.hu

Érkezett: 2012. 11. 09. ■ Received: 09. 11. 2012. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2012.10>

Analyzing the usability of mathematical methods in float glass manufacturing

Statistic methods can be used in the glass industry to search for correlations and estimations, but a large number of accurate data required. In this case, calculations still give us a theoretical estimation. Although these methods can not describe the whole technological process because of it's complexity, but they are suitable to help technologists in their work by revealing such relationships that can hardly be observed in practice. What is more, they help us to estimate the expected impacts of the technological interventions, making it easier to assess the impact of a decision on the quality of the glass. Results have to be checked in each case by graphically or practical experience, taking into account the effect of outliers. If all conditions are met, an efficient method can be obtained to assist technologists' work.

Keywords: float glass, mathematic methods, correlation, linear regression, optimization, data processing

1. Bevezetés

A mai modern termelési egységek, gyárak működése el sem képzelhető számítógépes adatgyűjtő és rögzítő berendezések nélkül. Ezek a berendezések jelentősen megkönnyítik a mérnökök és technológusok munkáját, pedig még korántsem használtunk ki minden bennük rejlő lehetőséget. Ebből adódóan vizsgálataink, számításaink arra irányultak, hogy a rendelkezésre álló gyártási adatokat hogyan lehetne a jelenleginél hatékonyabban feldolgozni.

Mivel igen nagyszámú adat feldolgozásáról van szó, ezért kézenfekvő a matematikához, azon belül is a statisztika ágához nyúlni. Tehát először azt vizsgáltuk, milyen matematikai számítások jöhetnek szóba a gyártás hatékonyabbá tételéhez, továbbá ezek a módszerek a gyakorlatban hogyan alkalmazhatók. Munkánkat a Guardian Orosháza Kft. segítette a gyártási adatok megadásával, így a példaszámításokat is a float üveg gyártás folyamatára írtuk fel.

A matematikai leírás első lépése a műveletek egyszerűsítése: a paramétereket nem komplex rendszerként, hanem egyenként vizsgáltuk, mintha hatásuk egyedül érvényesülne a teljes gyártási folyamatban. Ez a megközelítés a probléma megoldásában nagy segítséget jelent, ugyanis egy egyszerűbb matematikai modell elkészítésével, majd fejlesztésével pontosabb előrejelzéseket készíthetünk: megbecsülhetjük az adott paraméterek mellett jelentkező hibák számát, illetve az előre nem várt technológiai változások hatását a késztermék minőségére.

2. Matematikai módszerek alkalmazhatóságának vizsgálata

2. 1. Korreláció számítások

A bonyolult technológiai eljárások során – mint amilyen a síküveg gyártás is – nehéz minden tőlünk függő és független technológiai paramétert egyszerre figyelembe venni, és ezek

változásának hatását előre jelezni. A korreláció alkalmazásával a gyártási paraméterek közti lineáris összefüggések felírhatóak. Kutatásunkban a hibák százalékos eloszlását vizsgáltuk, minden esetben csak a nagyméretű, egyik minőségi osztályban sem megengedett, tehát a veszteséget leginkább növelő hibákat vettük figyelembe.

Legyen $U(x_1, y_1)$ kétdimenziós adattömb. Az r korrelációs együttható a változók együtt változásáról ad felvilágosítást, ha x_1 nagyobb mint x_2 megmutatja, hogy y_1 milyen valószínűséggel lesz nagyobb mint y_2 [1]. A két változó közötti (lineáris) kapcsolat szorosságát mérő szám a korrelációs együttható (normált kovariancia), melyet az alábbi összefüggéssel határozzunk meg:

$$r(x, y) = \frac{cov(x, y)}{\sqrt{\sigma^2(x) * \sigma^2(y)}}, r_n = \frac{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x}) * (y_k - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2 * \sum_{k=1}^n (y_k - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

Az „ r ” értéke -1 és 1 között változhat. $r=|1|$ esetén teljes korrelációról beszélünk, míg ha $r=0$, akkor a két változó lineárisan független egymástól.

A korreláció erőssége lehet:

- $0 < |r| < 0,4$: *gyenge korreláció*,
- $0,4 < |r| < 0,7$: *közepes korreláció*,
- $0,7 < |r| < 1$: *erős korreláció*.

Az „ r ” előjele a kapcsolat irányáról ad tájékoztatást: ha r pozitív, akkor a két adathalmaz egymással egyenes arányosságban áll, negatív r esetén pedig fordítottan arányosak [1].

A korreláció-számítás jól programozható, így könnyen beépíthető a már meglévő adatfeldolgozási rendszerekbe, és alkalmas egy-egy paraméterváltozás hatásának kimutatására. Kutatásunkban a felhasznált üvegcserep mennyiségének a síküveg hibaszámainak százalékos eloszlására gyakorolt hatását vizsgáltuk.

NAGY ÁRPÁD

Guardian ösztöndíjas végzős hallgató a Miskolci Egyetem Szilikát-technológiai szakirányán. Egyetemi tanulmányai során több díjazott TDK dolgozatot készített. Jelen publikáció is egy ilyen tudományos diákköri dolgozat eredményeként született.

PARÓCZAI Csilla

2004-ben szerzett anyagmérnöki oklevelet a Miskolci Egyetem Kerámia- és Szilikátmérnöki Tanszékén, ahol tanulmányait 2007-ig folytatta mint PhD hallgató. Jelenleg a Guardian Orosháza Kft munkatársa. Kutatási eredményeiről eddig mintegy 20 tanulmányt publikált hazai és külföldi szakmai folyóiratokban és konferencia kiadványokban.

SIMON Andrea

2005-ben szerzett anyagmérnöki oklevelet a Miskolci Egyetem Kerámia- és Szilikátmérnöki Tanszékén, ahol 2008-tól dolgozik. PhD értekezését 2010-ben védte meg. Kutatási eredményeiről rendszeresen beszámol a különböző hazai és nemzetközi szakmai folyóiratokban és konferencia kiadványokban. Jelenleg mint egyetemi adjunktus az Üvegipari technológiák és a Kerámia mázak BSc tantárgyak tárgygyőzője.

Bottom Seed	Body Seed	Top Seed	Open Bottom	Open Top	SO ₃ bubble	Big bottom bubble	Silica Batch	Tridymite Dentric
-0,1465	-0,2957	-0,4013	-0,3609	-0,5695	-0,4505	-0,4289	-0,6063	-0,4221
ZrO ₂ Dentrictic	Alumina Silica	Top Tin/ Tin ball	Cristobalite	Cold Glass	Metal	AZS	Clear knot	Cord
-0,0786	-0,5567	-0,3641	-0,3170	-0,1092	-0,1444	-0,4190	0,3591	0,3447

1. táblázat Napi cserépfelhasználás és az üveghibák korrelációs együtthatói ($|r| > 0,4$ dőlttel kiemelve)
Table 1. Daily use of cullet and glass defect correlation coefficient ($|r| > 0.4$ is highlighted by italic style)

Cserépmennyiség/ keverék (kg)	Top Seed (%)	Open Top (%)	SO ₃ bubble (%)	Big bottom bubble (%)	Silica Batch (%)	Tridymite Dentric (%)	AZS (%)	Alumina Silica (%)	Chrome Nodular (%)
630	15,47	5,15	2,57	21,43	41,33	4,42	5,04	5,25	2,71
655	7,14	3,50	1,50	25,19	51,60	3,05	0,00	3,96	1,50
680	11,17	2,00	0,79	12,93	43,40	0,65	0,12	2,75	0,84
700	6,73	0,60	0,00	12,21	21,87	1,33	0,00	0,66	0,24
725	6,58	0,45	0,00	16,93	20,48	0,56	0,00	0,28	0,15
750	4,21	0,37	0,03	10,21	12,99	0,28	0,01	0,43	0,11
800 ¹	0,00	0,00	0,00	7,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00

¹ A 800 kg cserép mennyiség a keverékben ritkán használt, ezért a felhasznált adatok száma 10-nél kevesebb, így nem reprezentatívak.

2. táblázat Adott cserép mennyiség [kg] mellett jelentkező százalékos hiba arányok átlaga
Table 2. Cullet volume [kg] and average percent of defects

Az összefüggések kereséséhez az adatok korrelációs együtthatóit használtuk fel (1. táblázat):

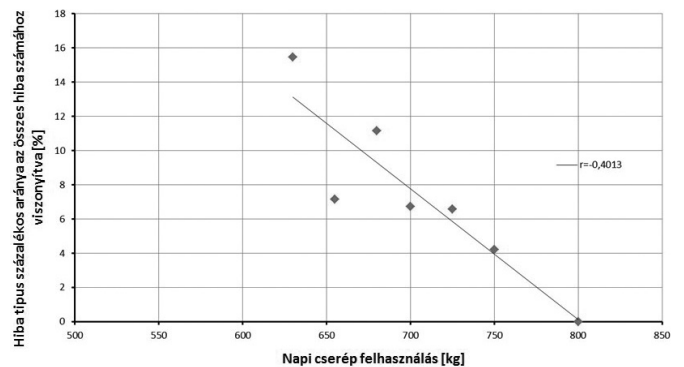
- x adattömb: A napi cserép felhasználás [kg];
- y adattömb: A minőséget leginkább rontó, nagyméretű hibák megoszlásának százalékos aránya.

A hibákat optikai vizsgálatokkal azonosítják, e vizsgálatok többsége polárszűrővel felszerelt mikroszkóppal történik, mely segítségével láthatóvá válik a hiba körüli feszültség nagysága és jellege is.

A „Bottom-Body-Top Seed” hibák alsó, középső és felső buborékokat jelölnek. Az „Open Bottom” és „Open Top” hibák nyitott alsó és felső gázbuborékok. Az „SO₃ Bubble” a szulfát buborékokat jelzi, ezek színükben és összetételükben is eltérnek az előbb említettektől, míg a „Big Bottom Bubble”-t mérete, és keletkezési helye különbözteti meg a többi buborékoktól. A Silica Batch alapanyag keverék zárvány az üvegben, ez általában valamely összetevőben dúsult keverék, ami így nem tudott olvadék fázisba kerülni. A szilícium-dioxid több módosulatában fordulhat elő az üvegben. Tridymit dentridek formájában lehet jelen („Tridymite Dentric”), krisztoballit esetén a hiba neve egyszerűen „Cristobalite”. A tűzálló anyag kopása okozza legtöbbször a „ZrO₂ Dentrictic” és az „AZS” (alumina-zirconia-silica) hibákat. Fémes anyagok szennyezése esetén „Metal” hibáról beszélünk, kivétel az alumínium, amely „Alumina Silica” hibát okoz. Az ón fürdő mennyezetére kondenzált majd az üvegtáblára ráhulló finom szennyeződés okozza a „TopTin/Tin ball” hibákat. A „Clear Knot”, „Cord” és „Cold Glass” az üvegben nem tökéletesen oldódott üveges inhomogenitásokat jelölnek, képződési helyük és alakjuk különbözteti meg őket egymástól.

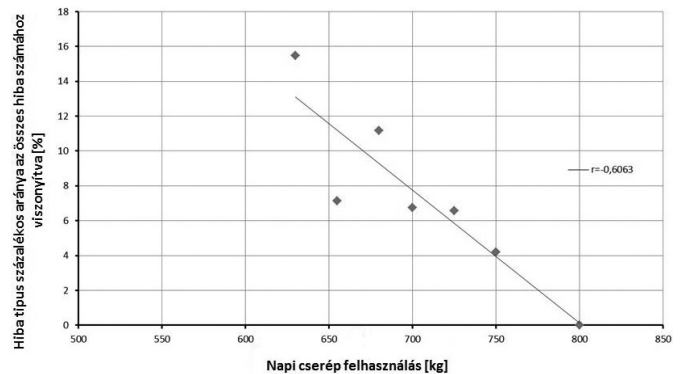
Az 1. táblázatból látható, hogy „r” majdnem minden esetben kisebb, mint 0, tehát az összes cserép mennyisége csökkenti a nagyméretű hibák százalékos arányát, egyedül a „Clear Cnot” és a „Cord” típusú hibák előfordulási aránya emelkedik meg ebben az esetben. Mivel a korrelációs együttható érzékeny a kiugró adatokra, ezért ellenőrzés szükséges grafikus ábrá-

zólással, ennek elvégzéséhez az adott cserép mennyiséghez tartozó hibaszámok százalékos arányát vettük alapul (2. táblázat). A legalább közepes korrelációt mutató hibák százalékos arányainak átlagait táblázatba foglalva, majd grafikusán ábrázolva, elvégeztük az ellenőrzést (1–4. ábra).



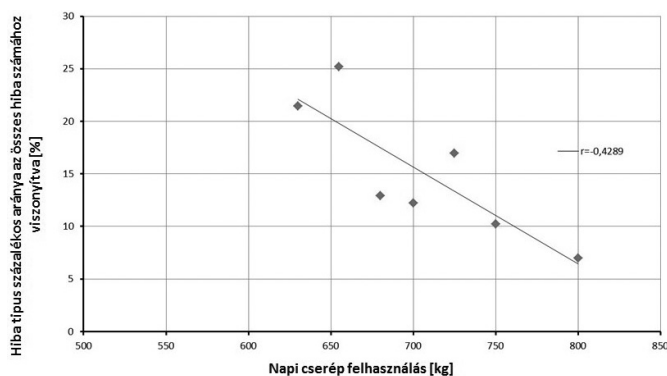
1. ábra „Top Seed” hibák százalékos aránya a keverék cserépmennyiségének függvényében

Fig. 1. Percent of „Top Seed” defects in function cullet amount



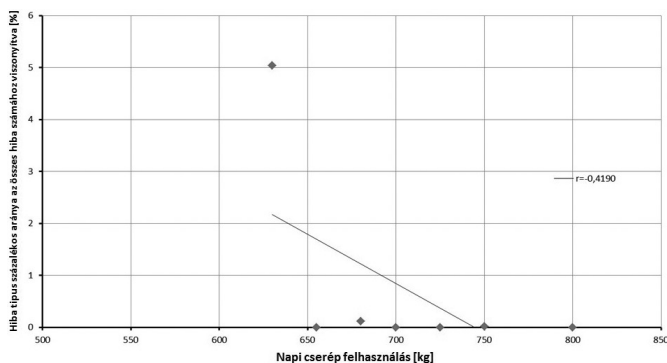
2. ábra „Silica Batch” hibák százalékos aránya a keverék cserépmennyiségének függvényében

Fig. 2. Percent of „Silica Batch” defects in function cullet amount



3. ábra „Big Bottom Bubble” hibák százalékos aránya a keverék cserépmennyiségének függvényében

Fig. 3. Percent of „Big Bottom Bubble” defects in function cullet amount



4. ábra „AZS” hibák százalékos aránya a keverék cserépmennyiségének függvényében

Fig. 4. Percent of „AZS” defects in function cullet amount

Az 1–4. ábrákból látható, hogy az ellenőrzés mindenképp szükséges, hiszen az „AZS” hibáknál egy kiugró érték látható, ennek köszönhető a magas korreláció, a többi adatot figyelembe véve semmilyen tendencia nem fedezhető fel. A többi adathalmaznál viszont jól megfigyelhető az „r” által jelzett kapcsolat.

A legerősebb korreláció a „Silica Satch” hibáknál fedezhető fel, mivel ez a hibafajta főként meg nem olvadt alapanyagból keletkezik [2], és az ásványi alapanyagok aránya a cserép tömegének növekedésével csökken, ezért a hibák aránya is csökkenést mutat.

2.2. Korreláció mátrix

Természetesen a gyakorlatban nem egy-egy paraméter hatását szeretnénk vizsgálni a rendszerre, hanem lehetőleg a legtöbb paramétert figyelni egyszerre. Megfelelően nagyszámú adat esetén a korrelációs együtthatók mátrixba foglalhatóak. A mátrix folyamatos adatgyűjtés esetén egyre pontosabbá válik, a véletlenszerű kiugrásokra egyre kevésbé lesz érzékeny, így használatával olyan technológia összefüggéseket lehet feltérképezni, melyek a technológiai folyamatban nem vagy csak nagyon nehezen ismerhetők fel. Az előző módszerhez hasonlóan könnyen programozható és beépíthető az adatfeldolgozó rendszerekbe.

A korrelációs mátrix a változók páronkénti (lineáris) kapcsolatának az erősségét adja meg:

$$\bar{R} := \begin{matrix} r(x_1, y_1) & r(x_1, y_2) & r(x_1, y_n) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ r(x_n, y_1) & r(x_n, y_2) & r(x_n, y_n) \end{matrix} \quad (2)$$

Az általunk elkészített mátrix oszlopai a jellemző üveghibákat, sorai az alábbi kiválasztott paramétereket tartalmazzák:

- a nyersanyagok mennyisége a keverékben,
- a kemence egyes jellemző hőmérsékletei,
- az önfürdő jellemző hőmérsékletei,
- az üveg vastagsága.

Az elkészült mátrixban (3. táblázat) félkövér betűkkel vannak kiemelve az erősebb korrelációt mutató adatok. A kiértékelés során már nem szabad kizárólag számokra hagyatkozni, vizsgálni kell az egyes adatok fizikai jelentését is, hiszen például a kemence hőfokai nyilvánvalóan kapcsolatban állnak egymással, így ha az egyik hőfok hatással van valamelyik hibára, akkor a többi hőfok adat is kapcsolatot fog mutatni az adott hibával, ezek egyenkénti vizsgálata nem szükséges [3].

2.3. Lineáris regresszió

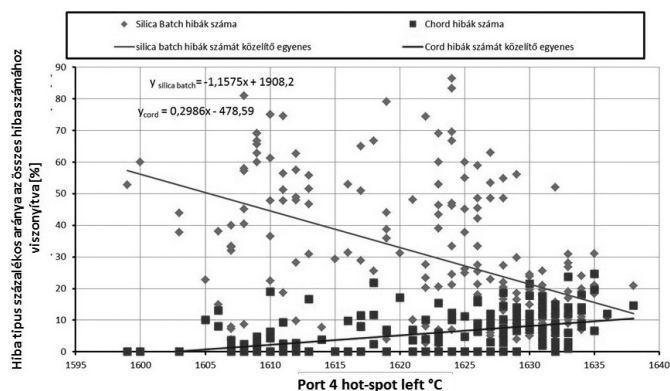
A megtalált lineáris kapcsolat leírásához használhatunk lineáris regressziót. Regresszió számítással függvénykapcsolatot keresünk az x és y tapasztalati úton megfigyelt mennyiségek között, azaz keressük az $y=f(x)$ regressziós függvényt [1].

A legegyszerűbb egyváltozós függvénykapcsolat a lineáris regresszió. Keressük meg az $(x_i(m), y_i(m))$ ($i=1,2,\dots,n$) mérési pontpárokat legjobban illeszkedő egyenest és határozzuk meg az egyenletét [1]:

$$y = m * X + a \quad (3)$$

$$m = r_{xy} \frac{\sigma_y}{\sigma_x}, a = \bar{y} - m * \bar{X} \quad (4)$$

A lineáris regresszióval kapott értékeknek a gyártás során több felhasználási lehetősége van. A közelítő egyenes meredeksége a kapcsolat érzékenysége utal, nagy szám esetén kis paraméterváltoztatás is nagy változást okoz, míg kis szám esetében kevésbé érzékeny az adott hiba az adott paraméterre [1]. Az „a” érték a lehetséges elméleti 0 hibaszámra ad felvilágosítást, ha ez az érték pozitív, nincs elméleti 0 hibát okozó technológiai paraméter, amennyiben az „a” értéke negatív, létezik elméleti 0 hiba érték. A közelítő egyenes nem jelez pontos értékeket, csupán várható sávokat ad meg, ahol az adott y érték jelentkezhet [1].



5. ábra „Hot-Spot left” hőmérséklet hatása a „Silica Batch” és a „Chord” hibákra
Fig. 5. Effect of „Hot-Spot left” temperature on the „Silica Batch” and „Chord” defects

	Bottom Seed	Body Seed	Top Seed	Open Bottom	Open Top	SO ₃ bubble	Big bottom bubble	Silica Batch	Tridymite Dentrictic	AZS	Clear knot	Cord	ZrO ₂ Dentrictic	Alumina Silica	Chrome Nodular
Sand	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Soda Ash	-0,08	-0,05	-0,10	-0,04	-0,11	-0,06	-0,22	-0,27	-0,20	-0,04	-0,16	-0,09	0,19	-0,16	-0,10
Dolomite	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Caustic soda	0,08	0,05	0,10	0,04	0,11	0,06	0,21	0,27	0,19	0,04	0,15	0,09	-0,19	0,16	0,10
Salt cake	-0,02	0,08	-0,09	-0,16	-0,19	-0,02	-0,23	-0,12	-0,06	-0,18	0,37	0,19	-0,18	-0,10	-0,02
Ep Dust	-0,19	-0,23	-0,33	-0,29	-0,28	-0,30	0,11	-0,25	0,00	0,03	0,24	0,38	0,04	-0,21	-0,29
Carbon	-0,07	0,00	-0,24	-0,26	-0,30	-0,15	-0,15	-0,20	-0,11	-0,21	0,47	0,34	-0,25	-0,19	-0,12
Lime Stone	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Internal cullet	0,20	0,12	0,21	0,26	0,20	0,06	-0,18	0,05	0,15	0,20	-0,38	-0,25	-0,04	-0,13	0,02
External Cullet	-0,22	-0,16	-0,27	-0,32	-0,30	-0,14	0,08	-0,17	-0,22	-0,27	0,45	0,32	0,02	0,02	-0,10
Port 4 Hot-Spot Left	-0,07	-0,31	-0,21	-0,16	-0,30	-0,25	-0,06	-0,53	-0,02	-0,03	0,31	0,50	-0,01	-0,38	-0,34
Port 4 Hot-Spot Right	-0,12	-0,23	-0,25	0,05	-0,32	-0,19	0,18	0,01	-0,09	-0,04	-0,01	0,43	-0,01	-0,33	-0,33
Top Checkers Left	-0,17	-0,28	-0,37	-0,33	-0,47	-0,36	-0,32	-0,63	-0,32	-0,29	0,34	0,33	0,00	-0,48	-0,37
Top Checkers Right	-0,14	-0,27	-0,30	-0,26	-0,41	-0,34	-0,23	-0,58	-0,17	-0,18	0,34	0,43	0,01	-0,47	-0,37
WE1 Pyro	-0,05	-0,09	-0,08	-0,03	-0,06	-0,16	0,22	-0,15	0,16	0,09	0,36	0,46	-0,02	-0,14	-0,26
Refiner Glass (Waist Pyro)	-0,12	-0,28	-0,34	-0,24	-0,42	-0,33	-0,23	-0,59	-0,20	-0,21	0,41	0,49	0,01	-0,49	-0,42
Waist-Arch Optical	-0,09	-0,26	-0,29	-0,21	-0,41	-0,36	-0,21	-0,56	-0,19	-0,20	0,39	0,49	-0,03	-0,46	-0,41
Canal Temp	-0,14	-0,25	-0,33	-0,25	-0,39	-0,32	-0,30	-0,57	-0,26	-0,19	0,24	0,28	0,08	-0,45	-0,32
Bay 4 Glass Temp	0,10	-0,15	0,08	0,10	0,07	0,09	0,16	-0,10	-0,06	-0,28	0,27	0,26	0,07	0,03	0,03
Exit Temp	0,18	-0,09	0,16	0,15	0,17	0,15	0,08	-0,18	0,00	-0,28	0,18	0,11	0,08	0,08	0,18
Glass Thickness Target (mm)	-0,36	0,06	-0,33	-0,31	-0,25	-0,07	0,06	0,25	0,00	0,21	-0,11	-0,11	-0,08	-0,08	-0,22

3. táblázat Korreláció mátrix
Table 3. Correlation matrix

Amennyiben egy paraméterre több más paraméter is hatással van, a lineáris regresszióval kapott egyenesek segítségével számolhatunk elméleti optimumot. Például a korreláció mátrixban is látható „Hot Spot left” optimumát kerestük a „Silica Batch” és a „Chord” hibák arányának minimalizására. A „Cord” hibák esetén $r=0,5$ tehát elméletileg a hőfok növelése emeli a hibák megjelenésének valószínűségét. Ha a két hiba típust egy diagramon ábrázoljuk (5. ábra) és az összefüggést közelítő egyenesekkel leírjuk, akkor lehetőség van az optimális elméleti hőmérséklet megkeresésére, a két hiba arányát minimalizálva.

A „Hot-Spot” elméleti ideális hőmérséklete a „Silica Batch” és a „Chord” hibák számának szempontjából:

- „Silica Bach” hibák számának változását leíró egyenes egyenlete:

$$Y = -1,1575x + 1908,2 \quad (5)$$

- „Cord” hibák számának változását leíró egyenes egyenlete:

$$Y = 0,2986x - 478,59 \quad (6)$$

- Optimum hőfok:

$$-1,1575X + 1908,2 = 0,2986X - 478,59 \quad (7)$$

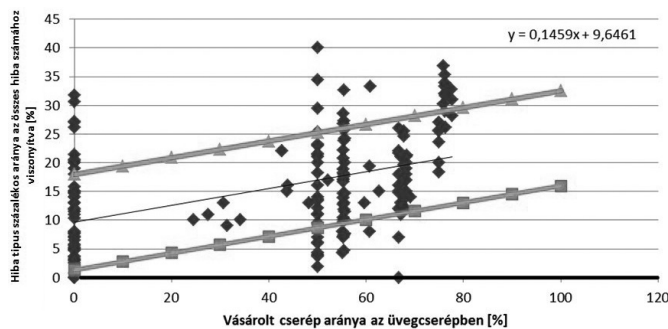
Tehát $X = 1639$ °C.

A módszer használható, egy-egy nem várt esemény, vagy tudatos technológiai változás későbbi hatásának megbecslésére is. Példaként a vásárolt cserép és a „Clear Knot” hibaszám összefüggésére próbáltunk becslést készíteni. A számoláshoz tegyük fel, hogy a számítást megelőző 6 hónapban nem volt a vásárolt cserép aránya az összes cseréphez viszonyítva 55% felett, és ezen időszaktól rendelkezésre állnak a vásárolt cserép százalékos mennyiségének, és a „Clear Knot” hibák arányának az adatai. Elsőként meghatározzuk, hogy 66% vásárolt cserép-adagolás mellett milyen „Clear Knot” hiba arány várható.

A számoláshoz először is lineáris regressziót végzünk az 55%-ig rendelkezésre álló adatokból (6. ábra), majd kiszámoljuk az adatok szórását. Ezután x helyére behelyettesítjük azt a technológiai értéket, melynél kíváncsiak vagyunk a hiba arányára az összes hibaszámhoz képest és a szórást figyelembe véve megkapjuk a várható hiba arányok becsült értékeit.

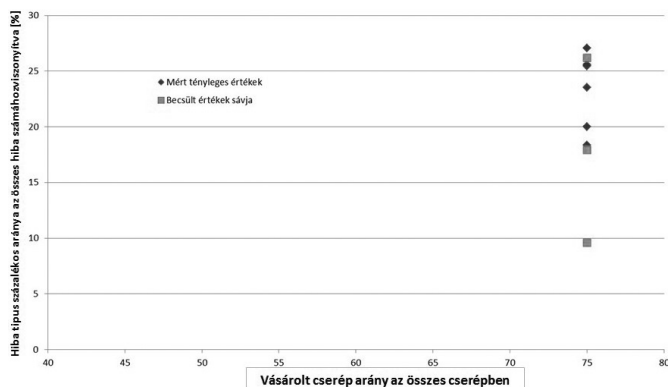
Lineáris regresszióval kapott egyenes egyenlete:
 $y = 0,0996 \cdot X + 10,436$ (8)

Adatok szórásának értéke: $\sigma = 8,2937$.



6. ábra „Clear Knot” hibák becslése lineáris regresszióval
 Fig. 6. Estimating the ratio of „Clear Knot” defects by linear regression

Az ellenőrzéshez a 66% vásárolt cseréparány mellett keletkezett „Clear Knot” hibák arányát, valamint a kiszámolt becslés sávját ábráztuk grafikusán (7. ábra). A sávon belüli tényleges értékek számát elosztva az összes érték számával, megkapjuk a becslés pontosságát.



7. ábra 66% vásárolt cseréparány mellett keletkezett „Clear Knot” hibák arányának előrejelzése
 Fig. 7. Forecasting the ratio of „Clear Knot” defects using 66% internal cullet

Látható, hogy a nyolc értékből csupán kettő esett a becsült sávon kívülre, ez 75%-os pontosságot jelent, ám ez elég kevésnek mondható. Az értékek egynegyede a becslésen kívül helyezkedik el, de ne feledkezzünk meg arról, hogy csupán hat havi adat állt rendelkezésre. A gyakorlatban használható eredményekhez ennél több adat szükséges.

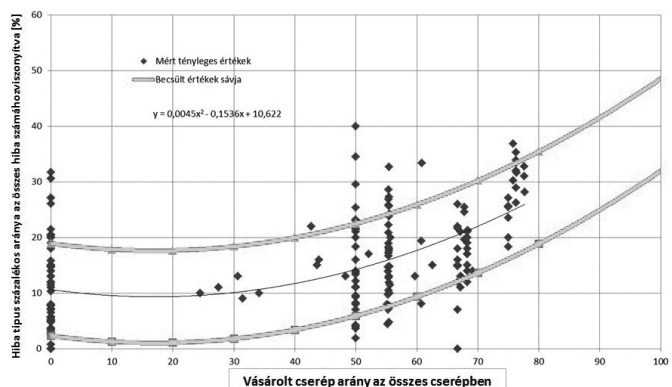
2.4. Nemlineáris regresszió

Nemlineáris regresszió számítását akkor alkalmazunk, ha az adatokra legjobban illeszkedő függvény nem lineáris. Gyakran használjuk a polinomok (pl. hatványfüggvények) szerinti ki-egyenlítést [1]. A számítások elvégzésére több módszer is ismert, ebben a kutatásban a Microsoft Excel beépített algoritmusát használtuk.

A kapott közelítő polinom képlete:
 $y = 0,0045x^2 - 0,1536x + 10,622$ (9)

A szórás értéke: $\sigma = 8,2937$

A kapott sávot grafikusán szemléltetjük (8. ábra) az adott hiba százalékos arányainak értékeivel.



8. ábra „Clear Knot” hibák becslése nem lineáris regresszióval
 Fig. 8. Estimating the ratio of „Clear Knot” defects by non-linear regression

Látható, hogy ez a közelítés magasabb vásárolt cserép arányánál, jobban közelíti a tényleges értékeket, míg kisebb értékeknél alulbecsüli a hibák arányát. A becslések készítésénél nem szabad elfelejtenünk, hogy egyik technológiai paraméter sem határoz meg önmagában egy-egy hibaszámot [3].

3. Összefoglalás

A float üvegyártás során a késztermék minőségét számos paraméter befolyásolja. Az adatokat monitoring rendszer segítségével rögzítik, de ezek nagy része a gyártás során csak ellenőrzésre szolgál. Sokkal több információ szerezhető a statisztikában jól ismert eljárások bevezetésével. Vizsgálataink során olyan algoritmusokat kerestünk, melyek könnyen beilleszthetők a jelenlegi informatikai rendszerekbe, és képesek „értelmezni” a napi akár több ezer adatot is. Mint azt bemutattuk, a korrelancia mátrix, a lineáris-, és nem lineáris regresszió használata a gyakorlatban is többlet információt szolgáltat és segít a gyártási folyamatok optimalizálásában.

A publikáció „A felsőoktatás minőségének javítása kiválósági központok fejlesztésére alapozva a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területein (TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001) projekt támogatásával készült.

Felhasznált irodalom

[1] Dr. Szabó Norbert Péter: *Bevezetés a Geostatistikába*, Miskolci Egyetem 2012, elektronikus jegyzet, http://www.uni-miskolc.hu/~geofiz/Bevezetes_a_geostatistikaba.pdf
 [2] Miloslav Bartuska et al.: *Glass Defects*, Glass service INC. 2001, ISBN 978-80-7252-217-0
 [3] Shelby J. E.: *Introduction Glass Science and Technology*, Royal Society of Chemistry 2005, ISBN 0-854040-639-9

Ref.: <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2012.10>

Nagy Árpád – Paróczai Csilla – Simon Andrea: *Matematikai módszerek használhatóságának vizsgálata a floatüvegyártásban*. Építőanyag, 64. évf. 3-4. szám (2012), 54-58. p.