

## Statistična analiza livarskih surovin

### Uvod

Opisana je praktična uporaba metod statistične kontrole in analize statistične porazdelitve pri glavnih lastnostih livarskega peska in nekaterih izdelanih livarskih mešanic. Že na začetku uporabe so te metode privedle do nekaterih pomembnih ugotovitev o stanju kvalitete peskov in izdelanih mešanic. Obravnava se možnost nadaljnje uporabe metod statistične analize pri kontroli in raziskavah livarskih surovin.

Z uvodnimi poizkusi uvajanja statističnih metod smo izbirali najprimernejše načine, s katerimi bi tekoče zasledovali nivo kvalitete in njeno enakomernost ter dobili vedno pravočasna opozorila o nenormalnostih v tehnološkem postopku ali pa v kvaliteti surovin. Ker so te metode dale na drugih področjih že dobre rezultate in po informacijah z uvodnimi poizkusi obetajo uspeh tudi v livarni, smo se odločili, da jih začnemo postopoma uvajati v redni postopek priprave dela, tehnologije in kontrole v livarni.

Začeli smo na področju surovin, ker je to najbolj kritično, obenem pa s stališča razpoložljivih podatkov tudi najprimernejše. V tem članku bodo prikazani praktični primeri in opisan način uporabe metod matematične statistike prav s tega področja.

Laboratorij za preizkušanje livarskih surovin že od začetka svojega obstoja kontrolira dospele peske, veziva in izdelane mešanice. V arhivu laboratorija se nabira velika zaloga podatkov, ki pa doslej ni bila učinkovito izrabljena. Kljub temu, da smo mesečno kontrolirali veliko število izdelanih mešanic, peska in bentonita, nismo vedeli odgovarati na marsikatero važno vprašanje: kako naj utrdimo z dobavitelji surovin primerne prevzemne pogoje, na kakšnem kvalitetnem nivoju je priprava mešanic v livarni, s čim lahko vplivamo na nivo kvalitete mešanic, in kar je najvažnejše, kako določeni nivo kvalitete mešanic in njegovo spreminjanje vpliva na kvaliteto ulitkov. Še večji problem je zagotavljanje enakomernosti na vseh področjih in pregled nad širino naravnih toleranc, ki so odločilne za končno kvaliteto izdelkov.

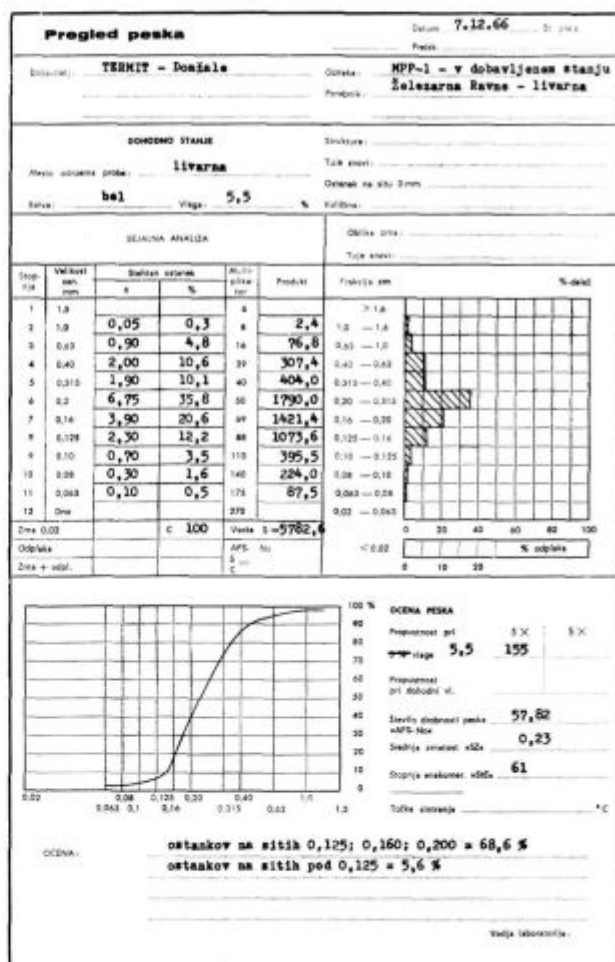
Pogled v knjigo z vpisanimi podatki o lastnostih surovin nam odgovorov na ta vprašanja ni mogel dati. Najbolj kritična je bila stvar ob občasnem pojavljanju izredno slabe kvalitete ulitkov. Ob takih primerih se pojavijo razne površne ocene vzrokov. Ni pa bilo možno objektivno odkriti področij oz. tehnoloških faz, kjer so se pojavile nenormalnosti in pretehtati njihovega vpliva. Z

neosnovanimi ukrepi smo nihanje kvalitete največkrat še povečali in z eventualno rešitvijo problema v eni fazi lahko nepremišljeno povzročili nove probleme v drugih fazah ter s tem v celoti stanje poslabšali.

Za tekoče spremljanje so najprimernejše statistične kontrolne karte. Tehnika uporabe kontrolnih kart bo podrobno opisana v eni od naslednjih števil *Zelezarskega zbornika*, zato se bomo tu omejili le na najpotrebnejša pojasnila.

### Statistična analiza pranih peskov

Od lastnosti, ki se pri pranih peskih redno določajo, so nas za statistično analizo najbolj zanimale:



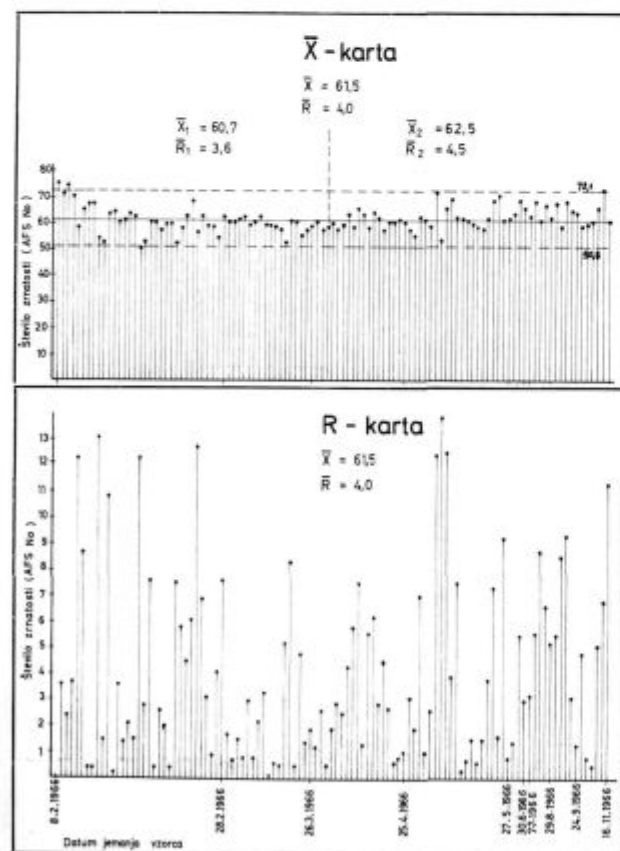
Slika 1  
 Primerek poročila laboratorija za preiskavo livarskih materialov o pregledu dospelega pranege peska.

1. Število zrnatosti (AFS-No)
2. Srednja velikost zrn (SZ)
3. Stopnja enakomernosti (StE)
4. Vsota vseh frakcij na sitih 0,125, 0,160, 0,200 mm
5. Vsota vseh frakcij na sitih pod 0,125 mm
6. Propustnost pri 5 odstotkih vlage

Vse te lastnosti se redno kontrolirajo in za vsak pregled peska se izdelata poročila, ki ga kaže slika 1.

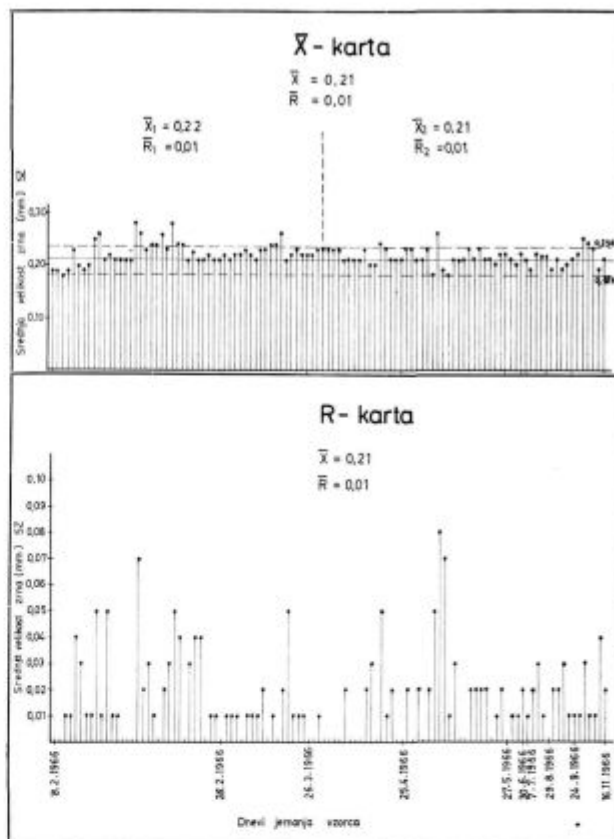
Za statistični pregled je bilo vzeto obdobje leta 1966 od 2. februarja do 16. novembra. Na slikah 2, 3, 4, 5, 6 in 7 so grafični prikazi zgoraj navedenih lastnosti. Tak način prikazovanja imenujemo karte X-R. Na karti X prikazujemo spreminjanje kvalitetnega nivoja kakršnekoli lastnosti.

Prikaz enakomernosti dobimo, če v podoben diagram nanašamo razlike rezultatov, ki jih dobimo iz pregledov dveh zaporednih vzorcev. Tak prikaz imenujemo karta R. Ti diagrami se iz grafičnega prikaza spremenijo v statistično kontrolno karto šele, ko jih opremimo z naravnimi tolerancami t. j. z zgornjo in spodnjo kontrolno mejo. Meje naravnih toleranc izračunamo na osnovi verjetnosti za območje, v katerem pod vplivom slučajnosti pričakujemo vrednosti z 99,73 odstotno statistično gotovostjo. Pojavljanje vrednosti izven teh mej opozarja na nenormalnosti, ki se pojavljajo pod vplivom nedovoljenih faktorjev.



Slika 2

Karakteristike livarskega peska MPP-1 v obdobju od 8. februarja 1966 do 16. novembra 1966. Število zrnatosti (AFS-No).



Slika 3

Karakteristike livarskega peska MPP-1 v obdobju od 8. februarja do 16. novembra 1966. Srednja velikost srna (SZ).

Centralne linije na kartah X smo izračunali na navadnem računskem stroju po znani formuli:

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

$$\bar{R} = \frac{\sum R}{n-1}$$

Območje naravnih kontrolnih mej je:

$$\bar{X} \pm 2,66\bar{R}$$

Naravne kontrolne meje nam z ozirom na ugotovljeno točnost brez ozira na kakršnekoli predpis ločijo slučajna nihanja od neslučajnih — normalno nedovoljenih. To velja za karto X, ki predstavlja kvalitetni nivo, in enako za karto R, ki predstavlja točnost ali enakomernost. Za ugotovitev eventualne spremembe kvalitetnega nivoja in točnosti procesa smo še vse vrednosti razdelili na dve obdobji in za vsako posebej izračunali vrednosti  $\bar{X}_1$  in  $\bar{X}_2$  ter  $\bar{R}_1$  in  $\bar{R}_2$ . S posebno statistično analizo lahko izračunamo pomembnost razlik srednjih vrednosti dveh ali več serij.

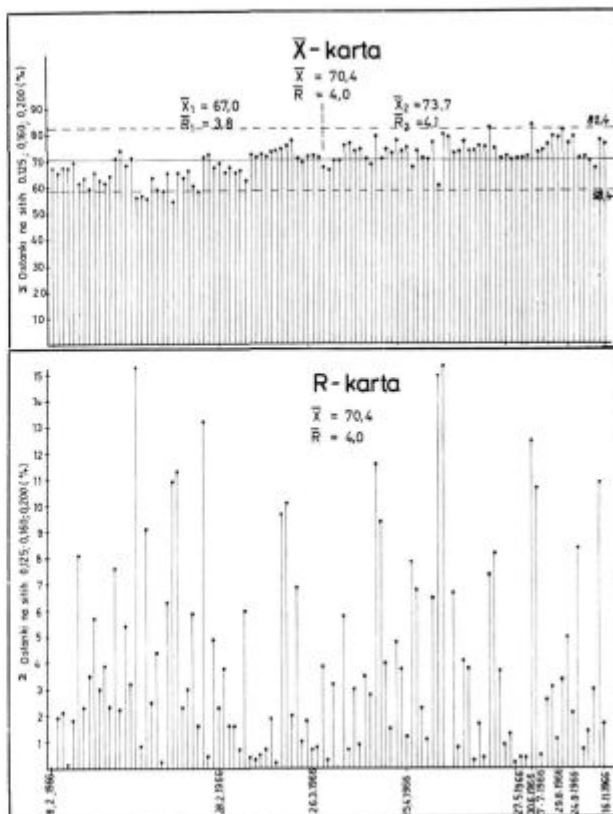
S prikazano statistično analizo smo dobili orientacijo o tem, v kakšnih mejah so se v analiziranem obdobju gibale vrednosti posameznih karakteristik livarskih peskov. Take vrednosti lahko

tudi v bodoče pričakujemo ob enakih pogojih. S kontrolno karto lahko točno in objektivno analiziramo dejanske možnosti proizvajalca ali dobavitelja surovin pod pogojem, da v njegovem postopku ne dopušča grobih nenormalnosti. Obenem pa sami sebe zavarujemo pred pretiranimi nesmiselnimi zahtevami.

Zanimiv je primer propustnosti: Ko smo na podlagi ocen po občutku zahtevali od dobavitelja, naj bo propustnost peska najmanj  $180 \text{ cm}^3/\text{cm}^3\text{min}$ , nam je obljubil, da bo storil, kar bo možno, da tej naši zahtevi ugotovi. Ta naša zahteva je temeljila na dejstvu, da je med pošiljkami dejansko bilo nekaj takih z zahtevano propustnostjo in smo na podlagi tega sklepali, da je to možno doseči. Vendar se propustnosti niso bistveno spremenile. Če bi prej napravili zgoraj opisano statistično analizo, bi morali to tudi logično pričakovati. Zdaj vemo mi in dobavitelj, da lahko bistveno spremenimo nivo propustnosti samo s temeljito spremembo tehnološkega postopka pri pranju peska. Dokler se to ne zgodi, morajo veljati ugotovljene naravne meje za popolnoma normalne, njim pa se moramo kolikor mogoče prilagoditi.

Kaj nam je statistična analiza peskov pokazala?

1. Pri vseh lastnostih opazimo zelo velika nihanja v zajetem časovnem obdobju.



Slika 5

Karakteristike livarskega peska MPP-1 v obdobju od 8. februarja 1966 do 16. novembra 1966. Ostanek na sitih 0,125, 0,160 in 0,200 mm.

Število zrnatosti (AFS-No) niha v območju od 50,8 do 72,1.

Srednja velikost zrn (SZ) niha od 0,183 do 0,236 mm.

Stopnja enakomernosti (StE) niha od 51 do 67.

Vsota ostankov na sitih 0,125, 0,160 in 0,200 niha od 58,4 do 82,4 %.

Vsota ostankov na sitih pod 0,125 mm niha od 1,3 do 12,9 %.

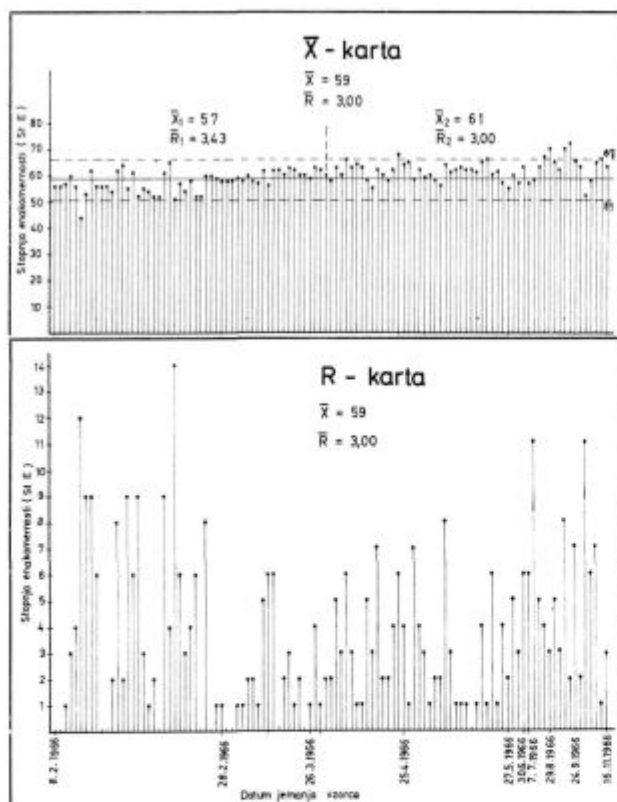
Propustnost niha od 125,5 do 190,5  $\text{cm}^3/\text{cm}^3\text{min}$ .

2. Razlike med sukcesivnimi vzorci so manjše v sredini analiziranega obdobja, večje pa na začetku in na koncu.

3. Pri nekaterih lastnostih (srednja velikost zrn) opazimo kratka časovna razdobja z zelo enakomernimi rezultati. Ta so ponekod ista za več lastnosti. Iz tega lahko sklepamo, da smo v takih obdobjih dobivali pošiljke z istega odkupnega mesta.

4. Srednje vrednosti so po naši oceni premajhne pri SZ, StE in propustnosti. Prevelike pa so pri AFS-No in vsoti frakcij pod 0,125 mm.

Za bentonite je podobna statistična analiza v delu.



Slika 4

Karakteristike livarskega peska MPP-1 v obdobju od 8. februarja 1966 do 16. novembra 1966. Stopnja enakomernosti (StE).

## Statistične analize izdelanih livarskih mešaníc

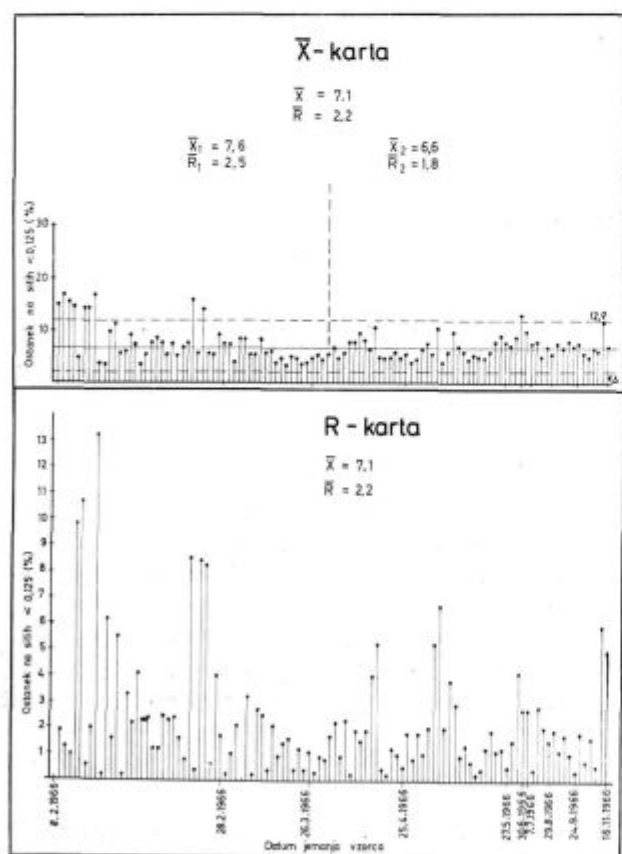
Podatke o lastnostih mešaníc dobivamo enakomerno po časovnih obdobjih in vsak mesec toliko, da jih je dovolj za metodo statistične analize porazdelitve. Obdelava podatkov bi po starem načinu zahtevala preveč časa, zato smo pristopili k uvajanju obdelave podatkov na elektronskem računalniku. Ves matematični del od priprave podatkov do interpretiranja rezultatov je opisan v članku inž. B. Rodeta v tej številki Zelezarskega zbornika. Tu naj se torej dotaknemo le stvari, ki zanimajo livarje.

V livarni uporabljamo več vrst mešaníc, od katerih smo izbrali za interpretacijo naslednje:

1. Mešanico S-1 za formanje na večjih kaluparskih strojih,
2. Mešanico S-2 za formanje na manjših kaluparskih strojih,
3. Mešanico P-1 za formanje na peskometalcu in
4. Mešanico R-1 za ročno formanje form, ki se potem sušijo v peči.

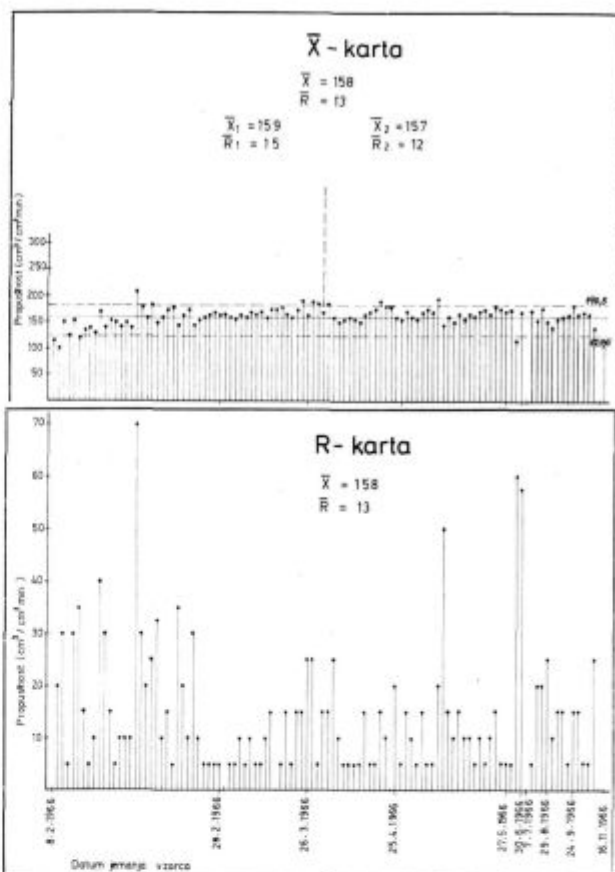
Glavne sestavine vseh navedenih mešaníc so kremenčev pesek, bentonit, dekstrin in voda.

Od lastnosti, ki se redno kontrolirajo, smo vzeli v statistično analizo:



Slika 6

Karakteristike livarskega peska MPP-1 v obdobju od 8. februarja 1966 do 16. novembra 1966. Ostanek na sitih pod 0,125 mm.



Slika 7

Karakteristike livarskega peska MPP-1 v obdobju od 8. februarja 1966 do 16. novembra 1966. Propustnost pri 5 odstotkih vlage.

1. vlago
2. propustnost
3. tekočnost
4. površinsko trdoto
5. tlačno trdnost
6. gostoto

Podatki o vseh vrednostih navedenih lastnosti se natipkajo na teleprinterju programerske mize. S pomočjo perforiranega traku teleprinterja se podatki hitro prenesejo v spomin računalnika. Ta računa in izpiše vse rezultate po vnaprej postavljenem programu. Za našo analizo smo zahtevali sledeče rezultate:

1.  $N$  = število vrednosti  $X$  v grupi
2.  $\bar{X}$  = srednja vrednost vseh  $X$  v grupi
3.  $s$  = standardna deviacija  $\sigma$ , ki jo računalnik izpiše kot  $s$
4.  $V$  = koeficient variacije v % ( $V = \frac{s}{\bar{X}} \cdot 100$ )

5.  $\bar{X} + 3s$  = zgornja meja v grupi
6.  $\bar{X} - 3s$  = spodnja meja v grupi

Poleg tega računalnik preveri, če je porazdelitev vrednosti v grupi normalna in to tudi zapiše.

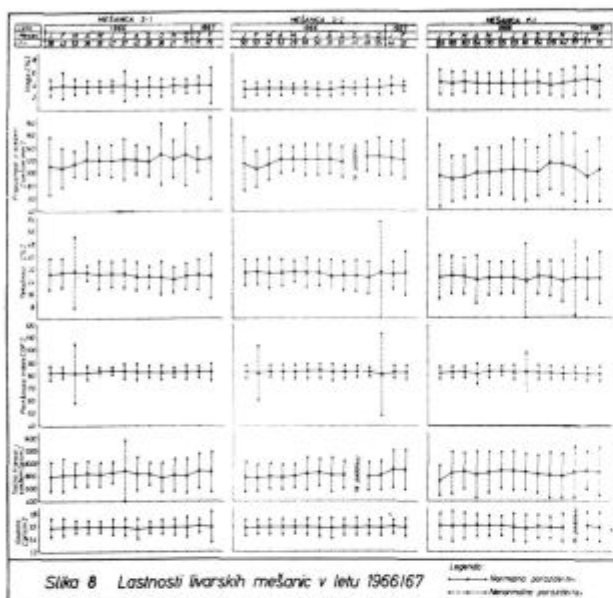


Če ni, jo razdeli na razrede in izračuna frekvence v odstotkih za vsak razred.

Način pričakovanja normalnih in nenormalnih porazdelitev v verjetnostni mreži oziroma v histogramu je opisan v že omenjene članku inž. B. Rodeta.

Rezultate teh izračunov za mesečne analize

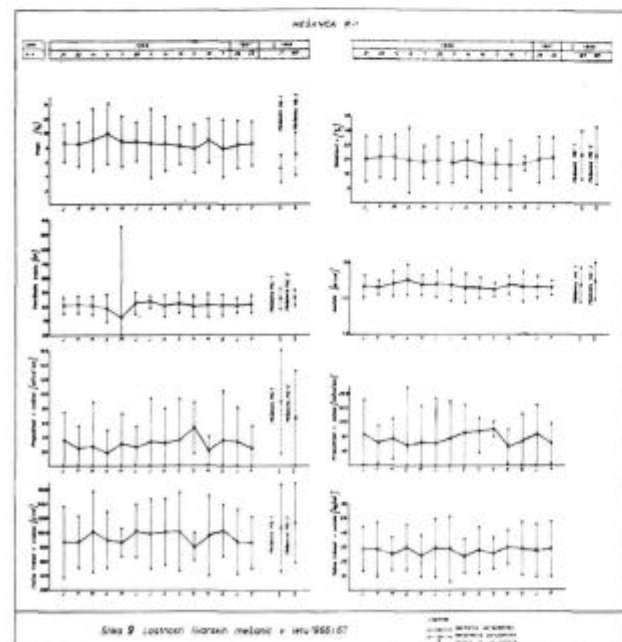
Centralno linijo za  $\bar{X}$  izračunamo po formuli: statistične porazdelitve pregledno prikazujemo z grafikoni na slikah 8 in 9. Na njih so prikazane mesečne srednje vrednosti posameznih lastnosti,



Slika 8 Lastnosti livarskih mešaníc v letu 1966/67

Slika 8

Lastnosti livarskih mešaníc za mokre forme v obdobju leta 1966/67



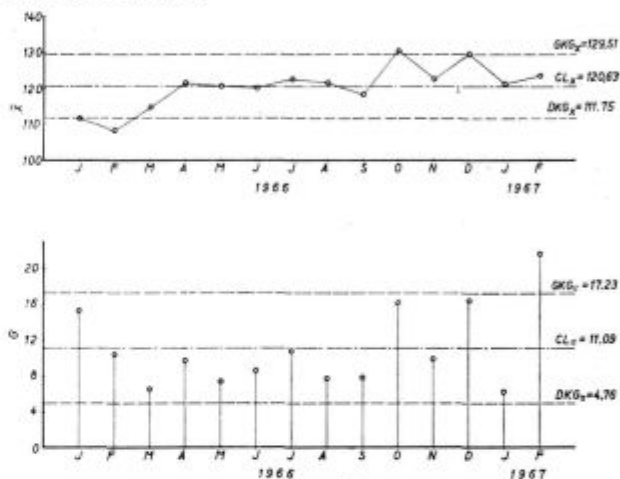
Slika 9 Lastnosti livarskih mešaníc v letu 1966/67

Slika 9

Lastnosti livarskih mešaníc za suhe forme v obdobju leta 1966/67

naravne meje na osnovi 99,73 odstotne statistične zanesljivosti in število analiziranih mešaníc v mesecu. Pri mešanícah, za katere imamo mesečno premalo podatkov za statistično analizo porazdelitve, je ta izdelana za celo leto (mešanica MG-1 in MG-2). Poleg tega so s črtkanimi razponi označene vse porazdelitve, ki niso normalne po statističnih ocenjevalnih kriterijih.

Rezultati, ki jih da računalnik, tudi dobro služijo za risanje tako imenovanih kart  $\bar{X} - \sigma$ . Medtem ko so diagrami na slikah 8 in 9 samo grafični prikazi, so karte  $\bar{X} - \sigma$  prave statistične kontrolne karte, ki kažejo spreminjanje nivoja in enakomernosti posameznih lastnosti po mesecih. Eno takih kart vidimo na sliki 10. V zgornji del diagrama vnašamo  $\bar{X}$ , v spodnji del pa standardno deviacijo  $\sigma$  za vsak mesec.



Slika 10

Primer karte  $\bar{X} - \sigma$  za propustnost v svežem. Mešanica S-1.

$$CL_{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}}{n} = \bar{\bar{X}}$$

Spodnjo kontrolno mejo za  $\bar{X}$  izračunamo po formuli:

$$DKG_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - \frac{3}{\sqrt{n}} \cdot \bar{\sigma}$$

Zgornjo kontrolno mejo izračunamo po formuli:

$$DKG_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + \frac{3}{\sqrt{n}} \cdot \bar{\sigma}$$

Centralno linijo za  $\sigma$  izračunamo:

$$CL_{\sigma} = \frac{\sum \sigma}{n} = \bar{\sigma}$$

$$DKG_{\sigma} = \left(1 - \frac{3}{\sqrt{2n}}\right) \cdot \bar{\sigma}$$

$$GKG_{\sigma} = \left(1 + \frac{3}{\sqrt{2n}}\right) \cdot \bar{\sigma}$$

Tako izračunane meje vrišemo v karto  $\bar{X} - \sigma$ . Na enak način kot ga prikazuje slika 10, lahko izdelamo statistične karte za vse ostale lastnosti.

Kaj nam je statistična analiza livarskih mešanic pokazala?

1. Srednje vrednosti lastnosti se po mesecih ne spreminjajo mnogo.

2. Odstopanja od srednjih vrednosti so zelo velika in pri nekaterih lastnostih od meseca do meseca različna. Majhen interval odstopanj kažeta le lastnosti 'površinska trdota' in 'gostota'.

3. Mešanice P-1 imajo večji interval porazdelitve lastnosti kot mešanice S-1 in S-2, čeprav se izdelujejo iz istih surovin. Razlika je v tipu mešalnika in načinu doziranja sestavin. Sklepamo, da je to vzrok razlike v enakomernosti.

4. V nekaterih mesecih se je pojavilo pri nekih lastnostih nenormalno veliko odstopanje v statistični porazdelitvi. To kaže, da so v proces prave mešanice vstopili neki nekontrolirani faktorji, ki so vplivali na neenakomernost lastnosti.

5. Kljub temu, da so srednje vrednosti na zadovoljivem nivoju, upoštevajoč surovine, ki so na voljo, se zaradi velikega nihanja vrednosti lahko ob neugodni kombinaciji pojavi večje število popolnoma neuporabnih mešanic. N. pr. vlaga 6%, propustnost 60 pri mešanici S-1 v februarju 1967. leta. Take mešanice skoraj gotovo povzročijo slabo kvaliteto ulitkov, zato moramo uporabo takih pravočasno preprečiti.

6. Največje nihanje vrednosti opazimo pri mešanicah R-1 za sušene forme. Te mešanice se sestavljajo iz dveh različnih vrst peska in je že to dodatni faktor, ki poveča nihanje lastnosti.

### Zaključki

Že začetne raziskave na področju uvajanja statistične kontrole in analize na področju livar-

skih surovin so pokazale, da bo možno za vsak posamezni problem najti primerno metodo statistične obdelave. Čeprav te začetne analize še ne dajejo direktne korelacije med posameznimi lastnostmi peskov in kvaliteto ulitkov, pomagajo držati glavne surovine na primernem kvalitetnem nivoju in enakomernosti. Namesto nepregledne množice podatkov po knjigah bo odslej laboratorij za preiskavo livarskih materialov izdajal periodična poročila vsem zainteresiranim v pregledni obliki. Poročila o gibanju kvalitete surovin bodo vsebovala:

— analizo porazdelitve vseh glavnih lastnosti surovin,

— primerjavo serij z opozorili o pojavu pomembnih razlik nivoja ali enakomernosti.

Osnova za dnevno kontrolo bodo kontrolne karte  $\bar{X}-R$ . Te karte bodo priložene periodičnim poročilom. Za mešanice, kjer imamo v enem mesecu dovolj podatkov za analizo statistične porazdelitve, bomo vodili mesečne kontrolne karte  $\bar{X}-\sigma$ . Vsak mesec bo dodana k prejšnjim podatkom za  $\bar{X}$  in  $\sigma$  nova vrednost in bo tako omogočena pregledna primerjava po mesecih. Kjer pa v obdobju enega meseca ni dovolj podatkov za analizo porazdelitve (navadno je to pri podatkih o dospelih surovinah), bomo karte  $\bar{X}-\sigma$  izdelali za daljše obdobje.

Tako bodo že izdelane analize statistične porazdelitve za leto 1966 ne glede na to, kakšno stanje so odkrile, služile za dobro primerjavo stanja na startu in poznejših sprememb.

## ZUSAMMENFASSUNG

Es sind einige Arten beschrieben, wie wir aus der unübersehbaren Anzahl der Daten auf dem Gebiete der Giessereirohstoffe mittels statistischer Methoden von Kontrollkarten und der Analyse der statistischen Verteilung übersichtliche und verwendbare Aufstellungen machen. Einige praktische Beispiele sind aus den statistischen Darstellungen der Haupteigenschaften von Giessereisand und der angefertigten Mischungen im Zeitraum von unge-

fähr einem Jahr genommen worden. Diese Darstellungen halfen uns zu bemerkenswerten Feststellungen über den Zustand der gewaschenen Sande und der in der Giesserei angefertigten Mischungen zu kommen. Eine noch grössere Bedeutung haben diese zum Vergleich des Zustandes der Giessereirohstoffe zu Beginn der Einführung von statistischen Methoden mit dem künftigen Zustand, welcher das Resultat von Verbesserungseingriffen sein soll.

## SUMMARY

Some methods are described how out random data multitude in the foundry raw material field, organized and usefull presentations are made by use of statistical methods of control cards and statistical analysis of distribution. Some practical examples are taken from statistical presentation of main characteristics of pure foundry sand and made up mixtures in a period of a year. These present-

tations helped us to come to very important conclusions about incoming washed sands and made up mixtures in the foundry shop.

Statistical methods are giving us powerfull tool with which we are going to improve quality of foundry sands in near future.

Odgovorni urednik: Joža Arh, dipl. inž. — Clani: Jože Rodič, dipl. inž., Janez Barborič, dipl. inž., Aleksander Kveder, dipl. inž., Edo Žagar, tehnični urednik

Tisk: ČP »Gorenjski tisk«, Kranj