



ICES
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Strojništvo
Modul: Orodjarstvo

**ANALIZA ZMOGLJIVOSTI PROCESA PROIZVODNJE
IZDELKA KALCIJEVIH KARBONATNIH PIGMENTOV ZA
PAPIRNO INDUSTRIJO
S POMOČJO KONTROLNIH MEJ
KARAKTERISTIK KAKOVOSTI VZORCA**

Mentor: mag. Slavko Božič

Kandidat: Matjaž Brložnik

Ljubljana, oktober 2020

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju mag. Slavku Božiču za njegovo odzivnost in pomoč.

Zahvaljujem se tudi lektorju Ivanu Cepancu, ki je mojo diplomsko nalogo jezikovno in slovnično pregledal in nadgradil.

IZJAVA

Študent Matjaž Brložnik izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Slavka Božiča.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole

Dne, 20. 10. 2020

Podpis: _____



POVZETEK

Statistična kontrola procesov (SPC, Statistical Process Control) je metoda kontrole kakovosti, ki uporablja statistične metode za spremljanje in nadzor procesa ter tako preprečuje napake in podpira stalen napredek kakovosti. Indeks, ki meri, kako se postopek izvaja do svojih omejitev specifikacij glede na naravno spremenljivost procesa, je indeks zmogljivosti in centriranosti procesov oziroma CpK.

Namen raziskave je bil analizirati zmogljivost proizvodnje izdelka kalcijevih karbonatnih pigmentov za papirno industrijo s pomočjo kontrolnih mej osmih karakteristik kakovosti vzorca (suha snov, viskoznost, pH, temperatura, belina, rumenina in dva parametra granulacije).

Analiza zmogljivosti proizvodnje CpK je pokazala, da je proces proizvodnje zmogljiv za belino, rumenino, viskoznost in temperaturo ter nezmogljiv za pH, suho snov ter oba parametra granulacije.

Zaradi ugotovljene nezmogljivosti proizvodnje smo izračunali ter grafično predstavili spodnje in zgornje kontrolne meje ter podjetju svetovali izboljšanje kakovosti izdelka s centriranjem variacij, pri čemer se CpK postopoma izenači s Cp ter z redukcijo variacij procesa z uvedbo ožjih tolerančnih mej interne kontrole.

KLJUČNE BESEDE

- kakovost,
- statistično obvladovanje procesa,
- CpK,
- kalcijevi karbonatni pigmenti,
- karakteristike kakovosti izdelka.

ABSTRACT

Statistical Process Control (SPC) is a method of quality control that employs statistical methods to monitor and control a process in order to prevent errors and support constant progress in quality, producing more specification-conforming products with less waste. A measure for the likelihood that an output is within the specification limits is called process capability index (CpK). It is an index that estimates what the process is capable of producing, considering that the process mean may not be centered between the specification margins.

This study aimed to analyze the process capability of calcium carbonate pigments production for eight quality characteristics (dry matter, viscosity, pH, temperature, whiteness, yellowness and two granulation parameters).

Analysis CpK showed that process was capable for whiteness, yellowness, viscosity and temperature, while it was incompetent for pH, Q1 and Q2 granulation variables, and dry matter.

Due to established process incapability we calculated and graphically presented lower and upper control limits, and suggested to improve the quality of the product with centering the variations of the process, where CpK is gradually equalized to Cp, and/or introduction of more strict tolerance limits of the internal control.

KEYWORDS

- quality,
- statistical process control,
- CpK,
- calcium carbonate pigments,
- product quality characteristics.

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	Predstavitev problema	1
1.2	Cilji DELA	2
1.3	PREDSTAVITEV OKOLJA.....	2
1.4	Predpostavke in omejitve	3
1.5	Metode dela	4
2	TEORETIČNE OSNOVE.....	4
2.1	POJEM KAKOVOSTI.....	4
2.2	SISTEMI KAKOVOSTI.....	5
2.3	STATISTIČNO OBVLADOVANJE PROCESA	6
2.4	KONTROLNE KARTE.....	10
3	REZULTATI	14
4	ZAKLJUČKI.....	28
5	LITERATURA IN VIRI	29

KAZALO TABEL

Tabela 1: Priporočena minimalna zmogljivost glede na specifikacije za različne postopke	9
Tabela 2: Odstotek izven tolerance in izpad procesa (v PPM) glede na nivo sigma 10	
Tabela 3.....	13
Tabela 4: Meritve beline (R457), granulacije (Q2 in Q1), pH, rumenine (Yell), suhe snovi, temperature in viskoznosti izdelka.....	14
Tabela 5: Analiza zmogljivosti proizvodnje glede na specifikacije izdelka.....	15
Tabela 6: Povprečna vrednost, povprečni razpon, standardna deviacija in izračun kontrolnih mej za karakteristike kakovosti vzorca (23 meritev vsake karakteristike)	21

KAZALO SLIK

Slika 1: Procesni pristop k sistemom vodenja kakovosti v podjetju	3
Slika 2: Razmerje dejanske in predpisane širine procesa	7
Slika 3: Indeks zmogljivosti in centriranosti procesa	8
Slika 4: Odnos med indeksom zmogljivosti (Cp) in centriranosti (CpK).....	8
Slika 5: Meritve, tolerančne meje in Gaussova krivulja parametra beline R457 (v odstotkih) izdelka karbonatnih pigmentov za papirno industrijo	16
Slika 6: Meritve, tolerančne meje in Gaussova krivulja parametra granulacije Q2 ..	16
Slika 7: Meritve, tolerančne meje in Gaussova krivulja parametra granulacije Q1 (v odstotkih) izdelka karbonatnih pigmentov za papirno industrijo	17

Slika 8: Meritve, tolerančne meje in Gaussova krivulja parametra pH.....	18
Slika 9: Meritve, tolerančne meje in Gaussova krivulja parametra rumenine (v odstotkih)izdelka karbonatnih pigmentov za papirno industrijo	18
Slika 10: Meritve, tolerančne meje in Gaussova krivulja parametra suhe snovi (v odstotkih)izdelka karbonatnih pigmentov za papirno industrijo	19
Slika 11: Meritve, tolerančne meje in Gaussova krivulja parametra temperature (v °C) izdelka karbonatnih pigmentov za papirno industrijo.....	20
Slika 12: Meritve, tolerančne meje in Gaussova krivulja parametra viskoznosti (v mPas), izdelka karbonatnih pigmentov za papirno industrijo	20
Slika 13: Meritve beline R457 (v odstotkih) izdelka karbonatnih pigmentov za papirno industrijo s tolerančnimi mejami interne kontrole ter spodnjimi in z zgornjimi kontrolnimi mejami	22
Slika 14: Meritve granulacije Q(2µm) (v odstotkih) izdelka karbonatnih pigmentov za papirno industrijo s tolerančnimi mejami interne kontrole ter spodnjimi in z zgornjimi kontrolnimi mejami	23
Slika 15: Meritve granulacije Q(1µm) (v odstotkih) izdelka karbonatnih pigmentov za papirno industrijo s tolerančnimi mejami interne kontrole ter spodnjimi in z zgornjimi kontrolnimi mejami	23
Slika 16: Meritve pH izdelka karbonatnih pigmentov za papirno industrijo s tolerančnimi mejami interne kontrole ter spodnjimi in z zgornjimi kontrolnimi mejami	24
Slika 17: Meritve rumenine Yell (v odstotkih) izdelka karbonatnih pigmentov za papirno industrijo s tolerančnimi mejami interne kontrole ter spodnjimi in z zgornjimi kontrolnimi mejami	25
Slika 18: Meritve suhe snovi (v odstotkih) izdelka karbonatnih pigmentov za papirno industrijo s tolerančnimi mejami interne kontrole ter spodnjimi in z zgornjimi kontrolnimi mejami	26
Slika 19: Meritve temperature (v °C) izdelka karbonatnih pigmentov za papirno industrijo s tolerančnimi mejami interne kontrole ter spodnjimi in z zgornjimi kontrolnimi mejami	26
Slika 20: Meritve viskoznosti (v mPas) izdelka karbonatnih pigmentov za papirno industrijo s tolerančnimi mejami interne kontrole ter spodnjimi in z zgornjimi kontrolnimi mejami	27

KRATICE IN AKRONIMI

Cp, CpL, CpU, CpK = koeficienti zmogljivosti procesa

CTQ = kritične značilnosti kakovosti (angl. Critical to Quality)

ISO = Mednarodna organizacija za standardizacijo (angl. International Organization for Standardization)

SKM = spodnja kontrolna meja

SPC = statistično obvladovanje procesov (angl. Statistical Process Control)

ZKM = zgornja kontrolna meja

1 UVOD

1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Kakovost izdelka je v današnjem času pogosteje kot cena odločilni dejavnik, ki loči konkurenčna od nekonkurenčnih podjetij. Slaba kakovost proizvodov škodi ugledu podjetja, izguba strank pa je nenadomestljiva. Razočaranje zaradi slabe kakovosti se bolj vtisne v spomin kot občutek zadovoljstva zaradi nizke cene. Potrošniki se še kako zavedajo, da je cena nekakovostnih proizvodov previsoka glede na ponujene koristi in tako se tudi podjetja zavedajo, da so potrošniki tisti, ki opredeljujejo kakovost. Kot so zahteve potrošnikov vse višje, tako so potrošniki za visoko kakovostne proizvode pripravljeni plačati več in prav zato je še kako pomembna interna kontrola kakovosti proizvodov in zmogljivosti procesa.

V kontrolnem obratu podjetja se vsak dan opravi ogromno meritev, ki se predstavljajo grafično na kontrolnih kartah ter statistično obdelujejo, da bi se zagotovili kakovost izdelka in zmogljivost proizvodnje. Pri vsaki meritvi je vključenih mnogo spremenljivk. Že najmanjša napaka na stroju lahko »uniči« celotno serijo produktov, kaj šele nezbran ali nezainteresiran delavec. Zanimivo je tudi, kako velik vpliv ima na kakovost recimo malica, saj se delavec vrne preveč sproščen in stroj, ki je miroval resnično minimalno, ni več optimalno kalibriran, kar nam takoj povzroči odstopanja, ki so lahko večja od tolerančnih mej. Opazovanje meritev in kontrolnih kart nam omogoči, da vidimo, kdo je resnično pri stvari, kdo pa dela le kljukice zato, ker je to njegova služba. Večji kot je vzorec in večje kot je število vzorcev ter krajši kot je interval odvzemanja vzorcev, bolj so vidna odstopanja. Šele, ko vidimo neko veliko celoto, ki jo lahko še bolj podrobno razčlenimo na manjše dele, opazimo vse odmike od idealne linije povprečne meritve in tolerance.

Če vzorcev ne bi jemali dovolj pogosto, bi lahko zgrešili tiste proizvode, ki ne ustrezajo standardom. Resda imamo tako več zavrženih proizvodov, a se na ta način dvigneta kakovost izdelka ter zmogljivost proizvodnje in se – kar je še najpomembnejše – zmanjša število reklamacij. Zelo pomembne so tudi pravilne priprave na meritve, saj meritve v slučaju, da si ne izberemo pravih nadzornih parametrov, ne bodo pokazale tistega, nad čemer bomo. V kontroli proizvodov nas lahko vsak trenutek zelo drago stane že najmanjša napaka.

Marsikdo se ne zaveda pomembnosti kontrolne službe v proizvodnih linijah, zato je treba poudariti, da kljub temu, da se marsikateri kos zavrže, je to ceneje od reševanja reklamacij, ki so v večini primerov dražje od proizvodnega procesa.

- Najpomembnejša zagotovila za dolgoročen obstoj in rast organizacije na konkurenčnem svetovnem trgu so: stalno izboljševanje kakovosti procesov in proizvodov, povečevanje produktivnosti in zmanjševanje stroškov.

- Statistična kontrola procesov (SPC, Statistical Process Control) je metoda kontrole kakovosti, ki uporablja statistične metode za spremljanje in nadzor procesa in tako preprečuje napake ter podpira stalen napredek kakovosti. Metoda SPC je nujna za podjetja, ki delujejo na globalnem trgu ali v povezavi z zahtevnimi kupci in mednarodno konkurenco.
- Indeks, ki meri, kako se postopek izvaja do svojih omejitev specifikacij glede na naravno spremenljivost procesa, je indeks zmogljivosti in centriranosti procesov oziroma CpK.

1.2 CILJI DELA

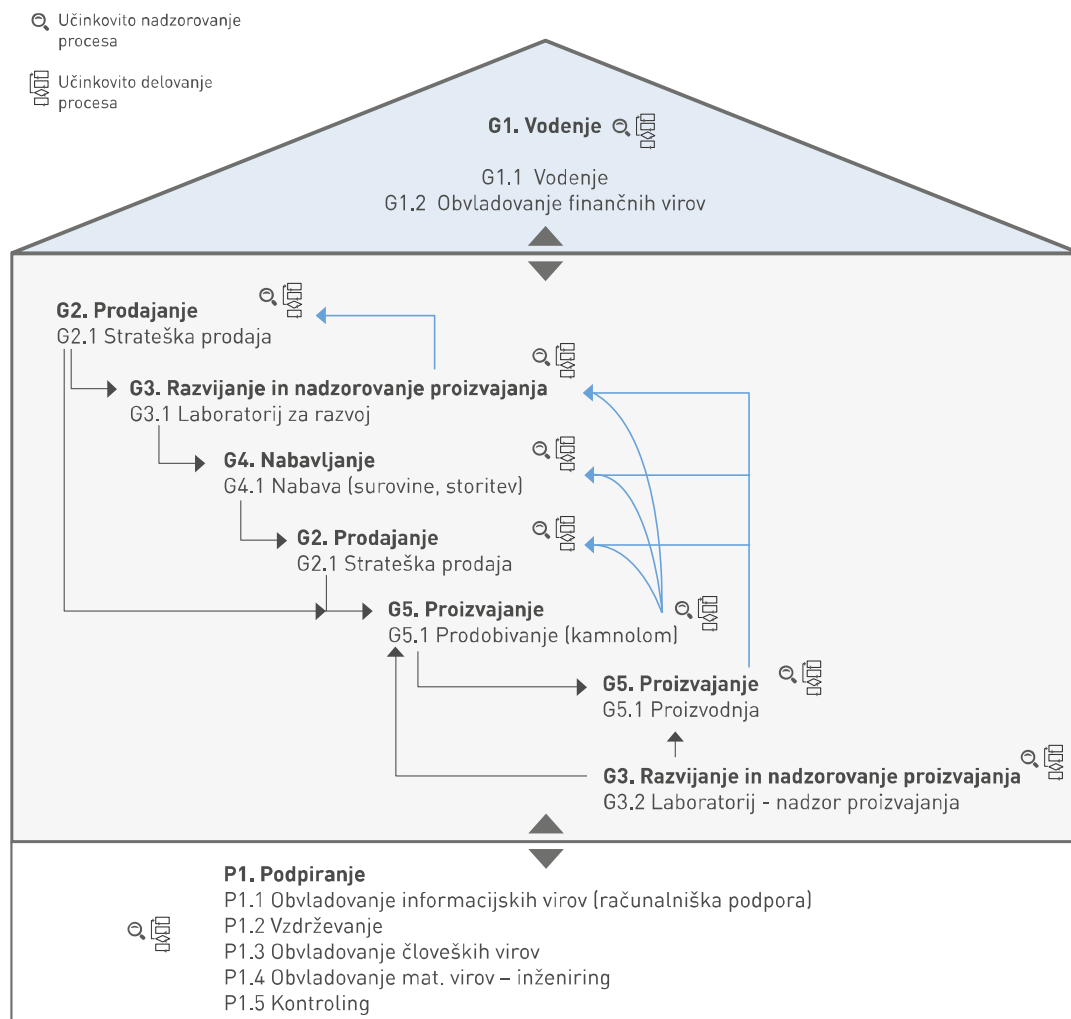
Namen raziskave je bil analizirati zmogljivost proizvodnje izdelka kalcijevih karbonatnih pigmentov za papirno industrijo s pomočjo kontrolnih mej osmih karakteristik kakovosti vzorca (suha snov, viskoznost, pH, temperatura, belina, rumenina in dva parametra granulacije).

Z analizo procesa smo ovrednotili, ali je proizvodnja izdelka zmožljiva. Tako smo oblikovali okvir za možnost kasnejših očrtov za optimizacijo proizvodnje.

1.3 PREDSTAVITEV OKOLJA

Podjetje ima več kot 30-letno tradicijo, več kot 150 zaposlenih in je lastniško obvladovano s strani dveh družin iz Slovenije in Avstrije. Njegova dejavnost je razvoj, proizvodnja in prodaja kalcijevih karbonatnih polnil, granulotov in peskov za papirno, barvno, plastično ter gradbeno industrijo. Več kot 60 odstotkov deleža prodaje je papirništvo, sledita industrija umetnih mas ter gradbena industrija. Podjetje vsako leto dosega desetodstotno rast, razen v letu 2020, ko se je rast zaradi pandemije COVID-19 zmanjšala na pet odstotkov. Načrtovano rast prodaje dosega podjetje predvsem s prodajo premaznih pigmentov in polnil na področju papirništva.

Podjetje ima vzpostavljen in dokumentiran sistem vodenja kakovosti, ki ga izvaja in vzdržuje ter nenehno izboljšuje njegovo učinkovitost v skladu z zahtevami mednarodnega standarda ISO 9001. Sistem vodenja kakovosti temelji na procesnem pristopu, kot je razvidno na sliki 1.



Slika 1: Procesni pristop k sistemom vodenja kakovosti v podjetju (Lastni vir)

1.4 PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE

Osnovni problem, ki se ga lotevamo v diplomskem delu, je analiza zmogljivosti procesa proizvodnje izdelka kalcijevih karbonatnih pigmentov za papirno industrijo s pomočjo kontrolnih mej karakteristik kakovosti vzorca. Izdelek smo analizirali s predpostavko, da ustreza kriterijem kakovosti. Predvidevali smo, da bo naša analiza potrdila to predpostavko o kakovosti. Če te predpostavke ne bomo potrdili, torej v primeru nezmožljivosti procesa proizvodnje, bomo interne tolerančne kontrolne meje primerjali z izračunanimi spodnjimi in zgornjimi kontrolnimi mejami.

Omejitve in objektivne ovire naše raziskave so naslednje: analizirali smo izdelek, ki je poslovna skrivnost podjetja, saj mu zagotavlja konkurenčno prednost pred drugimi podjetji in ima največjo dodano vrednost; zaradi slednjega bi bilo tudi imenovanje

podjetja v diplomskem delu, ki je javna listina, s strani vodstva organizacije nezaželeno. Morda ta omejitev niti ni tako zelo kritična, saj naša raziskava velja le za določen izdelek v konkretnem podjetju in naši rezultati niso aplikabilni na primerljive izdelke in/ali podjetja.

1.5 METODE DELA

V teoretičnem delu sta za prikaz obstoječega stanja uporabljeni opisna metoda in metoda združevanja. V raziskovalnem delu sta uporabljeni analitična metoda ter študija primera. V zaključku so z metodo sinteze združene glavne ugotovitve raziskovalnega dela v povezavi s teoretičnimi izhodišči.

Analizirali smo izdelek karbonatnih pigmentov za papirno industrijo, ki ima med vsemi izdelki podjetja najvišjo dodano vrednost. Analizirali smo sedem dni meritev izdelka kontrolnega obrata podjetja (tri meritve na dan), in sicer osem karakteristik vzorca, ki so bile: suha snov, viskoznost, pH, temperatura, belina, rumenina in dva parametra granulacije. Na podlagi specifikacij izdelka oziroma zahtev kupca (CTQ, Critical To Quality) smo analizirali zmogljivost proizvodnje – izračunali smo indeks zmogljivosti in centriranosti procesa:

$$C_p = (MAX - MIN)/(6 \cdot \sigma)$$

$$C_{pU} = (MAX - \bar{x}) / (3 \cdot \sigma)$$

$$C_{pL} = (\bar{x} - MIN) / (3 \cdot \sigma)$$

$$C_{pK} = \min [C_{pL}, C_{pU}]$$

\bar{x} = povprečna vrednost

MAX = zgornja meja glede na specifikacijo izdelka

MIN = spodnja meja glede na specifikacijo izdelka

σ = standardna deviacija

Zaradi nezmogljivosti proizvodnje smo interne tolerančne kontrolne meje primerjali z izračunanimi spodnjimi in zgornjimi kontrolnimi mejami:

$$SKM1 = \bar{x} - 3 \cdot \sigma, ZKM1 = \bar{x} + 3 \cdot \sigma, SKM2 = \bar{x} - A_2 \times \bar{R}, ZKM2 = \bar{x} + A_2 \times \bar{R}$$

\bar{x} = povprečna vrednost, σ = standardna deviacija, A_2 = konstanta iz tabele 1,

\bar{R} = povprečni razpon.

2 TEORETIČNE OSNOVE

2.1 POJEM KAKOVOSTI

Kakovost je najpomembnejši dejavnik konkurenčne prednosti podjetja. V literaturi je veliko definicij, ki opredeljujejo pojem kakovosti, a težko je najti splošno veljavno definicijo, saj se dojemanje kakovosti spreminja s časom in z družbenimi spremembami [1].

Stalno izboljševanje kakovosti procesov in proizvodov, povečevanje produktivnosti in zmanjševanje stroškov so tri najbolj pomembna zagotovila za dolgoročen obstoj in rast organizacije na konkurenčnem svetovnem trgu [2].

Standardi ISO opredeljujejo kakovost takole: »Kakovost je doseganje vseh lastnosti izdelka ali storitve, ki jih kupec pričakuje«. Čeprav je definicij pojma kakovosti veliko, je vsem skupno spoznanje, da kakovost določa kupec. Kakovosten proizvod naj bi zadovoljil ali celo presegel pričakovanja kupcev [2].

Poleg kakovosti proizvodov je treba zagotoviti stabilen, obvladovan proizvodni proces, saj so procesi tisti, ki proizvajajo proizvode. Stabilen, obvladovan proizvodni proces lahko dosežemo s pomočjo tehnik statističnega obvladovanja procesa [3].

2.2 SISTEMI KAKOVOSTI

Podjetja si lahko pomagajo pri uspešnem in kakovostnem poslovanju s pomočjo različnih sistemov kakovosti, ki jih mora podjetje učinkovito in sebi primerno vpeljati v svoje okolje. Eden najbolj znanih ter razširjenih sistemov je vsekakor ISO standard 9001, ki podjetjem zagotavlja standardizirano poslovanje, ki temelji na osredotočenosti na odjemalce, kakovostnih procesih, učinkovitem vodenju ter nenehnem izboljševanju in tako podjetjem daje osnovo za uspešno in učinkovito poslovanje. Standard ne naredi izdelkov oziroma storitev boljših, ampak procese standardizira, jih naredi bolj zanesljive, kar pa odjemalcem omogoča, da so lahko prepričani v kakovost izdelkov [4].

Poudarek standarda ISO je, da se vsi procesi, ki se nanašajo na kakovost izdelka in samega poslovanja, planirajo po sistemu, se tako tudi izvajajo, nadzorujejo in natančno dokumentirajo. Natančno morajo biti določeni plan dela, organizacija dela in odgovornost posameznih služb. Vsak udeleženec v procesu, tako sektor kot posameznik, mora točno vedeti, kje je njegovo mesto v sistemu, kaj so njegove naloge in odgovornosti ter kako mora delati [4].

Razvoj sistema kakovosti kot osnova za izboljšanje procesov mora biti sestavni del poslovne politike podjetja. V sistem mora biti vpleten vsak zaposleni v podjetju, vsak mora natančno vedeti, kaj mora narediti, kaj je njegovo delo, da, ko pride do napak, le-te hitro odpravimo in proces tako izboljšamo, da ne prihaja več do istih napak. Tako mora biti sistem kakovosti integriran na vseh ravneh podjetja, od strateškega do končnega operativnega nivoja [4].

Standardi kakovosti omogočajo sporazumevanje med odjemalci in proizvajalci. So dokumentirani sporazumi, ki vsebujejo tehnične opise in druga natančna merila, kot so pravilniki, navodila, obrazci. Temeljijo na priznanih rezultatih znanosti, tehnike in izkušenj. Njihov namen je zagotoviti skladnost materialov, procesov, storitev z

zahtevami standarda, ki jih je treba dosledno upoštevati. Standard nastane s soglasjem in ga odobri priznan organ, ki določa pravila, smernice ali značilnosti za dejavnost in njihove rezultate ter je namenjen občasni in večkratni uporabi in je usmerjen v doseganje optimalne stopnje urejenosti na danem področju. Standardi so tako zapisani sporazumi, temelječi na priznanih rezultatih znanosti, tehnike in izkušenj in so pripravljene z namenom doseči optimalne koristi za skupnost. Namen teh standardov je zagotoviti skladnost materialov, izdelkov, procesov ali storitev z zahtevami standarda in jih je treba dosledno upoštevati. Z razvojem zahtev glede kakovosti proizvodov se razvijajo tudi standardi in modeli, ki podjetjem pomagajo vzpostaviti ustrezen sistem obvladovanja kakovosti proizvodov, izboljševati poslovanje, ocenjevati njegovo uspešnost in učinkovitost [4].

Bistvo standarda ISO je v tem, da se podjetje stalno izboljšuje na vseh ravneh poslovanja, s čimer se zmanjšujejo stroški napak, saj se napake odpravljajo sistematično in se ne ponavljajo, poleg tega pa se raven kakovosti izdelkov nenehoma dviguje. Želja, da podjetje ohrani sistem kakovosti, pomeni, da se mora venomer izboljševati skladno s smernicami, ki jih nalaga sam sistem kakovosti, kar posledično samo zagotavlja kakovostno poslovanje. Konkretno ISO 9001 zahteva, da ima podjetje dokumentiran sistem kakovosti kot način zagotavljanja, da bodo izdelki podjetja v skladu s predpisani zahtevami [4–7].

ISO standard zagotavlja tudi lažje mednarodno poslovanje, saj se tako poslovni partnerji v verigi lažje sporazumevajo in tudi zaupanje v kakovost poslovanja in samih izdelkov je večje, če podjetje dokaže, da posluje po smernicah ISO-standarda. Standard ISO 9001 zagotavlja skladnost s kupčevimi in zakonskimi zahtevami in predstavlja podlago za podelitev potrdila kakovosti [4–7].

2.3 STATISTIČNO OBVLADOVANJE PROCESA

Statistično obvladovanje procesa (SPC, angl. Statistical Process Control) je sistem obvladovanja procesa s pomočjo statističnih tehnik, ki omogočajo, da ves čas spremljamo in poznamo variacije procesa ter preprečujemo neskladnosti v skladu z njegovimi naravnimi omejitvami. Ta metoda preprečuje napake in podpira stalen napredek kakovosti [3].

Z analizo vzorca in s pomočjo statistike predvidevamo stanje neke karakteristike, neke količine, nekega izdelka. Proces združuje vse aktivnosti, katerih izhod je nek izdelek ali storitev. Obvladovati proces pomeni njegovo vodenje, primerjanje s cilji in poznavanje korektivnih ukrepov na poti do cilja. Statistične metode so uporabljene v razvoju novih izdelkov in procesov, za ugotavljanje sposobnosti procesov ter kontrolnih, merilnih in preizkusnih pripomočkov, ugotavljanje kakovosti surovin ter polizdelkov in kakovosti končnih izdelkov [3,8].

Namen uporabe SPC je:

- ugotavljanje in spremljanje stanja procesov in karakteristik proizvodov,
- izboljšanje sposobnosti procesov in karakteristik proizvodov,
- znižanje stroškov kakovosti,
- osvajanje novih proizvodov in tehnologij [3,8,9].

V večini primerov ima posamezni kupec lastne standarde, specifikacije in predpise. Metoda SPC zagotavlja visoko stopnjo kakovosti, zanesljivosti in ponovljivosti izdelkov in je nujna za podjetja, ki delujejo na globalnem trgu ali v povezavi z zahtevnimi kupci in mednarodno konkurenco [3,8,9].

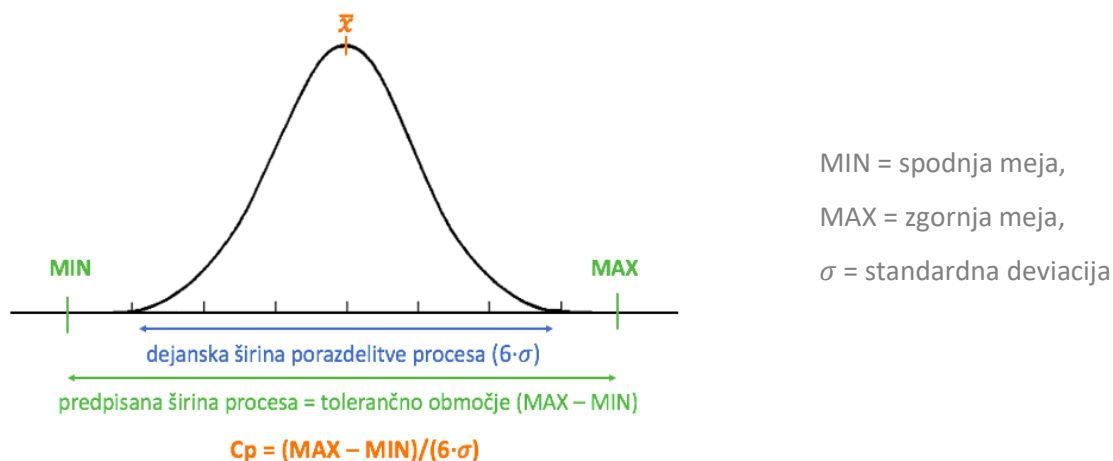
SPC, metoda kontrole kakovosti, ki uporablja statistične metode za spremljanje in nadzor procesa, pomaga zagotoviti, da proces deluje učinkovito in proizvaja izdelke, ki so skladni s specifikacijami in zahtevami kupca. Poudariti je treba, da so to minimalne zahteve glede statistične regulacije procesa in se od kupca do kupca razlikujejo. Zahteva glede SPC je definirana z minimalnim koeficientom sposobnosti procesa CpK [3,8].

Indeks zmogljivosti in centriranosti procesa (Cp in CpK)

Indeks zmogljivosti procesa Cp kaže razmerje med predpisano širino procesa oziroma tolerančnim območjem in dejansko širino porazdelitve procesa (slika 1) [3,10,11].

Cp izračunamo tako, da predpisano širino procesa (= zgornja meja – spodnja meja) delimo z dejansko širino procesa ($6 \cdot \sigma$).

$$Cp = (MAX - MIN)/(6 \cdot \sigma).$$



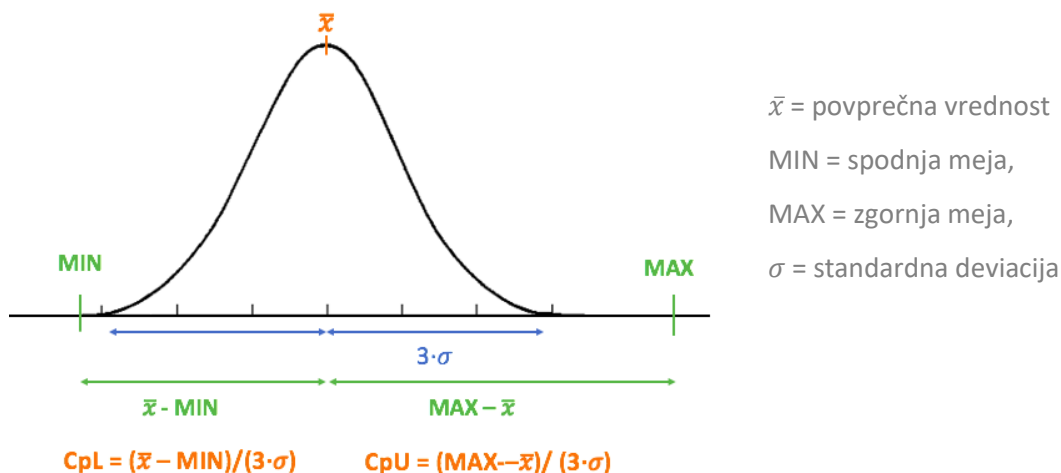
Slika 2: Razmerje dejanske in predpisane širine procesa
(Lastni vir)

Kadar proces ni centriran, Cp ni zanesljiv pokazatelj zmogljivosti procesa [10,11]. Indeks, ki meri, kako se postopek izvaja do svojih omejitev specifikacij glede na naravno spremenljivost procesa, je indeks centriranosti procesov CpK (slika 3). CpK je ukrep, ki pove, kako blizu je organizacija pri doseganju cilja in kako dosledna je glede na povprečno uspešnost [10,11].

$$CpK = \min [CpL, CpU]$$

$$CpL = (\bar{x} - MIN) / (3 \cdot \sigma)$$

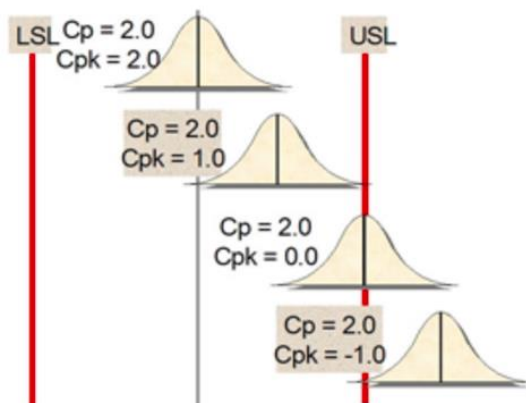
$$CpU = (MAX - \bar{x}) / (3 \cdot \sigma)$$



\bar{x} = povprečna vrednost
 MIN = spodnja meja,
 MAX = zgornja meja,
 σ = standardna deviacija

Slika 3: Indeks zmogljivosti in centriranosti procesa (Lastni vir)

Primer odnosov med indeksom zmogljivosti (Cp) in centriranosti (CpK) je grafično ponazorjen na sliki 4 [12].



Slika 4: Odnos med indeksom zmogljivosti (Cp) in centriranosti (CpK) (Vir 12)

Priporočila glede minimalnih zmogljivosti glede na specifikacije so v tabeli 1 [13], odstotek izven tolerance in izpad procesa glede na standardno deviacijo pa v tabeli 2 [14].

Tabela 1 prikazuje priporočeno minimalno zmogljivost glede na specifikacije za različne postopke.

Situacija	Priporočena minimalna zmogljivost glede na dvostranske specifikacije	Priporočena minimalna zmogljivost glede na enostransko specifikacijo
Obstoječ proces	1,33	1,25
Nov proces	1,50	1,45
Varnostni/kritični parameter za obstoječi postopek	1,50	1,45
Varnost ali kritični parameter za nov postopek	1,67	1,60
Postopek kakovosti Six Sigma	2,00	2,00

*Tabela 1: Priporočena minimalna zmogljivost glede na specifikacije za različne postopke
(Vir 13)*

Tabela 2 prikazuje Odstotek izven tolerance in izpad procesa (v PPM) glede na nivo sigma.

CpK	Nivo sigma	Odstotek izven tolerance	Izpad procesa (PPM)
0.33	1.0	31,73	317.310.508
0.50	1.5	13,36	133.614.403
0.67	2.0	4,55	45.500.264
0.83	2.5	1,24	12.419.331
1.00	3.0	0,27	2.699.796
1.17	3.5	0,05	465.258
1.33	4.0	0,01	63.342
1.50	4.5	0,001	6.795
1.67	5.0	0,0001	0,573
1.83	5.5	0,000004	0,038
2.00	6.0	0,0000002	0,002

LEGENDA: Nivo sigma 1 = enkratna standardna deviacija, PPM = parts per million.

Tabela 2: Odstotek izven tolerance in izpad procesa (v PPM) glede na nivo sigma (Vir 14)

2.4 KONTROLNE KARTE

Kontrolne karte so grafični prikaz parametrov procesa v časovnem intervalu. Z njimi analiziramo stabilnost in sposobnost proizvodnega procesa ter kontroliramo parametre kakovosti med proizvodnjo v okviru predpisanih tolerančnih meja.

Kontrolna karta je osnovni pripomoček pri ugotavljanju sposobnosti in stabilnosti proizvodnega procesa. Kontrolna karta je v bistvu diagram, kjer na absciso nanašamo zaporedne vzorce, vzete iz proizvodnega procesa, na ordinato pa izmerjene vrednosti zasledovane karakteristike kakovosti. Odvisno od tega, ali zasledujemo numerične ali atributivne vrednosti, ločimo več vrst kontrolnih kart (povprečja, odstopanja, dviganje in padanje kakovosti itd.). Pri snemanju sposobnosti in stabilnosti proizvodnega procesa v enakomernih časovnih intervalih jemljemo direktno iz procesa vzorec več izdelkov (tri do deset), na katerih opredelimo kakovost [2].

Kontrolne karte temeljijo na načelu, da je vsak industrijski proces izpostavljen variabilnosti zaradi naključnih in sistemskih vzrokov. Naključnih vzrokov je zelo veliko, težko jih je identificirati in povzročajo relativno majhen obseg variabilnosti procesa/stroja. Kadar vplivajo na proces le naključni vzroki, pravimo, da je proces v stanju »statističnega nadzora«. Sistemske napake povzročajo praviloma večja odstopanja v procesu in jih je lažje identificirati. Kadar vplivajo na proces sistemske napake, pravimo, da proces ni v stanju statističnega nadzora. Sistemske napake naj

bi skušali odkriti in odpraviti še pred pričetkom proizvodnje. Namen uporabe kontrolnih kart je nadzor in izboljšanje procesa s preučevanjem variabilnosti in njenih vzrokov. Pri uporabi kontrolnih kart običajno jemljemo iz procesa vzorce, izračunamo določeno statistiko vzorca in njihove vrednosti primerjamo s srednjo vrednostjo te statistike. Če je ta razlika prevelika, proces ni pod nadzorom. V tem primeru je ena od kontrolnih mej prekoračena. Kontrolni meji sta izračunani na osnovi dejanskih vrednosti, dobljenih z vzorci iz procesa. Kontrolni meji sta postavljeni v oddaljenosti $\pm 3\sigma$ od srednje linije [2].

2.4.1 Uporabnost kontrolnih kart

Kontrolne karte so:

- vir informacij glede na specifikacije in tolerance v proizvodnih procesih, ki napovejo, ali izdelani proizvodi izpolnjujejo zahteve,
- orodje stalnega nadzora, ki pomaga ljudem v proizvodnji in kakovosti, da ugotovijo neustrezna odstopanja in vzroke,
- pomoč pri odločitvah glede sprejetja ali zavrnitve določene serije izdelkov,
- možnost ugotavljanja trendov določenih karakteristik kakovosti,
- možnost za dobro analizo poteka procesa ter ugotavljanje vzrokov variabilnosti [2].

2.4.2 Odnos med tolerančnima, procesnima in kontrolnima mejama

Fizična lokacija kontrolnih mej je izračunana na osnovi statistike vzorca, na primer porazdelitev aritmetičnih sredin vzorcev (\bar{x}) in razponov vzorcev, ne pa porazdelitev posameznih vrednosti (x) vzorca. Tolerančne meje so določene s specifikacijo proizvoda oziroma določajo sprejemljiv obseg variacije za posamezen proizvod. Kot take se lahko tolerančne meje primerjajo s procesnimi mejami. Interpretacija kontrolnih mej je podobna kot pri procesnih mejah, vendar je fizična lokacija različna, ker so procesne meje izračunane na osnovi statistike vzorcev. Procesne meje določimo iz pogostosti porazdelitve. Velikost vzorca mora biti vsaj 50 proizvodov, kar pomeni velik strošek in veliko časa, da dobimo rezultat. Za bolj učinkovit nadzor procesa je bolje vzeti iz procesa večje število vzorcev in bolj pogostoma, čeprav so vzorci majhni (od tri do pet proizvodov) [2].

Kontrolne karte delimo glede na vrsto uporabljenih podatkov na dve glavni skupini: kontrolne karte za variable in kontrolne karte za attribute [2].

2.4.3. Kontrolne karte za variable omogočajo, da vzamemo večje število vzorcev z relativno majhnim številom enot v vzorcu. Namesto, da bi nanašali vrednosti vsake posamezne enote iz vzorca, nas zanima le statistika za osrednjo tendenco in za variabilnost posameznega vzorca. Te vrednosti statistik vnašamo na kontrolni karti za variable v dva ločena grafikona. Če za mero osrednje tendence izberemo aritmetično sredino \bar{x} in za mero variabilnosti razpon R , govorimo o $\bar{x} - R$ kontrolni karti, če pa izberemo za mero variabilnosti standardni odklon S , govorimo o $\bar{x} - S$ kontrolni karti [2].

Osnovno vodilo za izračun kontrolnih mej je $3 \cdot \sigma$ glede na srednjo linijo. Če izberemo statistiko \bar{x} (aritmetična sredina aritmetičnih vzorcev) kot mero za centralno tendenco, izračunamo kontrolne meje za graf aritmetičnih sredin \bar{x} , sta kontrolni meji: SKM = $\bar{x} - 3 \cdot \sigma$ in ZKM = $\bar{x} + 3 \cdot \sigma$ [2].

Postopek izdelave kontrolne karte z izračunom kontrolnih mej (primer za $\bar{x} - R$ kontrolno karto) je sledeč:

1. izbor karakteristik kakovosti, ki jih bomo nadzorovali s kontrolno karto;
2. določitev veličin v zvezi z vzorcem: velikost vzorca, število vzorcev, interval jemanja vzorcev;
3. izračun statistike za osrednjo toleranco in razpon R za vsak vzorec;
4. izračun velikega povprečja $\bar{\bar{x}}$ in povprečja \bar{R} iz podatkov vzeti vzorcev;
5. izračun kontrolnih mej;
6. analiza vrednosti aritmetičnih sredin in razponov z oziroma na izračunane kontrolne meje;
7. analiza ekonomske sprejemljivosti kontrolnih mej;
8. uporaba kontrolne karte za nadzor redne proizvodnje [2].

S pomočjo formul je računanje kontrolnih mej zamudno in nepraktično, zato obstaja tabela konstant $A_2, A_3, B_3, B_4, D_3, D_4$, s katerimi računanje kontrolnih mej poenostavimo (tabela 3) [2]. S pomočjo teh konstant uporabimo formule, ki jih v praksi uporabljamo za izračun mej pri $\bar{x} - R$ kontrolnih kart. Kontrolnih mej pri $\bar{x} - R$ kontrolni karti izračunamo za graf aritmetičnih sredin na sledeč način: SKM = $\bar{x} - A_2 \times \bar{R}$ in ZKM = $\bar{x} + A_2 \times \bar{R}$ [2].

Tabela 3: Konstante in faktor konverzije za računanje kontrolnih mej.

Velikost vzorca	Grafikon za povprečja		Grafikon za standardne odklone		Grafikon za razpone		Faktor konverzije
	Konstante		Konstante		Konstante		
n	A ₂	A ₃	B ₃	B ₄	D ₃	D ₄	d ₂
2	1,88	0,2659	0	3,267	0	3,267	1,128
3	1,023	0,1954	0	2,568	0	2,574	1,693
4	0,729	1,628	0	2,266	0	2,282	2,059
5	0,577	1,427	0	2,089	0	2,114	2,326
6	0,483	1,287	0,030	1,970	0	2,004	2,534
7	0,419	1,182	0,118	1,882	0,076	1,924	2,704
8	0,373	1,099	0,185	1,815	0,136	1,864	2,847
9	0,337	1,032	0,239	1,761	0,184	1,816	2,970
10	0,308	0,975	0,284	1,716	0,223	1,777	3,078
11	0,285	0,927	0,321	1,679	0,256	1,744	3,173
12	0,266	0,886	0,354	1,646	0,283	1,717	3,258
13	0,249	0,850	0,382	1,618	0,307	1,693	3,336
14	0,235	0,817	0,406	1,594	0,328	1,672	3,407
15	0,223	0,789	0,428	1,572	0,347	1,653	3,472
16	0,212	0,763	0,448	1,552	0,363	1,637	3,532
17	0,203	0,739	0,466	1,534	0,378	1,622	3,588
18	0,194	0,718	0,482	1,518	0,392	1,608	3,640
19	0,187	0,698	0,497	1,503	0,403	1,597	3,689
20	0,180	0,680	0,510	1,490	0,415	1,585	3,735

Tabela 3
Konstante in faktor konverzije za računanje kontrolnih mej
(Vir 2)

3 REZULTATI

Analizirali smo 23 meritev vsake od osmih karakteristik kakovosti izdelka (tabela 4).

Tabela 4 prikazuje meritve beline (R457), granulacije (Q2 in Q1), pH, rumenine (Yell), suhe snovi, temperature in viskoznosti izdelka.

Datum	R457 [%]	Q2 [%]	Q1 [%]	pH	Yell (%)	suha snov [%]	temperatura [°C]	viskoznost [mPas]
20/09/2020	93,86	97,60	84,2	10,43	1,81	71,3	32	167
20/09/2020	93,77	97,60	83,9	10,4	1,53	71,25	36,2	173
20/09/2020	94,01	97,20	83,6	10,36	1,33	71,39	32	174
19/09/2020	93,63	97,40	84,5	10,28	2,02	71,26	38,2	154
19/09/2020	94,3	97,40	84,5	10,36	1,51	71,58	38,2	210
19/09/2020	94,1	97,20	84,1	10,5	1,77	71,52	38	194
18/09/2020	93,97	97,80	83,4	10,23	1,69	71,22	38	163
18/09/2020	94,13	97,40	84	10,2	1,66	71,23	33	172
18/09/2020	93,99	97,00	83,9	10,3	1,54	71,37	37,7	171
18/09/2020	93,53	97,40	83,8	10,4	1,87	71,72	35,1	185
17/09/2020	93,81	97,40	84,4	10,25	1,68	71,26	37,7	159
17/09/2020	94,06	97,20	84,1	10,23	1,68	71,38	39,7	168
17/09/2020	93,6	97,30	83,5	10,23	1,81	71,36	36,2	172
16/09/2020	93,69	97,50	84,5	10,3	1,82	71,39	35,1	164
16/09/2020	93,78	97,50	83,9	10,28	1,75	71,38	40,6	153
16/09/2020	93,66	97,40	84	10,28	1,78	71,49	33	168
15/09/2020	93,66	97,20	83,6	10,44	1,78	71,15	36,7	156
15/09/2020	93,49	97,50	84,1	10,52	1,7	71,72	39,7	188
15/09/2020	93,77	97,60	83,9	10,27	1,78	71,51	40,6	170
14/09/2020	93,81	97,90	83,1	10,5	1,68	71,61	37,4	146
14/09/2020	93,54	97,40	84	10,43	1,84	71,5	42	189
14/09/2020	93,96	97,00	84,2	10,28	1,77	71,54	41	179
14/09/2020	93,55	97,10	83	10,47	1,78	71,31	40,5	161

LEGENDA: R4257 = belina, Q2 = parameter granulacije, delci pod 2 µm, Q1 = parameter granulacije, delci pod 1 µm, Yell = rumenina.

Tabela 4: Meritve beline (R457), granulacije (Q2 in Q1), pH, rumenine (Yell), suhe snovi, temperature in viskoznosti izdelka
(Lastni vir)

Analiza zmogljivosti proizvodnje CpK (tabela 5) je pokazala, da je proces proizvodnje nezmogljiv za štiri karakteristike kakovosti: pH, suho snov ter oba parametra granulacije. Parameter temperatura je sprejemljivo zmogljiv. Zmogljivost proizvodnje je bila odlična za belino, rumenino in viskoznost.

Tabela 5 prikazuje analizo zmogljivosti proizvodnje glede na specifikacije izdelka.

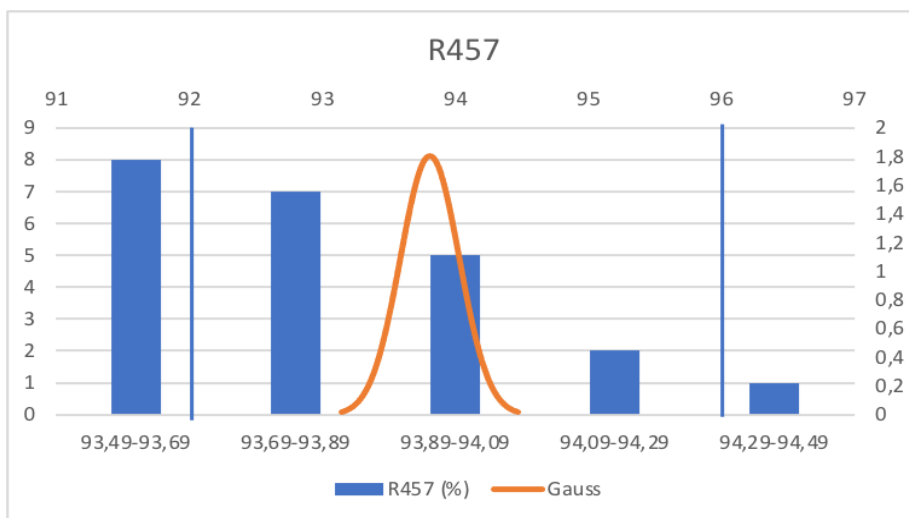
	R457 [%]	Q2 [%]	Q1 [%]	pH	Yell (%)	suha snov [%]	temperatura [°C]	viskoznost [mPas]
MIN	92,0	97,90	83,0	9,5	1,0	71,0	0,0	0,0
MAX	96,0	97,00	87,0	10,5	3,0	73,0	50,0	700,0
\bar{x}	93,81	97,39	83,93	10,35	1,72	71,41	37,11	170,96
σ	0,22	0,19	0,41	0,10	0,14	0,16	3,06	14,46
Cp	3,70	1,74	1,98	2,01	2,84	2,56	3,27	9,68
CpL	2,80	0,68	0,77	2,84	1,72	0,87	4,04	3,94
CpU	3,37	2,80	2,52	0,51	3,02	3,40	1,41	12,20
CpK	2,80	0,68	0,77	0,51	1,72	0,87	1,41	3,94

LEGENDA: R4257 = belina, Q(2 μ m) = parameter granulacije, delci pod 2 μ m, Q(1 μ m) = parameter granulacije, delci pod 1 μ m, Yell = rumenina, \bar{x} = povprečna vrednost, Cp = (MAX – MIN)/(6 \cdot σ), CpL = (\bar{x} – MIN)/(3 \cdot σ), CpU = (MAX – \bar{x})/(3 \cdot σ), CpK = min [CpL, CpU], MIN = spodnja meja glede na specifikacijo izdelka, MAX = zgornja meja glede na specifikacijo izdelka, σ = standardna deviacija.

Tabela 5: Analiza zmogljivosti proizvodnje glede na specifikacije izdelka (Lastni vir)

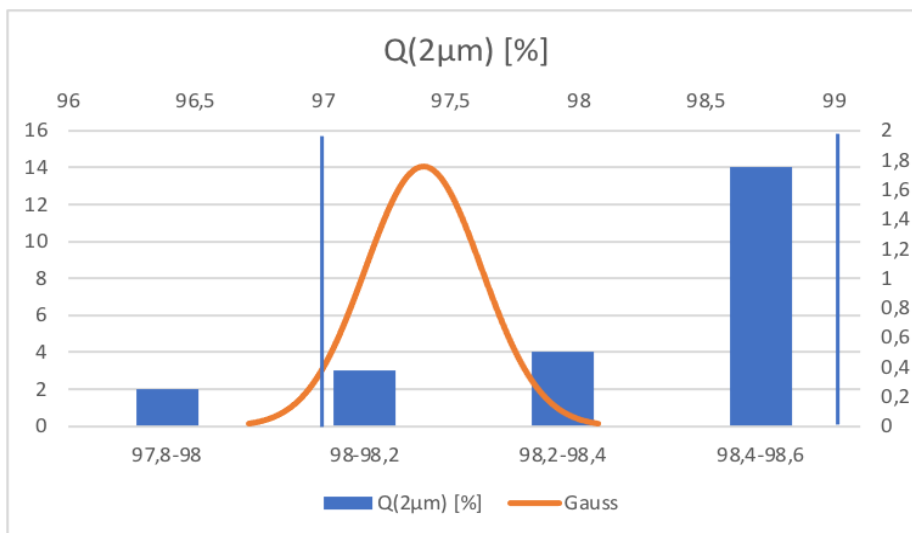
Gaussove krivulje ($\pm 3\cdot\sigma$) meritev karakteristik kažejo glede na tolerančne meje (slike 5–12), da je proizvodnja izdelka stabilna za belino (slika 5), rumenino (slika 9) in viskoznost (slika 12) ter manj stabilna za parametra granulacije Q2 (slika 6) in Q1 (slika 7), za pH (slika 8) in suho snov (slika 10). Proces za temperaturo ni najbolj centriran, meritve so znotraj tri sigma toleranc, niso pa znotraj šest sigma (slika 11).

Z Gaussove krivulje in tolerančnih mej na sliki 5 se vidi, da so bile vse meritve beline znotraj tri sigma toleranc. Modre črte na sliki 5 so tolerančne meje glede na specifikacijo izdelka. Proces je centriran. Zmogljivost proizvodnje (CpK) je za belino bila odlična. Belina je odvisna od same vstopne rude v proizvodnjo, zato lahko na belino vplivamo le v zgodnji fazi pridobivanja. Da zagotovimo kvaliteto, je treba vstopno rudo v kamnolomu ustrezno vzorčiti in analizirati. Podjetje je lastnik kamnoloma in kot je bilo prikazano na sliki 1, ima vzpostavljen nadzor kakovosti že v kamnolomu.



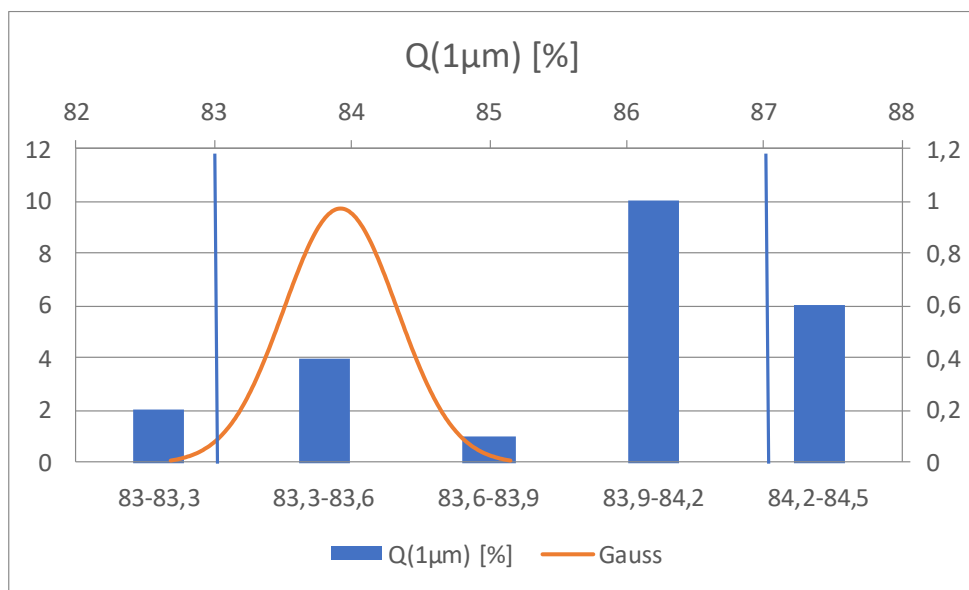
Slika 5: Meritve, tolerančne meje in Gaussova krivulja parametra beline R457 (v odstotkih) izdelka karbonatnih pigmentov za papirno industrijo (Lastni vir)

Na sliki 6 je razvidno, da so meritve parametra Q2 izven tri sigma toleranc. Modre črte na sliki 6 so tolerančne meje glede na specifikacijo izdelka. Analiza procesa proizvodnje (CpK) je pokazala, da je proces za Q2 nezmožljiv. Q2 je v celoti povezan s porabo električne energije in s tem povezanimi stroški proizvodnje. Zaradi konkurenčnosti in s tem povezano ceno proizvoda se parameter Q2 proizvaja na minimalnih oziroma spodnjih mejah predpisanega. Proces je stabilen, potrebno je centriranje.



Slika 6: Meritve, tolerančne meje in Gaussova krivulja parametra granulacije Q2 (v odstotkih) izdelka karbonatnih pigmentov za papirno industrijo (Lastni vir)

Z Gaussove krivulje in tolerančnih mej na sliki 7 so razvidne meritve Q1 izven tri sigma toleranc. Modre črte na sliki 7 so tolerančne meje glede na specifikacijo izdelka. Analiza procesa proizvodnje (CpK) je pokazala, da je proces za Q1 nezmogljiv. Parameter Q1 je v celoti povezan s porabo električne energije in s tem povezanimi stroški proizvodnje. Proizvaja se na meji toleranc 83–86 odstotkov. Predlagamo spremembo specifikacije ali pa centriranje proizvodnje, kjer se Cp postopoma izenači s CpK. Postavitev ožjih mej interne kontrole procesa je povezana z večjimi stroški.

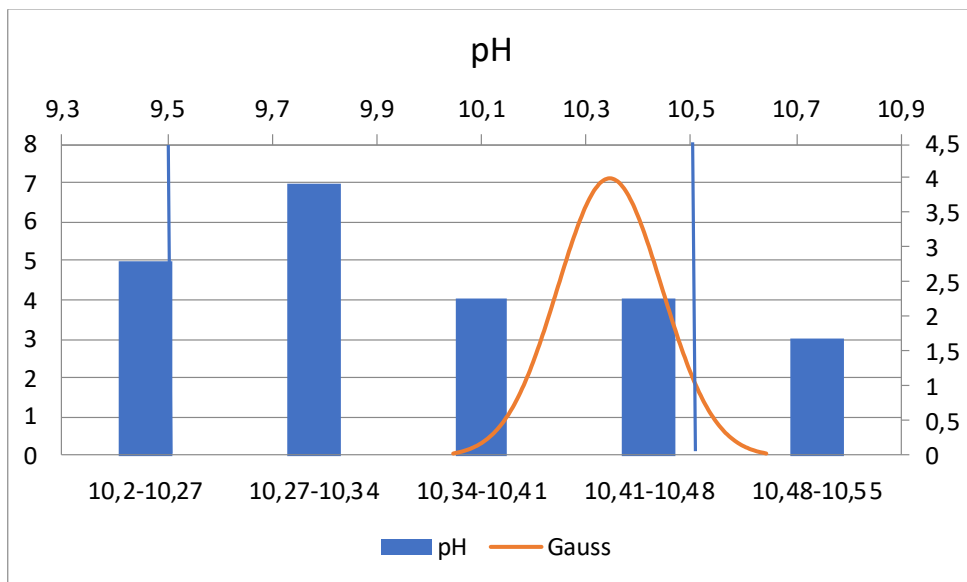


Slika 7: Meritve, tolerančne meje in Gaussova krivulja parametra granulacije Q1 (v odstotkih) izdelka karbonatnih pigmentov za papirno industrijo (Lastni vir)

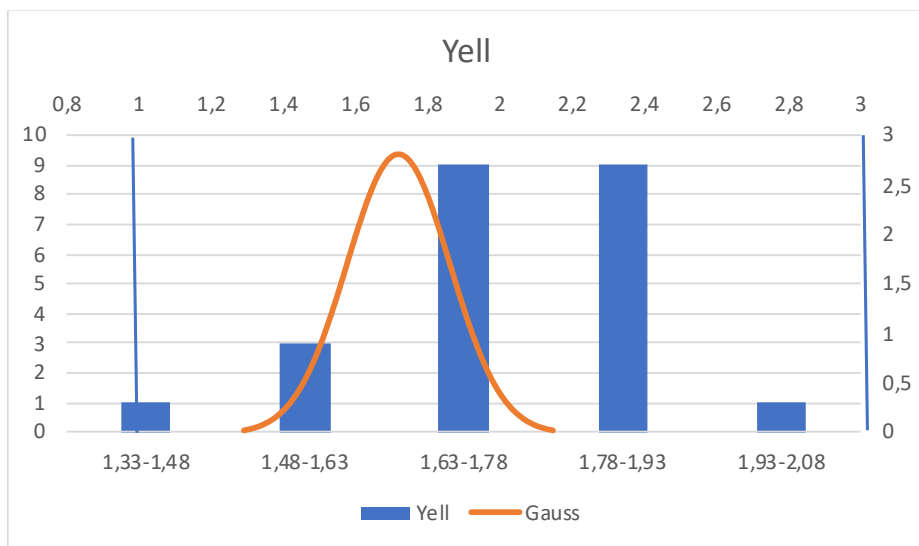
Z Gaussove krivulje in tolerančnih mej na sliki 8 je razvidno, da proces ni centriran, meritve pH so izven tri sigma toleranc. Modre črte na sliki 7 so tolerančne meje glede na specifikacijo izdelka. Vrednost pH predstavlja stabilnost proizvoda, in sicer stabilnost v smislu ustrezne viskoznosti in mikrobiologije. Proizvod s pH nad 10 je bolj stabilen in mikrobiološko bolj odporen. Opomniti velja, da je bil proces proizvodnje za pH nezmogljiv. Predlagamo spremembo specifikacije ali pa centriranje procesa s postavitvijo ožjih mej interne kontrole procesa, kar pa bo povezano z večjimi stroški proizvodnje.

Na sliki 9 je z Gaussove krivulje in tolerančnih mej razvidno, da je proces centriran in ni meritev rumenine izven tri sigma toleranc. Modre črte na sliki 7 so tolerančne meje glede na specifikacijo izdelka. Rumena je odvisna od same vstopne rude v proizvodnjo, zato lahko na rumenino, kot smo prej omenili za belino, vplivamo le v zgodnji fazi pridobivanja. Da zagotovimo ustrezno kvaliteto je potrebno vstopno rudo, glede na kamnolom ustrezno vzorčiti in analizirati. Podjetje je lastnik kamnoloma, in

kot je bilo prikazano na Sliki 1, ima podjetje vzpostavljen nadzor kakovosti že v kamnolomu. Zmogljivost proizvodnje (CpK) je bila za rumenino odlična.



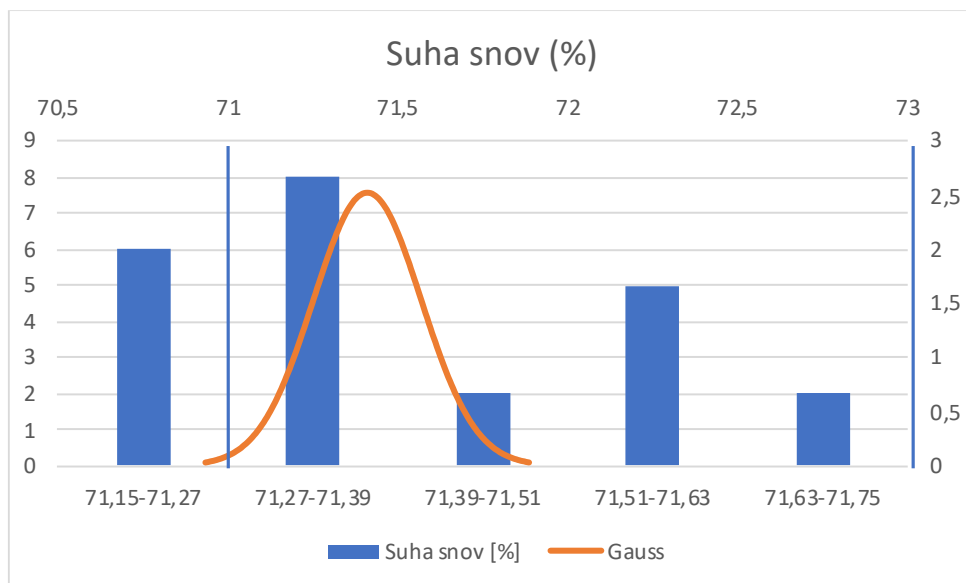
Slika 8: Meritve, tolerančne meje in Gaussova krivulja parametra pH izdelka karbonatnih pigmentov za papirno industrijo (Lastni vir)



Slika 9: Meritve, tolerančne meje in Gaussova krivulja parametra rumenine (v odstotkih) izdelka karbonatnih pigmentov za papirno industrijo (Lastni vir)

Z Gaussove krivulje in tolerančnih mej na sliki 10 je razvidno, da proces ni centriran, meritve suhe snovi so izven tri sigma toleranc. Modre črte na sliki 7 so tolerančne meje glede na specifikacijo izdelka. Suha snov je parameter, ki je tesno povezan s

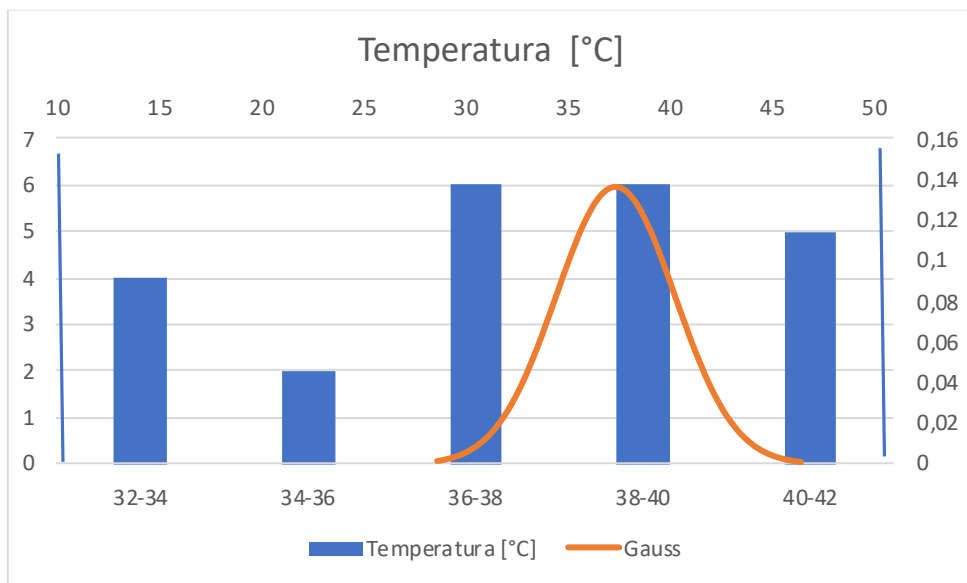
končno ceno proizvoda. Specificiran je na suho snov 72 ± 1 odstotek, in če se proizvod dobavlja ves čas na spodnji meji, se tako povečajo kapacitete proizvodnje. Proces proizvodnje, oziroma njegov CpK, je bil nezmogljiv za suho snov. Predlagamo spremembo specifikacije ali pa centriranje procesa.



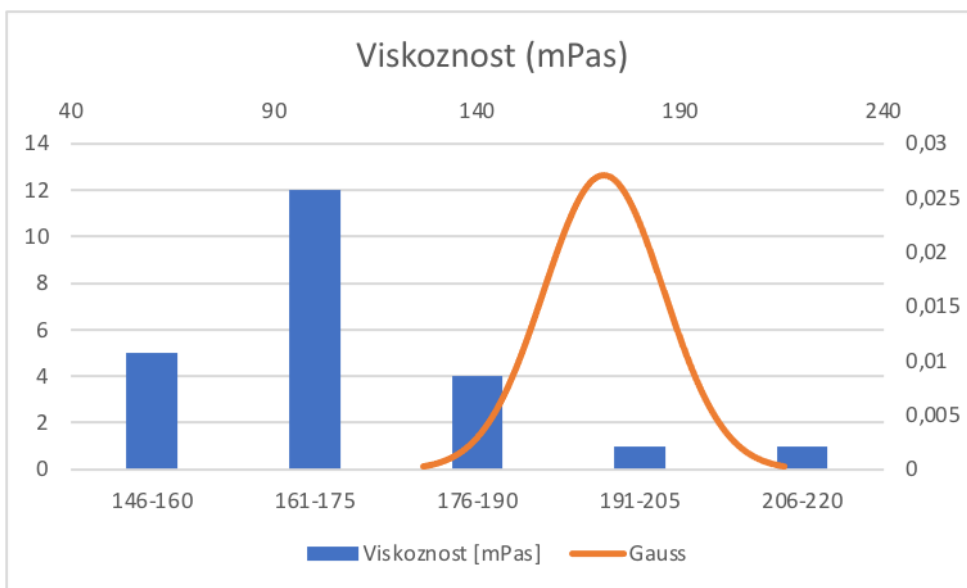
Slika 10: Meritve, tolerančne meje in Gaussova krivulja parametra suhe snovi (v odstotkih) izdelka karbonatnih pigmentov za papirno industrijo (Lastni vir)

Na sliki 11 je razvidno, da proces za temperaturo ni najbolj centriran, meritve so znotraj tri sigma toleranc, niso pa znotraj šest sigma. Modre črte na sliki 7 so tolerančne meje glede na specifikacijo izdelka. Analiza zmogljivosti proizvodnje (CpK) je pokazala, da je proces za temperaturo sprejemljivo zmogljiv. Večina meritev je med 36 in 40 stopinj, kar pove, da je proces stabilen. Tako s previsoko kot prenizko temperaturo se povečuje tveganje, da bo proizvod ob dobavi do kupca neustrezen.

Na sliki 12 je z Gaussove krivulje in spodnje tolerančne meje razvidno, da je proces centriran in ni meritev viskoznosti izven tri sigma toleranc. Zgornja tolerančna meja za viskoznost glede na specifikacijo izdelka je zelo visoka, 700 mPas, zato ni predstavljena na sliki. Ker je viskoznost zelo pomembna za praznjenje proizvoda iz cistern ali vagonov oziroma nadaljnje prečrpavanje, mora biti v dogovorjenih mejah. CpK je nad 1,67 in tako je proces ustrezen.



Slika 11: Meritve, tolerančne meje in Gaussova krivulja parametra temperature (v °C) izdelka karbonatnih pigmentov za papirno industrijo (Lastni vir)



Slika 12: Meritve, tolerančne meje in Gaussova krivulja parametra viskoznosti (v mPas), izdelka karbonatnih pigmentov za papirno industrijo (Lastni vir)

Izračunali smo spodnje in zgornje kontrolne meje (tabela 6), ki smo jih potem grafično predstavili vštric naših meritev (slike 13–20). Če proces ni centriran, je treba izenačiti CpK s Cp, kar lahko dosežemo z uvedbo ožjih tolerančnih mej interne kontrole.

Tabela 6 prikazuje povprečne vrednosti, povprečni razpon, standardno deviacijo in izračun kontrolnih mej za karakteristike kakovosti vzorca.

	R457 [%]	Q2 [%]	Q1 [%]	pH	Yell (%)	suha snov [%]	temperatura [°C]	viskoznost [mPas]
\bar{x}	93,8	98,3	84,0	10,4	1,7	71,5	37,7	179,1
\bar{R}	0,81	0,8	1,5	0,32	0,69	0,57	10	64
σ	0,22	0,23	0,41	0,10	0,14	0,16	3,06	14,46
SKM1	93,2	97,6	82,7	10,1	1,3	70,9	27,9	127,6
ZKM1	94,5	99,0	85,1	10,6	2,1	71,9	46,3	214,3
SKM2	93,7	98,2	83,7	10,3	1,6	71,3	35,3	159,4
ZKM2	94,0	98,5	84,2	10,4	1,8	71,5	38,9	182,5

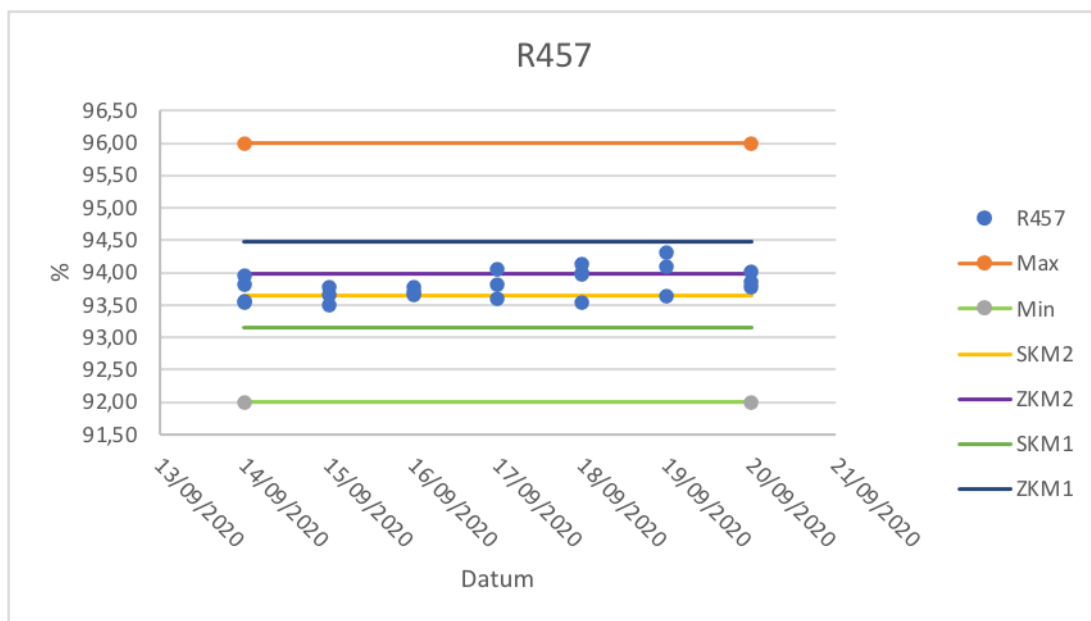
LEGENDA: R4257 = belina, Q(2 μ m) = parameter granulacije, delci pod 2 μ m, Q(1 μ m) = parameter granulacije, delci pod 1 μ m, Yell = rumenina, \bar{x} = povprečna vrednost, \bar{R} = povprečni razpon, σ = standardna deviacija, SKM = spodnja kontrolna meja, ZKM = zgornja kontrolna meja, SKM1 = $\bar{x} - 3 \cdot \sigma$, ZKM1 = $\bar{x} + 3 \cdot \sigma$, SKM2 = $\bar{x} - A_2 \times \bar{R}$, ZKM2 = $\bar{x} + A_2 \times \bar{R}$, \bar{x} = povprečna vrednost, σ = standardna deviacija, A_2 = konstanta iz tabele 1 (23 meritev: $A_2=0,180$), \bar{R} = povprečni razpon.

Tabela 6: Povprečna vrednost, povprečni razpon, standardna deviacija in izračun kontrolnih mej za karakteristike kakovosti vzorca (23 meritev vsake karakteristike)
(Lastni vir)

Vse meritve so znotraj SKM1/ZKM1, razen pri parametrih granulacije Q2 (slika 14) in Q1 (slika 15), kjer sta dve meritvi (2/23; 8,7 odstotka) izven SKM1/ZKM1. Nobeden od parametrov nima vseh meritev znotraj SKM2 in ZKM2.

Izven SKM2 in ZKM2 je trinajst meritev temperature (slika 19) in pH (slika 16), dvanajst meritev beline (slika 13) in Q2 (slika 14), enajst meritev suhe snovi (slika 18), deset meritev Q1 (slika 15), devet meritev viskoznosti (slika 20) ter šest meritev rumenine (slika 17).

Na sliki 13 je razvidno, da so vse meritve karakteristike kakovosti beline znotraj izračunanih kontrolnih mej SKM1/ZKM1. Dvanajst meritev (12/23; 52,2 odstotka) je izven izračunanih kontrolnih mej SKM2/ZKM2 (šest nad ZKM2 in šest pod SKM2). Opomniti velja, da je bila zmogljivost proizvodnje (CpK) za belino odlična, Gaussova krivulja je pokazala, da so bile vse meritve znotraj tri sigma toleranc.

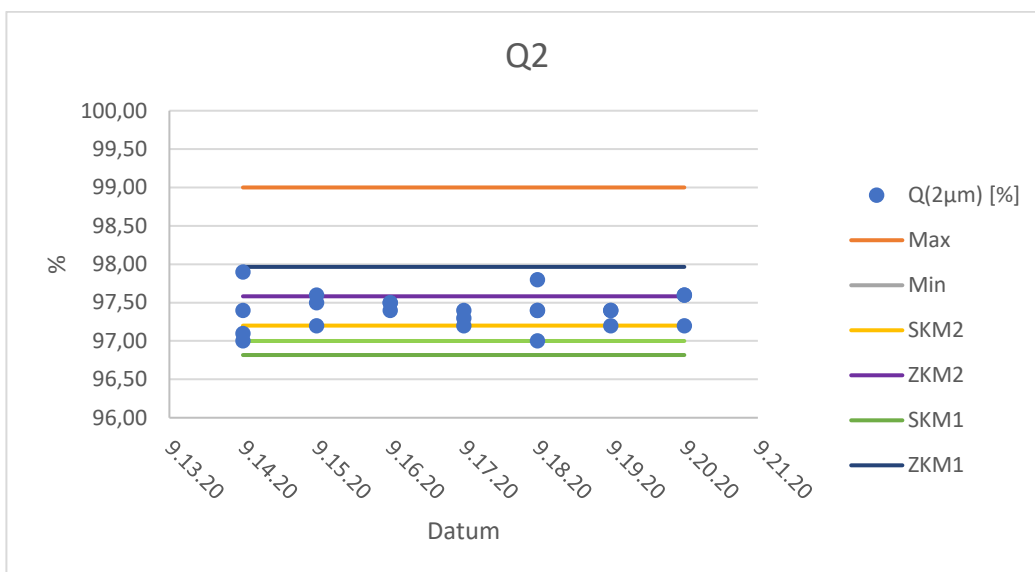


Slika 13: Meritve beline R457 (v odstotkih) izdelka karbonatnih pigmentov za papirno industrijo s tolerančnimi mejami interne kontrole ter spodnjimi in z zgornjimi kontrolnimi mejami (Lastni vir)

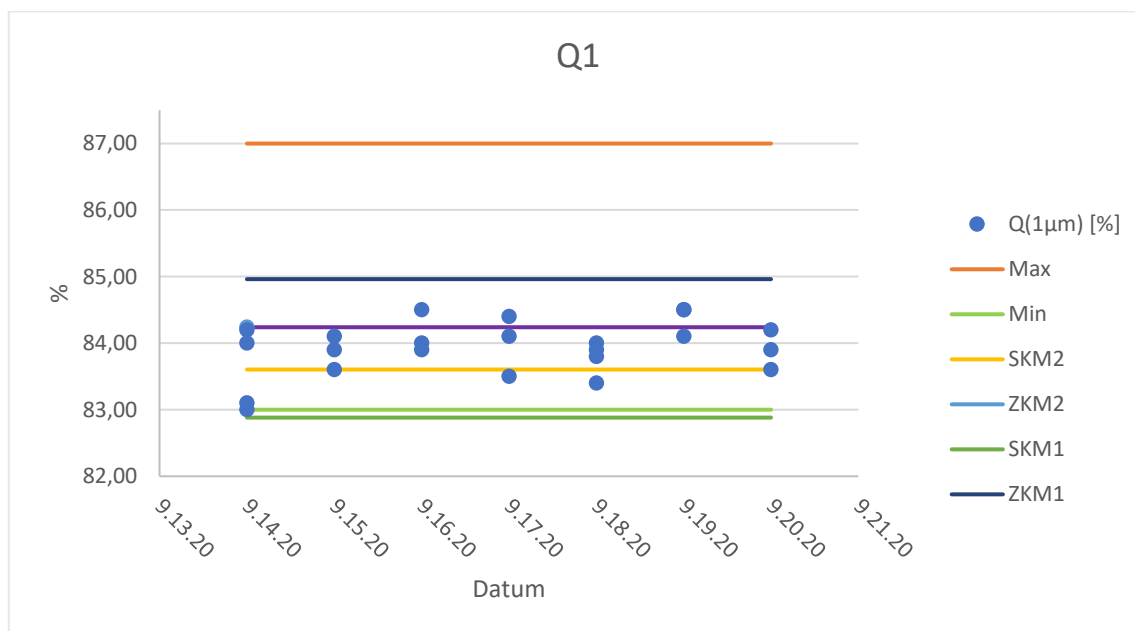
$SKM1 = \bar{x} - 3 \cdot \sigma$, $ZKM1 = \bar{x} + 3 \cdot \sigma$, $SKM2 = \bar{x} - A_2 \times \bar{R}$, $ZKM2 = \bar{x} + A_2 \times \bar{R}$,
 \bar{x} = povprečna vrednost, σ = standardna deviacija, \bar{R} = povprečni razpon, $A_2 = 0,180$

Na sliki 14 je razvidno, da sta dve meritvi (2/23; 8,7 odstotka) parametra granulacije Q2 izven izračunanih SKM1/ZKM1. Dvanajst meritev (12/23; 52,2 odstotka) je izven izračunanih kontrolnih mej SKM2/ZKM2 (sedem pod SKM2 in pet nad ZKM2). Meritve parametra Q2 so bile izven tri sigma toleranc. Opomniti velja, da je bil proces proizvodnje (CpK) za Q2 nezmogljiv. Pri večjih tolerancah bi se CpK popravil. Smiselna bi bila sprememba specifikacij. Parameter Q2 je v celoti povezan s stroški proizvodnje (porabo električne energije). Zaradi konkurenčnosti in s tem povezano ceno proizvoda se parameter Q2 proizvaja na minimalnih oziroma spodnjih mejah predpisanega. Proces je stabilen.

Slika 15 kaže, da sta dve meritvi (2/23; 8,7 odstotka) parametra granulacije Q1 izven SKM1/ZKM1 ter deset meritev (10/23; 43,5 odstotka) izven ZKM2/SKM2 (šest pod SKM2 in štiri nad ZKM2). Parameter Q1, v celoti povezan s porabo električne energije in s tem povezanimi stroški proizvodnje, se proizvaja na meji toleranc: 83–86 odstotkov. Analiza zmogljivosti proizvodnje (CpK) za Q1 je pokazala, da je proces za Q1 nezmogljiv. Pri večjih tolerancah bi se CpK popravil.



Slika 14: Meritve granulacije Q(2µm) (v odstotkih) izdelka karbonatnih pigmentov za papirno industrijo s tolerančnimi mejami interne kontrole ter spodnjimi in z zgornjimi kontrolnimi mejami (Lastni vir)

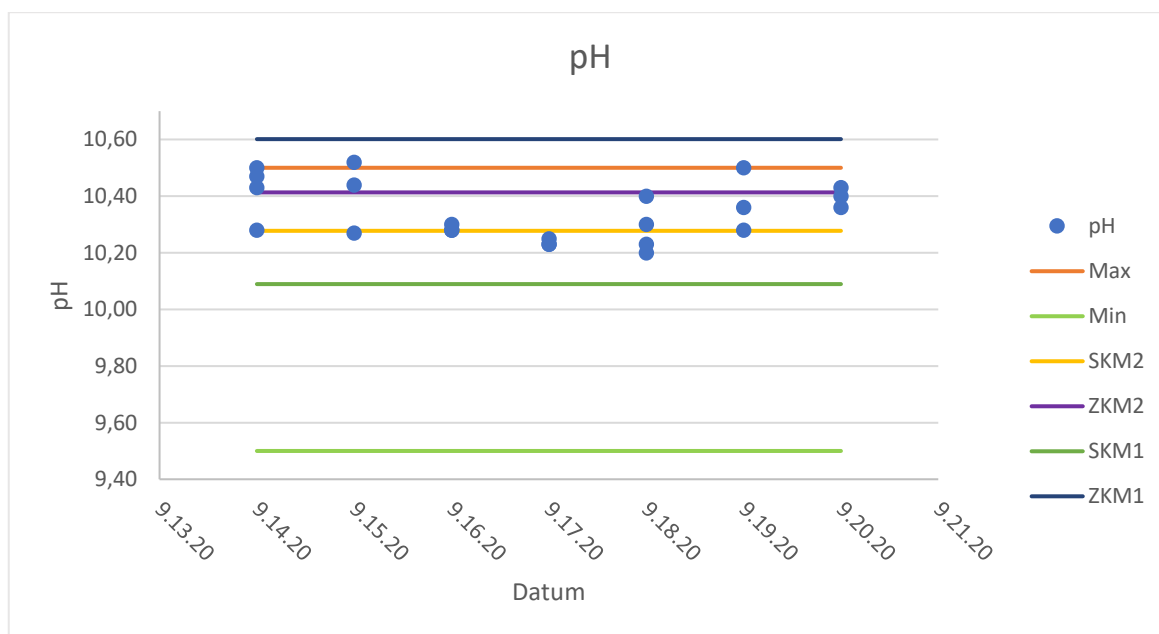


Slika 15: Meritve granulacije Q(1µm) (v odstotkih) izdelka karbonatnih pigmentov za papirno industrijo s tolerančnimi mejami interne kontrole ter spodnjimi in z zgornjimi kontrolnimi mejami (Lastni vir)

$$SKM1 = \bar{x} - 3 \cdot \sigma, ZKM1 = \bar{x} + 3 \cdot \sigma, SKM2 = \bar{x} - A_2 \times \bar{R}, ZKM2 = \bar{x} + A_2 \times \bar{R},$$

\bar{x} = povprečna vrednost, σ = standardna deviacija,
 \bar{R} = povprečni razpon, $A_2 = 0,180$

S slike 16 je razvidno, da so vse meritve pH znotraj SKM1/ZKM1 ter trinajst meritev (13/23; 56,5 odstotka) izven SKM2/ZKM2 (šest pod SKM2 in sedem nad SKM2). Analiza zmogljivosti proizvodnje je pokazala, da je bil proces proizvodnje za pH nezmogljiv. Gaussove krivulje so pokazale, da proces ni centriran, meritve pH so izven tri sigma toleranc. Proizvod je proizveden in prodan v ustreznih internih tolerancah, ko je pH nad 10. Ker se lahko pH z dodatkom kemikalij – biocida in s časom zniža, je spodnja dovoljena meja 9,5 in ta je v kontrolni službi smatrana kot zelo pomembna.



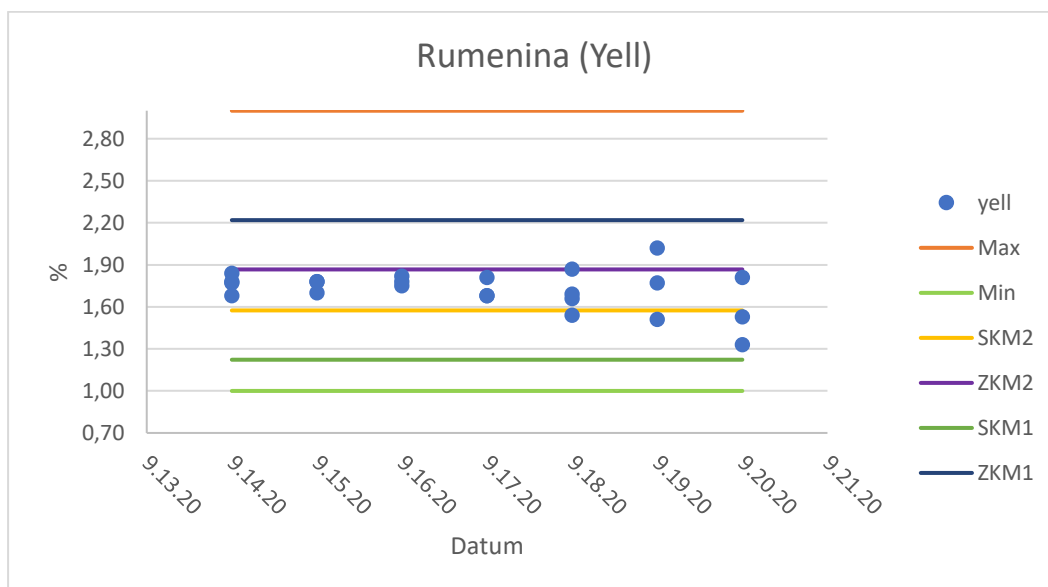
Slika 16: Meritve pH izdelka karbonatnih pigmentov za papirno industrijo s tolerančnimi mejami interne kontrole ter spodnjimi in z gornjimi kontrolnimi mejami (Lastni vir)

$$SKM1 = \bar{x} - 3 \cdot \sigma, ZKM1 = \bar{x} + 3 \cdot \sigma, SKM2 = \bar{x} - A_2 \times \bar{R}, ZKM2 = \bar{x} + A_2 \times \bar{R},$$

$$\bar{x} = \text{povprečna vrednost}, \sigma = \text{standardna deviacija},$$

$$\bar{R} = \text{povprečni razpon}, A_2 = 0,180$$

Slika 17 kaže, da so vse meritve rumenine znotraj ZKM1/SKM1, le šest meritev (6/23; 26,1 odstotka) je zunaj ZKM2/SKM2 (štiri pod SKM2 in dve nad ZKM2). Zmogljivost proizvodnje (CpK) je za rumenino bila odlična. Z Gaussove krivulje in tolerančnih mej je bilo razvidno, da je proces centriran in da ni meritev rumenine izven tri sigma toleranc. Rumena je odvisna od vstopne rude v proizvodnjo, zato lahko nanjo vplivamo le v zgodnji fazi pridobivanja. Za ustrezno kvaliteto je treba vstopno rudo v kamnolomu ustrezno vzorčiti in analizirati. Podjetje, lastnik kamnoloma, ima vzpostavljen nadzor kakovosti že v kamnolomu. Zmogljivost proizvodnje (CpK) je za rumenino bila odlična.



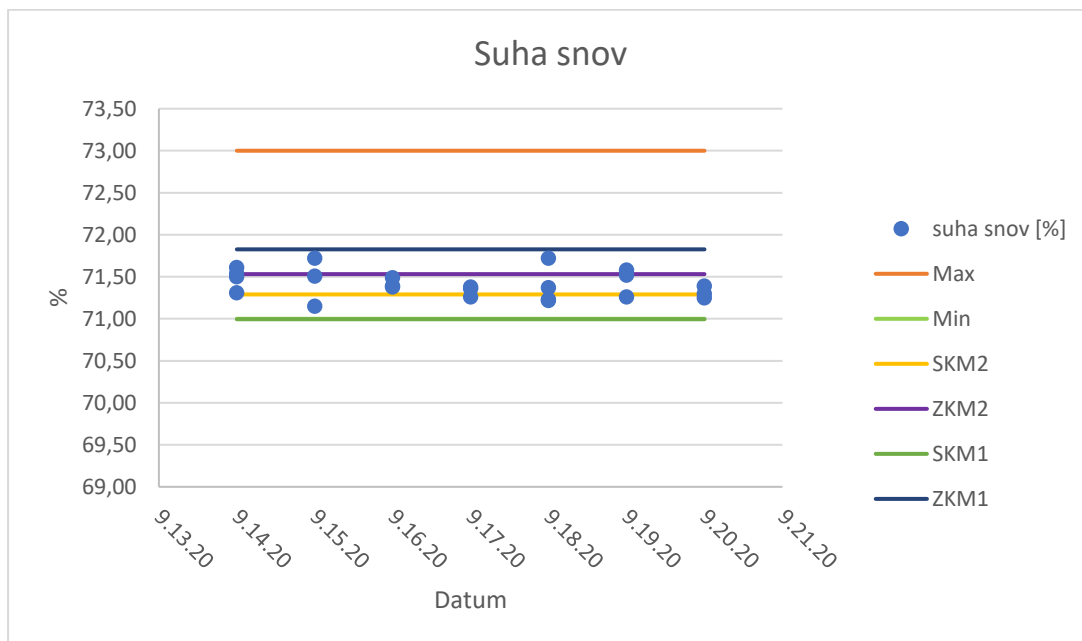
Slika 17: Meritve rumenine Yell (v odstotkih) izdelka karbonatnih pigmentov za papirno industrijo s tolerančnimi mejami interne kontrole ter spodnjimi in z zgornjimi kontrolnimi mejami (Lastni vir)

$$SKM1 = \bar{x} - 3 \cdot \sigma, ZKM1 = \bar{x} + 3 \cdot \sigma, SKM2 = \bar{x} - A_2 \times \bar{R}, ZKM2 = \bar{x} + A_2 \times \bar{R},$$

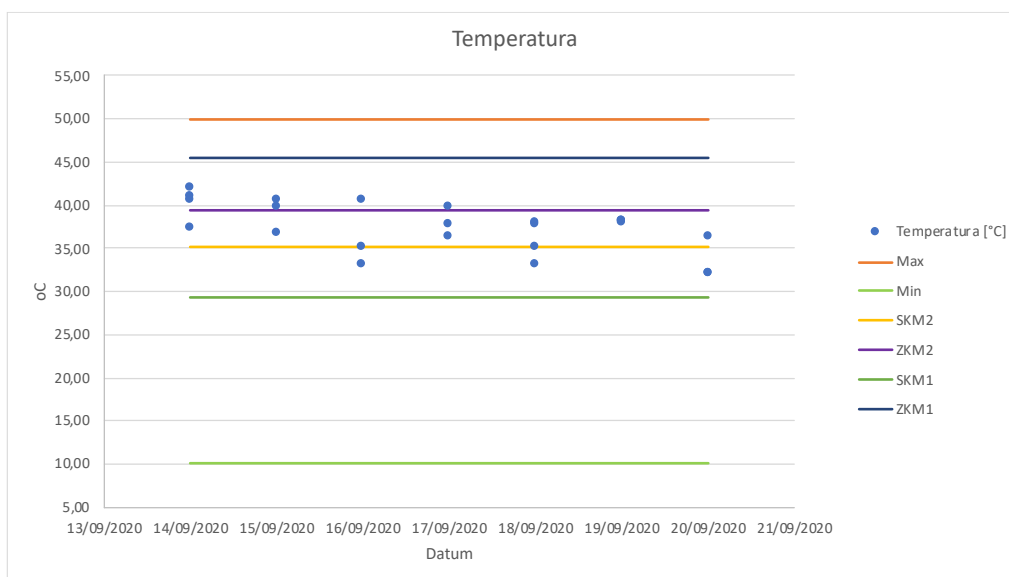
\bar{x} = povprečna vrednost, σ = standardna deviacija,
 \bar{R} = povprečni razpon, $A_2 = 0,180$

Na sliki 18 je razvidno, da so vse meritve suhe snovi znotraj ZKM1/SKM1, enajst meritev suhe snovi (11/23; 47,8 odstotka) pa je izven SKM2/ZKM2 (šest pod SKM2 in pet nad ZKM2). Suha snov, parameter tesno povezan s končno ceno proizvoda, je specificiran na suho snov 72 ± 1 odstotkov. Kapacitete proizvodnje se povečajo, če se proizvod dobavlja ves čas na spodnji meji. Opomniti velja, da je bilo z Gaussove krivulje in tolerančnih mej razvidno, da proces ni centriran in zato so meritve suhe snovi izven tri sigma toleranc. Analiza procesa proizvodnje (CpK) za suho snov pa je pokazala, da je proizvodnja za suho snov nezmožljiva. Predlagamo nove tolerančne meje: 72 odstotkov ± 3 sigma.

Slika 19 prikazuje, da so vse meritve temperature proizvoda znotraj SKM1/ZKM1. Izven SKM2/ZKM2 je trinajst meritev (13/23; 56,5 odstotka). Temperatura je pomembna predvsem iz razloga, da proizvod po eni strani ne zmrzne v cisterni oziroma se zgosti, in po drugi strani, če je temperatura previsoka, se tvorijo grudice. Analiza zmogljivosti (CpK) je pokazala, da je proces za temperaturo sprejemljivo zmogljiv. Z Gaussove krivulje in tolerančnih mej je bilo razvidno, da proces ni centriran in zato so meritve suhe snovi izven tri sigma toleranc. Temperatura je kritična predvsem v zimskih mesecih, zato predlagamo spreminjanje tolerančnih mej glede na letni čas.



Slika 18: Meritve suhe snovi (v odstotkih) izdelka karbonatnih pigmentov za papirno industrijo s tolerančnimi mejami interne kontrole ter spodnjimi in z zgornjimi kontrolnimi mejami (Lastni vir)

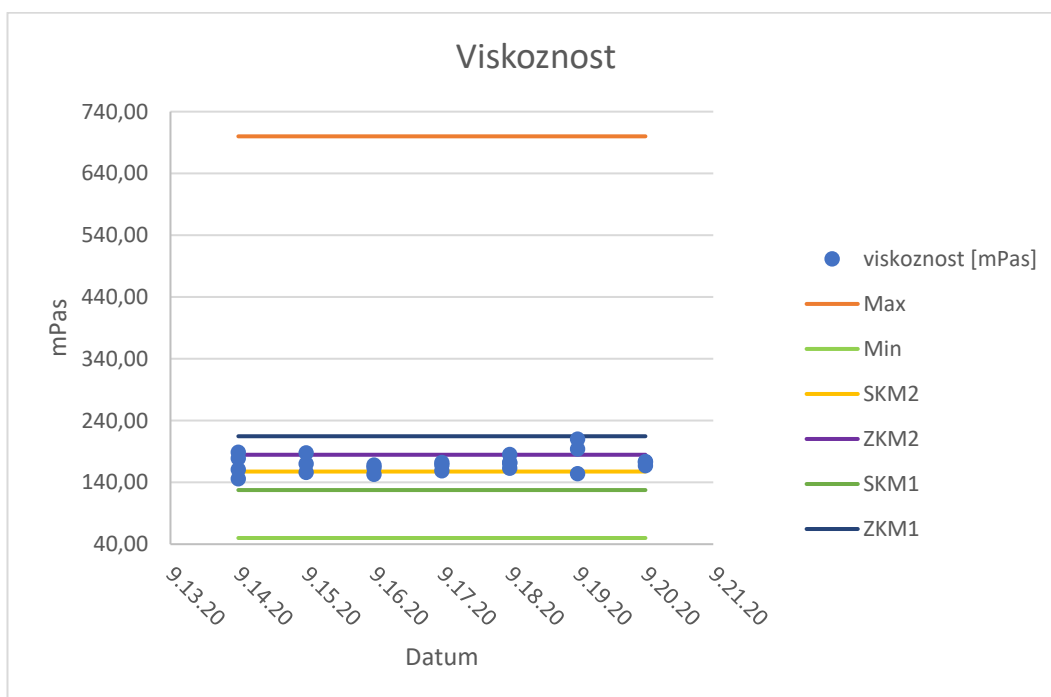


Slika 19: Meritve temperature (v °C) izdelka karbonatnih pigmentov za papirno industrijo s tolerančnimi mejami interne kontrole ter spodnjimi in z zgornjimi kontrolnimi mejami (Lastni vir)

$$SKM1 = \bar{x} - 3 \cdot \sigma, ZKM1 = \bar{x} + 3 \cdot \sigma, SKM2 = \bar{x} - A_2 \times \bar{R}, ZKM2 = \bar{x} + A_2 \times \bar{R},$$

\bar{x} = povprečna vrednost, σ = standardna deviacija,
 \bar{R} = povprečni razpon, $A_2 = 0,180$

Slika 20 prikazuje reologijo oziroma viskoznost proizvoda. Znotraj SKM1/ZKM1 so vse meritve viskoznosti, devet meritev viskoznosti (9/23; 39,1 odstotka) je izven SKM2/ZKM2 (štiri pod SKM2 in pet nad ZKM2). Z Gaussove krivulje in tolerančnih mej je bilo razvidno, da je proces centriran in ni meritev viskoznosti izven tri sigma toleranc. Ker je viskoznost zelo pomembna za praznjenje proizvoda iz cistern ali vagonov oziroma nadaljnje prečrpavanje, mora biti viskoznost v dogovorjenih mejah. Ker lahko proizvod ostane v polnih vagonih tudi do mesec dni, viskoznost pa po dnevih stalno narašča, je zgornja podpisana tolerančna meja za viskoznost zelo visoka in s tem je tudi Cpk nad 1,67 ter je s tem proces ustrezen.



Slika 20: Meritve viskoznosti (v mPas) izdelka karbonatnih pigmentov za papirno industrijo s tolerančnimi mejami interne kontrole ter spodnjimi in z zgornjimi kontrolnimi mejami (Lastni vir)

$$SKM1 = \bar{x} - 3 \cdot \sigma, ZKM1 = \bar{x} + 3 \cdot \sigma, SKM2 = \bar{x} - A_2 \times \bar{R}, ZKM2 = \bar{x} + A_2 \times \bar{R},$$

\bar{x} = povprečna vrednost, σ = standardna deviacija,
 \bar{R} = povprečni razpon, $A_2 = 0,180$

4 ZAKLJUČKI

Statistično obvladovanje procesa je nujno za zagotavljanje kakovosti, zanesljivosti in ponovljivosti izdelkov. Analiza proizvodnje izdelka kalcijevih karbonatnih pigmentov za papirno industrijo je pokazala, da je proces proizvodnje nezmožljiv za štiri karakteristike kakovosti. Ker so reklamacije po navadi dražje od izboljšanja kakovosti izdelka, smo svetovali centriranje variacij, pri čemer se CpK postopoma izenači s Cp ter redukcijo variacij procesa z uvedbo ožjih tolerančnih mej interne kontrole. Ker se zaradi ožjih tolerančnih mej proizvodnja podraži, bo o njihovi uvedbi potrebna preudarna presoja. Morebiti je v primerih nekaterih karakteristik kakovosti bolj smiselna sprememba specifikacij izdelka.

Kupci uporabljajo za ocenjevanje celotne vrednosti proizvoda tri merila: obseg proizvodov in zanesljivost, stroške nakupa in uporabe ter rok, v katerem so zadovoljene kupčeve potrebe [15].

5 LITERATURA IN VIRI

- Božič, S. (2009). Kakovost in zanesljivost proizvodnje. Ljubljana: Zavod IRC.
- Gale, T. (2012). Zagotavljanje kakovosti v procesu proizvodnje podjetja Rujz Design d.o.o. Diplomsko delo. Ljubljana: OE Višja strokovna šola Strojništvo.
- <https://develve.net/Sigma%20level.html> (dostop 20.10.20)
- https://en.wikipedia.org/wiki/Process_capability_index (dostop 20.10.20).
- <https://sixsigmastudyguide.com/process-capability-cp-cpk/> (dostop 20.10.20).
- <https://sl.mort-sure.com/blog/difference-between-ppk-and-cpk-d6fbf1/> (dostop 20.10.20).
- <https://www.infinityqs.com/statistical-process-control/spc-chart-guide/process-capability-index-cp> (dostop 20.10.20).
- <https://www.iso-standard.si/iso-9001/> (dostop 20.10.20)
- Juran, T. (2004). Primerjava standardov ISO 9000-2000, programov obvladovanja celovite kakovosti in modelov poslovne odličnosti. Diplomsko delo. Ljubljana: Ekonomska fakulteta.
- Knehtl, B. (2010) Proizvodno podjetje in učinek standarda ISO 9001. Diplomsko delo. Maribor: Ekonomsko poslovna fakulteta, 2010.
- Koblar, M. (2009). Statistično obvladovanje procesa. Koper: Zbornik 6.študentske konference Fakultete za management.
- Potočnik, E. et al. (1996). ISO 9001 – iz teorije v prakso. Ljubljana: Taxus.
- Rebernik D. (2009). Načrtovanje kakovosti procesov v razvojnih projektih proizvajalca listnatih vzmeti. Magistrsko delo. Maribor: Fakulteta za strojništvo.
- SIQ. ISO 9001 Sistemi vodenja kakovosti. 2009.
http://www.siq.si/Sistemi_vodenja_kakovosti.759.0.html (dostop 20.10.20).
- Šegel, J in Kokol, R. (1999). Statistično obvladovanje procesov SPC. Korman.