

Hrvoje JUŽNIĆ<sup>1</sup>  
Duško PAVLETIĆ<sup>2</sup>  
Mirko SOKOVIĆ<sup>3</sup>

# Alati osiguranja kakvoće kod lijevanja košuljica cilindara brodskih sporokretnih motora

Stručni rad

Radom je istražena mogućnost praktične implementacije procesa neprekidnog unapređivanja kakvoće kod lijevanja košuljica cilindara brodskih sporokretnih motora, temeljenog na alatima osiguranja kakvoće, u tvornici *3. maj Motori i dizalice d.d.* Cilj provedenog istraživanja bio je pokazati uspješnost primjene dostupnih alata osiguranja kakvoće radi smanjivanja troškova, povećanja produktivnosti, organiziranoga praćenja procesa, utvrđivanja sposobnosti i djelotvornosti sustava upravljanja kakvoćom, otkrivanja kritičnih značajki i podizanja razine kakvoće. Dobiveni rezultati nalaze primjenu ponajviše u promatranom procesu s mogućnošću primjene i na druge procese u proizvodnji brodskih sporokretnih motora općenito.

**Ključne riječi:** *alati kakvoće, brodski sporokretni motori, košuljica cilindra, osiguranje kakvoće*

## Quality Assurance Tools in Marine Low Speed Engines Cylinder Liner Casting

Professional paper

The paper explores the possibility of practical implementation of the process of continuous quality improvement in marine low speed engines cylinder liner casting, based on quality assurance tools, in *3 maj Engines & Cranes Inc.* The aim of this study was to show the efficiency of the available quality assurance tools in costs reduction, productivity increase, organized process monitoring, determining the capability and effectiveness of the quality management system, critical features detection, and quality improving. The results obtained are used primarily in the analysed process as well as within other processes in the production of marine low speed engines in general.

**Keywords:** *quality tools, marine low speed engines, cylinder liner, quality assurance*

### Adrese autora (Authors' Addresses):

- <sup>1</sup> *3. maj - Motori i dizalice*, Liburnijska 3, 51 000, Rijeka
- <sup>2</sup> *Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci*, Vukovarska 58, Rijeka
- <sup>3</sup> *Fakulteta za strojništvo*, Aškerčeva 6, Ljubljana, Slovenija

**Primljeno (Received):** 2010-04-27

**Prihvaćeno (Accepted):** 2009-07-15

**Otvoreno za raspravu (Open for discussion):** 2012-03-01

## 1. Uvod

Globalne promjene tržišta, nove tehnologije na svim područjima, novi proizvođači i dobavljači, sve veći zahtjevi kupaca i korisnika, novi zahtjevi i ograničenja na ciljanim tržištima uvjetuju novi stil upravljanja tvrtkama, gdje uprave i menadžment moraju pronaći isto tako brze odgovore i rješenja. Samo tvrtke koje kontinuirano poboljšavaju kakvoću svojega poslovanja imaju šanse sačuvati svoj status ili poboljšati poslovanje i tržišni položaj.

Alati osiguranja kakvoće predstavljaju znatno pomagalo kod praćenja, postizanja i unapređivanja kakvoće proizvoda ili usluga. Danas na raspolaganju stoji veliki broj raznih alata osiguranja kakvoće, a o njihovoj primjeni treba odlučiti na osnovi uporabljivosti rezultata koje pružaju za svaki pojedini slučaj.

## 2. Alati osiguranja kakvoće

Zahtjev za kakvoćom star je gotovo kao i ljudsko društvo i javlja se već u prvim oblicima materijalne razmjene. Tijekom povijesti ljudskog roda napor su se sustavno ulagali u potvrđivanje kakvoće i to ne samo proizvoda i usluga, nego i proizvođača i

isporučitelja. Može se slobodno reći da kontrola kakvoće ima dugu povijest. Međutim statistički nadzor kakvoće novija je metoda koja se počela primjenjivati dvadesetih godina prošloga stoljeća. Statistički nadzor kakvoće skup je metoda i postupaka za prikupljanje, obradu, analizu, tumačenje i prikaz podataka, a u cilju [1, 2]:

- utvrđivanja sposobnosti procesa za proizvodnju proizvoda koji zadovoljava zahtjeve,
- praćenja procesa kako bi se otkrile promjene zbog kojih proces izmiče nadzoru,
- poduzimanja mjera za korekciju procesa i njegovo održavanje pod nadzorom.

Proces je slijed zadataka koji zajedno stvaraju proizvod ili uslugu. Najbolji način razumijevanja procesa jest crtanje dijagrama tijekom koji pokazuje sve stadije. Na takav način moguće je vizualizirati vlastiti posao kao dio ukupnoga procesa. Osnovni je način poboljšanja kakvoće prepoznavanje kupca i njegovih potreba, te prilagođivanje procesa kako bi se potpuno ispunilo postavljene zahtjeve. Postoje razne tehnike za obavljanje takvoga posla. One uključuju timove koji analiziraju problem i implementiraju rješenja. Budući je dobavljač dio procesa, neke tehnike

zahtijevaju timski rad s dobavljačem radi poboljšanja kakvoće ulaznih proizvoda. Stalno poboljšanje je pojam koji služi kako bi se naglasila činjenica da je poboljšanje procesa stalno i da nikad ne prestaje, jer i dobre stvari mogu uvijek biti još bolje.

Faze stalnoga poboljšanja obuhvaćaju odabir projekata s konkretnim zadatkom, određivanje tima koji će provesti poboljšanje, određivanje procesa uz pomoć dijagrama tijeka, utvrđivanje varijacije i problema u procesu, pronalaženje uzroka problema, preporuku poboljšanja, primjenu poboljšanja, mjerenje rezultata, konačnu implementaciju, te fokusiranje na novi problem [3, 4].

Kontinuirano poboljšanje procesa mora biti inicirano s vrha hijerarhijske piramide tvrtke, odnosno od uprave ili njihova predstavnika. Odabir projekata poboljšanja mora biti jasan, s prioritetima na kritičnim procesima i ostvarivim ciljevima. Timovi koji rade na poboljšanju kakvoće moraju biti upoznati s osnovnim tehnikama kao što su dijagram tijeka, uzročno-posljedična analiza, *brainstorming*, tehnike statističkog nadzora procesa i dr.

Proizvod, koji mora zadovoljiti zahtjeve kupca, mora biti proizveden u sposobnom i stabilnom procesu, odnosno mora biti sposoban djelovati s malom varijacijom oko željene ili nominalne vrijednosti promatrane proizvodne značajke. Statistički nadzor

procesa je u osnovi metodologija analize i poboljšanja kakvoće. Služi za prikupljanje, organiziranje i interpretaciju širokoga spektra raznih informacija potrebnih u suvremenom poslovanju. Bez obzira kojom vrstom posla se tvrtka bavi, statistički nadzor procesa može pomoći kod mjerenja, razumijevanja i nadzora varijabli koje utječu na poslovne procese. Prema dr. Ishikawi (Kaoru Ishikawa, 1915-1989, japanski sveučilišni profesor i priznati stručnjak u području upravljanja kakvoćom), 95 posto problema koji se odnose na kakvoću može se riješiti primjenom sedam osnovnih alata osiguranja kakvoće [5]:

- obrazac za prikupljanje podataka,
- Pareto dijagram,
- dijagram tijeka/dijagram procesa,
- uzročno-posljedični dijagram,
- histogram,
- dijagram ovisnosti,
- nadzorne karte.

Slika 1 prikazuje slijed uporabe sedam osnovnih alata osiguranja kakvoće.

**Dijagram toka/dijagram procesa** grafički je alat koji prikazuje osnovne faze procesa s ulaznim i izlaznim parametrima, te mogućnošću poboljšanja. To je iznimno koristan alat

kod utvrđivanja međuovisnosti pojedinih faza. Dijagram toka je hijerarhijski prikaz procesa koji može biti općenit i detaljan. Općeniti se koristi kako bi se otkrile kritične točke u procesu. Karakterizira ga prikazivanje linearnoga toka od jednog do drugog proizvodnog koraka. Detaljni dijagram toka služi da bi se razjasnile pojedinosti proizvodnoga procesa.

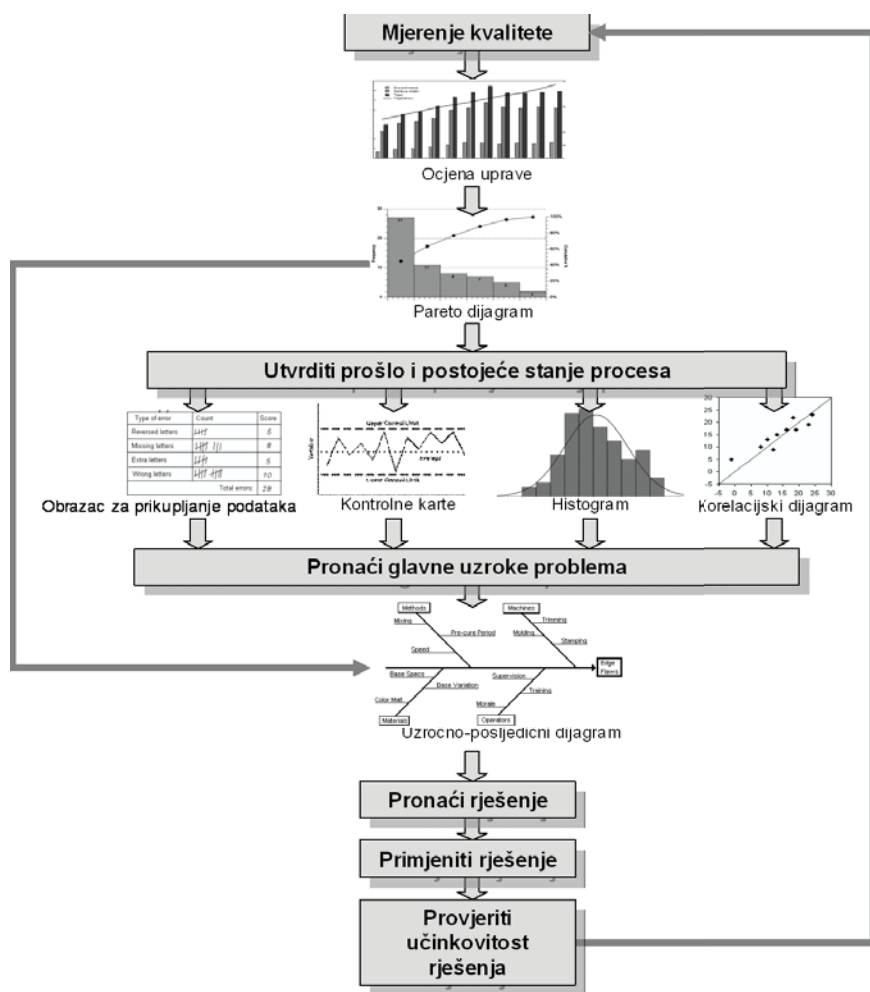
**Obrazac za prikupljanje podataka** omogućuje korisniku da prikupi podatke iz procesa na brz, sistematičan i organiziran način. Svrha prikupljanja podataka jest nadzor proizvodnoga procesa radi uvida u ovisnosti uzroka i posljedica ili stalno poboljšanje procesa.

**Nadzorne karte** su alat statističkog nadzora procesa koje omogućavaju nadzor varijacije procesa kao i razlikovanje normalnih i posebnih uzroka varijacije. Predstavljaju grafički prikaz stabilnosti procesa tijekom vremena.

**Histogram** je grafički alat koji pokazuje raspodjelu frekvencija promatranih obilježja. Omogućuje da se preglednije prikaže raspodjela prikupljenih podataka.

**Pareto dijagram** je grafički prikaz utjecajnih čimbenika procesa poredanih od najučestalijega prema onome manje učestalosti. Tako, primjerice, Pareto dijagram ilustrira učestalost tipova pogrešaka i služi za određivanje prioriteta kod provođenja daljih aktivnosti. Omogućuje da se aktivnosti poboljšanja usmjere na najučestalije uzroke problema kako bi se postigao maksimalni učinak. Polazi od činjenice da je 80 posto problema uzrokovano s 20 posto potencijalnih uzroka.

Slika 1 Slijed uporabe sedam osnovnih alata kakvoće  
Figure 1 Application methodology of seven basic quality tools

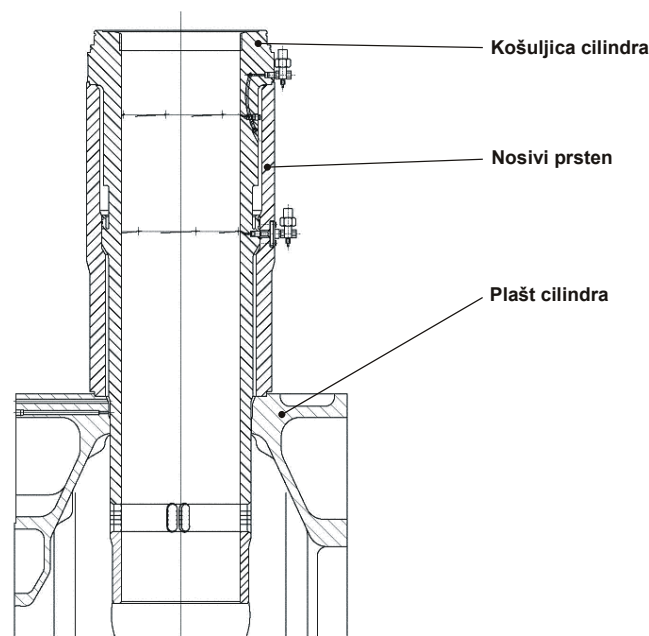


**Uzročno-posljedični dijagram** omogućuje otkrivanje međuovisnosti između problema i potencijalnog uzroka. Razvijanjem ovakvog dijagrama moguće je odrediti koji parametar najviše utječe na promatrani problem kakvoće.

**Dijagram ovisnosti** je grafička analiza međuovisnosti dvije varijable. Svrha je otkrivanje moguće ovisnosti dvaju čimbenika, te služi za predviđanja budućih stanja.

### 3. Lijevanje košuljica cilindara brodskih sporokretnih motora

U radu je praćeno lijevanje košuljica cilindara brodskih jednoradnih, prekretnih dvotaktnih dizelskih sporokretnih motora s prednabijanjem i uzdužnim ispiranjem. Košuljice cilindra lijevane su iz sivog lijeva iz jednoga komada. Montirane su u plašt pomoću nosivih prstena, slika 2.

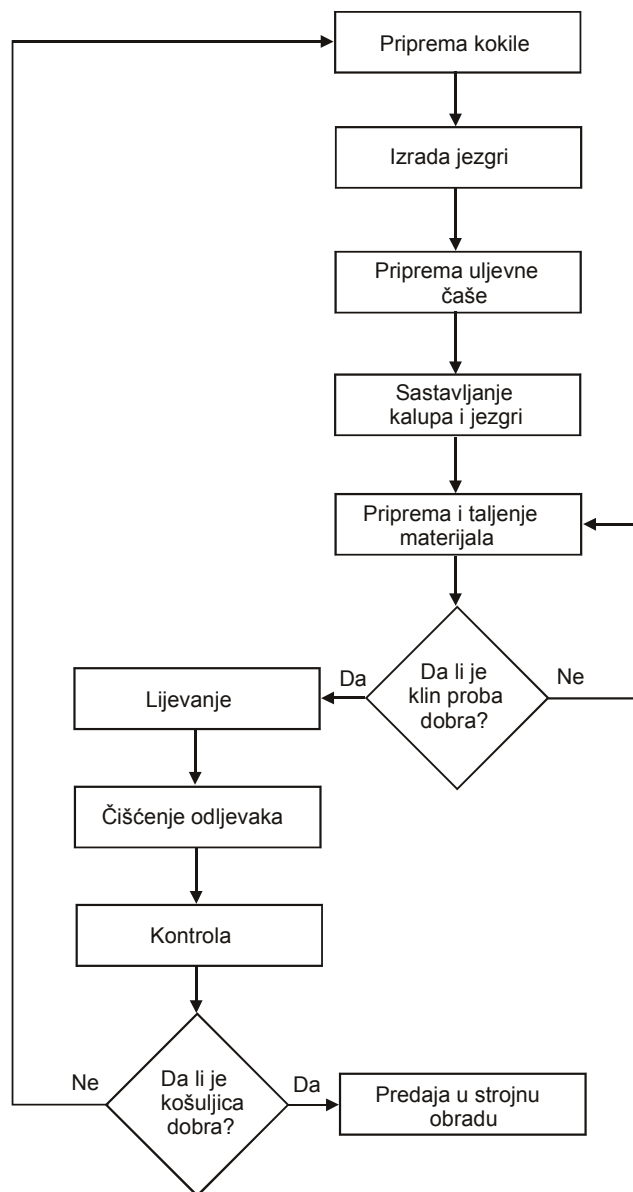


Slika 2 Košuljica cilindra u sastavu s plaštom  
Figure 2 Cylinder liner in a system with cylinder jacket

Dijagram toka procesa lijevanja košuljice prikazan je na slici 3.

Prvi je korak priprema kokile. Gornji i donji dio kokile potrebno je pregledati od mehaničkih oštećenja nastalih zaljepljivanjem taline i sl. Može bitna oštećenja treba odstraniti, popraviti zavarivanjem, te očistiti. Na unutarnjem dijelu kokile potrebno je pjeskariti unutarnji provrt, te čela. Slijedi zagrijavanje u peći na temperaturu 30-40 °C. Kokila se zatim postavi u horizontalan položaj, ispuše zrakom, te slijedi premazivanje provrta i gornje baze slojem cirkonskoga premaza. Premazivanje se obavlja u dva sloja, ručno kistom, u razmaku od približno 10 minuta.

U tehnologiji izrade košuljice potrebno je izraditi tri jezgre, i to središnju jezgru provrta, jezgru za čelo košuljice, te jezgru za probni štاپ. Za središnju jezgru prvo se pregleda jezgrovnik, spoje se polovice i postave u vertikalni položaj. Unutar jezgrovnika postavlja se čelična armatura. Prostor jezgrovnika popunjava se pješčanom mješavinom ručnim nabijanjem. U jezgrovnik se



Slika 3 Dijagram toka procesa lijevanja košuljice cilindra  
Figure 3 Flow chart of cylinder liner casting

prije nabijanja pijeska postave šamotne opeke u obliku kružnog vijenca unutar čelične armature, te dvije gotove jezgre za probni štاپ, pod kutom od 180°. Šamotne opeke zaštitit će jezgrovnik pri prvom udaru taline na početku lijevanja. Položaj jezgri za probni štاپ određen je normom za izradu košuljice. Jezgre se izrađuju od pješčane mješavine sa 60 posto novog i 40 posto regeneriranoga pijeska, otvrdnutoga furanskom smolom i katalizatorom. Nakon izrade jezgri, treba ih premazati cirkonskim premazom u dva sloja. Razmak između nanošenja slojeva je oko 10 minuta, a svaki sloj mora se osušiti plinskim plamenikom.

Uljevna čaša se pregledava, te se očisti od ostataka taline i šljake. Prema potrebi, ozid uljevne čaše popravljiva se šamotnom žbukom, te se provjerava stanje keramičkih umetaka. Uljevna se čaša premazuje s dva sloja cirkonskoga premaza.

Prigodom sastavljanja i pripremanja za lijevanje, pješčane se jezgre postavljaju u donji dio kokile. Prvo se postavlja gornji dio kokile, a potom uljevna čaša. Na keramičke umetke postavljaju se čelične pločice. Kod lijevanja uljevna čaša će se puniti talinom dok se pločice ne istale i tad će početi istjecanje taline u prostor kokile. Time se osiguralo da troska ne ulazi u kokilu s prvim mlazom taline. Sastavljena i stegnuta kokila pomoću "nosača" dizalicom se prenese u grijač. Kokila se zagrije u grijaču na temperaturu 135 – 145 °C, za što je potrebno približno 20 sati. Mjerenje temperature obavlja se kontaktnim toplomjerom.

Prije lijevanja dogovara se sastav šarže – uloška u kupolnu peć. Možebitne korekcije uloška obavljaju se sagledavajući rezultate dobivene od prethodnog lijevanja košuljica. Prate se prekidna čvrstoća, te izduženje probnoga štapa, tvrdoća izmjerena na probnom štapi i tijelu odljevka, kemijski sastav prethodnog lijevanja, temperatura kokile i taline kod prethodnog lijevanja i dr. S prethodno dogovorenim parametrima lijevanja i sastavom uloška u peći bavi se taljenje, te se u ljevački lonac kapaciteta 5 tona prikupi oko 4000 kg taline. Prikupljanje se obavlja s tri izljeva između kojih se iz taline uzima "klin proba" za možebitnu korekciju uloška. Prije lijevanja s površine taline očiste se nakupljena troska i karbid, s vrha lonca odlije se oko 100 kg taline, te se pregleda čistoća otvora nosa lonca. Time je talina spremna za izlivanje. Kokila se iz grijača prebaci u položaj za lijevanje. Sadržaj lonca izlije se u kokilu kroz uljevnu čašu. Za vrijeme lijevanja kontrolira se da je uljevna čaša napunjena s 2/3 svog volumena, te da je mlaz iz lonca ujednačen, bez turbulencija. Nadzor količine taline obavlja se pomoću digitalne vage na koju je obješen lonac. Tijekom lijevanja mjeri se i temperatura taline na izlazu iz lonca pomoću optičkoga pirometra. Mjeri se vrijeme potrebno za izgaranje metalnih pločica u uljevnoj čaši, te dužina samog izlivanja taline. Preporučena temperatura lijevanja je 1380+10/-5 °C. Poslije hlađenja rastave se dijelovi sklopa kokile, izvuče se odljevak koji se postavlja na rastresnu rešetku uređaja za regeneraciju pijeska. Nakon grubog istresanja pijeska slijedi čišćenje prilivenih proba. Probe se odrezuju i označavaju pečatom odjela nadzora kakvoće i brojem šarže što omogućuje sljedivost rezultata ispitivanja. Slijedi čišćenje odljevaka od ostataka pijeska i srhova taline.

Prilivene probe predaju se u odjel strojne obrade na izradu probnih štapova, a uzorak za kemijsku analizu u kemijski laboratorij. Očišćen i od odjela nadzora pregledan odljevak predaje se odjelu strojne obrade na dalju obradu uz prateći dokument koji sadrži podatke o težini odljevka, ljevački broj, broj šarže, broj nacrt, te broj proizvodnog naloga.

#### 4. Analiza procesa pomoću alata osiguranja kakvoće

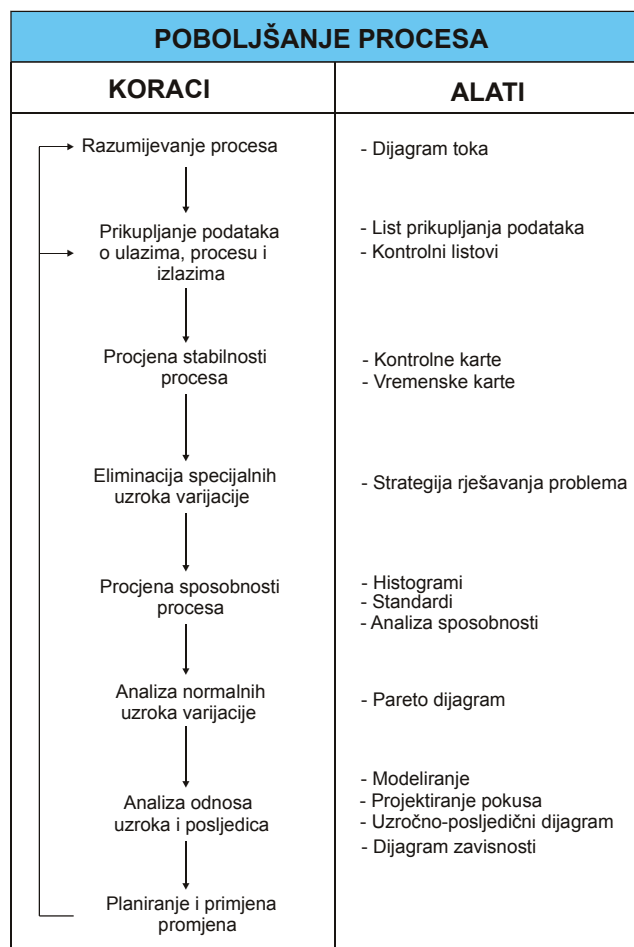
Prvi je korak strategije poboljšanja procesa razumijevanje procesa, odnosno svih faza njegovog odvijanja [6]. Radi toga najčešće se crtaju dijagrami tijekom procesa. Sljedeći je korak prikupljanje podataka o ključnim ulazima, izlazima i varijablama procesa, pri čemu se koriste listovi prikupljanja podataka. Na toj razini kritično je odrediti razliku između stabilnog i nestabilnog procesa. Tu se primjenjuju nadzorne karte.

U stabilnom procesu sljedeći je korak procjenjivanje sposobnosti procesa. To se obično radi pomoću histograma. Jednom kad se shvati stvarno ponašanje procesa u odnosu na željeno ponašanje, sljedeći je logičan korak identifikacija i analiza

glavnih uzroka varijacije. Nakon toga, rješenja mogu biti očita ili proces treba dalje istražiti identificiranjem odnosa uzroka i posljedica. Radi toga služe uzročno-posljedični dijagrami i dijagrami ovisnosti.

Kad je već primijenjena strategija poboljšanja procesa, mora se provjeriti i utjecaj provedenih promjena prikupljanjem dodatnih podataka. Kako bi se postigli željeni rezultati, možda će se kroz cijelu strategiju poboljšanja procesa morati proći i nekoliko puta.

Strategija poboljšanja procesa prikazana je na slici 4.

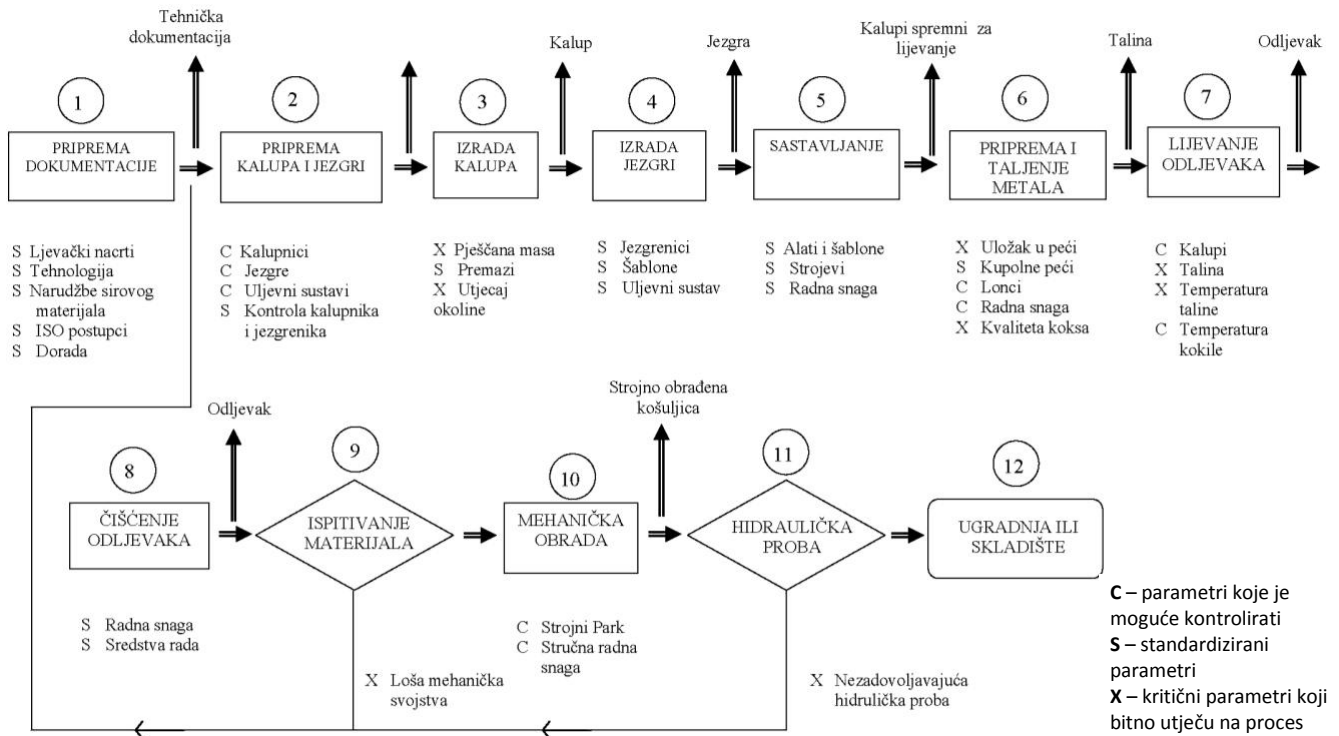


Slika 4 Strategija poboljšanja procesa  
Figure 4 Process improvement strategy

U procesu lijevanja košuljica cilindra, u tvornici "3. maj" *Motori i dizalice*, uzet je uzorak od 150 odlivenih košuljica cilindra raznih tipova motora, a prikupljeni podaci analizirani su putem alata osiguranja kakvoće.

##### 4.1. Dijagram toka

Za proces lijevanja košuljice načinjen je iscrpniji dijagram toka procesa, sa svim varijablama procesa, ulazima, izlazima, te njihovim međuovisnostima, slika 5. Iz iscrpnog dijagrama toka može se vidjeti koji su ulazi procesa standardni postupci, koji se mogu nadzirati, te oni za koje se može statistički dokazati



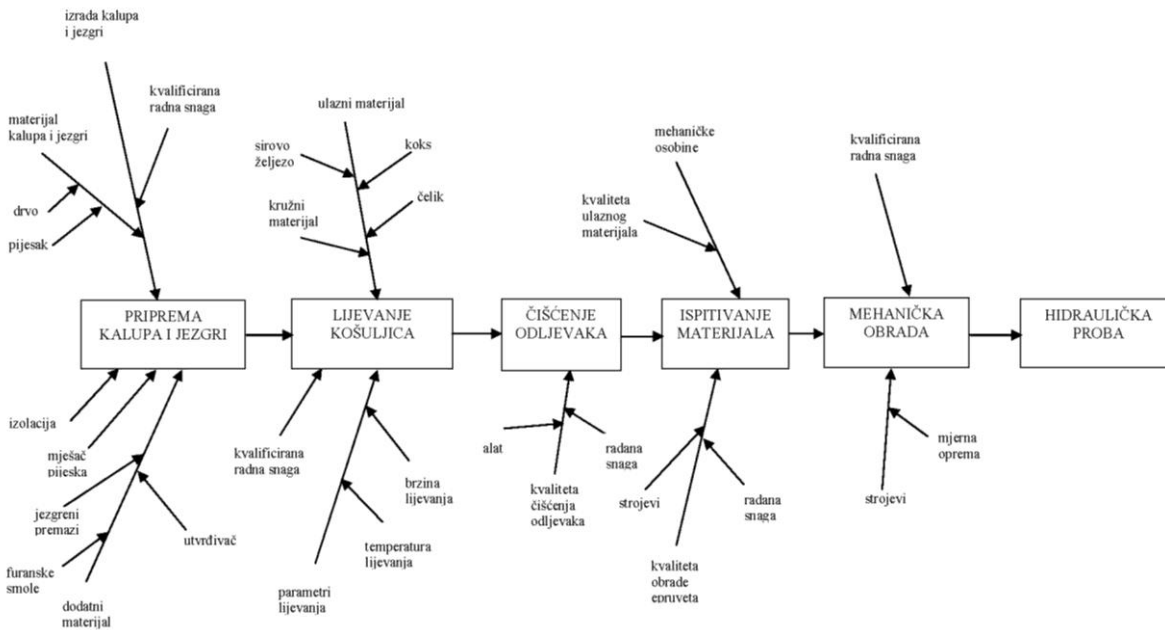
Slika 5 Iscrpni dijagram toka procesa lijevanja košuljice  
 Figure 5 Detailed flowchart of cylinder liner casting process

da imaju znatan utjecaj na izlaze procesa. U ovom dijagramu prikazani su postupci u procesu lijevanja od izrade dokumentacije do ugradnje ili skladištenja gotove košuljice. Za svaki postupak prikazani su ulazi i izlazi.

#### 4.2. Uzročno-posljedični dijagram (Ishikawa dijagram)

Na uzročno-posljedičnom dijagramu prikazane su faze proizvodnje košuljice cilindra od pripreme kalupa i jezgri do hidrauličke probe koja, kao konačna operacija, potvrđuje prihvatljivost košuljice kao gotovoga proizvoda, slika 6.

Slika 6 Uzročno-posljedični dijagram lijevanja košuljice  
 Figure 6 Cause-and-effect diagram of cylinder liner casting



Ocjena važnosti za kvalitetu		6	4	1	5	2	3								
FAZE PROCESA	IZLAZI PROCESA ULAZI PROCESA	Kemijski sastav	Mehanička svojstva	Vizualna prihvatljivost	Tvrda faza	Dimenzije	Stanje klizne površine	UKUPNO	UTJECAJNOST						
		Izrada kalupa	Pješčana masa sastav i vlaga	3	18	5	20			5	3	15	1	2	5
	Utjecaj okoline	1	6	1	4	3	3	1	5	1	2	3	9	29	⑦
Priprema i taljenje	Kvaliteta koksa	1	6	3	12	1	1	5	1	2	1	3	29	⑥	
	Uložak u peći kem. sastav	5	30	5	20	3	5	25	1	2	1	3	83	①	
Lijevanje košuljice	Temperatura taline	1	6	5	20	1	1	5	25	1	2	5	15	69	③
	Temperatura kokile	1	6	3	12	1	1	3	15	1	2	1	3	39	⑤
Mehanička obrada	Strojni park	1	6	1	4	1	1	3	15	5	10	3	9	45	④
	UKUPNO	13	78	23	92	15	15	105	11	22	19	57			

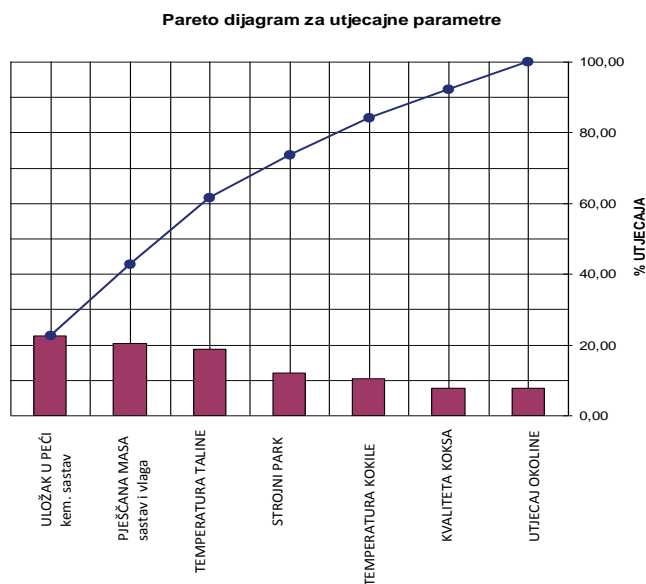
Slika 7 Uzročno-posljedična matrica  
Figure 7 Cause-and-effect matrix

Alat koji se može promatrati i kao nadopuna uzročno-posljedičnog dijagrama je uzročno-posljedična matrica. Uzročno-posljedična matrica uspoređuje ključne ulaze sa ključnim izlazima iz procesa, koji zapravo predstavljaju zahtjeve kupca. Na slici 7 prikazana je uzročno-posljedična matrica za proces lijevanja košuljice cilindra. Procjenom utjecajnosti pojedinoga parametra, te ocjenom međusobne povezanosti parametara može se doći do kvalitativne procjene kritičnosti pojedinoga parametra ili faze procesa. U promatranom primjeru vidljivo je da su najkritičnije faze procesa priprema i taljenje materijala (uložak u peći), izrada kalupa (pješčana masa), te lijevanje košuljice (temperatura taline).

### 4.3. Pareto dijagram

Za utjecajne parametre načinjen je Pareto dijagram s prikazom kumulativnog učinka pojedinih parametara, slika 8.

Slika 8 Pareto dijagram za utjecajne parametre  
Figure 8 Pareto diagram for key input parameters



### 4.4. Obrazac za prikupljanje podataka

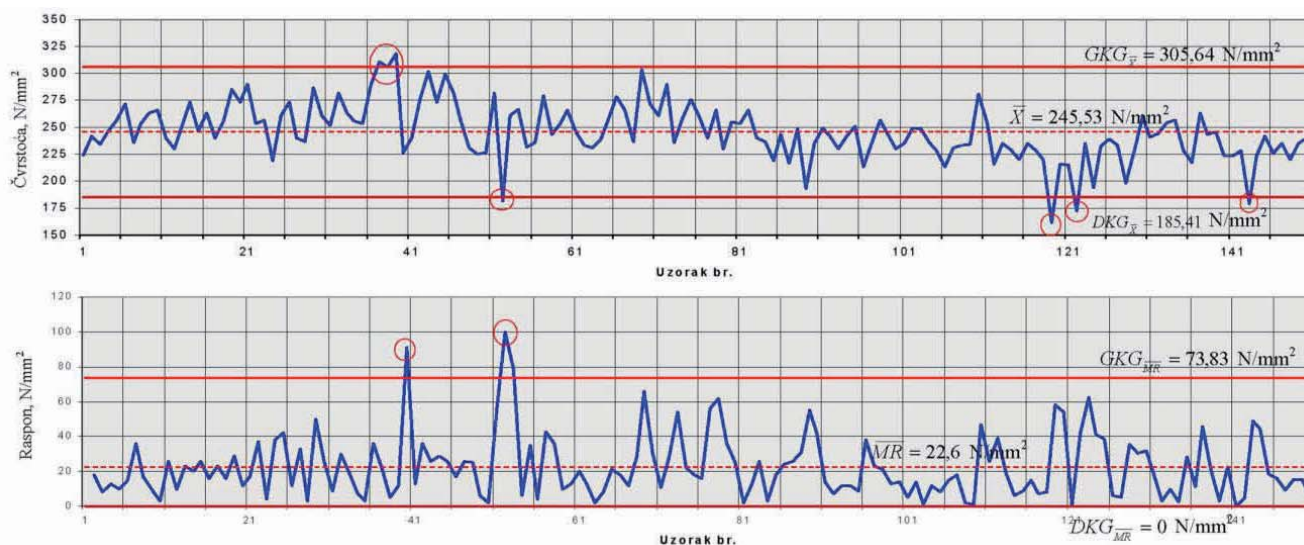
Obrazac za prikupljanje podataka korišten je za prikupljanje podataka dobivanih tijekom lijevanja i proizvodnje 150 košuljica cilindra u razdoblju od četiri godine. Iz prikupljenih podataka mogu se dobiti razni podaci kao što su: broj škartnih košuljica po tipu motora, uzrok škarta košuljica, lokacija pogrješka i sl. Na obrascu za prikupljanja podataka na slici 9 prikupljeni podaci razvrstani su glede uzroka škarta.

OBRAZAC ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA		
Br. _____		
Proizvod: KOŠULJICA CILINDRA	Datum: _____	
<input type="checkbox"/> Mehanička obrada	Odjel: _____	
<input type="checkbox"/> Temperatura taline	Kontrolor: _____	
Ukupno broj ispitanih košuljica: _____		
Uzrok škarta	Pogreška	Broj
Mehanička svojstva	//////	6
Poroznosti zona I	////	4
Poroznosti zona II	///	3
Poroznosti zona III	///	3
Poroznost izvana	///	3
Ostale ljevačke greške	///	3
Tvrdoća	///	3
trojna obrada	///	3
UKUPNO		24

Slika 9 Obrazac za prikupljanje podataka prema uzroku škarta  
Figure 9 Check sheet with selection in accordance with scrap cause

### 4.5. Nadzorne karte

Promatrane su značajke košuljica cilindra koje imaju znatan utjecaj na kakvoću, a koje su već identificirane primjenom uzročno-posljedične matrice. Uložak u peći izravno utječe na mehanička svojstva odljevka nakon skrućivanja, a temperatura taline i zagrijanost kokile utječu na brzinu skrućivanja i kristalizaciju, te konačno na tvrdoću košuljice cilindra. Načinjene su nadzorne karte za čvrstoću i izduženje kao mjerodavna mehanička svojstva košuljice od sivog lijeva, te nadzorne karte za temperaturu kokile i temperaturu taline. Budući proizvodnja košuljica nije visokoserijska proizvodnja, ne postoji mogućnost uzimanja uzoraka s većim brojem izmjera, pa je odlučeno da se koristi MR nadzorna karta za individualne izmjere. Iz nadzorne



Slika 10 Nadzorna karta za čvrstoću  
Figure 10 Control chart for cylinder liner strength

karte za čvrstoću na slici 10, koja se ovdje navodi kao primjer, vidljivo je da gotovo svi uzorci padaju unutar nadzornih granica. Ima nekoliko uzoraka, a to su 37, 38 i 39 koji imaju povišenu čvrstoću i pokazuju vrijednosti iznad gornje nadzorne granice. Uzorci br. 52, 119, 122 i 143 pokazuju nedovoljne vrijednosti čvrstoće. Analizom utvrđenih podataka vidljivo je da košuljice s iznimno visokom čvrstoćom istodobno pokazuju i veliko izduženje i visoku tvrdoću. Takve košuljice nisu nedostatne kakvoće, ali predstavljaju problem u proizvodnji zbog otežane strojne obrade. Zato se s aspekta strojne obrade može reći da povišene vrijednosti mehaničkih svojstava košuljica nisu poželjne i svakako treba težiti vrijednostima čvrstoće od 235 do 250 N/mm<sup>2</sup>. S druge strane košuljice s niskim vrijednostima čvrstoće

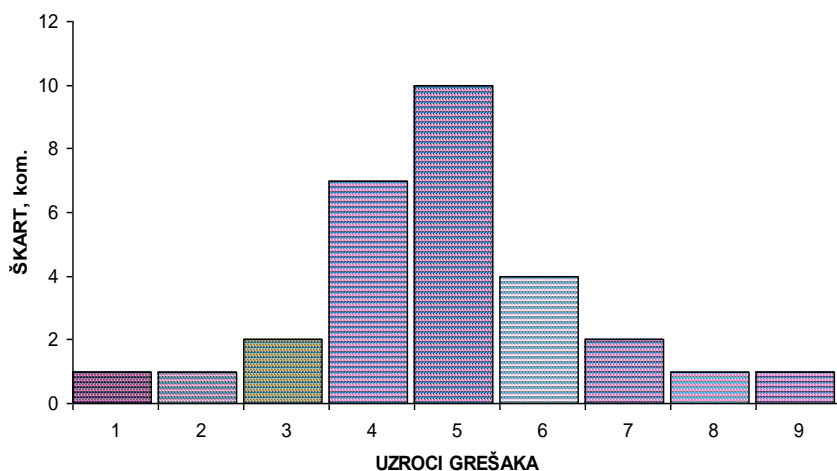
predstavljaju škart i ne mogu se uporabiti u procesu proizvodnje brodskih motora. Dalja analiza nadzornim kartama provedena je za izduženje, temperaturu kokile i temperaturu taline.

#### 4.6. Histogram

Histogramom su analizirani tipovi pogrešaka zbog kojih je nastao škart u procesu proizvodnje košuljica. Analizom škarta prema tipovima pogrešaka utvrđeno je da su najčešći uzroci neprihvatljivosti košuljica nezadovoljavajuća mehanička svojstva, u prvom redu čvrstoća i izduženje. Ostali uzroci su poremećaji u postupku ohlađivanja koji su rezultirali većim ili manjim poroznostima u osjetljivim zonama radnog dijela košuljice, a koje

Slika 11 Analiza škarta prema tipovima pogrešaka  
Figure 11 Scrap analysis in accordance with types of nonconformities

#### Analiza škarta prema tipovima grešaka



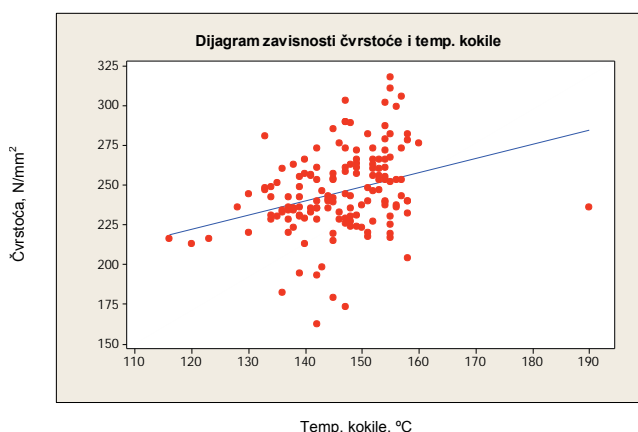
#### Kazalo:

- 1 – Tvrdoća
- 2 – Poroznost u zoni IV
- 3 – Poroznost u zoni I
- 4 – Nedozv. poroznosti u povrtu
- 5 – Mehanička svojstva
- 6 – Ostale ljevačke pogreške
- 7 – Poroznost u zoni II
- 8 – Poroznost izvana
- 9 – Škart u strojnoj obradi

se nije moglo svrstati unutar propisanih specifikacija kakvoće. Iz analize škarta prema tipovima pogrješka vidljivo je da je samo jedna košuljica odbačena zbog pogrješka u mehaničkoj obradi, slika 11. Histogramom su, također, analizirani čvrstoća i izduženje košuljica.

#### 4.7. Dijagram ovisnosti

Dijagramima ovisnosti ispitan je utjecaj postotka ugljika u lijevanom željezu na najvažnija mehanička svojstva košuljice i to čvrstoću i izduženje. Uočeno je da postoji vrlo slaba pozitivna korelacija između postotka ugljika i čvrstoće košuljice. Postoji i slaba pozitivna korelacija između čvrstoće i temperature kokile, slika 12. Daljim utvrđivanjem ovisnosti zaključeno je da između izduženja i temperature kokile ne postoji korelacija, kao niti između izduženja i temperature kokile, te čvrstoće i temperature kokile.



Slika 12 **Dijagram ovisnosti čvrstoće i temperature kokile**  
Figure 12 **Correlation diagram for casting mould temperature and strength of cylinder lining**

### 5. Prijedlozi za poboljšanje

Iz nadzornih karata vidljivo je da je proces stabilan, tj. da je pod nadzorom. Samo nekoliko uzoraka izlazi izvan nadzornih granica. Nadzorna karta za izduženje također pokazuje stabilnost sa samo nekoliko uzoraka izvan nadzornih granica. Aritmetička sredina za izduženje iznosi 0,564 posto. Napravljena je analiza škarta prema uočenim tipovima pogrješka. Analizom međuovisnosti promatranih značajki nije pronađena korelacija.

Iz uzetog uzorka od 150 košuljica cilindra vidljivo je da je najveći broj košuljica škartiran zbog nezadovoljavajućih mehaničkih svojstava. Škart u strojnoj obradi dogodio se na jednoj košuljici. Ostale pogrješke svode se na razne tipove nedopuštenih poroznosti u različitim zonama košuljice, nemetalne uključke, te preveliku tvrdoću.

#### 5.1. Priprema taline

Može se reći da je kakvoća ulaznog materijala vrlo dobra, ali za smanjenje gubitka taline potrebno je koristiti strugotinu prešanu u brikete. Prosječna šarža od 500 kg sastoji se od 44 posto otpadnoga čelika, 36 posto sirovog željeza i 20 posto po-

vratnog materijala od čega je 10 posto strugotina. Zbog diskontinuiranoga prikupljanja taline u ljevački lonac, talina za jednu košuljicu skuplja se u tri ispusta gdje se svaki korak nadzire tzv. klin probom.

#### 5.2. Kalupiranje i izrada jezgri

Pored lijevanja košuljica u metalnom kalupu, tzv. kokili, u tvornici motora 3. maj započela je inicijativa da se kapacitet lijevanja poveća uvođenjem lijevanja košuljica u pješčanom kalupu [1]. Za lijevanje u kovnom kalupu omjer debljine stijenke između kalupa i debljine stijenke odljevka relativno je velik, posebno za tanji dio gdje taj omjer iznosi 1,25. Zbog toga može doći do većega formiranja primarnoga cementita uzrokovanog bržim skrućivanjem, a posljedično i veće tvrdoće. Izrada jezgri je ručna uz lagano sabijanje nekoliko slojeva smjese pijeska i furanskih smola. Problemi s ljevačkim pogrješkama kao što su razrjeđenja i poroznosti najvjerojatnije su uzrokovani kakvoćom jezgri zbog nejednolike raspodjele veziva i utvrđivača, te lokalne koncentracije prašine iz pijeska koja uzrokuje nisku čvrstoću. Takve mekše zone u jezgrama mogu utjecati na efekt bubrenja tijekom skrućivanja taline što kasnije izaziva stezanje. Poroznosti na izvanjskim površinama košuljice vjerojatno su uzrokovane stanjem metalnoga kalupa, tj. pukotinama zbog termalnog naprezanja i unutarnje vlage kondenzirane na stjenkama kalupa zbog nedostatnoga sušenja premaza ili zonama popravaka kalupa. Zbog toga treba poštivati preporuku od maksimalno 25 košuljica koje se mogu izliti u jednom kalupu. Nakon toga treba izraditi novi kalup.

#### 5.3. Lijevanje

Kompletno složeni metalni kalup, uključujući i uljevnu čašu, predgrijava se na temperaturu 135 – 145 °C. Sama temperatura taline prema iskustvu i preporuci *Wärtsilä Switzerland*, treba iznositi 138+10/-5 °C. Na promatranom uzorku od 150 košuljica srednja temperatura taline iznosi 1362,33 °C, što je nešto niže od preporuke, a uvjetovana je dugotrajnim skupljanjem taline u tri izljeva. Predgrijavanje ljevačkog lonca za skupljanje taline provodi se prema normalnoj ljevačkoj praksi, a izljev iz lonca mora biti čist, bez naslaga šljake kako bi se spriječili defekti odljevaka uzrokovani uključcima šljake.

#### 5.4. Laboratorij i ispitivanje

Ne postoji ispitivanje ulaznih materijala kao što su smola, vezivo, novi pijesak, koks i sl., nego se kod procjene značajki ulaznog materijala polazi od certifikata koje pribavlja dobavljač. Test pijeska obavlja se dva puta uz razmak testiranja od 2 sata. Tražena čvrstoća od  $\geq 250$  N/cm<sup>2</sup> nije uvijek zadovoljena, što može biti uzrok pješčanih uključaka i mikroporoznosti.

#### 5.5. Moguća poboljšanja

Evidentno je da oprema u ljevaonici tvornice motora 3. maj nije nova. Usprkos tome broj defekata zbog kojih je potrebno škartirati odljevak relativno je malen, zbog korištenog ulaznog materijala visoke kakvoće kao i stručnog osoblja. Razlozi ljevačkih defekata najvjerojatnije su uzrokovani dosadašnjom lošom kakvoćom pripreme pijeska, odnosno kakvoće jezgri, te predugim skupljanjem taline potrebne za lijevanje košuljice, a koje je uvjetovano kapacitetom peći. Moguća poboljšanja mogu



ići u pravcu kalupiranja, pripreme taline i kupolne peći, te nadzora procesa. Kod kalupiranja potrebno je što prije instalirati i pustiti u rad novi kontinuirani mješač pijeska, koristiti visokokvalitetne smole s niskim postotkom dušika,  $N < 0,5$  posto, vibrirati pijesak tijekom proizvodnje jezgri radi homogenizacije pješčane mase, premještanje i transport jezgri obavljati tek nakon dostatnoga stvrdnjavanja pijeska, koristiti kvalitetne premaze, koristiti metalne kalupe bez dubokih termičkih pukotina, te zamijeniti kalup nakon najviše 25 uporaba. Kod pripreme taline i kupolne peći potrebno je optimalno predgrijavati koks zbog dostatnog zadržavanja topline i osiguranja temperature lijevanja, razliku između sadržaja silicija i mangana držati najmanje na razini 0,5 posto, mjerenje temperature obavljati pomoću termopara, te u pripremi šarže koristiti briketiranu metalnu strugotinu. Kod nadzora procesa potrebno je provoditi opsežnija ispitivanja pijeska, nabaviti novi spektrometerski uređaj za ispitivanje kemijskoga sastava, te dosljedno se pridržavati tehnološkoga postupka i propisanih procedura.

Uz navedene moguće prijedloge poboljšanja koji ne zahtijevaju znatnija financijska sredstva, veliki kvalitativni pomak zasigurno bi osigurala kupnja elektropeći koja bi proces taljenja materijala učinila manje osjetljivim na poremećaje u kemijskom sastavu šarže, devijacijama u kakvoći ulaznog materijala ili odstupanjima u temperaturi taljenja.

## 6. Zaključak

Cilj ovog rada bio je istražiti primjenjivost alata osiguranja kakvoće kod lijevanja košuljica cilindra brodskih sporokretnih motora u tvrtci *3. maj Motori i dizalice d.d.*, radi analize procesa, podizanja razine kakvoće i smanjenja troškova, te pokazati svrsishodnost primjene dostupnih alata osiguranja kakvoće u industrijskoj maloserijskoj proizvodnji.

Statistički nadzor procesa učinkovita je metoda nadzora procesa uporabom statističkih alata. Naglaskom na rano otkrivanje i prevenciju problema, statistički nadzor procesa ima znatne prednosti pred metodama kao što su nadzorne inspekcije koje se koncentriraju na otkrivanje i otklanjanje problema na gotovom proizvodu ili usluzi.

U radu je općenito opisano sedam osnovnih alata osiguranja kakvoće, te je opisan proces lijevanja košuljice cilindra. Proces

lijevanja košuljice cilindra opisan je slijedom tehnoloških operacija počevši od pripremnih aktivnosti, samoga postupka lijevanja do završnih aktivnosti nadzora i predaje gotovog odljevka u sljedeću fazu proizvodnje. Prikazana je primjena alata osiguranja kakvoće na procesu lijevanja košuljice cilindra, kratko su komentirani dobiveni rezultati, te je dan osvrt na pojedine faze proizvodnje košuljice cilindra i moguća poboljšanja.

Iz analize dobivenih rezultata može se nedvojbeno zaključiti da postoji nužnost što skorijeg uvođenja primjene alata osiguranja kakvoće u promatrani proces lijevanja košuljica cilindra. Na temelju dobivenih rezultata i ponuđenih rješenja proces lijevanja košuljice cilindra trebalo bi modificirati i permanentno pratiti radi verifikacije poboljšanja. Moguća su istraživanja i primjenjivosti i ostalih alata osiguranja kakvoće.

Zaključno, može se reći da alati osiguranja kakvoće sigurno nalaze primjenu u poboljšanju proizvodnih procesa u pojedinim fazama proizvodnje brodskih sporokretnih motora, te da svojom univerzalnošću, sustavnošću i jednostavnošću osiguravaju znatni potencijal u postizanju veće razine kakvoće, smanjenja troškova i povećanja konkurentnosti na današnjem zahtjevnom svjetskom tržištu.

## Popis literature

- [1] JUŽNIĆ, H.: „Alati osiguranja kakvoće u proizvodnji brodskih sporokretnih motora“, Magistarski rad, *Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci*, Rijeka, 2009.
- [2] VARDEMAN, S.B., JOBE, J. M.: „Statistical Quality Assurance Methods for Engineers“, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1999.
- [3] BASU, R.: „Implementing Quality: A Practical Guide to Tools and Techniques“, Thompson Learning, Cornwall, 2004.
- [4] LAZIĆ, M.: „Alati, metode i tehnike unaprjeđenja kakvoće“, *Univerzitet u Kragujevcu, Mašinski fakultet Kragujevac*, Centar za kvalitet, Kragujevac, 2006.
- [5] TAGUE, N.R.: „The Quality Toolbox“, 2<sup>nd</sup> ed., American Society of Quality, Quality Press, Milwaukee, 2005.
- [6] BANKS, J.: „Principles of Quality Control“, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1989.