



UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET
Centar za inovativnost i preduzetništvo



u saradnji sa / in cooperation with:



WUS AUSTRIA –URED BIH SARAJEVO
ADA- AUSTRIJSKA RAZVOJNA AGENCIJA
BUSINESS START-UP CENTAR ZENICA
ATA-ACADEMIC TRAINING ASSOCIATION AMSTERDAM
REZ - REGIONALNA EKONOMSKA ZAJEDNICA REGIJE CBIH - ZENICA

Zbornik radova

"TECHNO-EDUCA 2008"

Proceedings

Studentska naučno-stručna konferencija
u okviru sajma ZEPS Intermetal

Students' Scientific and Expert Conference within
the ZEPS Intermetal Fair

Urednik/Editor: prof. dr sci. Darko Petković

Zenica, maj- May, 2008.

Izdavač:

UNIVERZITET U ZENICI

tel. + 387 32 444 430, 444 420

fax. + 387 32 444 431

e-mail: rektorat@unze.ba

www. unze.ba

Fakultetska 1, 72 000 ZENICA

Bosna i Hercegovina

Za izdavača:

Rektor prof. dr sci. Sabahudin Ekinović, dipl.inž.maš.

Urednik :

V. prof. dr sci. Darko Petković, dipl.inž.maš.

Korice:

Derviš Dervišević

DTP:

mr. Ibrahim Plančić, dipl.inž.maš.

Izdato u:

300 primjeraka (štampane + CD verzije)

Štampa:

Feta-Grand

Zacarina 1

Za štampariju: Ing. Samir Fetić

PREDGOVOR

Poštovani,

Prateće stručne manifestacije Sajma ZEPS Intermetal 2008. u Zenici su kvalitativna dopuna osnovnoj sajamskoj manifestaciji koja je profilisana kao specijalizovani sajam proizvođača mašina i opreme za obradu metala. Svakako da u ovim pratećim manifestacijama II studentska konferencija TECHNO-EDUCA 2008: Inovativnošću I preduzetništvom do radnih mjesta zauzima posebno mjesto. U vremenu kada BIH I zemlje regiona imaju premanentni nedostatak tehnički obrazovane radne snage koja će biti garant budućeg privrednog razvoja BIH ova konferencija ima svoje posebno mjesto i značaj. Želimo da vjerujemo I da se nadamo da će u godinama koje dolaze ovaj problem biti sve manje izražen te da će studenti koji na ovoj konferenciji izlažu svoje radove biti nosioci nekog novog razvoja BIH I regiona.

U ovom Zborniku su predstavljeni radovi studenata i njihovih mentora nastalih kao rezultat seminarskih, projektnih ili diplomskih istraživanja. Kako je ovo jedna od prvih manifestacija ovakve vrste u BIH namjera organizatora i izdavača je bila da se što više promoviše studentski istraživački, naučni i stručni rad. Naravno, vodilo se računa o kvalitetu samih radova ali još više raduje činjenica da su u vrlo kratkom roku od prvog poziva autorima stigli brojni radovi. Kako od predstavnika akademske zajednice - studenata iz BIH, univerziteta iz regiona Zapadnog Balkana (Novi Sad, Zagreb, Beograd) do radova iz zemalja EU.

Sigurno je da organizaciju TECHNO-EDUCE 2008 prate brojni problemi i propusti koje će organizator nastojati da u godinama koje dolaze ispravi te da svaka nova TECHNO-EDUCA postane respektabilna manifestacija okupljanja profesora i studenata i mjesto njihovog višednevnog susretanja sa privrednicima, poslodavcima, ljudima iz resornih ministarstava, privrednih komora i brojnih drugih. U tom smislu želimo Vam uspješan rad tokom manifestacije te izražavamo nadu će će publikovani radovi pobuditi Vašu naučnu znatiželju.

Zenica, maj, 2008.

Urednik Zbornika
Prof.Dr sci. Darko Petković

**ORGANIZACIJSKI ODBOR SE ZAHVALJUJE SVIMA KOJI SU NA BILO KOJI
NAČIN POMOGLI DA SE MANIFESTACIJA "TECHNO-EDUCA 2008" ODRŽI
A POSEBNO HVALA DUGUJEMO:**

GRAD ZENICA

REZ - REGIONALNA EKONOMSKA ZAJEDNICA REGIJE CBIH – ZENICA

MINISTARSTVO PRIVREDE VLADE ZE-DO KANTONA

MINISTARSTVO OBRTA, RAZVOJA I PREDUZETNIŠTVA VLADE FBIH

WUS AUSTRIA –URED GRAZ

WUS AUSTRIA –URED SARAJEVO

BUSINESS START-UP CENTAR ZENICA

SPARK AMSTERDAM

POSLOVNI SISTEM RMK ZENICA

MCE INDUSTRIE TECHNIK GMBH LINZ, AUSTRIA

TEXIMP, CIRIH, ŠVICARSKA

TEHNIČKI RAZVOJNI CENTAR, KRANJ-NOVI SAD

ECONOMIC D.O.O. VITEZ

ECOS D.O.O. VITEZ

ALFA-THERM D.O.O. MOSTAR

EKONOMSKI FAKULTET UNIVERZITETA U ZENICI

FIS D.O.O. VITEZ

ITC D.O.O. ZENICA

WUS AUSTRIA –URED BIH SARAJEVO

KLASTER PLASTIČARA GRAČANICA

Naučni odbor konferencije:

- ◆ Prof.Dr Sabahudin Ekinović, rektor, Univerzitet u Zenici, predsjednik
- ◆ Prof.Dr Džemo Tufekčić, rektor, Univerzitet u Tuzli
- ◆ Prof.Dr Vlado Majstorović, rektor, Sveučilište u Mostaru
- ◆ Prof.Dr Stanko Stanić, rektor, Univerzitet u Banjoj Luci
- ◆ Prof.Dr Darko Petković, prorektor, Univerzitet u Zenici
- ◆ Prof.Dr Sead Pašić, prorektor, Univerzitet Džemal Bijedić u Mostaru
- ◆ Prof.Dr Petar Marić, prorektor, Univerzitet u Banjoj Luci
- ◆ Prof.Dr Ostoja Miletić, prorektor, Univerzitet u Banjoj Luci
- ◆ Prof.Dr Zoran Ljuboja, prorektor, Univerzitet u Istočnom Sarajevu
- ◆ Prof.Dr Miroslav Plančak, prorektor, Univerzitet u Novom Sadu
- ◆ Prof.Dr Dražena Tomić, prorektor, Sveučilište u Mostaru
- ◆ Prof.Dr Vojo Višekruna, prorektor, Sveučilište u Mostaru
- ◆ Prof.Dr Dušan Vukojević, dekan Mašinskog fakulteta Zenica
- ◆ Doc.Dr Izet Alić, dekan Mašinskog fakulteta Tuzla
- ◆ Prof.Dr Smail Klarić, dekan Mašinskog fakulteta Mostar
- ◆ Prof.Dr Miljenko Obad, dekan FSR Mostar
- ◆ Prof.Dr Ejub Džaferović, dekan Mašinskog fakulteta Sarajevo
- ◆ Prof.Dr Jože Duhovnik, dekan Mašinskog fakulteta Ljubljana
- ◆ Prof.Dr Milan Marčič, dekan Mašinskog fakulteta Maribor
- ◆ Prof.Dr Izvor Grubišić, dekan Fakulteta strojarstva i brodogradnje Zagreb
- ◆ Prof.Dr Ivan Budić, dekan Strojarskog fakulteta Slavonski Brod
- ◆ Prof.Dr Miloš Nedeljković, dekan Mašinskog fakulteta Beograd
- ◆ Prof.Dr Miroslav Babić, dekan Mašinskog fakulteta Kragujevac
- ◆ Prof.Dr Ilija Ćosić, dekan Fakulteta tehničkih nauka Novi Sad
- ◆ Prof.Dr Tonči Mikac, dekan Tehničkog fakulteta Rijeka
- ◆ Prof.Dr Isak Karabegović, dekan Tehničkog fakulteta Bihać
- ◆ Prof.Dr Desimir Marković, dekan Tehničkog fakulteta Bor
- ◆ Prof.Dr Jeroslav Živanić, dekan Tehničkog fakulteta Čačak
- ◆ Prof.Dr Suljo Muhamedigić, dekan FMM Zenica
- ◆ Prof.Dr Ivanka Popović, dekan Tehnološko-metalurškog fakulteta Beograd
- ◆ Prof.Dr Dževad Zečić, dekan Ekonomskog fakulteta Zenica
- ◆ Prof.Dr Ivan Pavlović, dekan Ekonomskog fakulteta Mostar
- ◆ Doc.Dr Nedim Hodžić, prodekan Mašinskog fakulteta Zenica
- ◆ Doc.Dr Šefket Goletić, prodekan Mašinskog fakulteta Zenica
- ◆ Prof.Dr Slavko Dolinšek, prodekan Fakulteta za menadžment Kopar

SADRŽAJ

1. Adis Muminović, Aktivni magnetni ležajevi	7
2. Aleksander Janeš, Slavko Dolinšek, Sabahudin Ekinović, Assessment of the technological capability: technology audit model	15
3. Aleksander Janeš, Slavko Dolinšek, Institucionalne zunanje evalvacije visokega šolstva v Sloveniji	25
4. Anida Mešić, Nermin Mujezinović, Hasan Avdušinović, Neke tehološke karakteristike domaćeg bentonita ležišta Šipovo	34
5. V. Česnik, T. Opetuk, G. Đukić, Analiza ruta komisioniranja u skladištima s prostornim rasporedom "riblja kost"	39
6. Bajrić Dijana, Huseinspahić Majda, Selektivno prikupljanje korisnih komponenti otpada na javnim mjestima u općini Zenica	47
7. Derviš Emruli, Nadžija Haračić, Ispitivanje drveta zateza njem u pravcu i upravno na pravac drvnih vlakana	56
8. Edin Garić, Adnan Lihic, Ismar Alagić, Darko Petković, Harun Yazgan, Primjena savremenog CIM i JIT koncepta u proizvodnji namještaja	63
9. Midhat Subašić, Mirsad Halilović, Korporativno upravljanje i njegov uticaj na zapošljavanje	74
10. Tjaša Zupančič Hartner, Rebeka Rudolf, Miodrag Čolić, Ivan Anžel, Stomatološki materiali in metode za preiskavo biokompatibilnosti teh materialov- Biokompatibilnost stomatoloških materialov in metode za njihovo preiskavo	84
11. Ibrahim Turčinović, Dragi Tiro, Izrada silikonsko – gumenih kalupa i Room Temperature Vulcanizing (RTV) postupak brzog livenja	88
12. Nihad Vejzović, Produkcija i zaštita okoliša od prašine na površinskim kopovima nemetalnih mineralnih sirovina	97
13. Nihad Vejzović, Petar Petrovski, Mediha Šestić, Proizvodnja veziva cementa i kreča, sa osvrtom na emisiju polutanata SO _x , NO _x i CO ₂	105
14. Almir Plančić, Ismar Alagić, Darko Petković, Edin Rizvić, Optimizacija CNC obrade drvenih bubnjeva u firmi Stanex d.o.o. Zenica	115
15. Enis Osmanović, Rapid prototyping – Comparative analysis of various RP systems	125
16. Maja Djogo, Mirjana Vojinović Miloradov, Kvantifikacija perzistentnih organskih polutanata gasnom hromatografijom sa MS detektorom u uzorcima vazduha	134
17. Vedran Avdić, Hajrudin Džafo, Emir Avdić, Semiz Šišić, Konstrukcija crossflow turbine za mikrohidroelektranu Lađanica	143
18. Hodžić Arnela, Mujčin Amer, Nađija Haračić, Titan i njegove legure	149
19. Emir Salkić, Sejad Velispahić, Nađija Haračić, Bakar i njegove legure	158
20. Alić Ena, Ibraković Lejla, Nađija Haračić Livena gvožđa	166
21. Tihomir Opetuk, Predrag Čosić, Mogućnost procjene vremena izrade rotacijskih dijelova	176
22. Mladen Karivan, Muamer Trako, Denis Spahić, Josip Kačmarčik, dr. Senad Balić, Razvoj turističko-ekološkog vozila	187
23. Piljug Edin, Dr. Nađija Haračić, Bakar i njegove legure bronzne	198
24. Kemal Gutlić, Dr Nađija Haračić Dinamičko ispitivanje materijala	207
25. Mirnes Alic, Mladen Jecmenica, Effect of thermal cycling at the gluing stage on an assembly of materials used for silicon wafering	219
26. Ervina Merić, Medina Poturak, Ensar Džafić, Leo Katz, Zoran Lemajić, Boris Mijanović, Edin Turkušić, Eksperimentalna ispitivanja aeroprofila NACA 4406	223
27. Perić Magdalena, Dr. Nađija Haračić, Aluminiij	231
28. Armin Nurkić, Analiza transporta materijala u industriji plastičnih dijelova	243
29. Gorazd Kosec, Effect Of Reheat Temperature On Charpy Notch Toughness Of Martensite And Lower Bainite	250

AKTIVNI MAGNETNI LEŽAJEVI

Adis Muminović
Univerzitet „Džemal Bijedić“,
Mašinski fakultet, Maršala Tita bb. 88 104 Mostar
e-mail: adis.muminović@student.unmo.ba;
adis_mumin@yahoo.com

Abstrakt:

Rad obrađuje aktivne magnetne ležajeve, kao tehnologiju koja u svijetu zauzima sve više prostora i čije se pojavljivanje može uskoro očekivati i na domaćem tržištu. Opisan je historijski nastanak ovih ležajeva, obrađen način rada, te njihova konstruktivna izvedba. Prezentovani su rezultati eksperimenta jednog aktivnog magnetnog radijalnog ležaja, te obrađene prednosti i nedostaci ovakvih ležajeva u odnosu na klasične ležajeve, na kraju se navode mjesta gdje se ovakvi ležajevi mogu upotrijebiti. Radom se želi skrenuti pažnja na ovu još uvijek nepoznatu tehnologiju u Bosni Hercegovini.

Ključne riječi: Ležaj, aktivni magnetni ležaj, senzor, kontrolni uređaj.

1. Uvod

U Bosni i Hercegovini a i šire pojam aktivnog magnetnog ležaja je još relativno nepoznat. Gotovo je nemoguće naći literaturu na bosanskom jeziku o ovoj temi, jer se ne spominje u literaturama srednjih škola, kao ni u fakultetnim literaturama. To je jedan od razloga nastanka ovog rada, koji je prije svega informativnog karaktera. Sa ovim radom želimo upoznati širu javnost o ovoj novoj tehnologiji u svijetu ležajeva, koja jako puno obećava. Rad se sastoji iz četiri dijela.

Da bismo mogli pisati o aktivnim magnetnim ležajevima, u drugoj selekciji smo opisali ležajeve kao zasebne mašinske elemente. Ukratko opisali razloge nastanka ležajeva, te definisali ležajeve. Dali smo osnovne osobine koje svaki ležaj mora ispunjavati, te odredili parametre koje je potrebno definisati kod svakog posebnog ležaja. Naveli smo podjele ležajeva u odnosu na konstruktivnu izvedbu i smjer djelovanja sile.

Treća sekcija obrađuje temu aktivnih magnetnih ležajeva, obrađena je historija nastanka ovih ležajeva, te prva istraživanja koja su pokrenula tezu upotrebe magnetizma u ove svrhe. Zatim je objašnjen princip rada ovih ležajeva, te data šema jednog aktivnog magnetnog radijalnog ležaja. Navedeni su faktori koji definišu osobine jednog ovakvog ležaja, te su spomenute vrste ovih ležajeva koje se danas mogu naći na tržištu. Ukratko su objašnjeni osnovni dijelovi kompletnog sistema ovakvog ležaja (senzori i kontrolni uređaji). Zatim smo prezentovali rezultate eksperimenta izvedenog sa radijalnim aktivnim magnetnim ležajem, koji je pokazao zavisnost vrijednosti sile u odnosu na promjenu struje ili položaj vratila. U dijelu koji uspoređuje ove ležajeve sa klasičnim ležajevima, navedene su sve pozitivne, kao i negativne osobine ovih ležajeva. Kroz analizu prednosti ovih ležajeva spomenuli smo i mjesta gdje se ovi ležajevi mogu upotrijebiti. Dati su osnovni principi kojih se treba pridržavati pri odluci da li upotrijebiti ovakve ležajeve ili ne.

2. Ležajevi

Trenje koje se javlja u mašinskim konstrukcijama vrlo često možemo iskoristiti u pozitivne svrhe (frikcione spojnice, frikcionni prenosnici itd.), ali nam također često stvara velike probleme. Problemi su naručito izraženi kod mašinskih elemenata koji posjeduju određeni obrtni moment a da su pritom opterećeni nekim opterećenjem i u "direktnom" su dodiru sa drugim elementom koji miruje ili se kreće nekom drugom brzinom u istom ili suprotnom smjeru u odnosu na prvi element. Upravo iz potrebe eliminacije trenja u ovakvim slučajevima javila se potreba za ležištima.

Ležišta bi mogli nazvati posrednim elementom između druga dva elementa koja su u dodiru (rukavca i vratila, vratila i kućišta itd.). Jedna od definicija je i ta, da su to elementi na kojima se oslonjaju rukavci, vratila i osovine. Osim funkcije eliminacije trenja na dodirnim površinama, ležišta imaju i ulogu smanjenja otpora kretanju vratila, u što većoj mjeri, jer samim tim smanjujemo gubitke određene mašine, pošto znamo da svaka mašina u sebi sadrži jako puno ležišta.

Ležišta moraju što bolje apsorbovati vibracije, biti što bolje otporni na promjenu temperature, te moraju dobro podnositi udare. Također je jako bitan faktor broja obrtaja koje ležište može izdržati. Ovo se posebno ističe kod ležišta koja se koriste u mašinama za preciznu obradu metalnih komada. Ovdje se također od ležišta zahtijeva precizno držanje vratila u zadanom položaju.

Pri definisanju jednog ležišta potrebno je:

- definisati geometrijske karakteristike ležišta,
- definisati nosivost ležišta,
- definisati broj obrtaja ili ugaonu brzinu koju ležište može izdržati,
- definisati opseg temperatura pri kojima ležište može raditi,

Prema konstrukciji ležišta možemo podjeliti na tri grupe:

- klizna ležišta,
- kotrljajna ležišta,
- beskontaktna ležišta (zračna i magnetna ležišta).

Prema pravcu djelovanja sile sve konstruktivne izvedbe ležišta možemo podjeliti na tri grupe:

- radijalna (poprečna) – kod kojih sila djeluje normalno na osu ležišta,
- aksijalna (uzdužna) – kod kojih sila djeluje duž ose ležišta,
- kombinovana (aksijalno-radijalana) – kod kojih istovremeno djeluju uzdužne i poprečne sile.



a)

b)

c)

d)

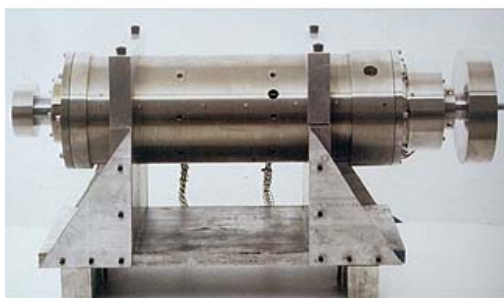
Slika 1. Ležajevi: a) ležaj sa valjcima b) ležaj sa kuglicama c) igličasti ležaj d) magnetni ležaj

3. Aktivni magnetni ležajevi

3. 1. Historija nastanka aktivnih magnetnih ležajeva

Magnetizam u mašinskoj industriji zauzima sve više prostora, ljudi su uspjeli iskoristiti magnetne osobine za poboljšanje i napredak tehnologije (npr. u proizvodnji magnetnih šina kod vozova). Ideja o podržavanju objekata sa magnetizmom prvi put se javlja još za vrijeme drugog svjetskog rata na „University of Virginia“, od čovjeka pod imenom Jasse Beams [2], i bila je u konceptu ultracentrifugalnih mašina za pročišćavanje izotopa i opasnih elemenata kod izrade prve atomske bombe. U desetljećima poslije bilo je mnogo pokušaja izrade ovakvih ležajeva od kojih ćemo spomenuti samo neke: Stader 1972. godine [3] i Robinson 1981. godine [3]. Međutim svi oni su imali probleme sa stabilizacijom rotora, a rješenje tog problema dali su tek moderni senzori i računari, koji se razvijaju krajem 80-tih godina, a početkom 90-tih godina nastaju prvi moderni digitalni uređaji za kontrolu rotora.

Prvi internacionalni simpozijum na temu aktivnih magnetnih ležajeva je održan 1988. godine, te se od tada i počinju upotrebljavati. Prvu upotrebu su doživjeli u Kanadskoj industriji plina, mada su komercijalnu premjeru doživjeli nekoliko godina prije, tačnije 1976. godine u Francuskoj.



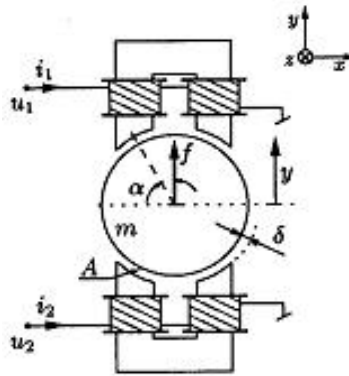
Slika 2. Magnetni ležaj testiran od strane NASE 1994. godine.

Tehnologija ovakvih aktivnih magnetnih ležajeva se intenzivno razvija posljednjih godina, i smatra se da će doprinjeti smanjenju potrošnje energije u budućnosti.

3. 2. Princip rada aktivnog magnetnog ležaja

Aktivni magnetni ležajevi su tehničko rješenje kontrole rotirajućeg tijela, gdje treba kontrolisati svih šest stupnjeva slobode. Ovo nije moguće postići sa trajnim magnetima, već sa elektromagnetima, pošto kod njih možemo mijenjati vrijednost fluksa tj. privlačne sile, zbog čega su i dobili naziv: Aktivni magnetni ležajevi.

Za kontrolu navedenih šest stupnjeva slobode većinom se koristi sistem magnetnih ležajeva, koji u sebi sadrži nekoliko ležajeva, što zavisi od mjesta primjene tj. od zahtjeva mašine. Imamo više konstrukcionih rješenja ovakvih ležajeva, međutim svi oni rade na istom principu. Njihov princip rada ćemo objasniti na sistemu koji se sastoji od dva radijalna aktivna magnetna ležaja i jednog aksijalnog ležaja. Radijalni ležajevi su postavljeni pod uglom od 90 stepeni jedan u odnosu na drugog. Tako da kontrolišu kretanje u horizontalnom i vertikalnom pravcu, dok aksijalni ležaj kontroliše aksijalno pomijeranje.

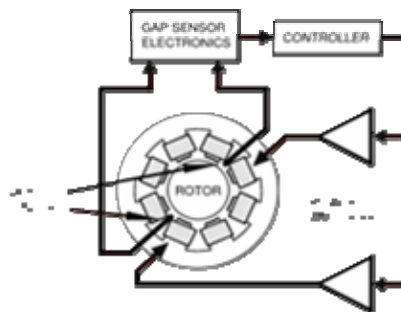


Slika 3. Šema radijalnog aktivnog magnetnog ležaja.

Jedan radijalni ležaj je sastavljen od jednog para elektromagneta koji su postavljeni na suprotnim stranama rotora (slika 3). Oni predstavljaju stator radijalnog aktivnog magnetnog ležaja. Na vratilu se nalazi feromagnetični materijal koji se obrće zajedno sa vratilom. Elektromagneti stvaraju privlačnu silu kojom se djeluje na rotor.

Sve gore navedeno još uvijek čini nestabilan sistem, te rotor neće biti stabilan zbog raznih vibracija i minimalnih promjena opterećenja. Da bismo ostvarili stabilan sistem ovakvom ležaju moramo dodati još dvije komponente, a to su senzori i uređaji za kontrolu sile.

Senzori prete položaj vratila (rotora), te njegovo minimalno pomjeranje javljaju uređaju za kontrolu, koji zatim povećava struju, a samim tim i fluks tj. privlačnu silu i popravljaju položaj vratila. Princip je prikazan na slici 4. Regulacija položaja rotora je vrlo precizna, jer senzori rade sa preciznošću od nekoliko μm , sa rezolucijom od 30 nm, dok se u uređajima za kontrolu koriste moderni računarski programi.



Slika 4. Princip rada aktivnog magnetnog ležaja

Položaj senzora je najkritičniji dio jednog ovakvog ležaja, pošto su oni osjetljivi na visoke temperature, pa se o tome mora posebno voditi računa pri konstrukciji. O preciznošću ovih ležajeva govori i činjenica da uređaji za kontrolu imaju mogućnost mjenjača magnetnog fluksa i do 10 000 puta u sekundi. Kontrolni uređaj se sastoji od digitalnog signalnog procesora, djela za isporuku energije i pojačala, čija se snaga kreće i do 50 A. Zračni prostor između rotora i statora se kreće između 0.5 mm do 2 mm (označen sa p na slici 3).

Svaki od ovih ležajeva ima i tehničko rješenje za sigurnost usljed nestanka energije, koje inače služi i za preuzimanje opterećenja prilikom pokretanja i zaustavljanja ležaja. Pokretanje i zaustavljanje ležaja se vrši laganim povećanjem ili smanjenjem dovoda energije, uzimajući u obzir da je, pritom, brzina obrtanje jednaka nuli.

Najvažni faktori koji utječu na nosivost i veličinu jednog magnetnog ležaja su:

- broj polova i njihova veličina,
- materijal statora i rotora,

- broj namotaja,
- zračni prostor,
- maksimalna struja koju može podnijeti,
- prečnik rotora.

Karakteristike aktivnih magnetnih ležajeva zavise i od vrste ležaja. Vrste koje su trenutno zastupljene na tržištu, zajedno sa opisanim karakteristikama, su :

- radijalni aktivni magnetni ležajevi

Imaju nosivost od 50 do 25.000 N, sa unutrašnjim prečnikom od 9 do 230 mm. Inače se koriste kod mašina koje imaju brzinu obrtanja od 1.800 do 100.000 obrtaja u minuti, a mogu raditi na temperaturama i do 220°C (slika 5. a)

- poprečni aktivni magnetni ležajevi

Imaju nosivost od 130 do 24.500 N, sa unutrašnjim prečnikom od 9 do 130 mm. Također mogu raditi sa brzinama obrtanja od 1.800 do 100.000 obrtaja u minuti. Temperatura im je ograničena na 220°C (slika 5. b)

- konični - aksijalni aktivni magnetni ležajevi

Imaju karakteristiku da mogu nositi opterećenje i u radijalnom i u aksijalnom pravcu. Nosivost u aksijalnom pravcu im je 17.800 N a u radijalnom 8.900 N (slika 5. c)



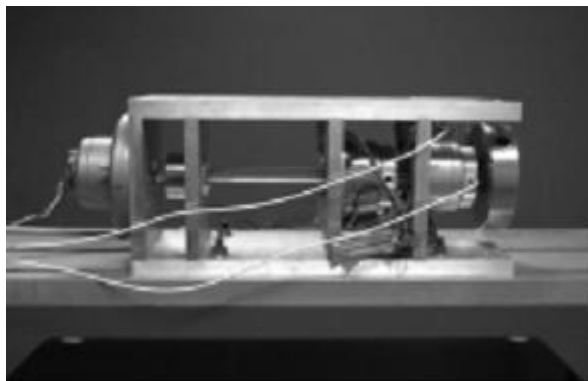
Slika 5. Aktivni magnetni ležajevi

Karakteristike ovih ležajeva se mogu mjenjati zavisno od potrebe. Ovo su standardne vrijednosti za nosivost, prečnik i temperatura, koje se trenutno nalaze na tržištu.

3. 3 Stabilizacija aktivnog radijalnog magnetnog ležaja

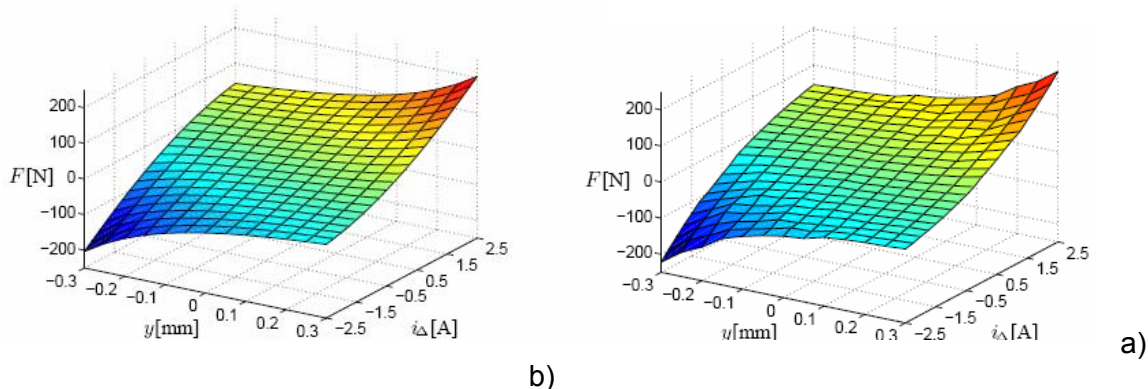
Sabilizaciju aktivnog magnetnog radijalnog ležaja objasniti ćemo uz pomoć eksperimenta koji je izvršen na ležaju prikazanom na slici 6, a eksperiment je urađen u suradnji Fakulteta za elektrotehniku, računarstvo i informatiku pri Univerzitetu u Mariboru i Univerziteta Luven Belgija.

Ovdje ćemo se bazirati samo na rezultate ovog eksperimenta. Eksperimentalna izvedba ovog ležaja se satojala od dva radijalna i jednog aksijalnog ležaja. Dok se obrtni moment dobijao uz pomoć elektromotora. Na ležaj se dovodila struja u različitim vrijednostima, te se za svaku vrijednost struje mjerila vrijednost sile na dva načina: analitički metodom konačnih elemenata i mjernjem uz pomoć Maxwellovog tenzometra.



Slika 6. Laboratorijska izvedba radijalnog magnetnog ležaja.

Najvažnija stvar koju pokazuju rezultati ovog eksperimenta je ta da se izmjerene vrijednosti sile ne razlikuju mnogo od računski izračunatih vrijednosti, što se vidi na donjim dijagramima. Stabilizaciju rotora radijalnog aktivnog magnetnog ležaja ostvarujemo upravo uz pomoć programa koji radi na principu donjih dijagrama. Program na osnovu datog pomjeranja vratila vrši povećanje ili smanjenje dovoda energije i vraća vratilo u početni položaj. Ovakav eksperiment je potrebno izvesti za svaki konstruktivni oblik magnetnog ležaja, da bi se dobili dijagrami na osnovu kojih će nastati programi za njihovu stabilizaciju.



Slika 8. Rezultati eksperimenta
 a) računski vrijednosti sile
 b) izmjerene vrijednosti sile

4. Prednosti i nedostaci aktivnih magnetnih ležajeva u odnosu na klasične klizne i kotrljajne ležajeve

Najvažnije prednosti ovakvih ležajeva u odnosu na klizne i kotrljajne ležajeve su:

- **Trenje svedeno na nulu** – Kao što smo naveli na početku, jedan od glavnih problema kod klasičnih ležajeva je trenje, koje smanjuje vijek trajanja samog ležaja i zbog toga takav ležaj traži zamjenu nakon određenog vremena, što dovodi do gubitaka u proizvodnom procesu. Sve ovo ne vrijedi za magnetni ležaj, pošto kod njega ne dolazi do direktnog dodira dva materijala tj. ne dolazi do trenja, pa samim tim ovakav ležaj ima prekično neograničen vijek trajanja, što mu daje jako veliku prednost kod upotrebe u svemirskoj industriji. Pošto nema trenja, ovakav ležaj ne zahtjeva jako male tolerancije izrade kao ni upotrebu skupih materijala, otpornih na habanje. Također, zbog eliminacije trenja, ovi ležajevi ne proizvode nikakvu toplotnu energiju pri radu.

- **Bez podmazivanja** – Ova prednost proizilazi iz činjenice da je trenje eliminisano, pa je tako i podmazivanje nepotrebno. Ovo povećava efikasnost proizvodnog procesa, pošto je

klasične klizne ležajeve potrebno često podmazivati. Također daje prednost ovakvim ležajevima za upotrebu u vakumu i mjestima gdje se traži velika čistoća, kao što je prehrambena industrija, i industrija laboratorijskih instrumenata. Također, zbog nepostojanja maziva, imaju nezavisnost od temperature u kojoj rade. Ovom prednošću eliminišemo postojanje sistema za podmazivanje, a samim tim štedimo energiju, te smanjujemo cijenu. Tehnička izvedba im omogućava upotrebu u fluidima pod pritiskom, gdje se u specijalnim slučajevima može dopuštati proticanje fluida između rotora i statora ukoliko je to potrebno.

- **Ušteda energije** – pošto nemaju trenja, ovakvi ležajevi ne stvaraju nikakve gubitke energije, što im daje prednost za upotrebu kod mašina koje u sebi sadrže dosta ležajeva, jer se na taj način povećava efikasnost mašine. Ušteda energije se ogleda i u tome što se izbacuje nekoliko sistema iz mašina, kao što su : rashladni sistemi i sistemi za podmazivanje. Sve to čini većim stepen automatizacije mašine. Podatci govore da se upotrebom ovih ležajeva kod gasnih kompresora koji rade sa snagom do 1 MW godišnje uštedi i do 90.000 Eura [1].

- **Postizanje velikih brzina** – magnetni ležajevi praktično nemaju ograničenje kod broja obrtaja vratila, pošto brzina nema nikakav utjecaj na magnetni fluks, a time i silu, tako da mogu postići obodnu brzinu i do 250 m/s. Ova prednost se može iskoristiti kod računarski upravljanih mašina za obradu materijala, te kod raznih centrifugalnih mašina: vakuumske pumpe, vazdušni i gasni kompresori, turbogeneratori itd.

- **Pouzdanost** – pouzdanost ovakvih ležajeva se temelji na tome da imaju malu šansu da dođe do kvara nakon određenog broja radnih sati, te što sa njima upravlja računarski program.

- **Preciznost i eliminacija vibracija** – zbog senzorskog praćenja položaja vratila, ovakvi ležajevi imaju veliku preciznost održavanja vratila u željenom položaju. Ova prednost se može iskoristiti kod vratila na kojima se nalazi alat koji vrši određenu obradu, jer se samim tim povećava preciznost date obrade. Vibracije kod ovakvih ležajeva su gotovo svedene na nulu (ispod 0. 01 μm) tako da su i vibracije same mašine u kojoj se koriste ovakvi ležajevi jako smanjene, što im daje prednost za upotrebu kod turbo-molekularnih pumpi. Precizna kontrola vibracija se može upotrijebiti i u suprotnom smjeru, tako da upotrebom ovih ležajeva možemo proizvoditi precizno kontrolirane vibracije, koje možemo iskoristiti na raznim mjestima gdje su vibracije potrebne, npr. kod provođenja nekih vrsta testova na otpornost materijala ili djelova na vibracije. Naravno, vibracije ne rastu sa brojem radnih sati kao što je to slučaj kod kliznih ili kotrljajnih ležajeva.

Najvažni nedostaci ovakvih ležajeva u odnosu na klizne i kotrljajne ležajeve su:

- **Potrebna im je energija za rad** – Da bi ovakvi ležajevi ispunjavali svoju funkciju, potrebno im je dovoditi energiju na način opisan u gornjem tekstu. Ovo je najveći nedostatak ovih ležajeva, te se pri njihovom izboru treba voditi računa da ukupna energija koja je potrebna za njihov rad ne prekorači energiju koja se uštedi zamjenom klasičnih kontaktnih ležajeva. Ovo je inače i opći princip pri odluci da li upotrebiti ovakve ležajeve ili ne, s tim što treba paziti da se vodi računa o svim gore navedenim prednostima.

- **Prestavljaju kompleksan sistem** – Zbog postojanja senzora i kontrolnih uređaja, čitav sistem magnetnih ležajeva je, ipak, poprilično složen.

- **Cijena** – cijena ovakvih ležajeva je nešto veća u odnosu na klasične ležajeve, upravo zbog postojanja senzora i kontrolnih uređaja, koji se temelje na visokoj tehnologiji.

- **Nosivost** – Nisu preporučljivi za upotrebu kod ekstremno velikih opterećenja pošto se tada traži dovod velike energije potrebne na njihov rad.

5. Zaključak

Zamislite mašinu bez trenja, bez gubika energije, bez vibracija i bez potrebe za podmazivanjem i čestim prekidima rada zbog izmjene djelova. Da li nam magnetni ležajevi mogu donijeti ovakvu mašinu to će tek vrijeme pokazati, jer, iako su nastali prilično davno, još uvijek traže dosta istraživanja i pokusnog perioda, jer svoju stvarnu vrijednost i pokazuju upotrebom na duge staze. Pošto eksperimentalna ispitivanja pokazuju dobre rezultate, u budućnosti, prilikom izbora ležišta, treba razmatrati upotrebu i magnetnih ležajeva u aplikacijama kao što su: vakumske pumpe, kompresori, turbo generatori, računarski upravljane mašine za obradu materijala, razne centrifugalne mašine, te na mjestima gdje se traži velika čistoća, male vibracije i neosjetljivost na promjene temperature. Mjesto gdje će ovi ležajevi dobiti veliku upotrebnu vrijednost je, svakako, i svemirska tehnologija, gdje je jako važan dug vijek trajanja.

Magnetni ležajevi predstavljaju budućnost u svijetu ležajeva, te se može očekivati njihovo pojavljivanje i na domaćem tržištu, ako ne u prodaji, onda bar u sklopu mnogih mašina koje se uvoze iz drugih zemalja. Samim tim pojavit će se i potreba poznavanja date tehnologije uležištenja.

Literatura:

1. www.SKFMagneticbearings.com, Oficijalna stranica tvrtke za proizvodnju ležajeva SKF,
2. www.Wikipedia.com, Besplatna internet enciklopedija,
3. Development of a Magnetic-Bearing Momentum Wheel for the AMSAT Phase 3-D Small Satellite, Michael SCHARFE, Karl MEINZER, Ralf ZIMMERMANN, International Symposium on Small Satellites, Annecy, France 1996.
4. Analiza laboratorijske izvedbe radialnega aktivnega magnetnega ležaja, Boštjan POLAJŽER, Gorazd ŠTUMBERGER, Drago DOLINAR, Kay HAMEYER, Elektrotehniški vestnik 68(1): 64-69, 2001.
5. Skripta Mašinski elementi II, Mirsad ĆELEBIĆ, Univerzitet „Džemal Bijedić“ Mostar, Mašinski fakultet. 2005.

ASSESSMENT OF THE TECHNOLOGICAL CAPABILITY: TECHNOLOGY AUDIT MODEL

Aleksander Janeš

Lecturer

University of Primorska, Faculty of Management Koper
Cankarjeva 5, Koper, SI-6104, Slovenia

Phone: ++ <386 5 610 20 50>; Fax: ++ <386 5 610 20 15>

E-mail: aleksander.janes@fm-kp.si

Slavko Dolinšek, Ph.D

Associate Professor

University of Ljubljana, Faculty of Mechanical Engineering
University of Primorska, Faculty of Management Koper
Cankarjeva 5, Koper, SI-6104, Slovenia

Phone: ++ <386 5 610 20 50>; Fax: ++ <386 5 610 20 15>

E-mail: [<slavko.dolinsek@fm-kp.si>](mailto:slavko.dolinsek@fm-kp.si)

Sabahudin Ekinović, Ph.D

Professor

University of Zenica, Bosnia and Hercegovina
sekinovic@mf.unze.ba

ABSTRACT

Manufacturing and service companies, while striving and fostering for their efficiency and effectiveness, often need to evaluate and improve their technological capabilities. Because there are no standard requirements about evaluating technological capabilities like for quality management system e.g. ISO 9000 standard family or MBNQA or EFQM model, the technology audit is often based on experiences of the employees. Companies for the purpose of internal technology audit engage employed experienced auditors who are trained for different types of evaluations. We can find some analogy between audits of the systems of quality management and audits of technology capabilities based on systems approach. However it seems that many companies are developing 'their own' Technology Audit Model (TAM) through preparation of audit, accomplishment of audit and audit report with recommendations and corrective measures. Our main goal is to discuss applicability and benefits of the existing TAM for evaluation of company technological capabilities. On that basis we are further testing and developing applicability and supportability of the TAM model in relation to the technological capabilities of Slovenian companies.

Keywords: Internal audit, TAM, Technological capabilities, Quality management, Evaluation

1. INTRODUCTION

Technology can be defined as 'the way we do things' and it consists of the means by which we achieve objectives (Khalil 2000). The notion of Management of Technology (MOT) is continually evolving (Van Wyk 2004b, Dolinšek 2006).

MOT ≡ Knowledge management ≡ technological capabilities of the company (Janeš, Dolinšek, 2007)

Within this contribution, technology can be defined as: theoretical and practical knowledge and skills which can be used for development of products or services, their productive and providing systems, and which can be incorporated in processes, materials, equipment, and systems employed in the creation of goods or in providing services (Khalil 2000, Dolinšek 2004, Thamhain 2005). Technology, as being identified by Porter (1998), is one of five forces that drive industry competition. MOT is an interdisciplinary field concerned with technological development, utilization and the impact of technology on companies and society. MOT can address the strategic and operational needs of the management system in the following ways by:

- Integrating business and technology strategies.
- Expanding utilization of quality standards, excellence models and Total Quality Management (TQM) philosophy into the field of MOT.
- Integrating the technology audit model into generic internal auditing practice of the company.
- Gaining support and benefits from the internal technology audit (Khalil 2000, Karapetrovic, Wilborn 2000, 2002).

The challenge to managers is to continuously and consciously manage their knowledge assets for the growth of technological capabilities of the company (Leonard 1998). In respect of that, the technology audit is defined as a tool to evaluate and identify the strengths and weaknesses of the technological capabilities of the company. The TAM model (developed by Garcia-Arreola in 1996) is supportive in the sense of determining current technological status, surviving areas of opportunity, and taking advantage of the company's strongest capabilities (Khalil 2000). One of the main goals is also to establish the technological position of the company in regard to its competitors and the state of the art. After the audit and assessment a company can develop objectives that form the core of its strategy (Khalil 2000). Technology strategy should be a part of the company's overall strategy. According to M.E. Porter (1996) a proper link between strategy and manufacturing operations is a key to developing sustainable competitive advantage.

Companies while implementing the system of quality management are regularly practicing quality audits. However, there are no standard requirements about evaluating technological capabilities like quality audits that are one of the integral requirements of the ISO 9000 series. One of the important areas of a company's generic audit should be an evaluation of their technological capabilities by an internal technology audit. We can assume that many companies are developing 'their own' TAM model through preparation of audit, accomplishment of audit and audit report with recommendations and corrective measures. Some companies have already adopted and included the TAM evaluation practice in their generic audit system.

The pilot test of the TAM model applicability was performed for the Slovenian service and manufacturing companies. The methodology approach was a survey which consisted of a TAM evaluation form. Respondents were answering to the evaluation form, which consists of twenty assessment areas and a five-point Likert scale. The results on a five-point Likert scale are an average for most categories. Companies from both industries are evaluated as relatively equal but with some advantage for the manufacturing industry. From the results it is evident that further improvements are needed, above all in the categories of innovation processes, acquisition and exploitation of technology.

Qualitative and quantitative analysis indicates the general applicability of the TAM model in both industries and a new viewpoint for some respondents and users. Although the paradigmatic orientation of this research is quantitative by its nature, it is too early to constitute if the research will further develop in a qualitative (e.g. ISO 9001) or quantitative model.

2. TECHNOLOGICAL CAPABILITIES AND STRATEGY

MOT is characterized as a unique combination of many constituent elements that links engineering, science and business management and emphasizes the multi-disciplinary nature of the field (Van Wyk 2004b). According to the US National Research Council (NRC), the MOT knowledge can make important contributions to industry, such as:

- Integration of technology into strategic objectives of the company.
- Efficient evaluation of the technology.
- Accomplishment of the technology transfer and new product development time.
- Management of interdisciplinary systems and internal use of technology (Li-Hua 2006).

In respect of that, technological capability of the company is the ability to effectively and successfully exploit the MOT knowledge. Technological capability has a strategic impact on company's competitive position in its business environment. With the increasing complexity of the business environment, MOT focuses more and more on managing the processes and employees who are involved with them (Thamhain 2005). A framework (model) of the technology management activities consists of identification, selection, acquisition, exploitation and protection. On that basis, a technology management assessment procedure has been developed. The main benefit of the Gregory's five process technology management model is in providing a conceptual framework that can be used to amalgamate all activities of the MOT and enable an assessment and management of this important area (Phaal 2001).

The key factor of company competitiveness is the successful acquisition and/or absorption (Balbinot, Bignetti, von Zedtwitz, Jin 2007) of technology in order to enable R&D and manufacturing of the innovative products and services. Successful R&D calls combination of the right type of funding at the right time, excellent ideas and global networking. So investing in competitiveness is critical success factor in the world of today (FACTE 2007). Here is room for further improvement of technological capability with management of innovations in the company's area of competitiveness. An integrated road-mapping methodology provides an opportunity for objective selection and assessment of a portfolio of the technology projects. Technology road-mapping is a management tool for improving strategic technology planning processes by linking the acquisition of technology to strategic objectives (Nabil 2006). The process of decision through which acquisition of the technologies is accomplished can significantly impact on a company's capabilities and performance (Baines 2004).

Auditing practice is mostly bound to the quality audits, which are an independent and objective collection of evidence balanced against the audit criteria. Within the system approach, like standard ISO 9001, an audit is a set of interdependent activities using human, financial, information, technological, and technical resources (Karapetrovic, Wilborn 2000a). Audit systems can make use of the generic management guidelines, such as the ISO 9000 series of quality management system standards. Its effectiveness is modeled using the concepts of reliability, availability and suitability (Karapetrovic, Wilborn 2000a). Quality audits are one of the integral requirements of the ISO 9000 series. In the case of quality audits, the theory and practice of management systems must be of real value as well (Rajendran 2005).

Auditors, while practising audits, encounter weak or non-existing linkages with business planning, narrow focus on quality assurance, inability to measure efficiency and lack of motivation. For that reason further improvement in efficiency of the methodology is required. One of the areas where quality audits are lacking is performance improvement. The study by Karapetrovic and Willborn shows that although they cannot replace quality audits, self-assessments have gained excellence in the performance improvement (Karapetrovic,

Wilborn 2002a, Leonard 2002, Bou-Llusar et al. 2003, Boys et al. 2005). When audits are used primarily for management control, it is likely that they are bound to cause dissatisfaction among employees and to result in failure. In such cases, the management gets what they want to hear. Quality audits should be encouraged to promote efficiency and economically favorable results. The main goal of the audit must be improvement, and the consecutive continuous process of improvement can correct most of the quality problems (Szakonyi et al. 1999).

With the growth of global competition, management systems are becoming more complex and diverse. Management systems audits seem to be following the same path. According to Karapetrovic and Willborn, further research is suggested not only in quality auditing and self-audit concept, but also in other areas of auditing practice e.g. health and safety, environmental, maintenance, financial, etc. (Karapetrovic, Wilborn 2000b, 2002a). In this regard, we can append to the areas of auditing practice a technology audit as well.

Khalil (2000) lists several issues which were identified and recommended to the National Science Foundation of America. The five enabler categories could be used for efficient utilization of technological resources, and the following areas are considered critical for the company's competitiveness: (1) methods of performance assessment, (2) measurements of technology performance, (3) measurements of benefits from R&D activities, (4) new tools for optimizing decisions and (5) alliances as alternatives to rivalry. Under the methods of performance assessment it is stated that traditional performance audits are biased against technological innovation. More holistic methodology is needed in order to integrate all the factors driving the company. There are several principles that can help management to deal with the MOT paradigm like: (1) value creation, (2) innovation, (3) integration and quality, (4) responsiveness and agility as well as (5) teaming and fairness (Khalil 2000).

Value-creating activities for society are the basis of social responsibility of the company. The key to the long-term survival of the company lies in its products, services or processes nature. That means how they add value for the customer and how that value can be increased. After the audit and assessment a company can develop the core of its strategy. It should then select an optimal strategy for acquiring and exploiting technology. To achieve a sustainable competitive advantage in managing technologies an appropriate organizational structure and processes are also needed (Khalil 2000).

3. METHODOLOGY

The internal audit is in general intended for evaluation, determination, and providing a position statement of existing status in a company. Evaluation, gained through the internal technology audit, can be used for encouragement of technological development in the company. The internal technology audit is a tool for a gap determination between the existing and the desired technological situation and, respectively, offers an evaluation about possibilities for upgrading technological capabilities. The main reasons for having an internal technology audit are:

- Positioning of the technological development.
- Estimation of probabilities for change of the existing status.

The applicability of the TAM model was tested, for purposes of the internal technology audit, in more than fifty Slovenian service and manufacturing companies. That is expressed in percentage, 50% of the service companies and 50% of the manufacturing companies. The majority of these already have implemented quality system management and are certified according to the requirements of at least one of the following standards; ISO 9001, ISO 14001, ISO/IEC 17025, ISO TS 16949, QS 9000, etc. Our interest was in testing if this instrument (TAM) gives any useful answers about technological capabilities of the companies

and it can be used for purpose of the internal audit like in case of the ISO 9001:2000. The methodology approach was an inquiry which consisted of a TAM evaluation form and a review of the company's documentation (e.g. annual reports, AJPES, web pages).

The TAM evaluation form includes important areas of technological capabilities of the company and is a holistic process oriented tool for the internal technology audit process. At the same time it makes possible a quantitative evaluation of the technological capabilities. The respondents were very different employees who are performing this function. They were responding to the quantitative evaluation form, which consists of twenty assessment areas and a five-point Likert scale. A score of 5 is outstanding, 4 is good, 3 is average, 2 is below average, and 1 is poor (Khalil 2000). They also presented their comments as well. Results from the TAM evaluation form are presented in findings below. Main benefits of the internal TAM evaluation are:

- Arrangement and review of existing relevant documentation of the quality system management and supportive key technologies.
- Identification of the technological assets and capabilities of the company.
- Determination of the key company competencies for strategy review and change support.
- Technology mapping support and portfolio of technology development projects.

4. DISCUSSION AND EMPIRICAL FINDINGS

Discussion on the basis of the TAM evaluation form results

With the comparison of the TAM evaluation form results for service and manufacturing companies we come to conclusions listed below.

4.1. *Technological environment (TE):*

Service companies: Service companies have been evaluated by the highest average in technological environment category, which consists of the senior executive leadership and orientation, technology strategy, organizational structure, technology culture and employees as a company's most important assets. There is, however, still room for improvement in merging company's strategy with technological strategy, teamwork and reorganizations. That could mean changing the technological culture and treatment of people in the company, because the technological improvement could be based on the values and needs of all employees.

Manufacturing companies: Manufacturing companies had been scored as average in this category, which is somewhat higher than in the case of service companies. The key strategic technologies for development and diminution of business threats are identified, organization structures are manufacturing oriented, and a critical number of high-skilled employees is maintained. All these encouraging facts are a good basis for achieving business excellence. On the other hand, some improvements should be made in the case of empowerment and the reward system.

4.2. *Technologies categorization (TC):*

Service companies: Company's level of existing technologies, identification of external and basic technologies and technology trends were scored as average. Technologies categorization is mainly perceived as knowledge and information technology. More knowledge and awareness about one's own technologies and monitoring of important potentially competitive technologies are needed.

Manufacturing companies: Technologies categorization was evaluated with a somewhat greater average for the manufacturing companies. They have been investing in technologies

for computer aided rapid product development, modeling, prototyping and manufacturing, and are expecting benefits from their investments. Some of them had received EU funds for the investments in education and qualification of employees. Process and marketing technologies should be subject to revision and improvement.

4.3. Markets and competitors (MC):

Service companies: A more profound understanding of market needs with, in time, inclusion of market trends in the overall strategy, assessment and benchmarking of competitor's status could be the answer to the average evaluation for the service companies in this category. Also a periodic benchmarking of the best internal and external practices is an issue for further improvement.

Manufacturing companies: Average evaluation is higher for manufacturing companies, but there still remains room for improvement in productivity and the value added chain. Some good results are evident in a quality-price relation and flexibility, responsiveness and development support for the customers. In spite of that, foreign rivalry companies still have the advantage with their economy of scale.

4.4. Innovation process (IP):

Service companies: Innovation process is a category scored with the lowest average. The challenge in this category is an awareness of one of the most important issues: to encourage all employees to offer suggestions of new ideas in services or processes. Reward systems must be reestablished to financially motivate innovations within the whole company. This lowest score among all categories of the service companies could be a consequence of the stated facts from the first three categories.

Manufacturing companies: Innovation process is evaluated as average but still remains the lowest average between all evaluated categories of the manufacturing companies. Employees should be encouraged and rewarded to suggest new ideas for products or processes. More knowledge about market needs among employees is suggested.

4.5. Value/added functions (VAF):

Service companies: Cross-functional teams, projects portfolio and measures of all important variables of the processes and technologies in harmony with the environment are the areas for further improvement. In this category service companies have reached average. From the score of this category we could assume that they are on a good path to further improvement.

Manufacturing companies: Research and development is the key factor for planning and realizing strategic goals of the companies. With a proactive, preventive and systematic approach it is noticeable that harmonization with environment has been increasing and process effectiveness had significantly improved. This category has the highest average score among all categories and indicates some potential for achievement of business excellence for the manufacturing companies.

1.1. 4.6. Technology acquisition and exploitation (TAEP):

Service companies: Effective adoption of technology is dependent on the process of implementation which is the opportunity for improvement in this category, evaluated as average. This requires more systematic, process oriented transfer of the adopted technology and knowledge flow from vendors to the buyers and users of technology.

Manufacturing companies: The average score in this category indicates the need for further improvement for an investment in new technologies, development of global network, innovative manufacturing and protection of knowledge by patenting. Transfers of the new technologies and people are also an area to be given a greater significance in this category.

From the mostly average results one can recognize the increasing awareness of how important a part of the company's assets are the technological capabilities. With a higher average score are evaluated categories such as technological environment and value-added functions for the manufacturing companies, while there was no good evaluation between all categories. In all categories manufacturing companies have reached somewhat better scores than the service companies. This could be the consequence of the fact that technologies are more important to the manufacturing than to the service companies. Because of the latter's outlook, technology is regarded as being more in the context of industrial engineering than as an asset.

There are also some lower average results in innovation process and in acquisition and exploitation of technology. Companies from both industries are evaluated as relatively equal but with some advantage for the manufacturing industry. From the results it is evident that further improvements are needed, above all in the categories of innovation processes, acquisition and exploitation of technology.

Discussion on the basis of the Factor Analysis

From the factor analysis, which was conducted with standard statistical software SPSS 14.0 for Windows, is evident that correlation between variables is significant at 0,01 level (2 tailed). Between variables exists relatively strong correlations (from 0,417 up to 0,712) and the data used in the analysis are adequate. With use of principal axis factoring we can assume that we deal with one independent factor with strong influence on variables which explains the variance with approximately 67% (Table 4.1 below).

Table 4.1: Total Variance Explained

Factor	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	4,016	66,928	66,928	3,643	60,723	60,723
2	,680	11,330	78,258			
3	,428	7,141	85,399			
4	,359	5,977	91,376			
5	,271	4,516	95,892			
6	,246	4,108	100,000			

Source: Janeš, Dolinšek, 2007

Commnet: Extraction Method: Principal Axis Factoring.

Further analysis with method of maximum likelihood with no rotation and method of maximum likelihood with rotation brings us to a conclusion of having only one influent factor which could represent technological capability (Leonard 1998, Baines 2004, Van Wyk 2004b, Janeš, Dolinšek, 2007, Balbinot, Bignetti, von Zedtwitz, Jin 2007) of the Slovenian companies.

Table 4.2: Factor Matrix(a)

	Factor
	1
1. TE	,836
2. TC	,846
3. MC	,793
4. IP	,786
5. VAF	,595

6. TAEP ,793

Source: Janeš, Dolinšek, 2007.

Commnet: Extraction Method: Principal Axis Factoring. a 1 factors extracted. 5 iterations required.

5. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

With the increasing complexity of the business environment, MOT (knowledge) focuses more and more on managing the processes and employees who are involved with them. While striving to effectively and successfully exploit the MOT knowledge companies often need to evaluate and improve their technological capabilities. The audit system is already accepted as an integrated part of the management system based on TQM. In the years of implementation and development of quality system management, many companies have stated that one generic audit consisting of different audit areas is a rational solution. Particularly in the area of technology management a lack of performance improvement was noted. For that reason, a more holistic approach is the challenge to support the implementation of the Integrated Management System (IMS) in order to encourage technological innovation, productivity, nourishment of common values, preservation of the environment and the commitment to excellence approach.

As we can see from the literature review, cases, testing experiences and from model development if the companies wish to remain competitive in this globally strengthening world, and to improve their management system, they must increase awareness and exploitation of their technological capabilities. The TAM model could offer a basis for application and support of improvements in that area. It is a model which is relatively easy to integrate into the management system because of its complementing nature and also worth for further development. Interest of our investigation was in testing if this instrument (TAM) gives any useful answers about technological capabilities of the companies and it can be used for purpose of the internal audit like in case of the ISO 9000 series. From the literature review we didn't found out any similar research. It is important to know that is, on basis of this unexperienced model, very difficult to determine the assessment of the industry. Although the paradigmatic orientation of this research is quantitative by its nature, it is too early to constitute if the research will further develop in a qualitative (e.g. ISO 9001, ISO 14 001) or quantitative model.

Qualitative and quantitative analysis indicates the general applicability of the TAM model in industry and a new viewpoint for some users. This quantitative oriented study has some limitations. First of all findings cannot be generalized because of the pilot test of the TAM model applicability. Another limitation is the fact that this investigation was conducted only for Slovenian companies. Comparison (benchmarking) and evaluation between different approaches and/or models to internal technology assessment should be an issue for further research. On that basis we are further testing and developing the applicability and supportability of the TAM model in relation to the technological capabilities of the industry.

Literature

1. Baines, Tim, (2004). An integrated process for forming manufacturing technology acquisition decisions. *International Journal of Operations & Production Management* 24 (5): 447-467.
2. Balbinot, Zandra, Luiz, Paulo, Bignetti. (2007). *Technological Capabilities of High Technology Firms in Cross Border Alliances*. San Diego:Elsevier Ltd.

3. Bou-Llusar, Carlos J., Ana, B. Escrig-Tena, Vicente, Roca-Puig and Inmaculada, Beltran-Martin. (2003). To what extent do enablers explain results in the EFQM excellence model? *International Journal of Quality & Reliability Management* 22(4):337-353.
4. Boys, Kathryn, Anne, Willcock, Stanislav, Karapetrovic and May Aung. (2005). Evolution towards excellence: use of BE programs by Canadian organizations. *Measuring Business Excellence* 9(4): 4-25.
5. Dolinšek, Slavko. (2006). Definicija in pomen MOT. *IRT 3000*. 1(2): 60-62.
6. Dolinšek, Slavko. (2004). *Management tehnologij: Učinkovito obvladovanje tehnoloških sprememb. Skripta*. Koper: Fakulteta za management.
7. FACTE, The Finnish Academies of Technology. 2007. *High Technology in Finland: A world of ideas and innovations*. Helsinki: Finland.
8. Janeš, Aleksander, Dolinšek, Slavko. (2007). Assessing the applicability of the technology audit model for Slovenian firms. V: SHERIF, Hashem (ur.). *Management of technology for the service economy*. Miami: IAMOT,
9. Karapetrovic, Stanislav, Walter, Wilborn, (2000a). Quality assurance and effectiveness of audit systems. *International Journal of Quality & Reliability Management* 17(6): 679-703.
10. Karapetrovic, Stanislav, Walter, Wilborn, (2000b). Generic audit of management systems: fundamentals. *Managerial Auditing Journal* 15(16): 279-294.
11. Karapetrovic, Stanislav, Walter, Wilborn, (2002a). Self-audit of process performance. *International Journal of Quality & Reliability Management* 19(1): 24-45.
12. Karapetrovic, Stanislav, (2002b). Strategies for the integration of management systems and standards. *The TQM Magazine* 14(1): 61-67.
13. Khalil, Tarek, (2000). *Management of Technology: The key to competitiveness and wealth creation*. New York: McGraw - Hill.
14. Leonard, Denis, Rodney, McAdam. (2003). Impacting organizational learning: the training and experiences of quality award examiners and assessors. *Journal of European Industrial Training*. Vol. 27, No. 1, pp. 16-21.
15. Leonard, Dorothy, (1998). *Wellsprings of Knowledge: Building and sustaining the sources of Innovation*. Harvard Business School Press.
16. Li-Hua, Richard, Tarek, M. Khalil, (2006). Technology management in China: a global perspective and challenging issues, *Journal of Technology Management in China*, Vol. 1, No. 1: 9-26.
17. Nabil, N.Z. Gindy, Bülent, Cerit and Alla, Hodgson, (2006). Technology road mapping for the next generation manufacturing enterprise, *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 17, No. 4: 404-416.
18. Phaal, R., C.J.P., Farruk and D.R., Probert, (2001). Technology management process assessment: a case study, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 21, No. 8: 1116-1132.
19. Rajendran, M., S.R., Devadasan, (2005). Quality audits: their status, prowess and future focus, *Managerial Auditing Journal*, Vol. 20, No. 4: 364-382.
20. Porter, Michael E., (1998). *On competition*. Boston: Harvard Business School Press.
21. Szakonyi, Robert, et al., (1999). *Technology Management*. Boca Raton, New York, Washington, D.C.: CRC Press LLC.
22. Thamhain, Hans J., (2005). *Management of Technology: Managing effectively in technology – intensive organizations*. New Jersey: John Wiley & Sons.

23. Van Wyk, Rias J. (2004b). *Report to the education comitee International association for Management of Technology (IAMOT)*, <http://www.iamot.org/homepage/2004-MOTTemplate-Education.pdf> [7 November 2006].
24. Von Zedtwitz, Mawimillian, Jun, Jin. (2007). *Process of Technological Capability Development: Cases from China`s Mobile Phone Industry*. San Diego:Elsevier Ltd.

INSTITUCIONALNE ZUNANJE EVALVACIJE VISOKEGA ŠOLSTVA V SLOVENIJI

Aleksander Janeš

Candidate doctor

University of Primorska, Faculty of Management Koper

Cankarjeva 5, Koper, SI-6104, Slovenia

Phone: ++ <386 5 610 20 50>; Fax: ++ <386 5 610 20 15>

E-mail: aleksander.janes@fm-kp.si

Slavko Dolinšek, Ph.D

Associate Professor

University of Ljubljana, Faculty of Mechanical Engineering

University of Primorska, Faculty of Management Koper

Cankarjeva 5, Koper, SI-6104, Slovenia

Phone: ++ <386 5 610 20 50>; Fax: ++ <386 5 610 20 15>

E-mail: [<slavko.dolinsek@fm-kp.si>](mailto:slavko.dolinsek@fm-kp.si)

Abstrakt

Povezovanje in poenotenje meril v evropskem visokošolskem prostoru se odraža tudi v slovenskem visokem šolstvu skladno s standardi in smernicami European Association for Quality Assurance in Higher Education (ENQA 2007) in spremembami zakona o visokem šolstvu. V Sloveniji se je vzpostavila najprej NKKVŠ, ter v sedanjem času Svet RS za visoko šolstvo. Pod okrilje slednjega sodi Senat za evalvacije, katerega pristojnosti so spremljanje, ugotavljanje in zagotavljanje kakovosti visokošolskih zavodov, študijskih programov ter znanstveno raziskovalnega, umetniškega in strokovnega dela. Zahteva za včlanitev evalvacijskega organa, Urada RS za visoko šolstvo, v evropske povezave neodvisnih agencij za zunanje evalvacije (ENQA) je med drugim tudi, da se evalvacije izvajajo v državi vsaj dve leti pred kandidiranjem za včlanitev. Namen zunanje institucionalne evalvacije je gotovo v odgovornosti visokega šolstva do širše družbe, podpora načrtovanju v visokem šolstvu, konkurenčnost, vpogled v kakovost, transparentnost, kredibilnost ter primerjanje kakovosti visokošolskih institucij kot morebitna osnova pri razporejanju državnih sredstev. V prispevku je tako predstavljen pristop in primerjava dveh institucionalnih zunanjih evalvacij v visokem šolstvu v Sloveniji, kot tudi ugotovitve udeležencev.

Ključne besede: institucionalna zunanja evalvacija, Senat za evalvacijo, ENQA, EFQM, evalvator

Povzetek

Zaradi poenotenja meril v evropskem visokošolskem prostoru se je tudi v slovenskem visokem šolstvu skladno s standardi in smernicami European Association for Quality Assurance in Higher Education (ENQA) (2002, 2005, 2007) in spremembami zakona o visokem šolstvu, vzpostavila NKKVŠ za spremljanje, ugotavljanje in zagotavljanje kakovosti visokošolskih zavodov, študijskih programov ter znanstveno raziskovalnega, umetniškega in strokovnega dela. Zahteva za včlanitev evalvacijskega organa Sveta RS za visoko šolstvo v evropske povezave neodvisnih agencij za zunanje evalvacije (ENQA) je med drugim tudi, da se evalvacije izvajajo v državi vsaj dve leti pred kandidiranjem za včlanitev. Namen prvih pilotnih zunanjih evalvacij v letu 2006 je bil vzpostavitev primerljivega sistema zagotavljanja

kakovosti, podpora izboljševanju VŠZ, vzpostavitev primerjalnih standardov delovanja v visokem šolstvu, preverjanje prvih meril in modela v praksi, ter predlog sistema evalvacije, ki bo mednarodno primerljiv. Namen drugih zunanjih evalvacij pa je bil nadaljevanje dobre prakse prvih zunanjih institucionalnih evalvacij, spodbujanje in razširjanje skrbi za kakovost in identificiranje prednosti ter priložnosti sistema kakovosti evalviranih VŠZ.

V prispevku je predstavljen pristop institucionalne zunanje evalvacije v visokem šolstvu, ter primerjava med dvema evalviranima VŠZ in ugotovitve udeležencev.

1. Uvod

Ob spremenjenih razmerah v gospodarstvu, tranzicijskih spremembah in približevanju Evropi, so se zahteve spremenile tudi na področju izobraževanja. Potrebe po izboljšanju kakovosti izobraževanja, zniževanje sredstev za financiranje izobraževanja, zmanjšanje vpisa na tehniških študijih, znaki krize upravljanja, vse to so faktorji, ki so vodili k predlogom sprememb zakona o visokem šolstvu. Predlogi dajejo velik poudarek ocenjevanju kakovosti dela, uvajanju novih študijskih programov, kreditnemu sistemu študija in spremembam v notranji organizaciji posameznih članic v smislu bolj demokratičnega odločanja. Mnogi posamezniki in skupine na področju vzgoje in izobraževanja so v preteklosti poskušali uveljaviti različne spremembe, vendar korenitih sprememb ni bilo. Na pragu 21. stoletja pa smo priča uvajanju nove filozofije tudi na področju izobraževanja. Uvajanje kakovosti v izobraževalni proces prinaša drugačen pogled na to dejavnost, zahteva drugačen odnos in prinaša nove perspektive razvoja (Dolinšek 1998, 2004).

Dejavniki sprememb v visokem šolstvu namreč izvirajo predvsem iz globalizacije, in vseh spremljajočih pojavov, ki nedvomno vplivajo tudi na visoko šolstvo. Temu vplivu dajejo pomembno podporo razvoj informacijskih in komunikacijskih tehnologij kot tudi sama marketizacija visokega šolstva, napredek družbe, znanja, socio - kulturološki in demografski trendi (de Boer et al. 2002). Vincent-Lancrin (2004) pa navaja vplive dejavnikov, ki bodo oblikovali visoko šolstvo v prihodnje. Ti dejavniki so predvsem vprašanja financiranja, liberalizacija in različnost ponudbe, novi javni management (marketinški mehanizmi v javnem sektorju) ter vseživljenjsko učenje in intelektualno lastništvo (Trunk 2006).

Za nadaljnji razvoj visokošolskih zavodov v tem dinamičnem okolju se je bilo potrebno prilagoditi tudi v slovenskem prostoru. Nacionalni evalvacijski sistem je bil vzpostavljen leta 1996 v obliki Nacionalne komisije za kvaliteto visokega šolstva (NKKVŠ) na pobudo Sveta za visoko šolstvo RS (Trunk 2006). NKKVŠ je pripravila in preizkusila merila za evalvacijo kakovosti, predloge za pilotske zunanje evalvacije, analizirala rezultate samoevalvacij in pripravljala predloge za spremembe o področjih, kriterijih in postopkih zunanjih evalvacij (Čuš 2006). Z Zakonom o spremembah in dopolnitvah Zakona o visokem šolstvu, sprejetim dne 22.6.2006, je vlada podelila vlogo evalvacijskega organa Svetu RS za visoko šolstvo (Trunk, Čuš 2007).

Namen evalvacije je gotovo v odgovornosti visokega šolstva do širše družbe, podpora načrtovanju v visokem šolstvu, konkurenčnost, vpogled v kakovost, transparentnost, kredibilnost visokega šolstva ter primerjanje kakovosti visokošolskih institucij kot osnova pri razporejanju državnih sredstev. Namen projekta prvih pilotnih institucionalnih zunanjih evalvacij v visokem šolstvu pa je bil preverjanje prvih meril in metodologije za izvedbo zunanjih evalvacij in izdelava predloga sistema za evalvacijo, ki bo mednarodno primerljiv.

Cilj zunanje evalvacije je lahko evalvacija za odločitve o financiranju ali o financiranju na določeni ravni. Kot tudi evalvacija za namen izpopolnjevanja, ki vodi v evalvacijski program, kateri je lahko manj intenziven in zahteva manj sredstev in časa (Čuš 2006).

Zunanje evalvacije so potekale skladno z merili NKKVŠ. NKKVŠ je na podlagi 47. člena Zakona o spremembah in dopolnitvah Zakona o visokem šolstvu (Ur.l. RS, št. 63/04) dne 25.10.2004 sprejela merila za spremljanje, ugotavljanje in zagotavljanje kakovosti visokošolskega zavoda (VŠZ), študijskih programov ter znanstvenoraziskovalnega, umetniškega in strokovnega dela. Merila zajemajo tri področja evalviranja: visokošolski zavod, študijske programe in znanstvenoraziskovalno delo (Čuš 2006).

2. Priprave na institucionalne zunanje evalvacije v visokem šolstvu v letih 2006 in 2008

Za namen izvajanja pilotskih institucionalnih zunanjih evalvacij (v nadaljevanju zunanja evalvacija) je bil razvit instrumentarij, ki vsebuje pregledni vprašalnik za VŠZ in protokol obiska komisije pilotskih institucionalnih zunanjih evalvacij VŠZ-jev (v nadaljevanju KIZE). Pregledni vprašalnik je namenjen pripravi VŠZ-ja in komisije na obisk oz. zunanjo evalvacijo. Protokol obiska pa predstavlja podporo in napotke komisiji pri pripravi na izvedbo obiska (Faganel, Trunk, 2006).

V okviru projekta pilotskih institucionalnih zunanjih evalvacij pod okriljem NKKVŠ so se v decembru 2006 izvedle prve zunanje evalvacije v slovenskem visokem šolstvu. Strokovno podporo je pri tem nudil Center za kakovost in evalvacije UP Fakultete za management Koper. Po pozivu rektorjem in dekanom VŠZ-jev, študentskim svetom univerz in Študentski organizaciji Slovenije, ki so se želeli vključiti v zunanje evalvacije, je sledil izbor štirih VŠZ-jev. Pred obiskom komisij za zunanjo evalvacijo so VŠZ-ji, poslali izpolnjen pregledni vprašalnik in dokumentacijo VŠZ, na NKKVŠ, ki je članom KIZE predala prejeto dokumentacijo v novembru istega leta. Tudi druge institucionalne zunanje evalvacije, v letu 2008, so potekale po enakem protokolu kot prve, pilotne. Vendar tokrat pod okriljem Senata za evalvacijo pri Svetu RS za visoko šolstvo. Tudi pri drugih zunanjih evalvacijah so bili izbrani štirje VŠZ, ki so poslali svojo dokumentacijo in izpolnjen pregledni vprašalnik Senatu za evalvacijo. Člani KIZE so dokumentacijo VŠZ prejeli v decembru 2007.

Prvo usposabljanje kandidatov za člane KIZE je potekalo na dveh strokovnih posvetih (Piskar, Žargi, Mihevc, Kern Pipan 2006), kjer so udeleženci spoznali merila, metodologijo in protokol zunanjih evalvacij. Usposabljanju kandidatov za člane komisij zunanjih evalvacij je po predhodnem soglasju izbranih VŠZ-jev, sledila sestava komisij za vsak VŠZ posebej. V komisije so bili imenovani strokovnjaki iz področja visokega šolstva, gospodarstva, i negospodarstva ter predstavniki študentov (Trunk, Faganel, et al., 2006). Člani komisij so pred evalvacijo prejeli dokumentacijo VŠZ-ja, ter si po pregledu dokumentacije in preglednega vprašalnika razdelili področja glede na merila za zunanjo evalvacijo VŠZ-ja. Priprava članov KIZE je potekala po naslednjem redu:

- Preučitev prejete dokumentacije VŠZ.
- Razdelitev področij za zunanjo evalvacijo med člani KIZE.
- Izdelava vprašalnikov z odprtimi vprašanji (kako, na kakšen način, kateri, zakaj, ...) kot pripomoček pri zunanji evalvaciji.
- Delovni sestanek komisije (pregled vprašalnikov, izmenjava mnenj, določitev urnika obiska – kdo, kje, kdaj).
- Uskladitev urnika obiska z vodstvom VŠZ.
- Izvedba obiska po usklajenem urniku (Janeš, 2007a).

Priprava KIZE za druge zunanje evalvacije pa je potekala v obliki 2. seje Komisije za vodenje zunanjih evalvacijskih postopkov v visokem šolstvu. Senat za evalvacijo je tudi pripravil in razdelil navodila za pripravo komisije na obisk visokošolskega zavoda, ki smo jih prejeli vsi člani KIZE.

Za komunikacijo med člani KIZE, obeh zunanjih evalvacij, je bila uporabljena elektronska pošta in en delovni sestanek, kjer smo pregledali pripravljene vprašalnike za obisk in osnutek poročila evalvacijske komisije. Po pripravi na evalvacijo, predlogu in uskladitvi urnika obiska VŠZ-ja, je sledila izvedba obiska, v trajanju dveh dni.

3. Zunanja institucionalna evalvacija kakovosti visokošolskih zavodov

Obisk VŠZ-ja je pomenil potrditev dejstev oz. dokazil, ki so bila navedena v pregledani dokumentaciji VŠZ-ja in razjasnitvi vprašanj, ki so se članom KIZE pojavila ob pregledovanju dokumentacije in primerjanju vtisov med člani komisije. Pomembna je pri tem tudi zaznana

»klima« v VŠZ-ju, ki pomembno vpliva na percepcijo članov komisije o vzpostavljenem sistemu kakovosti.

Člani KIZE so izvajali intervjuje z zaposlenimi na VŠZ t.j. z predstavniki vodstva, visokošolskimi učitelji in sodelavci, strokovnimi sodelavci in predstavniki študentov. Vprašalniki so bili vnaprej pripravljeni po metodi lijaka in so se tudi razlikovali glede na vzorec iz populacije, ki je bila intervjuvana. Na koncu drugega dne obiska je bil izveden zaključni sestanek v vodstvu VŠZ kjer so bile predstavljene ključne ugotovitve KIZE.

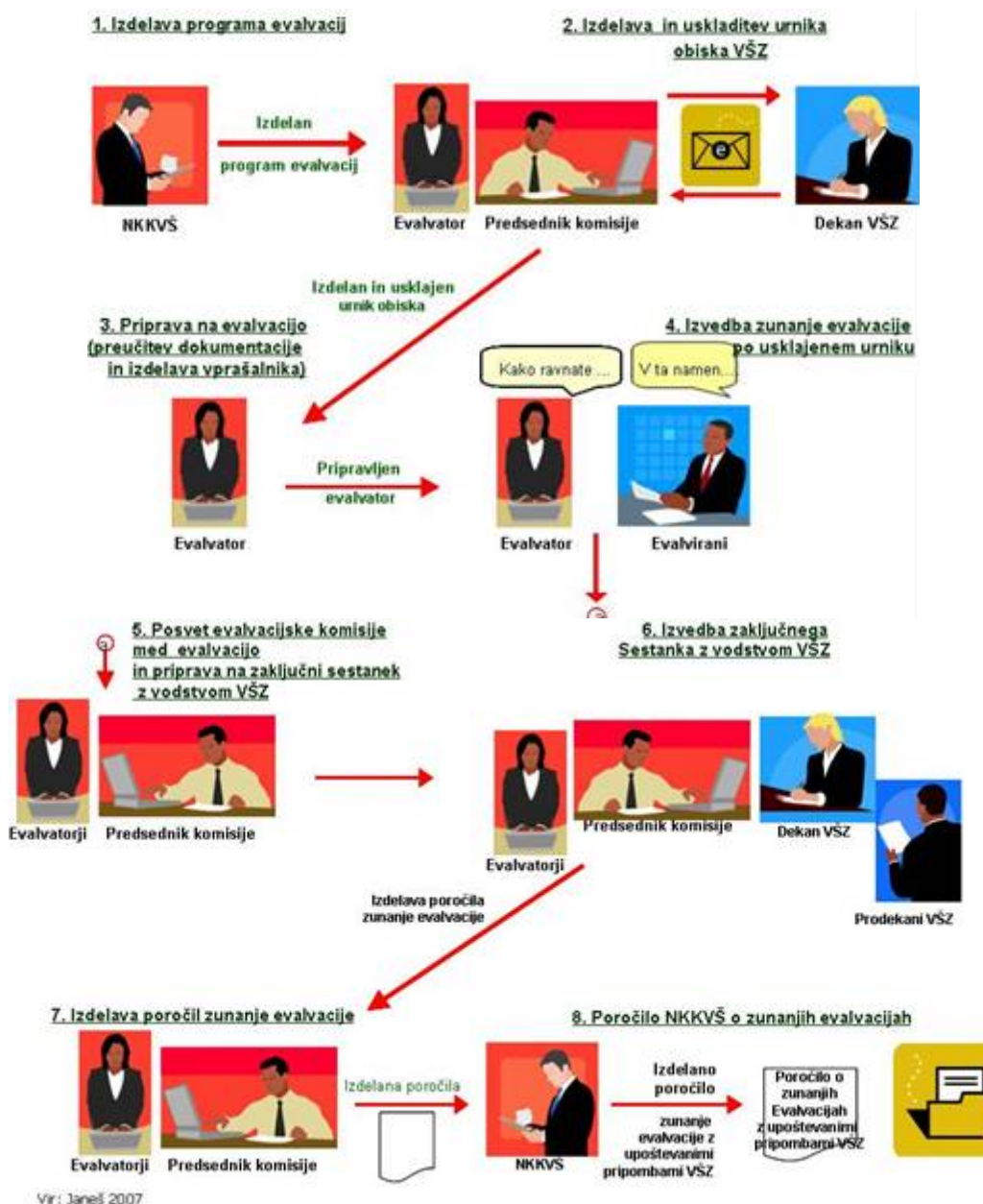
Po obisku je komisija pripravila poročilo o zunanji evalvaciji in ga poslala na NKKVŠ oz. Senatu za evalvacijo. Poročilo o zunanji evalvaciji na prvi strani vsebuje podatke o nazivu VŠZ-ja in dekanu, datumu in času obiska, članih komisije za zunanjo evalvacijo, ter kratko navedbo nadaljnjih korakov postopka. Tej sledi povzetek s ključnimi poudarki, prednostmi in priložnostmi za izboljšanje ter uvod z kratkim opisom poteka obiska. Sledi kvalitativna ocena po merilih (Ur.l. RS, št. 124/2004, od 4. do 12. člena) s prednostmi in priložnostmi za izboljšanje (Trunk, Faganel, et al., 2006):

- Strategija, organiziranost in vodenje zavoda, urejenost evidenc ter skrb za kakovost.
- Izobraževanje – študijska dejavnost,
- Znanstvenoraziskovalna, umetniška in strokovna dejavnost,
- Visokošolski učitelji in sodelavci ter znanstveni delavci in sodelavci,
- Upravni in strokovno-tehnični delavci,
- Študenti v visokošolskem zavodu,
- Prostor, oprema za izobraževalno ter znanstvenoraziskovalno, umetniško in strokovno dejavnost, knjižnica,
- Financiranje izobraževalne oz. študijske, znanstvenoraziskovalne, umetniške in strokovne dejavnosti, ter
- Sodelovanje z družbenim okoljem (Faganel, Trunk, 2006).

V zadnjem, tretjem, delu je zaključek z opisom ključnih tem iz poročila obiska. Poročilo je pripravil vsak predsednik komisije za zunanjo evalvacijo VŠZ, ob soglasju vseh članov KIZE. Evalvacijsko poročilo je prejela NKKVŠ v decembru 2006, ter Senat za evalvacije v marcu 2008, ki je o tem seznanil dekane VŠZ-jev in Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo (MVŠZT). Končno poročilo pa je bilo oddano NKKVŠ v januarju 2007 oz. pri drugi zunanji evalvaciji marca 2008. K prejetemu končnemu poročilu so imeli VŠZ-ji možnost podati pripombe, skladno z 28. členom Meril NKKVŠ v letu 2006 oz. Senata za evalvacijo v letu 2008,. Obiske KIZE so spremljali opazovalci, ki so opazovali delo komisij, organizacijo izvedbe zunanjih evalvacij, prepoznavanje dobrih praks in priložnosti za izboljšanje metodologije (Trunk, Faganel, et al., 2006; Janeš et al. 2007b).

Proces zunanjih evalvacij (Slika 3.1) se lahko primerja z zunanjimi presojami po zahtevah standarda ISO (9001, 9004, IWA2, 19011, idr.) (Žargi 2006) ali z zunanjim ocenjevanjem po evropskem modelu odličnosti EFQM (Janeš et al. 2007b). Podobnosti so predvsem pri izvedbi procesa evalvacije, ker komisija za evalvacije predhodno prejme gradivo VŠZ-ja, skladno z merili in konsenzom celotne komisije izdela osnutek poročila ter pripravi vprašanja za obisk VŠZ-ja. Sledi obisk po vnaprej dogovorjenem urniku, ter končno poročilo, ki je povratna informacija vodstvu VŠZ-ja o vzpostavljenem sistemu kakovosti. Poročilo komisije je lahko podpora vodstvu za načrtovanje in vpeljevanje stalnih izboljšav kakovosti poslovanja VŠZ-ja.

Rezultati prve zunanje evalvacije so bili predstavljeni na zaključnem posvetu v marcu 2007 na Brdu pri Kranju. Udeležili so se ga predstavniki evalviranih VŠZ-jev, evalvatorji in opazovalci, člani NKKVŠ in predstavniki MVŠZT. Udeleženci po podali svoje pripombe na uporabljeni instrumentarij in izrazili zadovoljstvo ob vzpostavljanju sistema institucionalnih zunanjih evalvacij v slovenskem visokošolskem prostoru (Trunk, Faganel, et al., 2006).



Slika 3.1: Proces zunanje evalvacije VŠZ

Vir: Janeš et al. 2007b

4. Metodologija

Kot metoda raziskovanja je bila izbrana komparacija (Ivanko 2007) in sicer na podlagi naslednjih kriterijev:

- zunanje evalvacije VŠZ se izvajajo v kvalitativni obliki in na podlagi zakona o visokem šolstvu (ZVis),
- samoevalvacija VŠZ se redno izvaja, ter
- prostovoljna prijava za udeležbo na zunanjih evalvacijah VŠZ.

Izbrani kriteriji temeljijo na dejstvih. Prvo je, da se zunanje evalvacije VŠZ izvajajo v Sloveniji od leta 2006. Redno izvajanje samoevalvacije VŠZ pa ima podlago v zakonodaji. Metod za samoevalvacije je več vrst in lahko vključujejo: delavnice - razprave v skupini, vprašalnike,

intervjuje in raziskave, matriko za samoanalizo, simulacijo tekmovanja, presoje aktivnosti in procesov, ali kombinirane pristope (Oakland, 1999). Prostovoljna prijava VŠZ za zunanjo evalvacijo pa odraža zrelost vzpostavljenega sistema kakovosti in željo po povratni informaciji s strani neodvisne KIZE.

Podatki za komparacijo so bili zbrani z intervjuji med potekom zunanje evalvacije VŠZ, pregledom dokumentov in zapisov VŠZ ter opazovanjem med samim izvajanjem zunanje evalvacije. Uporaba številnih virov podatkov oz. triangulacija je bila izvedena z namenom povečanja kredibilnosti komparacije.

Proučitev dokumentov in zapisov je vključevala analizo vloge za zunanjo evalvacijo za leto 2006 in 2008, končnega poročila o zunanjo evalvacijo za leto 2006 in 2008, strategije VŠZ, poročil o kakovosti in letnih poročil VŠZ. Opazovanja so bila izvajana med pripravo na zunanjo evalvacijo in samim trajanjem zunanjih evalvacij. Zunanje evalvacije so potekale v decembru 2006 in februarju 2008.

Tabela 4.1 Udeleženci zunanje evalvacije

Zaposleni v VŠZ A	Št.	Z. evalvatorji A	Št.	Zaposleni v VŠZ B	Št.	Z. evalvatorji B	Št.
Dekan	1	Visoko šolstvo	2	Dekan	1	Visoko šolstvo	3
Prodekani	4	Negospodarstvo	1	Prodekani	2	Negospodarstvo	1
Predstavnik za kakovost	1	Gospodarstvo	1	Predstavnik za kakovost	1	Študent	1
Predstavnik sindikata	1	Študent	1	Predstavnik sindikata	Ni		
ECTS koordinator	1			ECTS koordinator	1		
Koordinator prakse	1			Koordinator prakse	2		
Predstavniki študentov A	6			Predstavniki študentov B	12		
Komisije v okviru VŠZ A	2			Komisije v okviru VŠZ B	4.		
Predstavniki kateder	4			Predstavniki kateder	10		
Knjižničar	1			Knjižničar	1		
Predsednik UO	1			Predsednik UO	1		
Direktor	ni			Direktor	1		
Supervizor	ni			Supervizor	1		
Tajnik	1			Tajnik	1		
Računovodstvo	1			Računovodstvo	1		
Glavna pisarna, nepedagoški delavci	1			Glavna pisarna, nepedagoški delavci	7		
RC	1			RC	n.p		
Dislocirana enota	0			Dislocirana enota	2		
Skupaj:	27		4	Skupaj:	48		5

Vir: lastna raziskava

Opomba: RC-računalniški center; UO-upravni odbor

5. Empirične ugotovitve komparacije dveh institucionalnih zunanjih evalvacij

Od leta 2006, ko so se uspešno izvedle prve pilotne zunanje evalvacije, so se druge izvedle v prvi polovici leta 2008. Zunanje evalvacije so potekale v dveh delih (fazah), in sicer, v vsakem delu so bili evalvirani štirje VŠZ. Komparacija med dvema primeroma evalvacij VŠZ je razvidna iz spodnje tabele 5.1.

Podobosti obeh evalviranih VŠZ:

Oba VŠZ sta predala kompletno dokumentaciju, ki sta jo KIZE preučila pred obiskom VŠZ. Razlika v številu pregledanih dokumentih in zapisih pred in v času trajanja obiskov ni pomembno različna. Poleg izdelane dokumentacije sta KIZE pregledala tudi spletne strani VŠZ, ki so namenjene predvsem njihovim odjemalcem (študentom, organizacijam, podjetjem, ministrstvu, itd).

Kot že omenjeno, je KIZE izvajala svoje aktivnosti po enakem protokolu, kar je tudi razvidno iz izvedene seje, števila komisij, članov komisij in trajanja priprave na zunanjo evalvacijo. Tukaj velja omeniti, da je bila priprava na drugo zunanjo evalvacijo nekoliko krajša, kar gre pripisati že predhodni izkušnji z protokolom obiska VŠZ.

Glede postavljenih vprašanj v intervjujih, časov razgovorov, lokacij obiskov ter izdelovanja poročila pa ni ugotovljenih pomembnih razlik med zavodoma.

Razlike obeh evalviranih VŠZ:

Najbolj opazna razlika pri obeh zunanjih evalvacijah je morda edino v številu intervjuvanih zaposlenih, saj se števili razlikujeta za 21 ljudi. Razlog je verjetno v obdobju obiska KIZE, obveznostih zaposlenih in številu zaposlenih VŠZ.

Tabela 5.1: Komparacija med zunanjima evalvacijama VŠZ

Postavka	VŠZ A	VŠZ B	Opombe	
Prejem dokumentacije VŠZ	Kompletna	Kompletna		
Št. dokumentov	11	12		
Št. zapisov	28	19		
Spletne strani VŠZ	Da	Da		
Seja KIZE	1	1		
Št. evalviranih VŠZ	1	1		
Št. komisij	1	1		
Št. članov komisij	5	5		
Trajanje priprave	18 dni	14 dni		
Povpr. št. vprašanj na intervju	10	12		
Cca. odprtih vprašanj v %	90	88	Ocenjena vrednost	
Cca. zaprtih vprašanj v %	10	12	Ocenjena vrednost	
Trajanje obiska	2 dneva	2 dneva		
Št. preteklih zun. evalvacij VŠZ	0	0	Prvič za oba VŠZ	
Št. intervjuvanih	27	48		
Povp. Čas razgovorov	1 ura	1 ura		
Št. lokacij	2	2		
Izdelovanje poročila	10 dni	14 dni		
Št. evidentiranih prednosti	30	35		
Št. evidentiranih priložnosti	28	37		
Odziv VŠZ	Pozitiven	Pozitiven		
Zaključni posvet	Da	Da		
Proces zunanje evalvacije	Izveden	Izveden		
Št. aktivnosti	8	9		
Št. različnih aktivnosti	0	2	Obisk enote	dislocirane

Vir: lastna raziskava

Opomba: VŠZ A je bil evalvirani zavod v letu 2008 in VŠZ B je bil evalvirani zavod v letu 2006.

Priložnost za izboljšavo je lahko skrajšanje števila let med dvema zaporednima evalvacijama VŠZ, saj se po sedanji zakonodaji zunanja evalvacija izvaja za isti VŠZ enkrat na sedem let. To je gotovo preveliko obdobje med dvema evalvacijama, saj je praksa z drugimi standardi in modeli kakovosti, da se zunanja presoja in/ali ocenjevanje izvaja enkrat letno (Karapetrovic in Wilborn 2002; SIST 2003; SIST 2005; EFQM 2008; MIRS 2008).

6. Sklep

Namen prvih pilotnih zunanjih evalvacij v letu 2006 je bil vzpostavitev primerljivega sistema zagotavljanja kakovosti, podpora izboljševanju VŠZ-jev, vzpostavitev primerjalnih standardov delovanja v visokem šolstvu, preverjanje prvih meril in modela v praksi (Čuš 2006), ter predlog sistema evalvacije, ki bo mednarodno primerljiv (Trunk 2006). Namen drugih zunanjih evalvacij pa je bil nadaljevanje dobre prakse prvih zunanjih evalvacij, spodbujanje in razširjanje skrbi za kakovost in identificiranje prednosti ter priložnosti sistema kakovosti evalviranih VŠZ.

VŠZ-ji so, v obeh obravnavanih primerih, tudi podali pripombe na poročila o zunanji evalvaciji, ki jih lahko združimo v ugotovitve, da so komisije za zunanje evalvacije svoje delo opravile korektno, visoko profesionalno, odgovorno in dostojno. Končno poročilo o institucionalni zunanji evalvaciji je bilo sprejeto kot objektivna in kritična ocena delovanja VŠZ. Izkazana je bila hvaležnost za pobude, dani predlogi pa so bili sprejeti kot smernice za bodoče načrtovanje in delovanje. Ugotovitve institucionalnih zunanjih evalvacij bodo uporabljene pri snovanju strategije VŠZ. Predlagane so bile izboljšave preglednega vprašalnika in postopka zunanjih evalvacij ter podane nekatere pripombe k ugotovitvam v poročilu. Izražena je bila tudi želja po obveščenosti o novostih, vezanih na proces zunanjih evalvacij v visokošolskem prostoru EU (povzeto po Trunk, Faganel, et al., 2006). Ugotovitve obeh zunanjih institucionalnih evalvacij so bile zbrane v poročilih zunanjih evalvacijskih komisij. Model evalvacij je bil tako že dvakrat preizkušen v praksi. Merila za evalvacijo, metodologija in uporabljeni instrumentarij so bili preizkušena na skupaj osmih sodelujočih VŠZ. Prve pilotne in druge redne zunanje evalvacije VŠZ so bile uspešno izvedene, evidentirani so bili primeri dobrih praks ter podana priporočila za izboljšanje po področjih meril. Merila ocenjevanja pa so bila oparta na smernice in priporočila ENQA (2007), ZViS in merila NKKVŠ (2004) ter priložnik Kakovost v visokem šolstvu in prve zunanje evalvacije (Trunk, Faganel, et al., 2006). Zunanje evalvacije so dale povratno informacijo vodstvom VŠZ-jev o vzpostavljenem sistemu kakovosti v zavodih. Splošna ocena izvedbe in rezultatov zunanjih evalvacij je pozitivna in zavedanje o pomenu kakovosti v visokem šolstvu je v porastu. Priložnosti za izboljšave so prepoznane in se vključujejo v strategije VŠZ-jev. S strani udeleženih v zunanji evalvaciji so bili podani predlogi za izboljšave metodologije evalvacij, uporabljenega instrumentarija in protokola obiska.

Primerjava zunanjih evalvacij dveh izbranih VŠZ ima tudi omejitve. Prva je ta, da sta primerjana le dva VŠZ. Naslednja omejitev je, da so obravnavane zunanje evalvacije v slovenskem visokem šolstvu, zato je priporočljivo raziskovanje večjega števila študijskih primerov in primerjav med njimi. Ravno tako se priporoča primerjava zunanjih evalvacij z ostalimi organizacijami, ki zagotavljajo kakovost v visokem šolstvu kot je npr. ENQA v evropski uniji ter tudi širše.

Literatura

1. de Boer, Harry et al. 2002. An analysis of trends and perspectives in higher education and research. <http://www.awt.nl/uploads/files/as28.pdf> (24.06.2006).
2. Čuš, Franci. 2006. Vzpostavljanje nacionalnega evalvacijskega sistema. *Posvet in skupne priprave na pilotske institucionalne zunanje evalvacije NKKVŠ*, Brdo pri Kranju. 30. september.
3. Dolinšek, Slavko. 1998. Vpeljava principov TQM v izobraževalne institucije. 7. *letna konferenca, zbornik referatov, (Kakovost, 1998)*. Ljubljana: Slovensko združenje za kakovost, 92-93.
4. Dolinšek, Slavko, Nada, Trunk Širca, Armand Faganel. 2004. Sistemi vodenja kakovosti za visokošolske zavode, 13. *letna konferenca, zbornik referatov*, Ljubljana: Slovensko združenje za kakovost, 63-65.
5. EFQM, 2008. <http://excellenceone.efqm.org/Default.aspx?tabid=463> (3.2.2008).

6. ENQA. 2002.2005.2007. Standards and guidelines for quality assurance in European higher education area. Helsinki: ENQA. <http://www.enqa.eu/files/TEEPmanual.pdf>, [BergenReport210205.pdf](http://www.enqa.eu/files/BergenReport210205.pdf), [ESG_v03.pdf](http://www.enqa.eu/files/ESG_v03.pdf), (08.09.2007).
7. Faganel, Armand, Nada, Trunk, Širca. 2006. *Kakovost v visokem šolstvu in prve nacionalne zunanje evalvacije: Priročnik za izvajanje zunanjih evalvacij*. Koper: Fakulteta za management.
8. Ivanko, Štefan. 2007. Raziskovanje in pisanje del: Metodologija in tehnologija raziskovanja ter pisanja strokovnih in znanstvenih del. Kamnik: Cubus image d.o.o.
9. Janeš, Aleksander. 2007a. Nacionalna komisija za kvaliteto visokega šolstva (NKKVŠ) – evalvacijski sistem. *Osiguranje kvalitete na univerzitetu u Zenici*, 30.03.2007.
10. Janeš, Aleksander, Armand, Faganel, Nada, Trunk širca, Slavko Dolinšek. 2007b. Prve pilotne institucionalne zunanje evalvacije v visokem šolstvu v letu 2006. 16. letna konferenca *Kakovost: inovativnost in odgovornost, zbornik referatov*. Ljubljana: Slovensko združenje za kakovost, 172-174.
11. Karapetrovic, Stanislav, Walter, Wilborn. 2002. Self-audit of process performance. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 19, No. 1: 24-45.
12. Kern Pipan, Karmen. 2006. Smernice za ocenjevalce PRSPO pri izvedbi intervjujev z zaposlenimi prijavitelja pri obisku na lokaciji. *Posvet in skupne priprave na pilotske institucionalne zunanje evalvacije NKKVŠ*. Brdo pri Kranju, 4. november.
13. Mihevc, Bogomir. 2006. (Ponovno) vzpostavljanje zaupanja v kakovost visokega šolstva. *Posvet in skupne priprave na pilotske institucionalne zunanje evalvacije NKKVŠ*. Brdo pri Kranju, 30. september.
14. Oakland, John S., 2004. *Oakland on Quality Management*. Oxford:Elsevier Butterworth-Heinemann.
15. Piskar, Franka. 2006. Različni modeli presoje kakovosti in izkušnje. *Posvet in skupne priprave na pilotske institucionalne zunanje evalvacije NKKVŠ*. Brdo pri Kranju, 30. september.
16. Slovenski inštitut za standardizacijo SIST. 2005. *Sistemi vodenja kakovosti – Osnove in slovar (ISO 9000:2005) (istoveten EN ISO 9000:2005)*. Ljubljana: Slovenski inštitut za standardizacijo.
17. Slovenski inštitut za standardizacijo SIST.2003. Smernice za presojanje sistemov vodenja kakovosti in/ali ravnanja z okoljem (enakovreden ISO 19011:2002). Ljubljana: Slovenski inštitut za standardizacijo.
18. Trunk, Širca, Nada, Armand, Faganel et al. 2006. Poročilo o vzpostavljanju sistema institucionalnih zunanjih evalvacij slovenskih visokošolskih zavodov v letu 2006. Koper: Fakulteta za management.
19. Trunk, Širca, Nada, Franci, Čuš. 2007. Poročilo o ciljih in izvedbi pilotskih institucionalnih zunanjih evalvacij NKKVŠ. Brdo pri Kranju, 10. marec: NKKVŠ in UP Fakulteta za management.
20. Urad RS za meroslovje MIRS. 2005. Ravni odličnosti 2005. http://www.mirs.gov.si/si/delovna_podrocja/prspo/nacionalna_nagrada_za_kakovost/ravni_odlicnosti_prspo/ (15.7.2007).
21. Vincent-Lancrin, Stephan. 2004. Building Future Scenarios for Universities and Higher Education: an International Approach. *Policy Futures in Education* 2: 245-263.
22. Žargi, Darinka. 2006. Sistemi vodenja. *Posvet in skupne priprave na pilotske institucionalne zunanje evalvacije NKKVŠ*. Brdo pri Kranju, 30. september.

NEKE TEHOLOŠKE KARAKTERISTIKE DOMAĆEG BENTONITA LEŽIŠTA ŠIPOVO

Anida Mešić
Nermin Mujezinović
Mr. Sc. Hasan Avdušinović
Fakultet za metalurgiju i materijale
Univerzitet u Zenici

REZIME

Predmet istraživačkog projekta predstavljen u ovom radu je ispitivanje određenih tehnoloških karakteristika bentonita ležišta „Šipovo“. U laboratorijskim uslovima Fakulteta za metalurgiju i materijale u Zenici vršeno je ispitivanje vlažnosti, koloidnosti i bubrivosti aktiviranog bentonita. Dobijeni rezultati ispitivanih osobina su poređeni sa vrijednostima koje su neophodne da bi se bentonit mogao koristiti u livničkoj proizvodnji za izradu kalupnih mješavina.

Ključne riječi: bentonit, koloidnost, bubrenje bentonita, aktivirani bentonit

1. UVOD

Bentoniti su vrsta gline koja se uglavnom sastoji od minerala montmorilonita. Po svom hemijskom sastavu to je hidrosilikat aluminija, a formula ima prilično složen oblik ($\text{Al}_2\text{O}_3 \times 4\text{SiO}_2 \times \text{H}_2\text{O} + n\text{H}_2\text{O}$). Postoji više tipova bentonita a ime im ovisi o dominantnom elementu odnosno o elementu koji je zauzeo mjesto u rešetki minerala nakon procesa aktivacije, npr. Na-bentonit, Ca-bentonit, i sl. Neke od najvažnijih osobina bentonita, koje mu omogućuju primjenu u livničkoj proizvodnji su koloidnost odnosno bubrivost, što ustvari predstavlja jako izraženo povećanje volumena i do nekoliko puta u dodiru sa vodom.

Pored upotrebe bentonita u livničkoj proizvodnji postoji niz drugih primjera upotrebe bentonita:

- hemijska industrija (boje, industrija hrane, kozmetička industrija)
- industriji prečišćavanja otpadnih voda
- kao vezivno sredstvo (peletizacija raznih proizvoda)
- ekološka rekultivacija degradiranih zemljišta i sl.

2. UPOTREBA BENTONITA U LIVNIČKOJ PROIZVODNJI

Bentonit se u livničkoj proizvodnji koristi kao vezivno sredstvo pri izradi kalupnih mješavina za livenje raznih vrsta odlivaka. Najčešće se koristi za livenje odlivaka od sivog i nodularnog liva. Da bi se bentonit mogao koristiti kao vezivo za spravljanje pješćanih kalupnih mješavina potrebno je izvršiti njegovu preradu i aktivaciju. Proces prerade obuhvata pripremu (čišćenje) rovne mase, sušenje, drobljenje, mljevenje i klasiranje. Sirovi bentonit je najčešće Ca-bentonit i potrebno je izvršiti njegovu aktivaciju odnosno izvršiti zamjenu Ca^{2+} kationa sa Na^{+} kationima. Aktivirani bentonit ima, u odnosu na sirovi Ca-bentonit, veću sposobnost bubrenja, posjeduje do viših temperatura plastična svojstva, zatim se karakteriše većom sposobnošću vezivanja a istovremeno manjom osjetljivošću na vlaženje kroz svojstva čvrstoće. Na-bentonit se ravnomjerno raspoređuje po površini zrna pijeska zbog toga što se kristali njegovog minerala raspadaju na sitne čestice u vodi.

Prema zadnjim podacima proizvodnja odlivaka od sivog i nodularnog liva u svijetu u 2006 godini bila je cca. 64 miliona tona a 1995 godine cca. 52 miliona tona. [6] Navedeni podaci govore o porastu svjetske proizvodnje navedenih materijala a i predviđanja za naredni period su takva da se očekuje kontinuirani porast proizvodnje istih. Sa porastom proizvodnje odlivaka stalno je izražen i zahtjev za povećanjem proizvodnje aktiviranog bentonita. Ovakvo stanje na tržištu odlivaka u svijetu i kod nas je ponovno oživilo ideju proizvodnje domaćeg aktiviranog bentonita sa ležišta u okolini Šipova.

3. EKSPERIMENTALNI DIO

Eksperimentalni dio ispitivanja je proveden u laboratoriji za ljevarstvo Fakulteta za metalurgiju i materijale i odnosio se na ispitivanje vlažnosti, bubrežnosti i koloidnosti uzoraka aktiviranog bentonita. Dobijeni rezultati su statistički obrađeni i upoređeni sa uobičajenim vrijednostima koje posjeduju bentoniti koji se trenutno koriste u našim livnicama.

Za ispitivanje su korištene dvije vrste bentonita:

- aktivirani bentonit sa ležišta Šipovo (u nastavku rada označen kao A-bentonit)
- bentonit koji se trenutno koristi u našim livnicama (u daljem tekstu označen kao B-bentonit)

3.1. Ispitivanje vlažnosti bentonita

Vlažnost samog bentonita je veoma bitna za ponašanje bentonita u kaluparskoj mješavini odnosno za pripremu mješavine koja će posjedovati određene karakteristike (na sobnim i povišenim temperaturama) da bi se kao takva mogla koristiti za izradu kalupa. Uobičajena vrijednost vlažnosti bentonita koji se koristi u livnicama je 8 % a najviša dozvoljena vrijednost vlažnosti je 12 %. Za ispitivanje vlažnosti pripremljeno je 9 uzoraka bentonita A i B od po 20g. Uzorci su sušeni na temperaturi 100°C u vremenu od 60 minuta u peći tipa „GF“ (slika 1) i nakon toga im je mjerena masa. Iz dobijenih podataka za masu nakon sušenja računata je vlažnost uzoraka prema slijedećoj formuli. [1,2]

$$v = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(1)$$

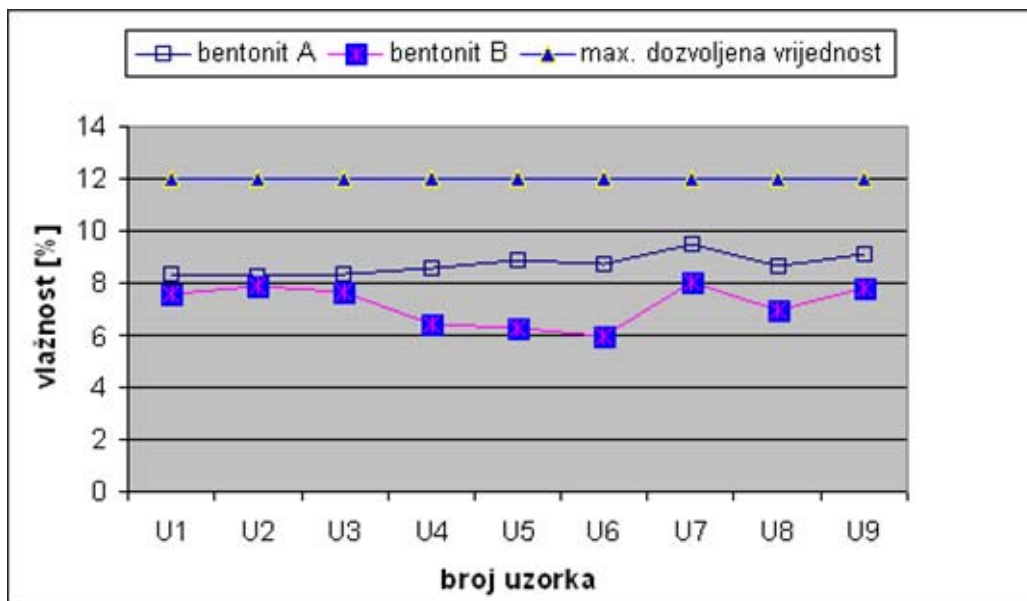
Gdje su:

- m_0 - početna masa uzorka
- m_1 - masa uzorka nakon sušenja
- v - vlažnost uzorka

Rezultati ispitivanja su dati u tabeli 1 i predstavljeni na diagramu 1.

Tabela 1, Rezultati ispitivanja vlažnosti bentonita A i B

Bentonit	U1 [%]	U2 [%]	U3 [%]	U4 [%]	U5 [%]	U6 [%]	U7 [%]	U8 [%]	U9 [%]	Sr. V.	St. Dev.
A	8,35	8,25	8,34	8,55	8,85	8,70	9,45	8,67	9,12	8,70	0,39
B	7,60	7,85	7,65	6,40	6,30	5,95	8,00	6,95	7,80	7,16	0,78
max. dozvoljena vrijednost	12	12	12	12	12	12	12	12	12		



Dijagram 1. Grafički prikaz rezultata ispitivanja vlažnosti bentonita A i B



Slika 1. Peć za ispitivanje vlažnosti bentonita

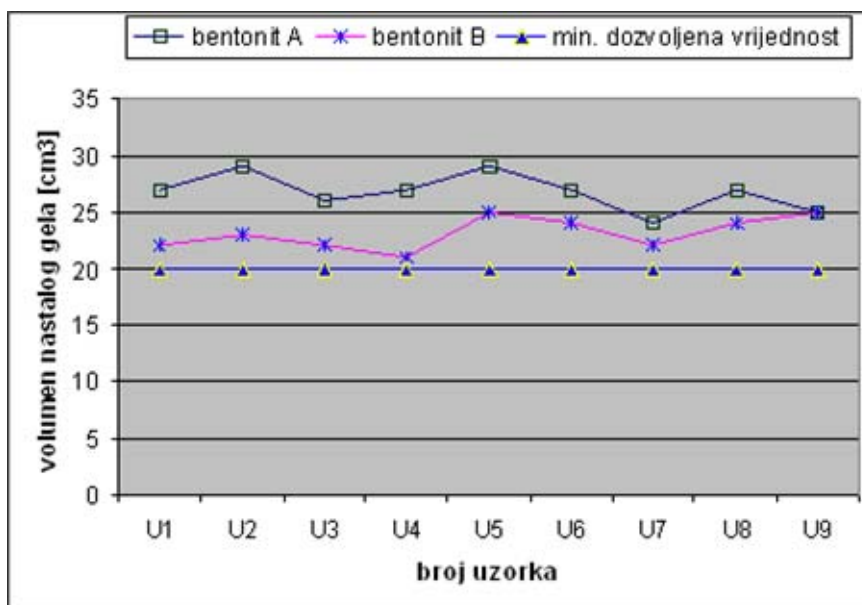
Slika 2. Menzure za ispitivanje bubrivosti i koloidnosti

3.2. Ispitivanje bubrivosti bentonita

Za ispitivanje bubrivosti bentonita odvagano je po 9 uzoraka bentonita A i B mase od po 2g. U graduisanu mjernu posudu (menzuru) od 100 cm³, napunjenu destilovanom vodom do oznake 100 cm³, dodavani su obroci (8....10) relativno ravnomjerno raspoređene odvagane mase od 2g bentonita. Sljedeći obrok se dodaje tek pošto je prethodni, poslije bubrenja, pao na dno posude. Visina stvorenog gela očita se nakon jednog sata i nakon 24 sata. Visina stvorenog gela označava stepen bubrivosti (bentonitni broj). Kod dobrog bentonita visina stvorenog gela ne bi trebala biti manja od 20 cm³, i to u obliku pahuljica.[4,5]
Rezultati ispitivanja su dati u tabeli 2 a grafički prikaz na dijagramu 2.

Tabela 2. Očitane vrijednosti visine stvorenog gela nakon 24h

Bentonit	U1 [cm ³]	U2 [cm ³]	U3 [cm ³]	U4 [cm ³]	U5 [cm ³]	U6 [cm ³]	U7 [cm ³]	U8 [cm ³]	U9 [cm ³]	Sr. V.	St. Dev.
A	27	29	26	27	29	27	24	27	25	26,8	1,64
B	22	23	22	21	25	24	22	24	25	23,1	1,45
min. dozvoljena vrijednost	20	20	20	20	20	20	20	20	20		



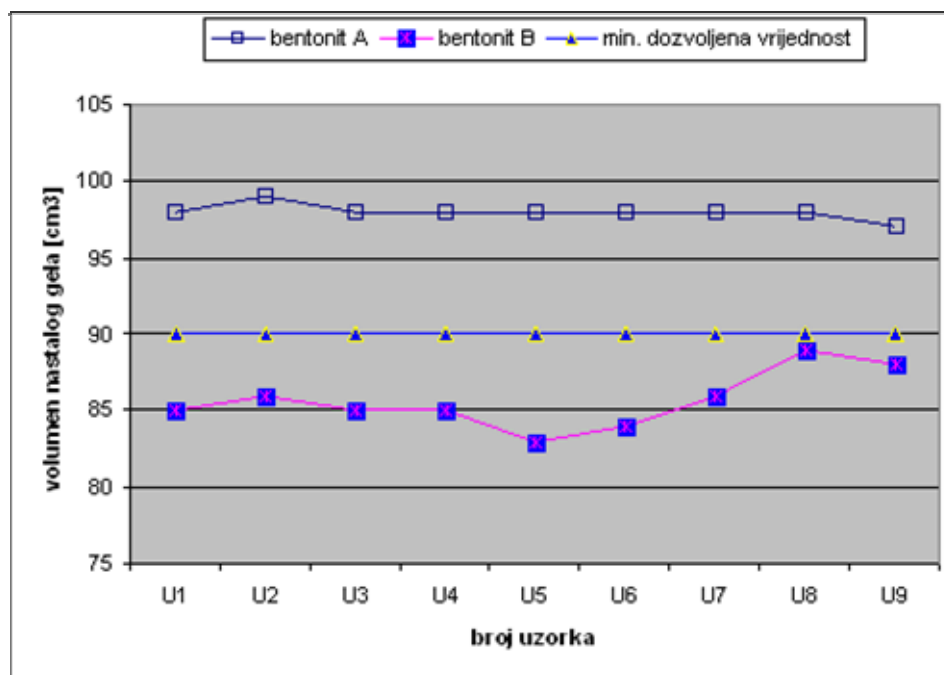
Dijagram 2. Grafički prikaz rezultata ispitivanja bubrežnosti bentonita A i B

Ispitivanje koloidnosti bentonita

Metoda je vrlo slična određivanju bubrežnosti. U mjernu posudu od 100 cm³ najprije se ulije oko 30 cm³ destilovane vode. Zatim se ubaci masa od 2g bentonita i dobro promućka, kako bi se stvorila dobra suspenzija bentonita u vodi. Potom se doda destilovane vode do oznake 100, otvor mjerne posude poklopi šakom i dobro promućka. Posuda se ostavi da stoji 24 sata i nakon tog vremena se očita visina stvorenog gela. Kod kvalitetnog bentonita ta se visina ne bi smjela spustiti ispod oznake 90 cm³. Iznad gela se stvara prsten bistre tečnosti. Koliko je taj prsten manji (po visini), toliko je koloidnost ispitivanog bentonita bolja.[1,3,4]
Rezultati ispitivanja su dati u tabeli 3 i grafički prikazani na dijagramu 3.

Tabela 3. Očitane vrijednosti visine stvorenog gela nakon 24h

Bentonit	U1 [cm ³]	U2 [cm ³]	U3 [cm ³]	U4 [cm ³]	U5 [cm ³]	U6 [cm ³]	U7 [cm ³]	U8 [cm ³]	U9 [cm ³]	Sr. V.	St. Dev.
A	98	99	98	98	98	98	98	98	97	98	0,5
B	85	86	85	85	83	84	86	89	88	85,67	1,87
min. dozvoljena vrijednost	90	90	90	90	90	90	90	90	90		



Dijagram 3. Grafički prikaz rezultata ispitivanja koloidnosti bentonita A i B

4. ZAKLJUČCI

Nakon provedenih ispitivanja, u laboratorijskim uslovima, aktiviranog bentonita sa ležišta Šipovo i bentonita koji se koristi u našim livnicama za pripremanje kalupnih mješavina može se zaključiti slijedeće:

- Vrijednosti dobijene za vlažnost aktiviranog bentonita sa ležišta Šipovo se kreću u granicama koje su uobičajne za bentonite koji se koriste u livnicama.
- Očitane vrijednosti visine stvorenog gela pri ispitivanju bubrivosti aktiviranog bentonita sa ležišta Šipovo su više od minimalne zahtijevane vrijednosti koju bentonit treba imati da bi bio upotrebljiv za izradu kalupnih mješavina. Poredeći očitane vrijednosti za dva ispitivana bentonita uočava se da su vrijednosti za aktivirani bentonit ležišta Šipovo više od očitanih vrijednosti za bentonit B.
- Očitane vrijednosti za koloidnost aktiviranog bentonita ležišta Šipovo su više od minimalno zahtijevane vrijednosti i više su od dobijenih vrijednosti za bentonit B.

5. LITERATURA

- [1] M. Branković, Materijali za izradu livničkih kalupa i jezgri, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 1974. godina
- [2] P. Brzaković, Priručnik za proizvodnju i primjenu građevinskih materijala nemetaličnog porijekla, Orion Art, Beograd, 2000. godina
- [3] M. Branković, Tehnologija livačkih kalupa, Univerzitet u Beogradu, 1982. godina
- [4] B. M. Zoran i autori, Ljevački priručnik, Savez ljevača Hrvatske, Zagreb, 1984. godina
- [5] N. Pajević, livenje Gvožđa i čelika, Univerzitet u Beogradu, 1974. godina
- [6] World Casting Census, Modern Casting, American Foundry Society, December, 2007. god

ANALIZA RUTA KOMISIONIRANJA U SKLADIŠTIMA S PROSTORNIM RASPOREDOM „RIBLJA KOST“

V. Česnik¹, T. Opetuk², G. Đukić³

¹Sveučilište u Zagrebu, FSB, studij Industrijskog inženjerstva i menadžmenta
Ivana Lučića 5, Zagreb, Hrvatska, vedrancesnik@yahoo.co.uk

²Sveučilište u Zagrebu, FSB, studij Industrijskog inženjerstva i menadžmenta
Ivana Lučića 5, Zagreb, Hrvatska, tihomir.opetuk@fsb.hr

³Sveučilište u Zagrebu, FSB, Zavod za industrijsko inženjerstvo
Ivana Lučića 5, Zagreb, Hrvatska, goran.dukic@fsb.hr

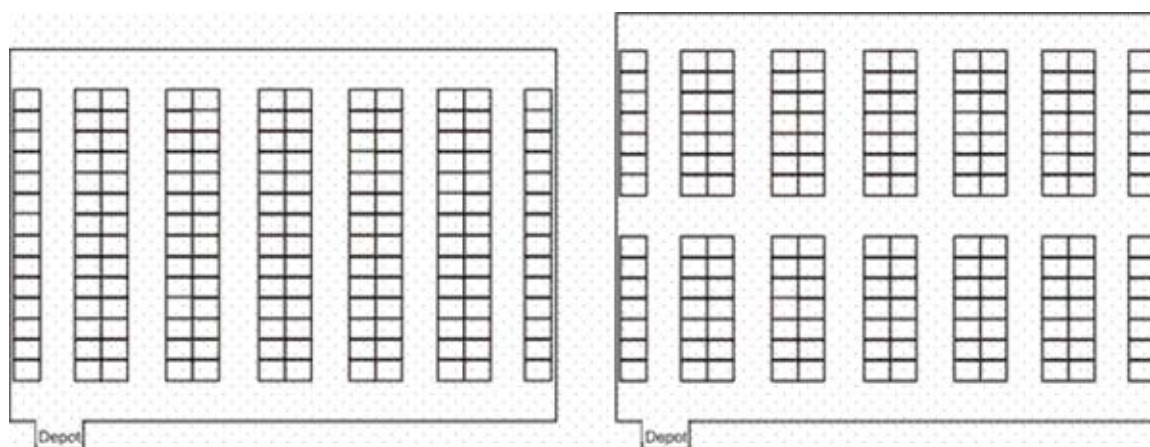
1. UVOD

U današnjim logističkim lancima neki od zahtjeva nametnutih poduzećima su što brža isporuka proizvoda i povećanje točnosti narudžbi, a uz to smanjenje troškova skladištenja. U tim uvjetima skladišta su postala više od običnog mjesta za odlaganje proizvoda. U cilju povećanja efikasnosti distribucijskih centara, razvijen je velik broj modela i metoda kako bi se optimizirale skladišne aktivnosti. Komisioniranje, definirano kao proces prikupljanja materijala iz skladišnih lokacija prema zahtjevu korisnika, s najvećim je udjelom ljudskog rada od svih skladišnih aktivnosti. Tako je i troškovno najznačajnije, s udjelom od 55% od ukupnih operativnih troškova u tipičnom skladištu (Tompkins et al. [1]). A s obzirom na izravan utjecaj na brzinu odgovora i točnost narudžbe, utječe i na razinu usluge korisniku i njegovo zadovoljstvo. Stoga je vrlo važno uložiti određene napore na smanjenje troškova i vremena komisioniranja, drugim riječima povećati efikasnost tog procesa. Osim drastičnih promjena u sustavu za komisioniranje, primjenom nove skladišne opreme ili čak automatizacijom određenih dijelova procesa, operativnu efikasnost komisioniranja moguće je poboljšati i primjenom odgovarajućih operativnih metoda. To potvrđuju i istraživanja na ovom području, te postoji značajan broj literaturnih izvora o metodama komisioniranja (de Koster et al. [2]). Vrijeme komisioniranja narudžbe može se podijeliti u tri komponente: vrijeme kretanja između skladišnih lokacija, vrijeme potrebno za izuzimanje proizvoda i vrijeme ostalih aktivnosti. Činjenica da oko 50% vremena komisioniranja otpada na vrijeme kretanja (Tompkins et al. [1]) pruža potencijal poboljšanja komisioniranja smanjenjem prijedrenih udaljenosti. Većina spomenutih metoda fokusirana je upravo na ovu komponentu (Roodbergen and Vis [3]), te se mogu kategorizirati u tri grupe operativnih metoda: metode određivanja ruta (eng. routing methods), metode dodjeljivanja mjesta odlaganja (eng. storage methods) i metode grupiranja narudžbi (eng. orderbatching methods). Metodama određivanja rute određuju se redoslijed i ruta kretanja komisionera, pokušavajući time minimizirati prijedene udaljenosti (a time jasno i vrijeme ove komponente). Metode dodjeljivanja mjesta odlaganja koriste određena pravila dodjeljivanja skladišnih lokacija pojedinim proizvodima, također s ciljem skraćivanja prijedrenih udaljenosti. Metode grupiranja dvije ili više narudžbi korisnika u jedan nalog za komisioniranje također su vrlo učinkovite u skraćivanju puteva komisioniranja. Međutim, performanse ovih metoda znatno ovise o prostornom rasporedu (layoutu) i veličini skladišta, karakteristikama narudžbi, kapacitetu komisionera, ali isto tako i o njihovom međusobnom uzajamnom djelovanju. Analize ovih metoda pokazale su nezanemariv utjecaj prostornog rasporeda skladišta (zapravo zone komisioniranja) na performanse. Međutim, sve analize pretpostavljale su tradicionalni prostorni raspored. Tek nedavno profesori Russell Meller (University of Arkansas) i Kevin Gue (Auburn University) predložili su nove, radikalno drugačije prostorne rasporede s potencijalom smanjenja vremena kretanja u paletnom komisioniranju (Gue i Meller [4]).

U ovom radu prezentiraju se dosadašnji rezultati analize metoda određivanja ruta komisioniranja iz više lokacija u jednom od spomenutih novih inovativnih prostornih rasporeda, tzv. rasporedu „riblja kost“.

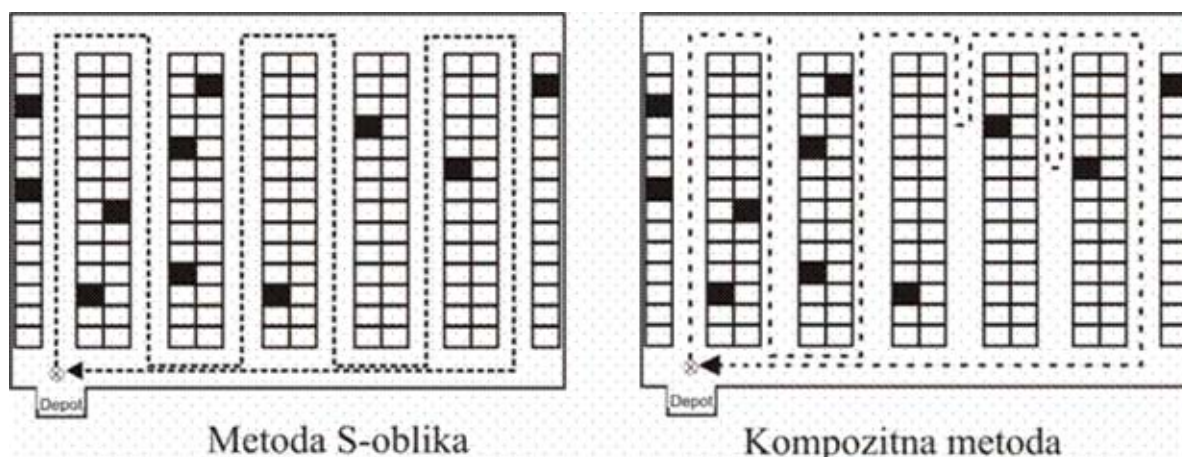
2. METODE ODREĐIVANJA RUTA KOMISIONIRANJA

Rutiranje komisionera određivanje je načina kretanja od lokacije do lokacije, s ciljem prikupljanja traženih proizvoda. Cilj određivanja rute je odrediti redoslijed i smjer kretanja da se osigura dobra ruta prikupljanja - što je najkraće moguća. Ovaj problem zapravo je poseban slučaj poznatog problema putujućeg trgovca (eng. Traveling Salesman Problem). Komisioner kreće iz početne pozicije (depot), posjeti sve lokacije, te se na kraju vrati do početne pozicije. Za tradicionalni tip skladišta, prikazan na slici 1 lijevo, Ratliff i Rosenthal [5] razvili su optimalni algoritam koji rezultira najkraćom mogućom rutom. Roodbergen i de Koster [6] proširili su taj algoritam za skladišta s prostornim rasporedom prikazanim na slici 1 desno.



Slika 1. Tradicionalni prostorni rasporedi skladišta

Osim kriterija najkraće rute postoje i drugi zahtjevi. Ona treba biti komisioneru razumljiva i laka za pratiti, što je vjerojatno razlog da mnoga skladišta u praksi koriste heurističke metode određivanja ruta komisioniranja. Postoji nekoliko razvijenih i u praksi korištenih heurističkih metoda. Najjednostavnija, i vjerojatno u praksi najčešće korištena, je S-oblik metoda (eng. S-shape routing method). Primjenom ove metode komisioner ulazi u svaki prolaz s traženom lokacijom i prolazi ga u cjelosti. Prolazi u kojima nema ništa za prikupiti se izbjegavaju. Iznimka se događa samo u slučaju posljednjeg posjećenog prolaza, ukoliko je broj posjećenih prolaza neparan. Tada se komisioner okreće u prolazu i vraća natrag.



Slika 2. Primjeri ruta primjenom heurističkih metoda određivanja ruta

Osim S-oblik metode, postoji još nekoliko jednostavnijih heurističkih metoda određivanja rute komisioniranja, ali su isto tako razvijene i naprednije heurističke metode. Jedna od njih je kompozitna metoda (eng. Composite routing method). Primjenom ove metode, nakon zadnje lokacije u posjećenom prolazu komisioner produžuje ili se okreće temeljem kraćeg puta do prve lokacije u slijedećem prolazu. Na taj način ova metoda rezultira boljim rješenjima (kraćim rutama) od jednostavnijih metoda koje su zbog svojih „čvrstih“ ograničenja limitirane u performansama. Na slici 2 prikazani su primjeri ruta primjenom spomenutih metoda. Za opis drugih postojećih metoda određivanja ruta čitatelj se upućuje na de Koster et al. [2].

3. PROSTORNI RASPOREDI ZONE KOMISIONIRANJA

Klasični, tradicionalni prostorni rasporedi skladišta odnosno zona komisioniranja su oni koje danas možemo naći u većini skladišta. U osnovnom obliku to su prostorni rasporedi s paralelnim prolazima između regala, centralnim mjestom za preuzimanje naloga i predaju prikupljene robe (depot), te s dvije mogućnosti za promjenu prolaza – na prednjoj ili stražnjoj strani (prednji i stražnji poprečni prolaz), već prikazano na slici 1 lijevo. Modifikacije osnovnog oblika obično su izvedbe s dodanim jednim ili više dodatnih poprečnih prolaza. Prostorni raspored s jednim dodatnim poprečnim prolazom u sredini prikazan je na slici 1 desno.

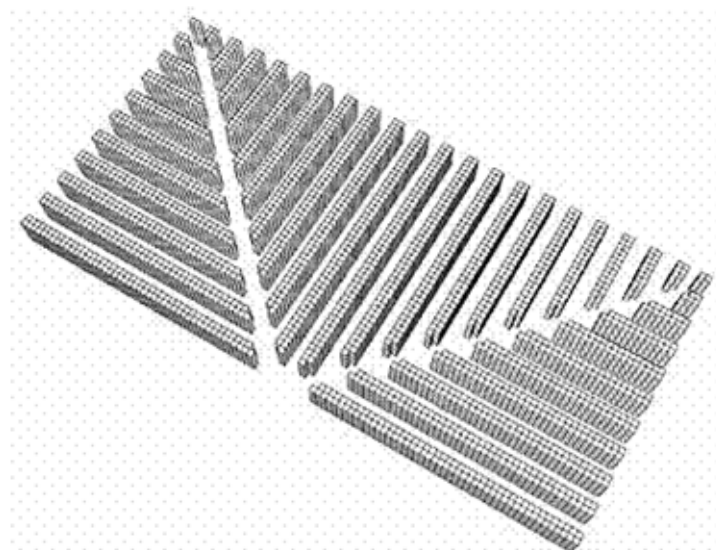
Kao što je već rečeno, analize metoda određivanja ruta pokazale su da prostorni raspored ima značajan utjecaj na performanse i time na rezultirajući ukupni put komisioniranja. Za zadani kapacitet (broj lokacija) moguće je pronaći optimalni prostorni raspored izražen preko broja i duljine prolaza (Roodbergen i Vis [3], Caron et al. [7]). Rezultati provedenih istraživanja također su pokazali da dodavanje jednog ili više dodatnih poprečnih prolaza može doprinjeti smanjenju puta komisioniranja, te da je isto tako moguće pronaći optimalan broj dodatnih poprečnih prolaza (Vaughan i Petersen [8]). No svakako primjetite da dodavanje dodatnih poprečnih prolaza povećava potrebnu površinu.

Oblikovanje prostornog rasporeda tradicionalno je bazirano na nekim uvriježenim, a zapravo nepotrebnim pretpostavkama. Dvije najviše ograničavajuće su da poprečni prolazi moraju biti ravni i sjeći prolaze između regala pod pravim kutem, te da su i prolazi između regala ravni i svi orijentirani u istom smjeru. U Gue i Meller [4] autori su pokazali da te pretpostavke ograničavaju efikasnost i produktivnost jer tjeraju komisionera na dulje rute. U prostornom rasporedu koji još zadržava paralelne regalne prolaze, ali dozvoljava da poprečni prolazi budu drugačije oblikovani, očekivani put komisioniranja palete je 8-12% manji nego u ekvivalentnom tradicionalno prostornom rasporedu, ovisno o veličini zone. Autori su takav prostorni raspored nazvali „leteći V“ (eng. Flying V layout), i prikazan je na slici 3.



Slika 3. Prostorni raspored „leteći V“ (Gue i Meller [4])

Odbacivanjem druge pretpostavke da svi prolazi između regala moraju biti paralelni, razvili su tzv. „riblja kost“ prostorni raspored, prikazan na slici 4.



Slika 4. Prostorni raspored „riblja kost“ (Gue i Meller [4])

Ovaj oblik također primjenjuje V oblik poprečnih prolaza koji se protežu kroz cijelo skladište, s time da su prolazi između regala ispod slova V horizontalni, a iznad slova V vertikalni. Očekivani put u ovakvom prostornom rasporedu može biti čak i 20% manji u usporedbi s odgovarajućim tradicionalnim prostornim rasporedom. No, slično kao i rasporedu s ravnim poprečnim prolazima, i ovi novi prostorni rasporedi zahtijevaju nešto veću površinu od osnovnog oblika tradicionalnog prostornog rasporeda.

4. KOMISIONIRANJE IZ VIŠE LOKACIJA U PROSTORNOM RASPOREDU „RIBLJA KOST“

Unatoč velikom potencijalu novih inovativnih prostornih rasporeda za smanjenje prijednog puta pri paletnom komisioniranju (jednostruki ciklus, eng. single command), pitanje je kakve bi bile duljine ruta komisioniranja iz više lokacija (višestruki ciklus, eng. multiple command) u komisioniranju kutija i pojedinačnih proizvoda u takvim prostornim rasporedima, u usporedbi s tradicionalnim izvedbama. Da se pokuša na to odgovoriti, napravljene su analize performansi odabranih metoda određivanja ruta, te se ovim radom prikazuju zasada dobijeni rezultati.

Rezultati prikazani ovim radom ograničeni su na jedan odabrani prostorni raspored, a analizirane su rute dobijene pomoću dvije spomenute metode: S-oblik metode i kompozitne metode. S obzirom da su postojeći algoritmi ovih metoda definirani za tradicionalne prostorne rasporede, prvi korak u istraživanju bio je kako definirati ove heurističke metode za prostorni raspored „riblja kost“. Postojeći algoritmi za tradicionalni prostorni raspored s poprečnim prolazima (čime se dobijaju blokovi) usmjeravaju komisionera do „najudaljenijeg“ bloka, pa prema „najbližem“ bloku. U prostornom rasporedu „riblja kost“ nije moguće reći koji je blok najudaljeniji odnosno najbliži. Stoga su se definirale heuristike na način da se blokovi (u ovom slučaju postoje 3 bloka) posjećuju u smjeru kazaljke na satu. Također se u istraživanju primjetilo da postojeći algoritmi i nisu najbolje rješenje za prostorne rasporede s jednim dodatnim poprečnim prolazom (2 bloka) i depot-om na sredini, već se i u tim slučajevima može koristiti naša modifikacija – posjećivanje u smjeru kazaljke na satu, s time da se donja polovica zone podjeli popola na dva virtualna bloka.

Za analizu je odabran prostorni raspored s 576 lokacija po sloju. Zbog pojednostavljenja proračuna udaljenosti dimenzije lokacije uzete su 1x1 m, a širine svih prolaza 2 m. Tradicionalni prostorni raspored je s 12 prolaza između redova lokacija (ukupna širina zone 48 m) i duljine prolaza/reda 24 metra (24 lokacije po redu). S lokacijom depot-a u sredini, takav prostorni raspored je optimalan za paletno komisioniranje. Takvom prostornom rasporedu dodan je još jedan poprečni prolaz po sredini i time je definiran drugi analizirani prostorni raspored. I konačno, zadržavanjem približno oblika skladišta, primjenom V poprečnog prolaza i promjenom orijentacije regala na donjoj strani definiran je alterantivni „riblja kost“ prostorni raspored.

Za određenje prosječnog puta komisioniranja korištena je simulacija. Za skup narudžbi generirane su lokacije u prostornom rasporedu (metoda dodjeljivanja mjesta odlaganja po slučajnom rasporedu, eng. random storage) i izračunate duljine ruta. Analiza je provedena za dvije veličine narudžbi – s 10 i 30 stavki po narudžbi, te su rezultati prikazani u tablicama 1 i 2. Zbog mogućnosti dublje analize performansi metoda u analiziranim prostornim rasporedima prikazane su i obje komponente pripadajućih puteva – po prolazima unutar redova (eng. within aisle) i po poprečnim prolazima (eng. across aisle). Na slikama 5, 6, 7 i 8 prikazani su primjeri dobijenih ruta predloženim modificiranim heuristikama u prostornom rasporedu s poprečnim prolazom odnosno prostornom rasporedu „riblja kost“.

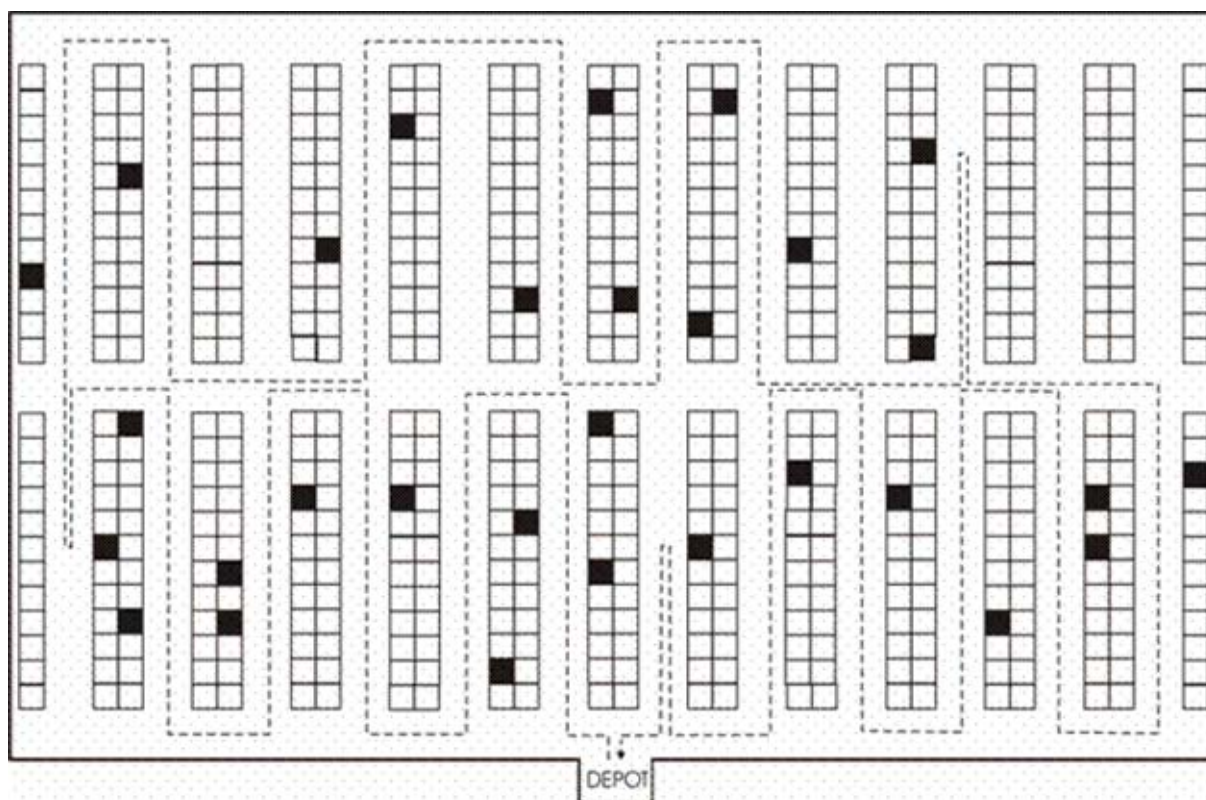
Tablica 1. Rezultati analize za metodu S-oblika

Veličina narudžbe	10			30		
Put komisioniranja (m) Prostorni raspored	Po prolazima	Po poprečnim prolazima	Ukupno (prosječno)	Unutar prolaza	Po poprečnim prolazima	Ukupno (prosječno)
Tradicionalni (osnovni)	181,3	77,4	258,7	289,1	86,7	375,8
Tradicionalni (s poprečnim prolazom u sredini)	116,5	77,4	193,9	242,3	86,7	329,0
„Riblja kost“	155,6	71,9	227,5	268,7	83,2	351,9

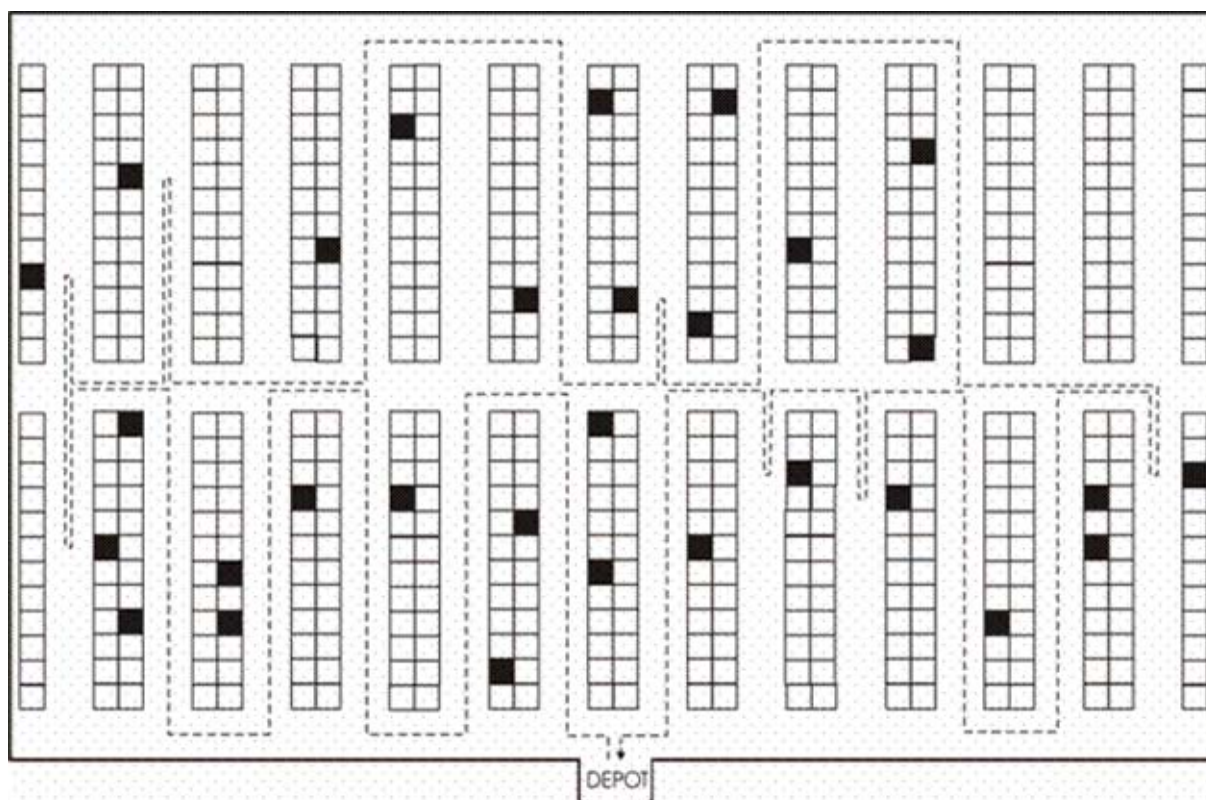
Tablica 2. Rezultati analize za Kompozitnu metodu

Veličina narudžbe	10			30		
Put komisioniranja (m) Prostorni raspored	Po prolazima	Po poprečnim prolazima	Ukupno (prosječno)	Unutar prolaza	Po poprečnim prolazima	Ukupno (prosječno)
Tradicionalni (osnovni)	150,8	77,4	228,2	277,2	86,7	363,9
Tradicionalni (s poprečnim prolazom u sredini)	105,4	77,4	182,8	222,3	86,7	309,0
„Riblja kost“	138,9	74,2	213,1	234,7	82,6	317,3

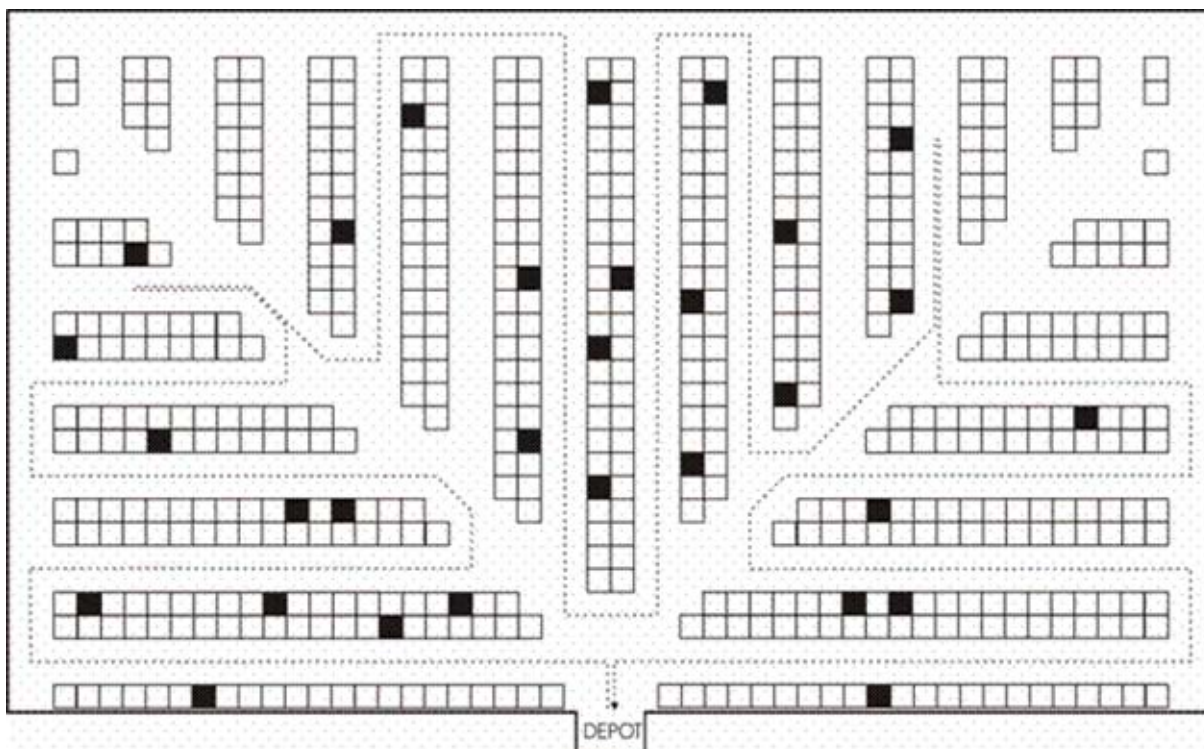
Kao što je bilo i za očekivati, dodavanje poprečnog prolaza u tradicionalnom prostornom rasporedu skraćuje put komisioniranja. Za obje analizirane veličine narudžbi gustoća lokacija iz kojih treba komisionirati (eng. pick density) nije velika, te dodavanje dodatnog poprečnog prolaza eliminira nešto nepotrebnog kretanja između lokacija. Također se može primjetiti da se postotni iznos skraćivanja puta povećanjem veličine narudžbe smanjuje. Daljnjim povećanjem došlo bi se točke kada dodavanje poprečnog prolaza više ne bi imalo efekta.



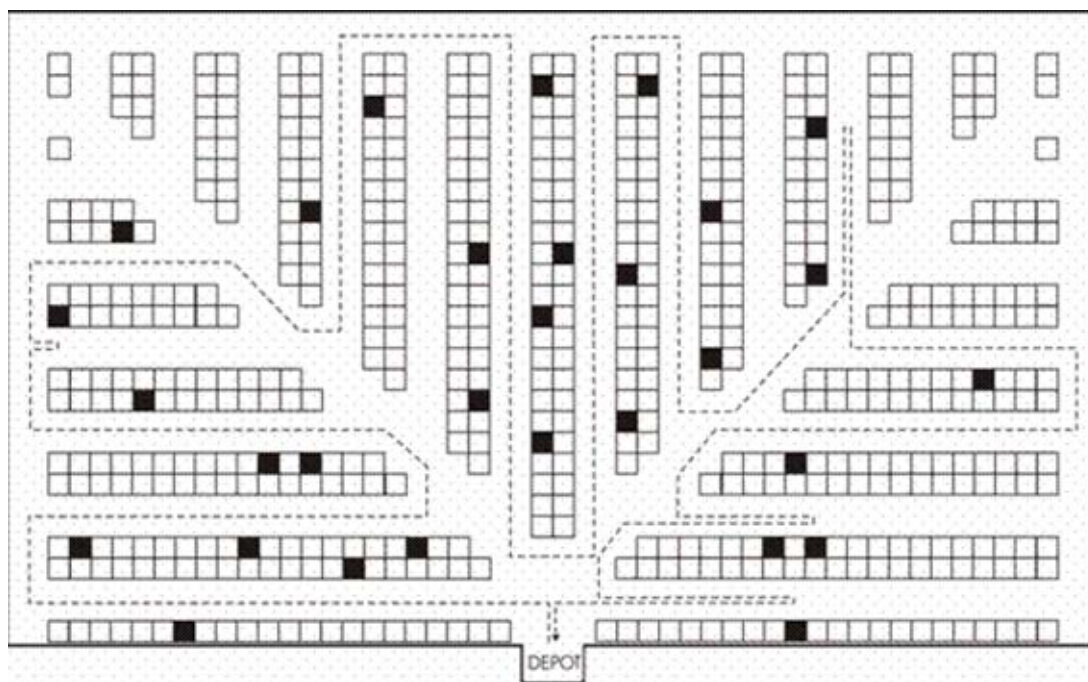
Slika 5. Prostorni raspored s poprečnim prolazom u sredini i primjer rute metodom S-oblika



Slika 6. Prostorni raspored s poprečnim prolazom u sredini i primjer rute kompozitnom metodom



Slika 7. Prostorni raspored „riblja kost“ i primjer rute metodom S-oblika



Slika 8. Prostorni raspored „riblja kost“ i primjer rute kompozitnom metodom

Rezultirajuće prosječne duljine ruta u prostornom rasporedu „riblja kost“ također su manje od odgovarajućih ruta u osnovnom tradicionalnom prostornom rasporedu. Međutim, izgleda da dodavanje V poprečnog prolaza ima manji potencijal skraćenja rute od dodavanja ortogonalnog poprečnog prolaza. Iako su komponente po poprečnim prolazima nešto manje, smanjenja komponente po prolazima između redova značajno su manja u usporedbi sa smanjenjima primjenom ravnog poprečnog prolaza u sredini.

Usporedba rezultata analiziranih metoda u „riblja kost“ prostornom rasporedu također je očekivana, te je kao i kod tradicionalnih prostornih rasporeda rezultirajuća ruta naprednije

kompozitne metode kraća od rute dobijene najjednostavnijom heurističkom metodom S-oblika.

Potrebna površina u prostornom rasporedu „riblja kost“ također je povećana u usporedbi s prostornim rasporedom s ravnim poprečnim prolazom. Glavni razlog tog povećanja leži u potrebi za dva dodatna stražnja prolaza na lijevoj i desnoj strani. U analiziranim situacijama potrebna površina prostornog rasporeda „riblja kost“ bila je 16% veća od površine osnovnog tradicionalnog rasporeda, te 8% veća od rasporeda s ravnim poprečnim prolazom u sredini.

5. ZAKLJUČAK

Prostorni raspored „riblja kost“ bez sumnje je izvrstan prostorni raspored za paletno komisioniranje, te već postoje i primjeri konkretne primjene. Međutim, u skladištima s komisioniranjem kutija i pojedinačnih proizvoda iz više lokacija ovaj prostorni raspored rezultira duljim rutama nego je to slučaj kod tradicionalnih izvedbi s ravnim poprečnim prolazom pod pravim kutem, barem što se tiče analiziranih u ovom radu heurističkih metoda određivanja rute i pretpostavljene metode dodjeljivanja mjesta odlaganja po slučajnom rasporedu. Za potpuniju ocjenu potrebno je proširiti istraživanje i na drugačije oblike i veličine skladišta, te ostale metode određivanja ruta i dodjeljivanja mjesta odlaganja.

Gue i Meller također rade na razvoju optimalnog prostornog rasporeda koji uključuje komisioniranje kutija i pojedinačnih proizvoda. Ta rješenja možda budu potpuno drugačija. Projektanti skladišta trebali bi biti svjesni trendova i inovacija u projektiranju skladišta, te poznavati prednosti i nedostatke pojedinih rješenja, te tako ovosno o situaciji i značaju pojedinih ciljeva projekta odabrati odgovarajuće rješenje.

POPIS LITERATURE

1. J.A. Tompkins, J.A. White, Y.A. Bozer, E.H. Frazelle, J.M.A. Tanchoco and J. Trevino, *Facilities Planning*, John Wiley & Sons, New York, 1996.
2. R. de Koster, T. Le-Duc and K.J. Roodbergen, Design and control of warehouse order picking: A literature review, *European Journal of Operational Research* 182, pp. 481-501, 2007.
3. K.J. Roodbergen and I.F.A. Vis, A model for warehouse layout, *IIE Transactions* 38, pp. 799-811, 2006.
4. K.R. Gue and R.D. Meller, Aisle Configurations for Unit-Load Warehouses, forthcoming in *IIE Transactions*, 2008.
5. H.D. Ratliff and A.S. Rosenthal, Order-picking in a rectangular warehouse: a solvable case of the travelling salesman problem, *Operations Research* 31 (3), pp. 507-521, 1983
6. K.J. Roodbergen and R. de Koster, Routing order pickers in a warehouse with a middle aisle, *European Journal of Operational Research* 133, pp. 32-43, 2001
7. F. Caron, G. Marchet and A. Perego, Optimal layout in low-level picker-to-part systems, *International Journal of Production Research* 38 (1), pp. 101-117, 2000.
8. T.S. Vaughan and C.G. Petersen, The effect of warehouse cross aisles on order picking efficiency, *International Journal of Production Research* 37 (4), pp. 881-897, 1999

SELEKTIVNO PRIKUPLJANJE KORISNIH KOMPONENTI OTPADA NA JAVNIM MJESTIMA U OPĆINI ZENICA

SELECTIVE COLLECTING VALUABLE COMPONENTS OF WASTE ON PUBLIC PLACES IN ZENICA

Bajrić Dijana,
Huseinspahić Majda

Mašinski fakultet, Zenica
Zenica

REZIME

U gradovima Bosne i Hercegovine, nastaje godišnje velika količina kućnog otpada. Ta količina je dovoljna da se napuni jedan veliki fudbalski stadion. Gotovo cijela ova količina otpada u Bosni i Hercegovini se odlaže na nekontrolisanim deponijama, više smetljištima, koja ne sprovode ekološki bezbiježno odlaganje. Organski otpad je biorazgradiv i njegovim bacanjem na smetljišta nastaju gasovi, metan i procjedne vode koje ugrožavaju životnu sredinu, zbog toga je veoma bitno da vršimo odvojeno sakupljanje otpada.

Ključne riječi: zeleni otok, plastika, metal, papir.

ABSTRACT

Cities of BiH produces a large ammount of house waste per year. That ammount is enough to fill a large football stadium. Almost oll ammount of this waste in BiH is stored in uncontroled deponies, more like garbage places without ecologicoly safe disposing of it. Organic waste is biologically decomposable, and that process produce gasses like metan and waste-water wich are dangerads for environment, because of that it is very important to colect waste separately.

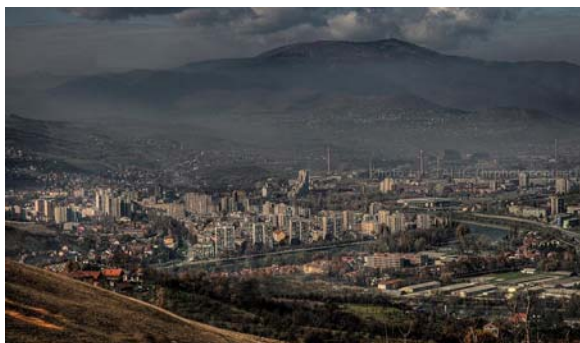
Key words: green island, plastic, metal, paper.

1. OPIS LOKACIJE

Zenica je grad smješten u kotlini rijeke Bosne na nadmorskoj visini 316 metara. Privredni je centar Bosne i Hercegovine u kojem je smještena teška industrija i crna metalurgija. Vodeća korporacija u gradu Zenici je ArcelorMittal Steel (Željezara Zenica).

Tabela 1. Opći podaci grada Zenice

Površina općine	500 km ²
Geografska širina i dužina	44° 12' i 17° 56'
Nadmorska visina	316 m



Slika 1. Grad Zenica

Prije drugog svjetskog rata općina je imala 15.000 stanovnika, pred ovaj rat imala je 141.000 stanovnika. Gustina naseljenosti u općini Zenica iznosi 228 stanovnika po km². Prosječna produkcija otpada u ovom gradu iznosi od 0,8 – 1 kg otpada po stan na dan.[1]

1.1. Sadašnji način postupanja s otpadom

Na općini Zenica danas je oko 60% područja pokriveno organiziranim prikupljanjem i odvozom komunalnog otpada i tek su u fazi začeca i pokušaji da se organiziranim prikupljanjem i odvozom komunalnog otpada obuhvati i ruralno područje općine Zenica. U općini Zenica prikupljanje otpada vrši komunalno preduzeće Alba Zenica koja djeluje u okviru preduzeća Alba BiH.

Cjelokupni prikupljeni otpad (bez uvida u njegov sastav) se odvozi na neuređenu deponiju Siđe. Okolnom stanovništvu prijeti opasnost zagađenja pitke vode što može dovesti do pojave raznih oboljenja. U tijelu deponije često se javljaju kako otvoreni tako i zatvoreni požari koji izazivaju eksploziju metana (CH₄) koji su veoma opasni i štetni po zdravlje ljudi. Preduzeće Alba, osim gore navedenih aktivnosti bavi se još i organiziranim otkupom papira i plastičnih folija kao i preuzimanjem metalnih sirovina. Za ove sekundarne sirovine uglavnom postoje kupci kao što su Natron Hayat za papir, neke manje firme u BiH za plastične folije i Arcelor Mittal Steel Zenica za željezo.



Slika 2. Do sada smo ovako "prikupljali"

1.2. Zakonska regulativa upravljanja otpadom u BiH

U Bosni i Hercegovini 2003 god. donešen je paket okolinskih zakona među kojima je i Zakon o upravljanju otpadom.

Prema članu 2. cilj ovog zakona je podsticanje i osiguranje najvažnijih uslova radi sprječavanja nastajanja otpada, prerade otpada za ponovnu upotrebu i reciklažu, izdvajanje sirovog materijala i njihovo korištenje za proizvodnju energije i sigurno odlaganje otpada.

Radi postizanja cilja i pravovremenog sprječavanja zagađivanja i smanjenja posljedica po zdravlje ljudi i okoliš, upravljanje otpadom vršit će se na način da osigura:

minimalno nastajanje otpada, a posebno svođenje opasnih karakteristika takvog otpada na minimum; smanjenje nastalog otpada po količini, posebno uzimajući u obzir tokove otpada; tretiranje otpada na način kojim se osigurava povrat sirovinskog materijala iz njega, spaljivanje ili odlaganje na deponije na okolinski prihvatljiv način onih vrsta otpada koje ne podliježu povratu komponenti, ponovnoj upotrebi ili proizvodnji energije.[2]

Otpad predstavlja jedan od prioritarnih problema zaštite okoline u BiH. Problemi pri upravljanju otpadom potiču, između ostalog, iz dosadašnjeg društvenog odnosa prema otpadu i načina upravljanja, pomankanja upravljačke i strukovne usklađenosti i organiziranost, pomankanja pravnih propisa i ekonomskih mjera. Problem migracije stanovništva usljed ratnih razaranja dodatno je uticao na pogoršanje stanja.

Upravljanje otpadom vršit će se na način da se preduzmu sve neophodne mjere koje osiguravaju tretman i odlaganje otpada bez ugrožavanja zdravlja ljudi i bez stvaranja štete ili prouzrokovanja značajnog rizika po prirodu.

2. CILJEVI

Prijedlog načina postupanja sa komunalnim otpadom na urbanom području općine Zenica odnosi se na selektivno prikupljanje komunalnog otpada (papir i karton, metali i PET ambalaža) postavljanjem kontejnera za selektivno prikupljanje komunalnog otpada tzv. zelenih otoka čime se uspostavlja sistem ekonomski održivog upravljanja otpadom. Prikupljanje ovih korisnih komponenata vrši se zato što je to ekonomski opravdano, postoji tržište za papir i karton, metal, PET ambalažu.

Da bi zbrinjavanje ukupnih količina komunalnog otpada za lokalnu zajednicu bilo uspješno, neophodno je podizanje nivoa ekološke svijesti građana u uspostavljanju održivog sistema selektivnog sakupljanja komunalnog otpada, što predstavlja preduslov za povećanje materijalne i energetske upotrebe otpada kao jednog značajnog segmenta održivog društvenog razvoja lokalne zajednice.

Potrebno je promovisanje ideje o potrebi za selektivnim odlaganjem i sakupljanjem komunalnog otpada među učenicima, prosvjetnim radnicima i građanima.

Neophodno je unapređenje odnosa građana prema životnoj sredini, posebno prema otpadu koji generišu, te uvođenje odgoja i obrazovanja za okoliš u sve segmente odgojno – obrazovnog sistema kroz školske planove i programe, predavanja i praktične prikaze za građane.

3. MJERE ZA SELEKTIVNO PRIKUPLJANJE KORISNIH KOMPONENTI

Mjere za postizanje održivog načina postupanja sa korisnim otpadom:

- *Edukacija i obrazovanja građana*
- *Postavljanje zelenih otoka*
- *Izgradnja reciklažnog dvorišta*

3.1. Edukacija građana

Učinkovita promocija i edukacija ključni su faktori za uspješnost programa odvojenog sakupljanja otpada.

Potrebno je vršiti stalnu edukaciju stanovništva, koji kao krajnji korisnici imaju presudnu ulogu u uspostavljanju efikasnog i racionalnog sistema povrata ambalažnog otpada.

Svjedoci smo posljedica nemarnog i neodgovornog odnosa prema otpadu jer se velike količine korisnog, iskoristivog otpada odlaze na deponije umjesto na dalju preradu.

Želimo promijeniti razmišljanja ljudi koji misle da je pitanje otpada problem koji će riješiti neko drugi, a na njima je da ga se samo riješe iz svog dvorišta, i kod svakog pojedinca razviti svijest da je nezamjenjiv faktor u spašavanju planete Zemlje.

To se može postići primjenom sljedećih mjera:

Redovna komunikacija sa stanovništvom, brošure, edukativni programi, promocija i razvoj svijesti kod školske populacije, prezentacije na temu, odnosi sa javnošću, TV emisije, reklamni spotovi, akcije s djecom, postavljanje zelenih otoka.

3.2. Postavljanje zelenih otoka

Zeleni otok je uređeni prostor na javnoj površini na kojoj je smještena skupina kontejnera za odvojeno zbrinjavanje sekundarnih sirovina (papir i karton, PET ambalaža, Fe-metal i Ne-metal).



Slika 3. Izgled postojećeg zelenog otoka ispred Osnovne škole Musa Ćazim Ćatić

Da bi građanima omogućili da vrijedne sirovine sakupljaju odvojeno od kućnog otpada, pored već postavljena tri zelena otoka u sklopu ovog projekta planirano je postavljanje sedam zelenih otoka u općini Zenica za izdvojeno sakupljanje PET ambalaže, papira i kartona i metalnog materijala. Izdvojenim sakupljanjem i odlaganjem otpada na zelene otoke omogućava se iskorištavanje tih vrijednih sirovina, smanjenje količine otpada koji završava svoj ciklus na odlagalištima, čuvaju se prirodni resursi te se pomaže u rješavanju problema zaštite okoliša.

Tabela 2. Lokacije postavljanja zelenih otoka

R. br.	Lokacija	Adresa
--------	----------	--------

1.	O.Š. Meša Selimović	Talića brdo 14
2.	O.Š. Skender Kulenović	Radakovo bb
3.	Pedagoški fakultet	Ul.dr.Adolfa Goldbergera 10
4.	KŠC Sveti Pavao	Ul.Aska Borića 16
5.	Srednja ekonomska škola	Ul.Mejdandžik 2
6.	Srednja medicinska škola	Ul.Crkvice bb
7.	Caffe Pizzeria CACADU	Ul.Prve Zeničke brigade 1A

Pri planiranju lokacija za zelene otoke vodilo se računa o tome da oni budu postavljeni u blizini obrazovnih ustanova i područjima sa većim brojem stanovnika.

3.3. Izgradnja reciklažnog dvorišta

Koncept reciklažnog dvorišta zasniva se na tome, da se za određenu naseljenu oblast organizuje pripremljeno i fino uređeno mjesto sa kompletnom infrastrukturom, odnosno sa kvalitetnim pristupnim putevima, potrebnim brojem kontejnera i kanti za prijem razdvojeno skupljenih komponenti otpada iz komunalnog ili industrijskih otpada.

Na reciklažna dvorišta u zavisnosti od organizacije prijema komponenti otpada građani mogu donositi sortirane :

- Korisne komponente iz otpada : papir i staklo, stakleni ambalažni otpad, prozorsko staklo (bez boja i nečistoća), metalni ambalažni otpad (limenke i Al – doze), PET ambalažni otpad, PE folije, građevinski šut, zeleni biootpad, autogume, krupni otpad (aparati bijele tehnike iz domaćinstava, namještaj), tekstil
- Problematici otpad iz domaćinstava: baterije, lijekovi, motorna ulja, boje i tekućine

Osnovno pravilo je da komponente koje se predaju na reciklažno dvorište neće završiti na deponiji otpada i da neće zagaditi okoliš.

Reciklažna dvorišta služe kao međudeponije za skupljanje problematičnih otpada, sa kojih se svi otpadi dalje upućuju u postrojenja za obradu i dalje na konačno zbrinjavanje.



Slika 4. Reciklažno dvorište



Papir odložite u **svijetlo plave** kontejnere RAL 5015

DA – u ove kontejnere će se odlagati novine, časopisi, prospekti, katalozi, knjige, uredski papir, bilježnice (sveske), kutije, karton (bez ikakvih dodatnih tvari), vrećice od papira i sl.

NE – u ove kontejnere se NEĆE odlagati vezane tvari (npr. tetra – pak od mlijeka ili napitaka), ambalaža od lijekova, ugljeni ili indigo papir za kopiranje, prljavi ili zauljeni papir, masni papir, omoti od sapuna, plastika ili plastikom obložena kartonska ambalaža i sl.

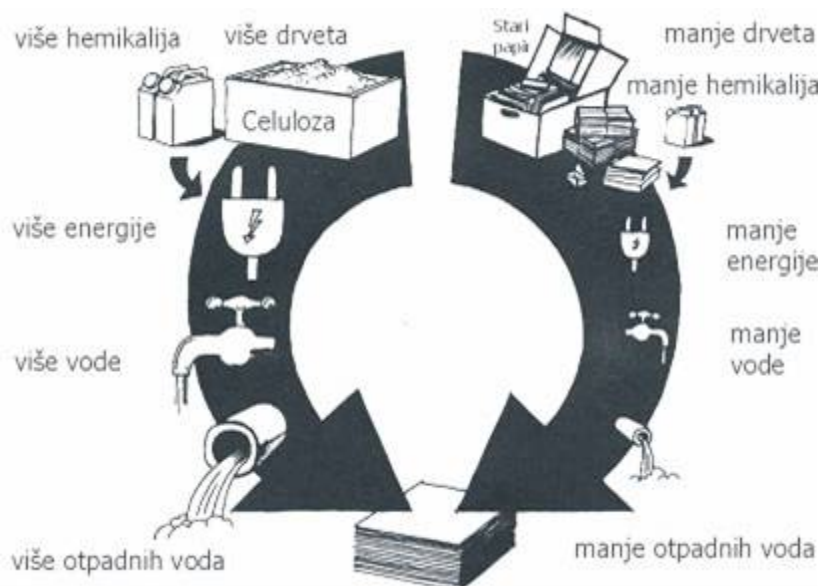
Papir je inače čista i lako dostupna sirovina, koje ima oko 30% u našem otpadu. Postojeća tvornica papira „Natron“ u Maglaju, upućuje na odvojeno sakupljanje ove sirovine.[3]

Za proizvodnju 1 tone papira srednje kvalitete treba posjeći **2 stabla** i potrošiti 240 000 l vode, 4 700 kWh električne energije.

Za proizvodnju iste količine papira od starog papira potroši se **0 stabala**, 180 l vode i 2750 kWh električne energije.



Na sljedećoj slici je prikazana šema dobijanja papira iz primarnih sirovina (prikaz s lijeve strane) i prerada starog papira sa desne strane iz čega možemo zaključiti da reciklažom starog papira imamo uštedu energije, drveta, manje hemikalija, manje otpadnih voda.



Slika 5. Prikaz proizvodnje recikliranog papira

Reciklirani papir se proizvodi od 80-100% starog papira i nove celuloze uz dodatak hemijskih pomoćnih sirovina. Karton se u prosjeku pravi 90% od starog papira. [3]

PET ambalažu odložite u **žute** kontejnere RAL 1021

DA - u ove kontejnere će se odlagati PET boce od napitaka (coca-cola, fanta, sprite, mineralna voda i sl.), PET boce od ulja i deterdženata, plastične čašice za piće ili od jogurta.

NE - u ove kontejnere se NEĆE odlagati plastična ambalaža motornih ulja, pesticida, otrova, miješana plastika s drugim materijalima ili nečistoćama i sl.

Kako se plastika proizvodi od prirodnih resursa, nafte i zemnog gasa, mora se paziti i na ove zalihe.

Pri spaljivanju 4 plastične kesice potroši se onoliko kiseonika koliko je potrebno čovjeku za jedan dan, što govori o opasnosti korištenja i spaljivanja plastike.

Vrijeme razgradnje plastične ambalaže:

- Plastične boce, 100 – 10 000 godina
- Plastične vrećice 100 – 10 000 godina
- Plastični upaljači 100 godina

Metal odložiti u sive kontejnere RAL 7001

DA – u ove kontejnere će se odlagati limenke od pića, ostali metalni predmeti kao što su ispražnjene konzerve, alat, žica, metalna cjevovodna armatura, kraće cijevi, metalni zatvarači i čepovi od staklenki i boca.

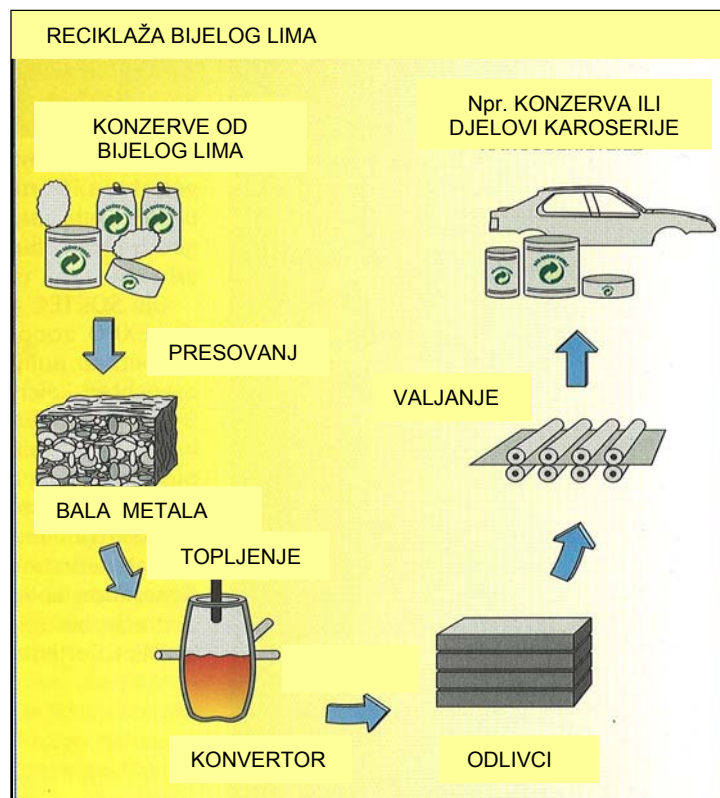
NE – u ove kontejnere se NEĆE odlagati doze ili sprej – doze od boja i lakova (to je opasan otpad).

Metal se proizvodi od prirodnih sirovina, ruda, koje čine znatan dio državnog bogatstva. Radi se o neobnovljivim izvorima energije, čije se zalihe nerazumnim trošenjem iscrpljuju. Osim kontrole trošenja, potrebno ga je reciklirati. Na taj način će se sačuvati resursi, smanjiti potrošnja struje, hemikalija i vode pri ponovnoj proizvodnji, smanjiti količine otpada i sačuvati okoliš.

Kroz iskorištenje doza od bijelog lima dobija se visokokorisni željezni otpad i po jednoj toni bijelog lima dobije se 4 kg kalaja. Smanjenje potrošnje energije i smanjenje opterećenja zraka kod procesa ponovnog korištenja uštedi se 60% energije i zagađenje zraka se smanji za 30%.

Razlozi za odvojeno sakupljanje korisnih komponenti:

- Smanjenje količine i težine otpada na deponije
- Ušteda prirodnih resursa
- Reciklaža korisnih komponenti
- Ušteda energije



Slika 6. Reciklaža bijelog lima

4. ZAKLJUČAK - OČEKIVANI REZULTATI

Implementacijom ovog projekta se postiže zaštita čovjekove okoline, te ekološki zadrživa i ekonomski bolja budućnost.

Selektivnim sakupljanjem sekundarnih energetske sirovine postiže se „štednja“ primarnih sirovina, smanjenje ukupne količine otpada koja ide na deponiju, smanjenje štetnih emisija iz deponija otpada.

U prosjeku se na zelenim otocima mjesečno može sakupiti:

- 800 kg papira,
- 80 kg PET ambalaže,
- 120 kg folija,
- 50 kg aluminijskih doza.

Ukupna mjesečna količina selektivno sakupljenog otpada na jednom zelenom otoku bi u prosjeku iznosila 1050 kg, što za deset planiranih zelenih otoka iznosi oko 10 t otpada mjesečno.

Uvođenjem selektivnog sakupljanja sekundarnih komponenti otpada dobili bi smo 120 t iskoristivog materijala godišnje.

5. LITERATURA

- [1] Statistički godišnjak 1991. godina
- [2] www.rec.org.ba/zakoni.htm
- [3] www.natron-hayat.ba

ISPITIVANJE DRVETA ZATEZANJEM U PRAVCU I UPRAVNO NA PRAVAC DRVNIH VLAKANA

Derviš Emruli
Univerzitet u Zenici
Metalurški institut „Kemal Kapetanović“

v.prof.dr.sc. Nadžija Haračić
Univerzitet u Zenici
Mašinski fakultet

Abstract

U radu se govori o praktičnom ispitivanju drveta kao inženjerskog materijala, zatezanjem u pravcu i upravno na pravac vlakana. Epruvete su posebno izrađeni uzorci od drveta u određenim tehničkim ili standardnim oblicima i dimenzijama. Dobijeni rezultati zatezne čvrstoće služe za kontrolu kvaliteta drveta i njegovih proizvoda koju nužno traži savremena proizvodnja i prerada drveta a u skladu sa standardima.

Ključne riječi: drvo, ispitivanje zatezanjem, zatezna čvrstoća, standardi

1 UVOD

Pouzdanost se ne zna kada se drvo počelo koristiti, ali je sasvim sigurno da će ono i danas u eri informatičkog i kibernetičkog buma naći svoje mjesto kako u industriji tako i u domaćinstvima. Da bi se ono koristilo veoma je važno znati svojstva drveta. Bez tih saznanja ne možemo se upustiti u projektovanje raznih konstrukcija (građevinskih: mostovi, vikend kuće, krovovi; sportskih: ripstoli, razboji, odrazne daske...) i proizvoda od drveta (prozori, vrata, podovi, stolovi, stolice...).

1.1 Značenje ispitivanja

Ispitivanjem drveta određuju se njegove osnovne karakteristike, kvalitet i osobine za određenu upotrebu. Široka je paleta korištenja drveta bilo kao osnovnih konstrukcijskih elemenata ili pak gotovih proizvoda. Njihovi različiti radni uslovi usljed mehaničkih, toplotnih, hemijskih i drugih djelovanja zahtijevaju drvo takvih karakteristika, koje će imati potrebnu izdržljivost, sigurnost i ekonomičnost. Do karakteristika drveta dolazi se njegovim ispitivanjem, a na osnovu dobivenih rezultata, obavlja se izbor i njegova upotreba za određene proizvode ili konstrukcije u stanogradnji, mostogradnji itd.

1.2 Zadatak ispitivanja

Pripremiti ispitni uzorak drveta, ispitati ga određenom metodom ispitivanja i odrediti njegove osnovne karakteristike. Ispitivanje se sastoji od nabavke standarda za željeno ispitivanje, u skladu sa tim standardom izraditi epruvetu ili više njih (zavisi od zahtjeva standarda) i njihovo ispitivanje do završetka procesa ispitivanja. Pri tom se mjere, očitavaju i izračunavaju traženi podaci, karakteristike i svojstva ispitivanog uzorka drveta.

1.3 Svojstva drveta

Svojstva su glavne karakteristike drveta na čijoj osnovi se provodi izbor, dimenzionisanje i upotreba drveta. Dobivaju se određenim postupcima ispitivanja, a prema važnosti u mašinstvu najvažnija su mehanička i to: pritisna čvrstoća, zatezna čvrstoća, savojna čvrstoća, smicajna čvrstoća, čvrstoća cijepanja, specifični rad lomom, otpornost prema probijanju, savitljivost, tvrdoća po Janki i otpornost prema izvlačenju eksera i vijaka.

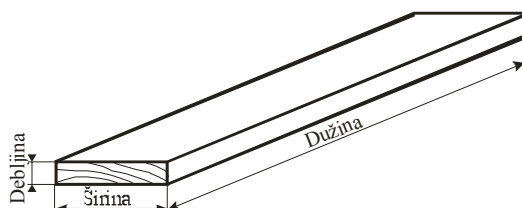
2 ISPITIVANJE DRVETA ZATEZANJEM

2.1 Epruvete za ispitivanje

Epruvete su posebno izrađeni uzorci ispitivanog materijala od drveta u određenim tehničkim ili standardnim oblicima i dimenzijama. Pomoću njih se određuje osnovno svojstvo drveta, zatezna čvrstoća. Prema izradi koriste se tehnološke i standardne ispitne epruvete.

2.1.1 Tehnološke epruvete

To su neobrađene epruvete od drveta, koje se posebno ne izrađuju mašinskom obradom, već se uzimaju i ispituju u stanju gotovog proizvoda, npr. daske za građevinske skele. Takve epruvete ispituju se u određenim slobodnim mjerama (širina, debljina i dužina). Izgled i dimenzije epruvete date su na slici 1.

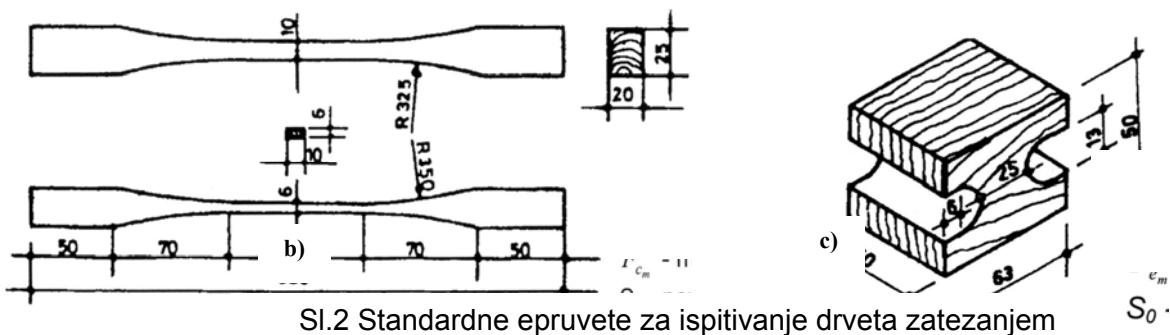
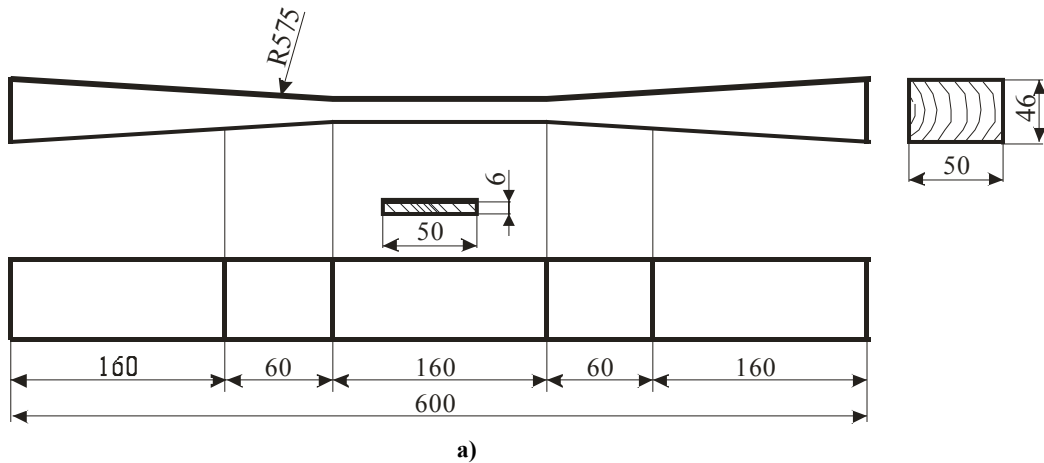


SI.1 Tehnološka epruveta za ispitivanje drveta zatezanjem

2.1.2 Standardne epruvete za ispitivanje

Epruvete, izrađene mašinskom obradom drveta na standardom propisane oblike i dimenzije u svojoj normalnoj ili proporcionalnoj izvedbi nazivamo standardnima. U slučaju kada se raspolaže sa dovoljno materijala tj. drveta za izradu epruveta tada se izrađuju i koriste proporcionalne duge epruvete. U slučaju manjka materijala tj., drveta za izradu epruveta tada se izrađuju i koriste proporcionalne kratke epruvete.

Epruvete su pravougaonog poprečnog presjeka, a izgled i dimenzije epruveta date su na slici 2.a) epruveta za ispitivanje zatezanjem u pravcu drvnih vlakana-velika epruveta, 2.b) epruveta za ispitivanje zatezanjem u pravcu drvnih vlakana-mala epruveta i 2.c) epruveta za ispitivanje zatezanjem upravno na pravac drvnih vlakana



Sl.2 Standardne epruvete za ispitivanje drveta zatezanjem

2.1.3 Dijelovi epruveta

Osnovna upotreba epruveta kao i njihovi rezultati ispitivanja strogo su uslovljeni određenom tačnošću izrade, standardnom vrstom, oblikom i vrstom drveta. Pravilno i uspješno provođenje ispitivanja zahtijeva dobro poznavanje dijelova, mjera i oznaka na epruveti.

Svaka ispitna epruveta sastoji se od mjernog, prelaznog i steznog dijela.

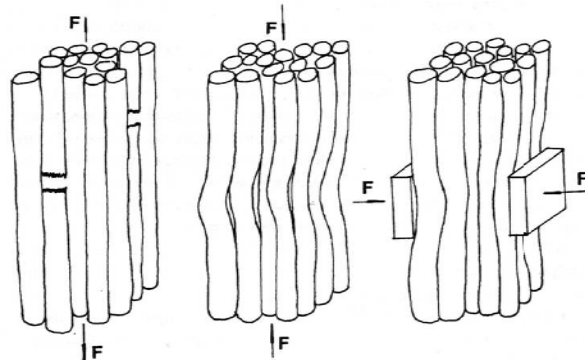
- **Mjerni dio epruvete (deformacioni dio)**-to je srednji, glatki i namjerno oslabljeni dio epruvete na kojem se izvode, prate i mjere njene deformacije u toku i nakon loma.
- **Prelazni dio epruvete (dekoncentracioni dio)**-to je konusni ili dio pod radijusom, izveden po standardom definisanim pravilima a služi za prenošenje i lociranje deformacija i loma na mjerni dio epruvete. Pravilna izrada tih prelaza omogućava uspješnu dekoncentraciju naprezanja.
- **Stezni dio epruvete (nedeformacioni dio)**-su krajevi epruvete i služe za njeno učvršćivanje u stezne čeljusti kidalice. U našem slučaju ovaj dio epruvete izrađen je pravougaonog oblika.

2.2 Ispitivanje zatezanjem

2.2.1 Zadatak i kraći opis postupka ispitivanja

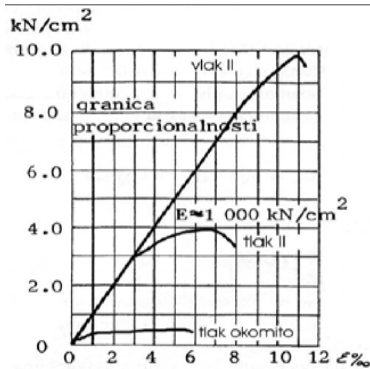
Osnovni zadatak ispitivanja je omogućiti uspješno određivanje zateznih karakteristika drveta pomoću određenih uređaja za zadavanje sile (kidalica) i standardom propisane procedure. Ispitivanje se izvodi u skladu sa standardom izrađenoj epruveti, njenim pravilnim postavljanjem i učvršćavanjem u stezne čeljusti uređaja i nanošenjem opterećenja na epruvetu. Usljed djelovanja i rasta sile, kada taj prirast sile prekorači svoj maksimum epruveta ulazi u područje trajnih deformacija i na kraju u području klonulosti kada dolazi do loma (kidanja) epruvete.

Na slici 3 možemo da vidimo idealizirani uzorak drveta izložen zateznim naprezanjima paralelno s vlaknima, pritiskim naprezanjima paralelno s vlaknima i pritiskim naprezanjima okomito na smjer vlakana.

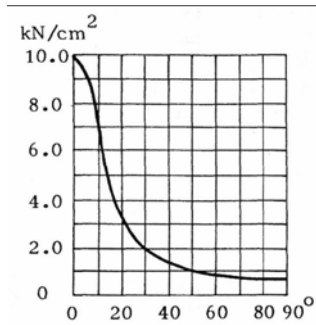


Slika 3 Idealizirani uzorak drveta izložen zateznim naprezanjima paralelno s vlaknima, pritiskim naprezanjima paralelno s vlaknima i pritiskim naprezanjima okomito na smjer vlakana

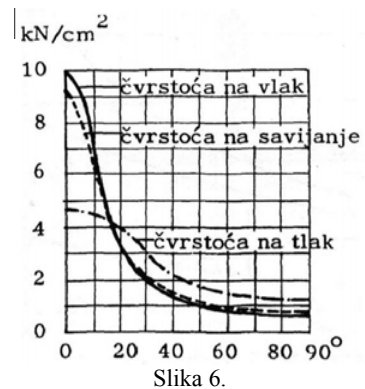
Na slici 4, slici 5 i slici 6 mogu da se pogledaju promjene čvrstoće u odnosu na smjer (paralelan/okomit) zatezanja.



Slika 4
σ - ε dijagram ispitivanja uzorka borovine na zatezanje paralelno i okomito na smjer vlakana



Slika 5.
Ovisnost zatezne čvrstoće od smjera djelovanja sile u odnosu na smjer vlakana.



Slika 6.
Ovisnost raznih čvrstoća drveta od smjera djelovanja sile u odnosu na smjer drvnih vlakana

2.3 OSNOVE ČVRSTOĆE

2.3.1 Pojam opterećenja

Opterećenje je ukupna vanjska sila koja djeluje na cijelu površinu presjeka epruvete ili uzorka koji je podvrgnut ispitivanju. Označava se slovnim simbolom (F), a izražava se u Njutnima (N).

Prema načinu djelovanja sile, opterećenje može biti statičko i dinamičko.

- Statičko opterećenje je vrsta opterećenja kod kojeg sila djeluje mirno ili se sporo i kontinuirano u jedinici vremena mijenja (nanosi) od neke najmanje do neke najveće vrijednosti.
- Dinamičko opterećenje je vrsta opterećenja kod kojeg sila djeluje izmjenično i dovodi do bržeg zamora materijala. To su nepovoljna opterećenja za epruvetu i materijal i za svako takvo ispitivanje potrebno je odrediti njegovu vrstu, smjer i veličinu.

2.3.2 Pojam naprezanja i čvrstoće

- Naprezanje materijala je unutrašnja sila po jedinici presjeka kojom se materijal suprostavlja promjeni svog oblika, a izračunava se po formuli:

$$R = \frac{F}{S}; \text{ gdje je:}$$

F- unutrašnja sila naprezanja (N)

S- presjek materijala koji izlažemo naprezanju (mm^2)

- Čvrstoća materijala je najveće naprezanje koje materijal može podnijeti prije loma, a izračunava se po formuli:

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}; \text{ gdje je:}$$

F_m - maksimalna sila (N) koju materijal može podnijeti prije loma

S_0 - početna površina poprečnog presjeka (mm^2)

Ove osnovne formule naprezanja i čvrstoće materijala koriste se gotovo kod svih vrsta materijala zatezanjem pa tako i kod ispitivanja drveta.

2.4 Ispitivanje zatezne čvrstoće

Ovim ispitivanjem u mašinstvu se određuje jedno od najvažnijih svojstava materijala drveta kao mašinskog materijala, a to je čvrstoća drveta. Ona se određuje postupkom mehaničkog razaranja određenog uzorka (epruvete), pomoću ispitnih uređaja koji se uobičajeno nazivaju kidalice i najčešće u laboratorijskim uslovima. Zavisno od načina djelovanja sile zatezanja kao i načinu kidanja epruvete imamo zatezanje u pravcu drvnih vlakana i zatezanje upravno na pravac drvnih vlakana. (SI.4)

2.4.1 Ispitivanje zatezne čvrstoće u pravcu drvnih vlakana

Zatezna čvrstoća je izračunato naprezanje koje proizvodi maksimalna zatezna sila, u pravcu drvnih vlakana prije nastajanja loma po jedinici površine početnog presjeka epruvete, a računa se po formuli:

$$\sigma_{mII} = \frac{F_m}{S_0} \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]; \text{ gdje je:}$$

F_m - maksimalna zatezna sila, (N)

S_0 - početna površina poprečnog presjeka epruvete, (mm^2)

2.4.2 Ispitivanje zatezne čvrstoće upravno na pravac drvnih vlakana

Zatezna čvrstoća je izračunato naprezanje koje proizvodi maksimalna zatezna sila, upravna na pravac drvnih vlakana prije nastajanja loma po jedinici površine početnog presjeka epruvete, a računa se po formuli:

$$\sigma_{m\perp} = \frac{F_m}{S_0} \left[\frac{N}{mm^2} \right]; \text{ gdje je:}$$

F_m - maksimalna zatezna sila, (N)

S_0 - početna površina poprečnog presjeka epruvete, (mm^2)

2.4.3 Izračunavanje modula elastičnosti

Modul elastičnosti računa se po formuli:

$$E = \frac{F \times l_e}{S_0 \times \Delta l_e} \left[\frac{N}{mm^2} \right]; \text{ gdje je :}$$

F - sila pri kojoj je mjereno izduženje, N

S_0 - početna površina poprečnog presjeka epruvete, (mm^2)

3 IZVJEŠTAJ O ISPITIVANJU

U izvještaj o ispitivanju treba navesti:

- vrstu drveta,
- maksimalnu, minimalnu i srednju vrijednost širine goda (po zahtjevu učešće zone kasnog drveta),
- vlažnost epruvete prema JUS D.A1.043,
- izgled loma epruvete poslije ispitivanja,
- maksimalnu, minimalnu i srednju vrijednost čvrstoće,
- modul elastičnosti (po zahtjevu)

Zatezna čvrstoća izražava se sa tačnošću od 1 [N/mm^2] a modul elastičnosti od 1000 [N/mm^2]

4 ZAKLJUČCI

U ovom radu govori se o praktičnom ispitivanju drveta kao inženjerskog materijala, zatezanjem da bi se mogle izvršiti precizne ocjene njegove vrijednosti i osobina, te da bi se mogla provoditi kontrola kvaliteta drveta i njegovih proizvoda koju nužno traži savremena proizvodnja i industrijska prerada drveta, a u skladu sa standardima:

- JUS D.A1.048 (Ispitivanje drveta-zatezna čvrstoća)
- JUS D.A1.052 (Ispitivanje drveta- zatezna čvrstoća upravno na drvena vlakna)

Opisana su detaljno ispitivanja zatezanjem u pravcu i okomito na pravac drvnih vlakana i date su skice epruveta na kojima se izvode ispitivanja.

U mašinstvu je ispitivanje drveta vrlo značajno zbog potreba dobrog poznavanja, pravilnog izbora, upotrebe i maksimalnog iskorištenja drvnih resursa kojih je sve manje u svijetu i BiH.

U radu je dat Prilog A, koji je informativnog karaktera a u njemu se nalazi kraći spisak JUS standarda jer za sada nema usvojenih BAS EN standarda za ispitivanje svojstava drveta što je propust koji treba hitno nadoknaditi.

Prilog A (informativan) spisak JUS standarda koji se koriste za određivanje svojstava drveta.

R. br.	Naziv standarda	Oznaka standarda	Godina izdanja
1.	Ispitivanje drveta Opšti dio	JUS D.A1.020	1957
2.	Ispitivanje drveta Terminologija i oznake	JUS D.A1.021	1957
3.	Ispitivanje drveta Uzimanje uzoraka	JUS D.A1.040	1957
4.	Ispitivanje drveta Greške drveta-Mjerenje	JUS D.A1.041	1957
5.	Ispitivanje drveta Karakteristične osobine-Mjerenje	JUS D.A1.042	1957
6.	Ispitivanje drveta Vlažnost drveta	JUS D.A1.043	1957
7.	Ispitivanje drveta Specifična težina	JUS D.A1.044	1957
8.	Ispitivanje drveta Zatezna čvrstoća u pravcu vlakana	JUS D.A1.048	1957
9.	Ispitivanje drveta Utvrdjivanje veličine utezanja	JUS D.A1.049	1958
10.	Ispitivanje drveta Utvrdjivanje veličine bubrenja	JUS D.A1.050	1958
11.	Ispitivanje drveta Pritisna čvrstoća upravno na drvena vlakna	JUS D.A1.051	1958
12.	Ispitivanje drveta Tvrdoća po Janki	JUS D.A1.054	XII-1964
13.	Ispitivanje drveta Čvrstoća cjepanja	JUS D.A1.055	II-1965

LITERATURA

- [1] Karahasanović A.: Nauka o drvetu, Svjetlost-Sarajevo 1988.
- [2] Lj. Živaljević, T. Karačić: Građevinski materijali, Svjetlost-Sarajevo, 1982.
- [3] Tehnički standardi Evropske Unije u drвноj industriji: SeminarSKI materijal Predavači: Sead Kelalić, Štefo Šorn, Milan Šljivić; 11. maj 2005.
- [4] Tehnički vodič za izvoznike proizvoda od drveta; TIM KNOW HOW; SARAJEVO, 2006
- [5] JUS standardi od D.A1.020/1957 do D.A1.055/II-1965.
- [6] N. Haračić: Materijali u proizvodnji-predavanja 2007/2008

“PRIMJENA SAVREMENOG CIM I JIT KONCEPTA U PROIZVODNJI NAMJEŠTAJA”

“APPLICATION OF ADVANCED CIM & JIT CONCEPT IN FURNITURE INDUSTRY”

*Edin Garić¹ dipl.inž.maš, Adnan Lihic² dipl.inž.maš, mr.sc. Ismar Alagic³,
Prof.dr. Darko Petković⁴, Prof. dr. Harun Yazgan⁵*

*¹ BME doo, Groenewegwn Fabricage van Wegtransportmiddelen BV, Tešanj, B&H,
² MANN+HUMMEL (BA) J.S.C., Tešanj, B&H, ³ REZ-RDA Central BiH/Univerzitet u
Zenici, Mašinski fakultet, B&H ⁴ Univerzitet u Zenici, Mašinski fakultet, B&H ⁵ Sakarya
Üniversitesi, Turkey*

SAŽETAK

U ovom radu su obrađeni savremeni CIM i logistički koncepti, teoretske osnove, načini praktične primjene i rezultati koji bi se postigli njihovim korištenjem. Cilj rada je bio postavljanje projektantskih podloga za uspješnu primjenu savremenih CIM i logističkih koncepta u novoj fabrici za proizvodnju namještaja u preduzeću Economic d.o.o Vitez.

U prvom dijelu ovog rada su detaljno obrađene i prikazane teoretske osnove savremenih CIM i logističkih koncepta. Zatim su iznešeni rezultati laboratorijskih istraživanja u CIM laboratoriji na Univerzitetu Sakarya u Turskoj. Također su dati rezultati primjene savremenih logističkih koncepta u industrijskim uslovima. Izvršena je analiza trenutnog stanja u preduzeću Economic i date upute za korištenje savremenih logističkih koncepta u ovom preduzeću.

Zaključak koji je dobijen na osnovu svih gore navedenih faktora je taj da će, iako uvođenje i korištenje savremenih CIM logističkih koncepta iziskuje velika sredstva, u skoroj budućnosti biti neophodno primjenjivati ove koncepte da bi se osiguralo uspješno poslovanje preduzeća Economic i povećala konkurentnost na sve zahtjevnijem tržištu.

Ključne riječi: CIM, JIT, koncept, namještaj.

ABSTRACT

This paper deals with contemporary CIM and logistic concepts, theoretical principles, ways of practical application and results which would be achieved by their use. The goal of this paper was to set some designing instructions for successful application of the contemporary CIM and logistic concept in the new furniture plant in the company - Economic Ltd., Vitez.

In the first part of this paper, some theoretical principles of contemporary logistic concepts were presented. In addition, the laboratory results obtained in the CIM Laboratory at the University of Sakarya, Turkey, were presented as well. Also, the paper includes the results of the application pertaining to contemporary logistic concepts in industrial conditions. The analysis of the current situation in the Economic was carried out and the instructions were given for use of contemporary logistic concepts.

Following the aforementioned facts, the conclusion was made that, although the introduction and use of contemporary CIM and logistic concepts requires huge funds, it will be necessary in the near future to apply these concepts in order to provide successful operation of the Economic company and to increase competitiveness at the demanding market.

Key words: CIM, JIT, concept, furniture.

1. UVOD

U ovom radu razmotrit će se uloga primjene CIM (Computer Integrated Manufacturing) i JIT (Just In Time) koncepta u proizvodnji namještaja kompanije Economic d.o.o. Vitez, a u svrhu unapređenja razvoja i proizvodnje namještaja novog proizvodnog kapaciteta Economica koji je u trenutnoj izgradnji.

Sadašnja situacija u proizvodnom sektoru je definisana velikim političkim i socijalnim promjenama u svijetu. Promjene u uslovima ne više dinamičke, nego turbulentne okoline, su nevjerovatne i teško predvidive samo nekoliko godina ranije. To izaziva ekstremno napetu ekonomsku situaciju dovodeći u najteži položaj proizvodni sektor. Proizvodne fabrike su dovedene u situaciju strahovitog porasta broja odluka koje se pred njih postavljaju a sa druge strane enormnog porasta konkurencije i zahtjeva za skraćanjem proizvodnih ciklusa. Biti fleksibilan nije trend ili način da se bude prvi u branši, nego način da se preživi, da se proizvodi brže i sa kvalitetom koji je zahtjevan za budućnost. [8] To je jedan od načina da se uvijek bude uz kupca-potrošača, odnosno, da se pomno prate i osluškiju otkucaji tržišta i dostignuća tehnološkog razvoja. Širenjem i liberalizacijom tržišta, kupci proizvođačima namještaja postavljaju sve oštrije zahtjeve za kraćim rokovima isporuke uz istovremeno smanjenje količine istovrsnih proizvoda, te drastično skraćanje njihovog životnog vijeka. Uz dosadašnje aktivnosti, primjerice primjena CNC strojeva u proizvodnji, informatiziranje knjigovodstvenog, komercijalnog i najčešće skladišnog poslovanje, te fragmentno informatiziranje tehničke pripreme, ograničenje daljnjeg razvoja postaje konstrukcijska razrada proizvoda. Čak, ako se koriste univerzalni CAD programi za razradu konstrukcije proizvoda i izradu nacрта, ostaje problem prenošenja tako nastalih podataka u ostali dio informatičkog sistema tehnološke i operativne tehničke pripreme. Stoga je jedino ispravno i racionalno rješenje primjena računarom integrisane proizvodnje CIM (Computer Integrated Manufacturing) i JIT (Just In Time) poslovanja, kojemu će u osnovi biti specijaliziran CAD/CAM/CAPP program za konstruiranje namještaja. [17]

Mnogi tehnički proizvodi sačinjeni su od različitih komponenata/dijelova, čiji broj varira od nekoliko jedinica do nekoliko stotina i više. Broj i kompleksnost funkcija pojedinih proizvoda je u stalnom usponu, što iziskuje duže vrijeme proizvodnje i više proizvodne troškove. Razvoj informacionih tehnologija i sa njima povezanih "alata" (CAD, CAM, CAQ, CAP,...) omogućio je povišenje produktivnosti, a također i fleksibilnosti suvremenih proizvodnih sistema. CIM (Computer Integrated Manufacturing) proizvodni sistem zasnovan je na mrežnoj kompjuterskoj kontroli proizvodnih mašina, robota i uređaja za kontrolu kvaliteta. CIM koncept organizacije i rada proizvodnog sistema ima niz prednosti [15]:

- kompjuterskom integracijom informacija omogućava se svim odjelima tvornice brz pristup potrebnim proizvodnim podacima što rezultira bržim odzivom na promjene;
- skraćanje vremena proizvodnje, povišenu osjetljivost prema zahtjevima kupaca i konkurencije, što se manifestuje povećanom pouzdanosti rada proizvodno-poslovnog sistema;
- kompjuterski podržanim planiranjem optimizira se sistem dobave, što također utiče na povišenje efikasnosti sistema;
- proizvodni podaci dostavljeni u realnom vremenu uz primjenu određenih tehnika (statistička kontrola procesa i optimizacija), povećavaju sveukupnu kvalitetu;
- kompjuterska analiza i predviđanje potreba za materijalom smanjuje vrijeme dopreme materijala, a integracija na relaciji dobavljač-kupac rezultira dodatnim pogodnostima;
- transfer instrukcija za rad mašina, npr. zamjenu alata iz CAM (Computer Aided Manufacturing) sistema u CNC (Computer Numerically Controlled) mašine kroz kompjutersku mrežu - downloading, reducira vrijeme pripreme mašina i povećava ukupni stepen iskorištenja sistema.

Na centralnom mjestu svih CAD/CAM/CAPP sistema nalazi se proizvod (obradak, pripremak, izradak). Savremene informacione tehnologije sa jedne strane a sa druge strane uslovi turbulentne okoline u kojem žive preduzeća, nameću potrebu detaljnog izučavanja proizvoda. Dakle, u sferi dostupnih informacionih tehnologija cilj nije samo konstruisati proizvod (CAD) nego ga interaktivno povezati sa ostalim životnim fazama (CAPP-CAM-CAQ...) zatvarajući tako integralno CIM - koncept preduzeća.

Inteligentne mašine i sistemi različitog nivoa složenosti su danas sve prisutniji za obavljanje različitih procesa. Inteligentne mašine i sisteme kao što su: roboti, tehnološke ćelije i slično čine stub CIM-sistema (Computer Integrated Manufacturing) koji predstavlja temelj svake koncepcije fabrike budućnosti. Industrijski roboti su automatizovani sistemi koji koriste računar kao inteligentni dio upravljanja [16]. To će se u ovom radu pokazati u okviru tačke dva pod nazivom Eksperimentalna istraživanja, a koja su obavljena na Univerzitetu Sakarya Turska u savremeno opremljenoj laboratoriji za CIM tehnologije. Dakle pošto je robot jedan od stubova CIM – sistema u okviru postojećeg CIM sistema na Univerzitetu Sakarya istraživanja su vršena kako bi se pokazalo da korištenjem programskog paketa MS Melfa Basica može razviti softverska podrška koja omogućuje komunikaciju između upravljačke jedinice robotskog sistema i personalnog kompjutera. Također, da se korištenjem MS Melfa Basica može kreirati editor datoteka, potreban pri pisanju i editovanju programskih i pozicijskih datoteka. Tako je napisan program u Melfa Basicu koji omogućava komunikaciju između robotskog sistema i personalnog kompjutera, koji je dat u ovom radu.

2. CILJ ISTRAŽIVANJA I METODOLOGIJA

Cilj ovog rada jeste postavljanje projektantskih podloga za primjenu naprednih CIM i logističkih pristupa u koncipiranju nove fabrike za proizvodnju namještaja. Naime, preduzeće Economic d.o.o iz Viteza se trenutno bavi serijskom proizvodnjom kupaoničkog namještaja kao i pojedinačnom proizvodnjom kuhinjskog namještaja i tuš kabina. Ipak osnovna djelatnost kojom se bavi preduzeće Economic d.o.o Vitez je franšizna prodaja. Tokom proteklih godina preduzeće Economic je steklo povjerenje kod kupaca kvalitetom svojih proizvoda, i iz dana u dan ovo preduzeće osvaja tržište kako Regije Centralna BiH (CBiH), BiH tako i tržište van Bosne i Hercegovine. Kako postojeći kapaciteti kojima raspolaže preduzeće Economic nemogu zadovoljiti potrebe gore navedenog tržišta, ovo preduzeće se odlučilo na izgradnju nove fabrike za proizvodnju namještaja. Postojeća proizvodna hala koja je do sada opskrbljivala tržište proizvodima kupaoničkog namještaja ima niz nedostataka. Ovi nedostaci onemogućavaju još efikasniji i kvalitetniji rad ovog preduzeća. Otklanjanjem ovih nedostataka preduzeće Economic d.o.o, a uz posjedovanje kvalitetnog kadra, iskustva i savremenih mašina, opreme i tehnologija bi se moglo razviti u još kvalitetnije i konkurentnije preduzeće, kako na BiH-a tako i na Europskom tržištu. Nedostaci koji su zapaženi izradom ovog rada boravkom u preduzeću Economic d.o.o, a za čije otklanjanje će biti date upute i preporuke u ovom radu, su sljedeći:

- ❖ nedovoljan prostor u kome je smješten proizvodni pogon,
- ❖ nekvalitetna organizacija skladištenja sirovog materijala i gotovog materijala,
- ❖ usporenost proizvodnog procesa zbog nemogućnosti korištenja sredstva unutrašnjeg transporta zbog pretrpanosti prostora,
- ❖ potreba za još jednom "Automatskom kantaricom" kako bi se izbjeglo "usko grlo" i
- ❖ potreba za uvođenjem CIM tehnologija.

Kako bi ovo preduzeće zadovoljilo zahtjeve tržišta mora proširiti svoje proizvodne kapacitete i uz postojeće mašine i kadar, uvesti i primjenjivati savremene tehnologije kako u procesu proizvodnje tako i u procesu skladištenja, unutrašnjeg transporta i dr. aktivnostima koje su vezane za logistiku i primjenu CIM tehnologija.

Iz svega gore navedenog može se izvesti zaključak da je osnovni zadatak ovog rada da stručno i argumentovano pokaže kako je preduzeću Economic d.o.o Vitez neophodno uvođenje i korištenje savremenih CIM i logističkih koncepta. Dakle, plan iznošenja argumenata i realizacije ovog rada sastoji se iz slijedećeg:

- ❖ Iznošenje teoretskih osnova savremenih CIM i logističkih koncepta,
- ❖ Prikaz rezultata i zaključaka eksperimentalnih istraživanja u CIM laboratoriji na Univerzitetu Sakarya u Turskoj,
- ❖ Iznošenje prijedloga i rezultata koji bi se postigli praktičnom primjenom savremenih CIM i logističkih koncepta u novoj fabrici za proizvodnju namještaja - ECONOMIC d.o.o.

U poglavlju koje će obrađivati teoretske osnove savremenih logističkih koncepta bit će ukratko objašnjena potreba, primjena, prednosti i nedostaci korištenja savremenih CIM i logističkih koncepta.

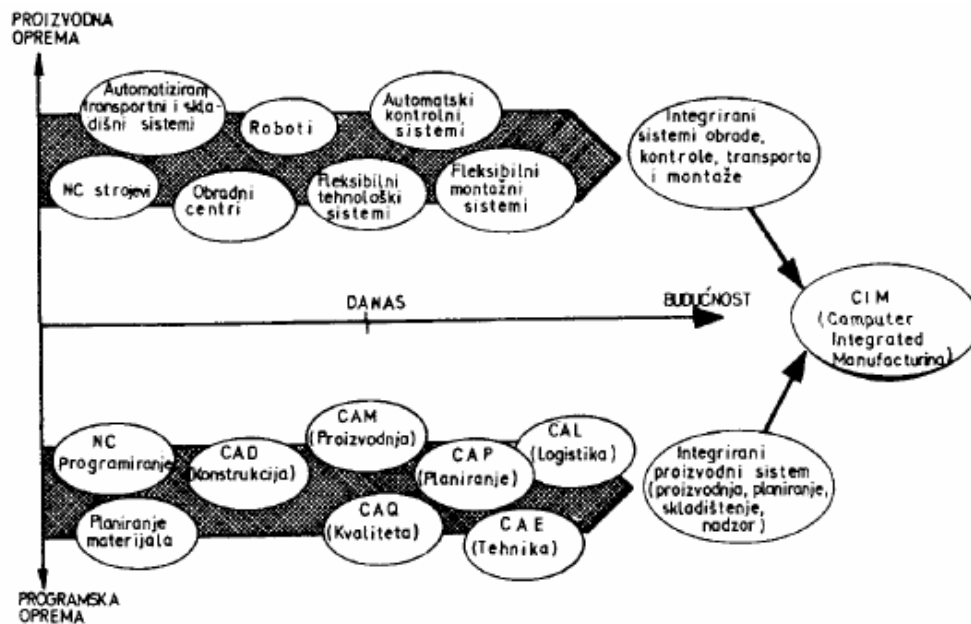
Tokom jednomjesečnog boravka u CIM laboratoriji na Univerzitetu Sakarya (Adapazar-Turska) urađena su eksperimentalna istraživanja simulacije CIM tehnologija, a rezultati i zaključci dobiveni tim istraživanjima bit će dati u poglavlju koje se odnosi na prikaz ovih rezultata i zaključaka.

3. TEORIJSKE OSNOVE CIM I JIT KONCEPTA

Primjena računara i računarske opreme šezdesetih godina u proizvodnim sistemima zasnivala se uglavnom na primjeni pri knjigovodstvenim i računovodstvenim obradama te masovnim obradama u području financija. U to vrijeme se pojam primjene računara nazivao automatska obrada podataka. Rjeđa primjena pri rješavanju tehničkih i tehnoloških problema svodila se na složene proračune posebnih namjena, uglavnom nedostupne prosječnom inženjerskom kadru. Međutim, u posljednjoj deceniji, zahvaljujući razvoju elektroničkog računala, otkriću novih memorijskih elemenata koji su višestruko povećali mogućnosti računarske opreme smanjili cijenu, dolazi do značajnije primjene računala u svim ljudskim djelatnostima.

Osobito značajnu primjenu u razvijenim zemljama ostvarila su računala povećanjem produktivnosti rada u proizvodnim sistemima. Automatiziranje inženjerskog rada pri projektiranju i konstruiranju, brza izrada proračuna s velikim mogućnostima kombinacija izbora, simulacija i izmjena varijabli, sve je to omogućilo i pojavu novih metoda koje su bile teško rješive ručnim računskim postupcima. Pojava numerički upravljanih (NC) strojeva u proizvodnji zahtijevala je, i postigla, kvalitetnije i sigurnije upravljanje strojevima unaprijed izrađenim programima na računalu itd. Na kraju, pokazala se potreba integracije tih podataka u zajedničkom sistemu koji se koristi istim podacima iz zajedničke baze podataka. Sve to omogućilo je kvalitetnije upravljanje materijalnim i informacijskim tokovima u proizvodnom sistemu.

Na Slici 1. prikazan je ostvareni i očekivani budući put informatizacije u proizvodnim sistemima. U gornjem dijelu prikazan je put razvoja proizvodne opreme zasnovane na razvoju i primjeni računala za upravljanje radom proizvodnih kapaciteta.



Slika 1. Informatizacija u proizvodnim sistemima.

Početak je bio s NC strojevima, zatim dolaze automatizirani transportni i skladišni sistemi, obradni centri, roboti, fleksibilni tehnološki sistemi, automatizirani sistemi kontrole, fleksibilni tehnološki sistemi montaže i u budućnosti, s već danas ostvarenim primjerima primjene, integrirani sistemi obrade, transporta, kontrole i montaže u zajedničkom integriranom sistemu s programskom podrškom sistemu računalom integrirane proizvodnje CIM (Computer Integrated Manufacturing). Razvoj programske opreme pratio je a ponekad i ubrzavao razvoj sklopovske opreme. Počeo je s programiranjem rada NC strojeva i programskom opremom za planiranje i naručivanje materijala. Nakon toga se razvija sistem računalom podržanog konstruiranja, CAD (Computer Aided Design) sistem. Slijedi razvoj računalom podržanog sistema za proizvodnju, CAM (Computer Aided Manufacturing), i sistema podržanog računalom za upravljanje kvalitetom, CAQ (Computer Aided Quality). Zatim se razvijaju sistemi za upravljanje proizvodnjom, CAP (Computer Aided Production) te sistemi za podršku inženjerskim poslovima, CAE (Computer Aided Engineering) i sistemi za inženjersku logistiku, CAL (Computer Aided Logistic). Sva ta programska podrška integrira se s proizvodnom opremom u sisteme integrirane proizvodnje – CIM sisteme. Osnovna prednost CAD/CAM sistema je integralni pristup radu na projektnim i tehnološkim poslovima podržanim računarskom opremom. Sve mogućnosti CAD/CAM sistema postojale su i postoje i mimo njega, ali su kroza njega, te aktivnosti uzajamno povezane zajedničkom bazom podataka i programskom podrškom koja omogućuje [10]:

- interaktivan kontinuirani rad na grafičkoj stanici i skraćanje projektiranja, konstruiranja i pripreme tehnologije,
- skraćanje i ubrzanje projektiranja, konstruiranja i pripreme tehnologije, i to ne samo ubrzavanjem crtanja već i značajnim ubrzanjem pripreme podataka za strukturnu analizu i programiranje NC strojeva. Pored toga osigurava korisne podatke za konstruktore (masa, momenti inercije).
- osiguranje arhiviranja ostvarenog znanja pri projektiranju proizvoda te njegovo korištenje u budućem radu,
- brže crtanje u konstrukcijskom birou,
- smanjenje pogrešaka jer se podaci uvijek uzimaju iz iste baze podataka,
- lakša organizacija praćenja proizvodnje na osnovi konstrukcijskih sastavnica,
- kraće vrijeme pripreme i izrade prototipova proizvoda,
- optimalizacija izbora materijala,
- viša tehnološka disciplina, standardizacija i zaštita podataka,

- brža izrada kataloga. U razvijenim zemljama razlozi za uvođenje CAD/CAM sistema jesu [15]:
- sve više podataka koji se moraju obraditi prilikom projektiranja,
- visoka cijena kvalitetnog projektantskog i konstruktorskog rada,
- veći postotak primjene NC strojeva,
- značenje skraćivanja razvoja proizvoda u cilju pravodobnog nastupa na tržištu,
- značajniji "image" firme i povjerenje kupaca,
- održavanje koraka s konkurencijom,
- priprema firme za primjenu fleksibilnih tehnoloških sistema i zauzimanje položaja za buduće "tvornice bez ljudi".

4. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

4.1. Istraživanja na Univerzitetu Sakarya

Eksperimentalna laboratorijska istraživanja su izvršena na Univerzitetu Sakarya, Sakarya-Adapazar, Turska, u savremeno opremljenom simulacionom laboratoriju za CIM tehnologije, koji je prikazan na Slici 2.

CIM laboratorij koji je prikazan na Slici 2. sastoji se od:

- jednog kružnog konvejera,
- dva robomanipulatora,
- robotiziranog skladišta paleta, pripremaka i gotovih proizvoda,
- dvije PC radne stanice,
- sistemskog servera,
- odgovarajućeg broja međuskladišta i pretovarnih stanica.



Slika 2. Laboratorij za CIM tehnologije Univerzitet Sakarya.

Istraživanjem se htjelo pokazati kako inteligentne mašine i sistemi različitog nivoa složenosti su danas sve prisutniji za obavljanje različitih procesa i u drvenoj industriji, tačnije u industriji proizvodnje namještaja. Inteligentne mašine i sistemi kao što su: roboti, tehnološke ćelije i slično čine stub CIM-sistema (Computer Integrated Manufacturing) koji predstavlja temelj svake koncepcije fabrike budućnosti. [12] Industrijski roboti su automatizovani sistemi koji koriste računar kao inteligentni dio upravljanja. Dakle pošto je robot jedan od stubova CIM – sistema u okviru postojećeg CIM sistema na Univerzitetu Sakarya istraživanja su vršena, kako bi se pokazalo, kako se korištenjem programskog paketa MS Melfa Basica

može razviti softverska podrška koja omogućuje komunikaciju između upravljačke jedinice robotskog sistema i personalnog kompjutera. Tako je urađen program u MS Melfa Basic-u pomoću kojeg se uspostavlja komunikacija između robotskog sistema, koji je prikazan na Slici 3. i personalnog računala.



Slika 3. Robotski sistem- Robot tip RV- 2AJ

Također, da se korištenjem MS Melfa Basica može kreirati editor datoteka, potreban pri pisanju i editovanju programskih i pozicijskih datoteka. Tako je napisan program u Melfa Basicu koji omogućava komunikaciju između robotskog sistema i personalnog kompjutera, koji je dat u prilogu ovog rada. Osim toga obavljena je posjeta firmi Čamsa koja se bavi proizvodnjom panel ploča, gdje se u praksi moglo vidjeti veoma dobar i uspješan primjer primjene CIM-a i JIT-a u proizvodnji, to jest čitav proces je automatizovan gdje važnu ulogu igraju i roboti-manipulatori.

4.2. Editovanje robotskog programa

Za vrlo brzo editovanje, pisanje novih programskih datoteka razvijen je editor, čije je aktiviranje moguće povezivanjem modula Editiranje datoteka. U retku naslova ispisuje se ime tekuće datoteke. Ukoliko se radi o novoj datoteci u retku naslova ispisuje se Novi dokument. U desnom gornjem uglu nalaze se tipke za minimiziranje, maksimiziranje prozora, kao i tipka za zatvaranje prozora. Ispod retka naslova nalazi se traka s alatima. Traka s alatima je skup alata postavljenih ikonama. Svaka ikona predstavlja uobičajenu naredbu ili zadatak. U traci sa alatima nalaze se tipke za kreiranje nove datoteke, otvaranje postojeće, snimanje datoteka, štampanje, te isjecanje, kopiranje i dodavanje odabranog dijela teksta iz Clipboarda, kao i za promjenu formata slova. Navedene funkcije moguće su korištenjem kontrole Common Dialog, koja uspostavlja vezu između MS Melfa Basica i rutina MS Windowsa. Da bi se kreirali okviri za dijalog uporabom kontrole Common Dialog u MS Windows SYSTEM direktoriju mora biti instalirana datoteka Commdlg.dll. Kontrola Common Dialog predstavljena je ikonom u formi čija je veličina nepromijenjena, a omogućava otvaranje slijedećih MS Windows okvira za dijalog:

- za otvaranje postojećih datoteka
- za snimanje datoteka
- za promjenu veličine, vrste i tipa slova i
- za štampanje dokumenata

Unos teksta vrši se u korisničkom prostoru koji je veći od okvira prozora otvorenog na ekranu, pa se u tom slučaju vidi samo njegov dio (virtualni prozor). Za kretanje po cijelom korisničkom prostoru služe redci za listanje. RichTextBox kontrola omogućava korisniku unos

i editovanje teksta dajući korisniku više mogućnosti pri formatiranju od konvencionalne TextBox. [12].

RichTextBox kontrola omogućava snimanje datoteke u RTF ili ASCII formatu i dozvoljava jednostavno insertiranje datoteke iz npr. MS Windows Explorera ili selektiranog dijela datoteke rađene u drugoj aplikaciji npr. MS Word. RichTextBox kontrola, također, podržava svojstva, događaje i metode korištene standardnom TextBox kontrolom, kao što su MaxLength, MultiLine, ScrollBars, SelLength, SelStart i SelText.

Aplikacije napravljene u TextBox kontroli mogu se lako adaptirati prema RichTextBox kontroli. Međutim, obrnuto ne vrijedi, jer RichTextBox kontrola nema ograničenje kapaciteta.

5. SNIMAK STANJA PRIMJENE CIM I JIT KONCEPTA U FIRMI ECONOMIC

Firma Economic d.o.o. Vitez u svom proizvodnom programu proizvodi slijedeće proizvode, nabrojati će mo samo neke reprezentante:

- a) Kupaonički ormarić; b) Kupaonička garnitura; c) Kupaonički ormar;
- d) Kuhinjski namještaj; e) Uredski namještaj.

Ova proizvodnja se izvodi uz podršku CAD-a i uz pripremu i proizvodnju s integriranim CAD/CAM/ bez upotrebe JIT-a. Od nabrojanih proizvoda izdvojiti ćemo jedan reprezentant proizvod i na osnovu tog reprezentanta prikazati-uspostaviti vezu mašinska oprema – tehnologija izrade reprezentanta, koja će biti prikazana u slijedećoj tabeli.

Firma Economic d.o.o. Vitez posjeduje veoma moderan mašinski park i ne samo moderan nego i veoma mlad gdje je prosjek starosti mašina ispod tri godine. Pojedine mašine imaju mogućnost upravljanja pomoću računara što je jedan od bitnih faktora CIM sistema. U Tabeli 1. bit će prikazan broj proizvodnih mašina koje posjeduje ova firma, njihova namjena, stepen složenosti mašine, proizvođač mašine, godina proizvodnje mašine, instalirani kapacitet, iskorišteni kapacitet, stepen iskorištenosti kapaciteta u procentima.

Tabela 1. Proizvod – reprezentant : Ormarić za garniture

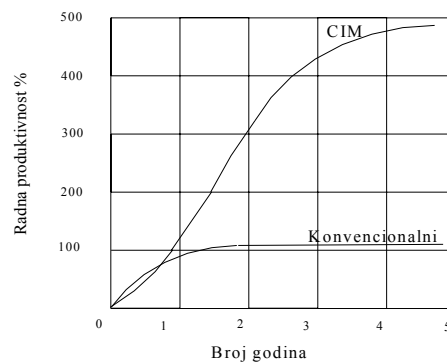
Red.br.o perac.	Naziv tehnološke operacije	Mašina ili uređaj	Planirano vrijeme (min.)	Stvarno Vrijeme (min.)
1	Sječenje	Sigma 65	6	5
2	Sječenje	Felder	/	/
3	Ravno kantanje	Olimpic	9	5
4	Krivolinijsko kantanje	Pratika	/	/
5	Bušenje	CNC Rover	10	5
6	Bušenje	Top-35	3	3
7	Bušenje	Ecopres	2	2
8	Glodanje	T -110	/	/
9	Glodanje kant trake	Pratika	/	/
Ukupno mašinsko vrijeme izrade			30	20
10	Montaža	Ručno	40	28
11	Čišćenje	Ručno	5	3
12	Kontrola	Ručno	5	3
13	Pakovanje	Ručno	5	13
14	Otprema	Ručno	5	3
Ukupno ručno vrijeme izrade			60	50
Ukupno vrijeme			90	70

6. REZULTATI PRIMJENE CIM I JIT KONCEPTA U FIRMI ECONOMIC

Kompjuterski bazirane tehnologije ili CIM koncept znatno mjenjaju tehnološki profil firme Economic. Uvođenjem CIM koncepta proizvodnja u firmi Economic se donekle automatizovala za razliku od prijašnjeg stanja, gdje su radnici morali prenositi dijelove i tako

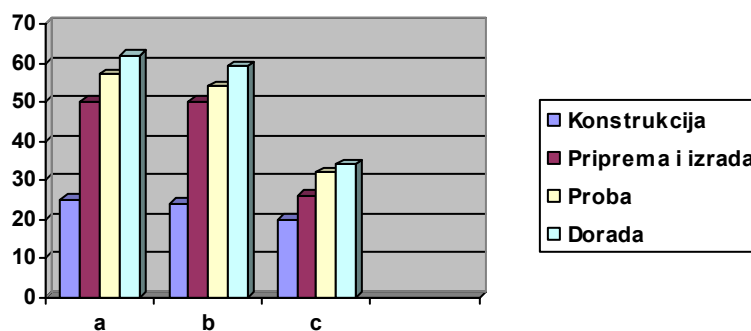
se gubilo na vremenu i morali su raditi u tri smjene. Sadašnje stanje je puno bolje jer su mašine povezane trakastim transporterom koji je opet povezan sa računarom. Prikaz sadašnjeg stanja to jest layout novog proizvodnog sistema sa strukturom mašina i njihovom povezanošću dat je u prilogu dva. Osnovni uslov je postignuti ekonomičnost novih tehnoloških rješenja u okviru poslovnog sistema, što se izražava kroz proizvodne troškove, odnosno cijenu proizvoda.

Primjenom CIM i JIT koncepta firma Economic postiže porast kvalitete proizvoda od 2 – 5 puta, produktivnost kapitalne opreme se poveća za dva puta kod manje složenih proizvoda, odnosno preko deset puta za tehnološki vrlo složene proizvode. Također, pouzdanost i nadzor procesa znatno je poboljšana, a sposobost i produktivnost inženjera u pripremi i analizi procesa i sistema poraste od 3- 30 puta ovisno o stepenu obučenosti, itd. Na Slici 4. prikazan je porast radne produktivnosti kroz primjenu CIM sistema u firmi Economic u odnosu na konvencionalane postupke u nekim drugim firmama. [14].



Slika 4. Porast radne produktivnosti kroz primjenu CIM -a

Na Slici 5. prikazano je trajanje ciklusa pripreme i proizvodnje reprezentanta, izraženo u danima, za klasičnu proizvodnju (bez CAD/CAM) (a), za proizvodnju uz podršku CAD-a (b) i za pripremu i proizvodnju reprezentanta s integriranim CAD/CAM/CAPP sistemom to jest CIM sistemom i JIT upravljanjem zaliha (c). Za kratki rok isporuke proizvoda, odlučujući faktor je uvođenje CIM-a, gdje je trajanje svih aktivnosti (konstrukcija, priprema, izrada, proba i dorada) znatno kraća, dok kod klasične pripreme i proizvodnje to je veoma dugo. Navedeno pokazuje da će CIM proizvodnja ostvariti daleko povoljniji rok isporuke, cijenu i kvalitetu proizvoda, nego klasična proizvodnja.



Slika 5. Trajanje ciklusa pripreme i izrade proizvoda-representanta, izraženo u danima za: a. Klasičnu proizvodnju, b. proizvodnju s CAD, c. proizvodnju s CIM

Uvođenjem JIT-a u proizvodnju firma Economic dobiva na poboljšanju kvaliteta proizvoda. Jer činjenica je da do sada ako uzmemo njihov stari način skladištenja proizvoda i nabavke firma Economic je gubila dosta sredstava-novčanih. Prebacivanjem na JIT poslovanje izbjegle su se nepotrebne narudžbe koje su na skladištu lažale mjesecima tako je firma samo gubila, to jest sredstva su joj bila zakovana to jest bila su na skladištu a mogla su se u nešto

drugo uložiti a uz to još sada kada je uveden PDV, povrat sredstava koja se daju državi. Zatim dobijaju na kvaliteti proizvoda, jer dosadašnja iskustva koja pokazuju da se je repromaterijal morao nekada po nekoliko puta skladištiti i tako je samo dolazilo do njegovog oštećenja, a to je sada izbjegnuto JIT konceptom.

7. ZAKLJUČAK

Na osnovu provedenih eksperimentalnih istraživanja u CIM laboratoriji na Univerzitetu Sakarya u Turskoj, zatim na osnovu pregledane literature (kataloga, knjiga, internet stranica itd.) vezane za savremene logističke koncepte i na osnovu sagledavanja trenutnog stanja u preduzeću Economic d.o.o Vitez, a što je prezentovano u ovom radu, mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- ◆ Globalizacija tržišta, novi zahtjevi kupaca, pojačana konkurencija, tehnološka dostignuća, zahtjevi za očuvanjem okoliša, postićaji su preduzećima da neprekidno analiziraju i usavršavaju svoju poziciju u logističkom lancu. Da bi se postigli željeni rezultati logistika mora predstavljati jedno od važnih sredstava za postizanje istog. Efikasan logistički sistem neophodan je preduslov bržeg i pouzdanijeg logističkog lanca sa optimalnim troškovima poslovanja. Dakle, da bi preduzeće moglo pravovremeno i kvalitetno da odgovori kupcu, da se odupre sve većoj i jačoj konkurenciji mora uvesti u praksu i koristiti savremene logističke koncepte.
- ◆ Jedan od najvažnijih faktora za povećanje konkurentne sposobnosti preduzeća jeste pravovremeno povezivanje tačnih geometrijskih podataka za opis proizvoda i tehnoloških podataka koji su neophodni za izradu proizvoda. To se postiže integracijom konstruisanja ili projektovanja proizvoda-CAD, projektovanja tehnološkog procesa-CAPP i upravljanja proizvodnjom-CAM. Da bi se postigao željeni cilj, gore navedena tri sistema se moraju uvezati u jedan - CIM sistem, a što je potvrđeno testiranjem u CIM laboratoriji na Univerzitetu Sakarya u Turskoj.
- ◆ Praktična primjena savremenih logističkih koncepta u preduzeću Economic d.o.o Vitez, a kroz koju bi bili zastupljeni i primjenjeni rezultati i zaključci eksperimentalnog laboratorijskog istraživanja u CIM laboratoriji na Univerzitetu Sakarya jeste korištenje nekog od kompjuterskih programa.
- ◆ Efekti koji bi se postigli u preduzeću Economic d.o.o Vitez, uvođenjem novih logističkih koncepta koji podrazumijevaju integraciju upravljanja zalihama, proizvodnjom i otpremnom robom, a na temelju svjetskih iskustava, bi bili sljedeći:
 - višestruko povećanje produktivnosti proizvodnog procesa kroz korištenje obradnih centara, manipulatora, robota itd.,
 - kvalitetnije upravljanje i skladištenje zaliha,
 - povećanje finansijske efektivnosti poslovanja kroz smanjenje ukupnih troškova,
 - bolje iskorištenje raspoloživog skladišnog i praznog prostora na temelju primjene savremenih logističkih koncepta i JIT koncepta,
 - povećanje kvaliteta proizvodnog procesa korištenjem savremenih obradnih centara i upravljanjem kvaliteta procesa korištenjem alata kvaliteta,
 - smanjenje broja radne snage a povećanje efikasnosti i efektivnosti procesa.

Dakle, iako je uvođenje i korištenje savremenih logističkih koncepta, zatim primjena CIM tehnologija u kompletnom proizvodnom procesu veoma skupa i iziskuje velika sredstva, primjena svega navedenog će u skoroj budućnosti u preduzeću Economic d.o.o Vitez biti neminovna. I što se prije pristupi uvođenju i korištenju ovih savremenih tehnologija, to će ovo preduzeće prije postati konkurentno na evropskom i svjetskom tržištu i moći će odgovarati sve većim i strožijim zahtjevima inostranih kupaca.

8. REFERENCES

- [1] Nanua Singh, Computer – Integrated Design and Manufacturing; John Wiley and Sons; Toronto, 1996.
- [2] Eversheim W., Weck M., Pfeifer T., Klocke F., Manufacturing Excellence in Global Markets, Chapman Hall, London, 1998.
- [3] Tornincasa S., Chirone E., Diegno Tecnico Insutriale 1, Il capitolo, Torino, 2000.
- [4] x x x, Strategija razvoja Regije centralna BiH, Finalni dokument, REZ- EURED, Zenica-Sarajevo, 2004.
- [5] D. Petković i dr., Projekat naučno-tehnološkog parka Zenica, Studija izvodljivosti, Centar za menadžment, kvalitet i razvoj Mašinskog fakulteta u Zenici, 2003.
- [6] D. Petković, Tehnološki parkovi – Više od mjesta za razvoj malih i srednjih preduzeća, knjiga u proceduri štampe.
- [7] M. Dostić, Menadžment malih i srednjih preduzeća, Ekonomski fakultet Univerziteta u Sarajevu, 2002.
- [8] D. Zelenović, B. Petrović i dr., Integralni razvoj proizvoda, Osnove, Novi Sad, 1997.
- [9] J. Duhovnik, J. Tavčar, Elektronsko poslovanje in tehnički informacijski sistemi, PDMS – Products Data Management Systems, LECAD, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 2000.
- [10] N. Majdandžić, Upravljanje proizvodnjom – Informacijski sistem planiranja, ISOT – Zagreb, 1998.
- [11] N. Majdandžić, Kompjuterizacija poduzeća, Sveučilište J.J.Strossmayera u Osijeku, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, 1994.
- [12] M. Čohodar, RIM 99, Automatizacija prenosa podataka sa kompjutera na upravljačku jedinicu robotskog sistema, Bihać, 1999
- [13] S. Olević i S. Lemeš; Osnovi Konstruiranja, Konstruiranje pomoću računara (CAD), Mašinski fakultet u Zenici, 1998.
- [14] G. Wiskot, Werkzeuge konstruieren mit CAD, Werkstatt und Betrieb, 1989.
- [15] A. Topčić, i dr., RIM 2005, Simulacija rada CIM proizvodnog sistema, Bihać, 2005.
- [16] I. Karabegović i dr., RIM 2003, Programiranje industrijskih robota u realnom i virtualnom okruženju, Bihać, 2003.
- [17] P. Planinc, RIM 2005, Specijalizirani CAD/CAM programi, jedan od preduvjeta opstanka u proizvodnji namještaja, Bihać, 2005.
- [18] Alagić I.: Analysis of the existing level of production technologies in use on the Wood Processing industry and specification of future needs, USAID CCA, REZ-RDA, Zenica, Bosnia and Herzegovina, 2005.
- [19] Alagić I: Analysis of the available working force in wood processing industry compared with the industry needs, USAID CCA, REZ-RDA, Zenica, Bosnia and Herzegovina, 2005.

KORPORATIVNO UPRAVLJANJE I NJEGOV UTICAJ NA ZAPOSŁJAVANJE

Midhat Subašić, student
Mirsad Halilović, student
Ekonomski fakultet Univerziteta u Tuzli

Abstract

Istraživački rad «Korporativno upravljanje i njegov uticaj na zapošljavanje» radili su studenti Ekonomskog fakulteta Univerziteta u Tuzli, smjer Menadžment i poduzetništvo. Rad je rađen u okviru predmeta Poslovno odlučivanje I a mentor studentima pri radu bio je profesor Bahrija Umihanić, docent na Ekonomskom fakultetu.

Istraživanje je provedeno u periodu novembar 2007. – januar 2008. godine anketiranjem ispitanika na njihovim radnim mjestima. Istraživanjem je obuhvaćeno 30 preduzeća, kako iz javnog sektora tako i iz privatnog sektora, od federalnog i kantonalnog značaja.

Anketni upitnik sastojao se od 60 zatvorenih pitanja (pitanja s već ponuđenim opcijama odgovora) koja su pokrivala problematiku istraživanja.

Korporativno upravljanje se odnosi na procese, običaje, politike, zakone i institucije koje utiču na način usmjeravanja i upravljanja korporacijom. Uređeno korporativno upravljanje omogućava rast i razvoj korporacije te donosi ekonomsku dobit cijelom društvu. Okvir za korporativno upravljanje, zakonski okvir i institucionlane aktivnosti u Bosni i Hercegovini su neodgovarajući.

Korporacija i korporativno upravljanje najviše doprinose zapošljavanju novih kadrova, ukoliko se korporacije što više razvijaju, odnosno otvaraju nove pogone, proširuju proizvodne linije, povećavaju asortiman proizvoda, vrše vertikalnu i horizontalnu diverzifikaciju itd. Sa novim postrojenjima, odnosno kapacitetima mora doći do povećanja i broja zaposlenih, što je neizbježna činjenica. Da bi do svega ovoga došlo neophodno je izuzetno kvalitetno razvijeno korporativno upravljanje koje svojom funkcijom uspijeva postići izrazito pozitivne rezultate. Efikasno upravljanje se može postići sa dobrim radom nadzornog odbora.

Nadzorni odbor je važan dio strukture korporativnog upravljanja; svojevrsna je veza između vlasnika dionica i vrhovnih menadžera. Nadzorni odbor preuzima tri vrste uloga: kontrolnu, stratešku i povezujuću. Efikasno obavljajući navedene funkcije nadzorni odbor dovodi do rasta i razvoja preduzeća, a samim time i do većeg broja radnih mjesta u korporaciji.

Članovi nadzornog odbora moraju biti lojalni prema preduzeću i svim njegovim dioničarima, a ne samo prema, npr. većinskom vlasniku dionica ili nekomu drugom stakeholderu. Oni trebaju biti pouzdani i moralni, imati komunikacijske vještine i biti osobe s integritetom i karizmom.

Neke studije su pokazale da su ličnost, znanje, nezavisnost i raspoloživost vremena najvažniji kriteriji prilikom izbora članova nadzornih odbora, posebno za kvaliteta obavljanja njihove temeljne funkcije: kontrole i praćenja rada uprave.

Prilikom anketiranja preko polovine ispitanika ocjenom "jako važno" je ocijenilo tri osobine članova nadzornih odbora: sposobnost uočavanja ključnih problema, razumijevanje finansijskih izvještaja i poznavanje djelatnosti i problema djelatnosti preduzeća. Te tri

osobine, zajedno s razumijevanjem poslovnih izvještaja i drugih analiza uprave, dobile su najveće prosječne ocjene.

1. KORPORATIVNO UPRAVLJANJE I NJEGOV UTICAJ NA ZAPOSŁJAVANJE

Korporativno upravljanje ima značajan uticaj na zapošljavanje u preduzećima. Posmatrajući kroz prizmu korporativnog upravljanja možemo uočiti dva različita načina njegovog uticaja na zapošljavanje, direktni (posredan), i indirektni (neposredan).

Posredan, odnosno direktni uticaj ovakvog upravljanja na zapošljavanje leži u funkciji upravljanja ljudskim resursima. Naime, ukoliko korporacija (preduzeće) ima ustanovljenu ovu funkciju na organizacijskoj razini, tada menadžeri ljudskih resursa direktno, odnosno posredno djeluju na zapošljavanje i fluktuaciju kadrova.

Neposredan tj. indirektan uticaj se može ustanoviti sa više različitih aspekata. Jedan od njih jeste sam razvoj i napredak korporacije. Naime, ukoliko korporacija bilježi pozitivne rezultate i ima tendenciju rasta i razvoja, tada će ona u skorije vrijeme zaposliti i više kadrova. Korporativno upravljanje dovodi do ovakve situacije, jer se dobrim korporativnim upravljanjem pospješuje rast i razvoj same korporacije.

Ponekad i struktura samih dioničara utiče na zapošljavanje. Ukoliko je struktura dioničara takva, da je njima u interesu samo njihova ustaljena dividenda i ne mare za veći rast, te nova ulaganja, tada korporacija stagnira sa novim zaposlenjima. Druga situacija jeste da dioničari i u slučaju negativnog poslovanja, žele svoje dividende, te u tome slučaju traže načine sa rezanjem troškova, a za opciju biraju otpuštanje radnika i blokadu eventualnih novih zaposlenja.

Kada sve sagledamo uočiti ćemo da korporacija i korporativno upravljanje najviše doprinose zapošljavanju novih kadrova, ukoliko se samo korporacije što više razvijaju, odnosno otvaraju nove pogone, proširuju proizvodne linije, povećavaju asortiman proizvoda, vrše vertikalnu i horizontalnu diverzifikaciju itd. Sa novim postrojenjima, odnosno kapacitetima mora doći do povećanja i broja zaposlenih, što je neizbježna činjenica. Da bi do svega ovoga došlo neophodno je izuzetno kvalitetno razvijeno korporativno upravljanje koje svojom funkcijom uspijeva postići izrazito pozitivne rezultate. Efikasno upravljanje se može postići sa dobrim radom nadzornog odbora. Tako da smo ovaj rad koncipirali i temeljimo na istraživanju korporativnog upravljanja, te ulozi nadzornih odbora u korporativnom upravljanju. Tako ćemo u nastavku iznijeti ciljeve i metode istraživanja, odnosno govoriti ćemo uopće o provedenom istraživanju.

1.1. CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Glavni cilj istraživanja koje smo proveli jeste analiza stvarne uloge nadzornog odbora u federalnom sistemu korporativnog upravljanja.

Cilj istraživanja bio je utvrditi kakva je pozicija nadzornih odbora u bosanskohercegovačkim korporacijama. Htjeli smo analizirati strukturu i dinamiku u nadzornim odborima, odnose nadzornog odbora s upravom te uticaj nadzornog odbora na oblikovanje i implementaciju poslovne strategije.

Misija rada postavljena je iz ekonomske perspektive, premda nismo mogli zaobići i neka pravna pitanja. Pošli smo od teze da je postojeći bosanskohercegovački pravni okvir za djelovanje nadzornog odbora vjerovatno zadovoljavajući.

Snažna pozicija nadzornog odbora pomaže u smanjenju agencijskih troškova te pronalasku optimalne razine kontrole i transfera rizika od vlasnika prema menadžmentu. Zbog specifične pozicije između skupštine dioničara i uprave, te potrebe uključivanja interesa i zahtjeva drugih stakeholdera, nadzorni odbor treba preuzeti trostruku ulogu u svom djelovanju:

- (1) kontrolnu, (2) stratešku i (3) povezujuću ulogu. Osnaživanje pozicije nadzornog odbora vodit će boljem korporativnom upravljanju i jačanju konkurentске sposobnosti preduzeća.

Prva zadaća koju smo postavili bilo je utvrđivanje temeljnih obilježja nadzornih odbora bosanskohercegovačkih korporacija, kao što su broj članova odbora, trajanje mandata članova, koga i na koji način zastupaju članovi, te imaju li vlasništvo dionica. Zanimao nas je karakter naknade za rad u nadzornom odboru.

Postavili smo teze kako je veličina nadzornog odbora povezana s temeljnim kapitalom, brojem zaposlenih i brojem dioničara preduzeća. Što su te varijable veće, broj članova nadzornog odbora je veći. Osim njih, pokušali smo dati potporu tezi da je veličina nadzornog odbora bosanskohercegovačkog preduzeća primjerena zahtjevima i ulogama koje se moraju preuzeti u sistemu korporativnog upravljanja.

Nadalje, htjeli smo utvrditi stvarnu raširenost višestrukog članstva u nadzornim odborima u bosanskohercegovačkim korporacijama. Postavili smo tezu kako u BiH nije raširena pojava višestrukog članstva u nadzornim odborima.

Osim toga, istražili smo organizaciju rada nadzornih odbora. Naša je teza da se u bosanskohercegovačkim korporacijama ne održava dovoljan broj sjednica nadzornog odbora (više od šest sastanaka na godinu). Sjednice su kratkotrajne, uglavnom formalnog karaktera, bez rasprava o strateškim pitanjima. Većina predsjednika nadzornih odbora ne preuzima snažnu ulogu lidera i medijatora interesa odbora u sistemu korporativnog upravljanja. Osim toga, došli smo do zaključka kako u bosanskohercegovačkim korporacijama nije raširena uspostava posebnih komisija, pa čak i ako se radi o najvažnijima, kao što su Komisija za provedbu interne revizije, Komisija za određivanje visine menadžerskih kompenzacija ili Komisija za izbor članova uprave društva.

Poželjna obilježja članova nadzornih odbora iduće je područje kojemu smo se posvetili u istraživanju. Članovi nadzornog odbora trebaju biti nezavisni, pouzdani i moralni, imati komunikacijske vještine i biti osobe s integritetom i karizmom. Pokušali smo dati potporu tezi da su stručnost i etičnost najvažnije poželjne osobine članova nadzornog odbora bosanskohercegovačkih korporacija.

U istraživanju smo ispitali zavisnost rada, djelovanja i odlučivanja nadzornog odbora o upravi društva. Nadzorni odbor je nadređen upravi i ima legitimacijsku moć, zasnovanu na formalnim pravilima korporacijskog upravljanja. Međutim, njihovi stvarni odnosi mogu biti i potpuno drukčiji ako upravljačka struktura pogoduje stvarnoj kontroli preduzeća od strane menadžmenta. Naše je mišljenje da je u znatnom broju bosanskohercegovačkih preduzeća nadzorni odbor izrazito zavisn o upravi.

Zanimalo nas je o čijim interesima vodi računa nadzorni odbor u svom djelovanju. Teza koju smo postavili jeste, sukladno načelima stakeholderskog pristupa preduzeću, da je članovima nadzornih odbora važniji interes preduzeća kao cjeline nego parcijalni interesi vlasnika.

Najvažniji dio našeg istraživanja posvećen je ulozi nadzornog odbora u promišljanju budućnosti korporacije, dakle, u djelovanju *ex ante*. Dužnost nadzornog odbora ne iscrpljuje se, naime, samo u razmatranju proteklog poslovanja odnosno u ispitivanju radnji koje je uprava već poduzela, njegova je uloga i u preventivnome djelovanju.

Nadzorni odbor ima stratešku ulogu kako bi dao potporu menadžmentu u vođenju poslovanja preduzeća i kako bi se zaista ostvarili ciljevi vlasnika i drugih zainteresiranih. To je ponajprije savjetodavna uloga i uloga poboljšavanja i unapređenja diskusije o strateškim pitanjima. To znači da bi nadzorni odbor, dajući upravi savjete i prijedloge, raspravljajući i autorizirajući strateške odluke, trebao sudjelovati kao aktivna strana u strateškomu menadžmentu poduzeća.

Poseban naglasak u našem istraživanju dali smo aktivnostima strateškog djelovanja nadzornog odbora. To su: sudjelovanje u procesu strateškog planiranja, sudjelovanje u procesu upravljanja rizikom, procjena rada uprave i menadžmenta, planiranje nasljeđivanja uprave, sudjelovanje u procesu interne kontrole i definiranje pokazatelja uspješnosti. Najvažnija strateška aktivnost, po našoj tezi, procjena je rada uprave i menadžmenta.

Istražili smo aspekte kontrolnog i zaštitnog djelovanja nadzornog odbora koje se sastoji od niza aktivnosti i mehanizama kojima nadzorni odbor štiti interese vlasnika i drugih

interesno-utjecajnih skupina. Ispitali smo i savjetodavnu ulogu nadzornog odbora prema upravi.

Smatramo kako članovi nadzornog odbora trebaju biti izrazito aktivni i odgovorni, postavljati izazove, sudjelovati u diskusijama i debatama, istraživati i tražiti informacije, biti jak nadzor menadžmenta ali i partner u oblikovanju poželjne budućnosti poduzeća.

1.2. UZORAK I METODE ISTRAŽIVANJA

Provedena su dva empirijska istraživanja: Prvo, na uzorku javnih dioničkih društava (ispitanici su bili članovi uprave), drugo, na uzorku članova nadzornog odbora dioničkih društava.

Istraživanje na terenu provedeno je od 20. novembra 2007. do 15. januara 2008., i to anketiranjem ispitanika na njihovim radnim mjestima. Odlasku anketara na intervju prethodili su telefonski dogovori s odgovarajućim ispitanicima iz ciljanih preduzeća. U telefonskim razgovorima su dogovoreni termini anketiranja.

Uspjeli smo realizirati anketiranje na uzorku od 30 preduzeća koja imaju status javnih dioničkih društava, koji su od federalnog i kantonalnog značaja.

Anketni upitnik imao je ukupno 60 zatvorenih pitanja (pitanja s već ponuđenim opcijama odgovora) koja su pokrivala problematiku istraživanja. Za pojedina pitanja sa složenijim opcijama odgovora (duže tvrdnje ili veći broj opcija) bile su konstruirane kartice s danim opcijama koje su pokazivane ispitaniku i koje je ispitanik čitao i birao odgovor ili odgovore. Prosječno trajanje intervjuja bilo je oko 30 minuta.

2. KORPORATIVNO UPRAVLJANJE I RESTRUKTURIRANJE

Korporativno upravljanje se odnosi na procese, običaje, politike, zakone i institucije koje utiču na način kako se korporacija usmjerava i kako se njome upravlja. Dobro uređeno korporativno upravljanje omogućava preduzećima rast i napredak i donosi ekonomsku dobit cijelom društvu. U BiH preduzećima, okvir za korporativno upravljanje je slab i zbog toga je proces restrukturiranja preduzeća veoma spor. Ovo potiče od nedovoljne motivacije menadžera i vlasnika da preuzmu djelotvornu kontrolu nad preduzećima i procesom restrukturiranja. Postojeći zakonski okvir i institucionalne aktivnosti, također, su neodgovarajuće.

Privatizacija u BiH je rezultirala određenom vlasničkom strukturom u kojoj su privatizacijski investicijski fondovi, dioničari unutar preduzeća i država postali glavni dioničari velikog broja preduzeća. Rascjepkano vlasništvo nad dionicama, odsustvo utjecajnih i djelotvornih vlasnika, dominacija dioničara unutar preduzeća i slaba motivacija da se privuku investitori, zajedno, su doprinijeli da korporativno upravljanje bude nedovoljno jako. Svjetska banka će provesti projekt, koji finansira EU, a koji treba da transformiše privatizacijske fondove u aktivne vlasnike koji mogu unaprijediti stvarnu vrijednost svoje uloge kroz unaprjeđenje menadžmenta, obnovu preduzeća i privlačenje novih kupaca i investitora. Ukupno je preko 2,5 miliona eura osigurano da bi se unaprijedilo korporativno upravljanje.

Korporativno upravljanje predstavlja novi koncept poslovanja i zbog toga zahtijeva postojanje zakonske regulative koja će postaviti određene standarde u pitanju transparentnosti, dostupnosti pouzdanih i relevantnih informacija i pokazatelja sa tržišta kapitala, izgraditi povjerenje u tržište kapitala i spriječiti zloupotrebu prava akcionara

Postoji veći broj faktora koji utiču na činjenicu da korporativno upravljanje na prostoru BiH nije dovoljno razvijeno, zbog čega je prvenstveno neophodno nastaviti edukaciju u kompanijama kako bi se ukazalo na važnost takvog vida upravljanja. Jedan od tih faktora je i proces tranzicije, koji na našem prostoru nije dovršen, a u činjenica je i da u BiH ne postoji tradicija korporativnog upravljanja kompanijama¹.

¹ <http://www.europa.ba>

3. ULOGA NADZORNOG ODBORA U KORPORATIVNOM UPRAVLJANJU

3.1. OSNOVNE ULOGE NADZORNOG ODBORA

Nadzorni odbor (engl. *Supervisory Board*; njem. *Aufsichtsrat*) je organ koji je karakterističan za kontinentalne sisteme korporativnog upravljanja te zajedno sa upravom (upravni odbor; engl. *Management Board*; njem. *Vorstand*) čini dvojnu (strukturu na dva nivoa) upravljačku strukturu preduzeća. Funkcija vođenja i upravljanja preduzećem delegirana je upravi, dok nadzorni odbor preuzima funkciju kontrole, nadgledanja i praćenja poslovanja društva.

S druge strane, u angloameričkim sistemima korporativnog upravljanja skupnu ulogu uprave i nadzornog odbora integrira *jedinstveni odbor direktora* (engl. *Board of Directors*), s izvršnim direktorima (stalno zaposlenima na upravljačkim funkcijama) i neizvršnim direktorima (koji su članovi odbora bez upravljačkih funkcija).

Nadzorni odbor je važan dio strukture korporativnog upravljanja; svojevrsna je veza između vlasnika dionica, koji su uložili svoj kapital u preduzeće ili su dionice stekli na sekundarnom tržištu kapitala, i vrhovnih menadžera, koji su po svom položaju zaduženi za stvaranje vrijednosti u preduzeću. Nadzorni odbor povezuje (uglavnom) veliku i fragmentiranu grupu ulagača koji nerijetko imaju divergentne interese i namjere, s malom i moćnom grupom vrhovnih menadžera koji čine upravu. Ideja utemeljenja nadzornog odbora u kontinentalnom sistemu korporativnog upravljanja vezana je za unapređenje procesa kontrole nad upravljanjem preduzeća.

Zbog specifične pozicije između skupštine dioničara i uprave, te potrebe uključivanja interesa i zahtjeva drugih stakeholdera, nadzorni odbor preuzima tri vrste uloga:

- kontrolnu,
- stratešku i
- povezujuću ulogu.

Kontrolnu ulogu nadzornog odbora čini, uz izbor članova uprave, nadzor i praćenje postignuća i rada vrhovnog menadžmenta. Nadzorni odbor nadzire poslovanje i rad uprave štiteći interese dioničara, ali i drugih relevantnih stakeholdera. Među ostalim, kontroliše politiku nagrađivanja članova uprave i glavnih menadžera, osigurava transparentnost izbora članova uprave, nadzire potencijalne sukobe interesa u poslovanju i donosi mjere potrebne za sprječavanje zloupotrebe imovine preduzeća, osigurava nezavisnost sistema finansijskog izvještavanja i izbor nezavisnog revizora, nadzire proces objavljivanja relevantnih podataka o poslovanju te vodi brigu o uspostavi adekvatnog sistema kontrolnih mehanizama u preduzeću. Biti nadzornik, znači biti nezavisan o bilo kakvim uticajima. Stoga, članovi nadzornih odbora kompanija ne smiju biti osobe koje su u upravi, niti koje zbog vlastitog privatnog ili poslovnog interesa mogu ugroziti integritet i razvoj preduzeća.

Strateška uloga nadzornog odbora je izuzetno važna budući da taj odbor treba učestvovati u strateškom djelovanju preduzeća, ponajprije putem autorizacije predloženih strateških odluka, ocjeni prijašnjih strateških odluka, te savjetodavnom ulogom i podrškom menadžmentu u ostvarivanju zajedničke vizije. Aktivno učešće nadzornog odbora u formulaciji i implementaciji strategije preduzeća može imati pozitivan uticaj na poslovne rezultate. Autorizacija krucijalnih menadžmentskih odluka znači i pravo njihovog zaustavljanja ako nisu usmjerene u skladu s najboljim interesima i zacrtanim strateškim ciljevima.

Povezujuća uloga nadzornog odbora ponajprije se odnosi na održavanje formalnih i neformalnih odnosa s interesno-utjecajnim skupinama poduzeća.² Nadzorni odbor pomaže preduzeću u povezivanju s relevantnim segmentima i faktorima okoline i u osiguravanju

² Postma, T. i van Ees, H. (2000): *On the functions of supervisory boards in Netherlands*, Research Report 00E50, University of Groningen, Research Institute SOM (Systems, Organisations and Management), str. 1-11.

važnih resursa. Od nadzornog odbora se očekuje da uzima u obzir relevantne interese drugih interesno-uticajnih skupina, naročito zaposlenika, kreditora, kupaca, dobavljača i lokalne zajednice te da zastupa primjenu bitnih društvenih standarda i načela zaštite okoline. Stoga, u nekim sistemima korporativnog upravljanja, postoji obaveza i/ili preporuka uključivanja predstavnika različitih interesno-uticajnih skupina ili nezavisnih stručnjaka u nadzorni odbor kako bi se dodatno pojačala njegova povezujuća uloga. Postojanje nadzornog odbora s jakom povezujućom ulogom može pomoći artikulaciji interesa i prevladavanju inherentnih sukoba između različitih stakeholdera.

Radi kvalitetnog obavljanja zadaće nadzornog odbora u preuzimanju triju uloga, moguće je utemeljiti komisije (pododbore) za reviziju, imenovanja, menadžerske kompenzacije i dr.

Nadzorni odbor nije samo odgovoran preduzeću i vlasnicima nego ima dužnost djelovati za njihov najbolji interes.

Nadzorni odbor nije samo organ u funkciji ostvarivanja vlasničkih ciljeva. Članovi nadzornog odbora moraju djelovati s brižnom pažnjom te biti odani preduzeću. Lojalnost članova nadzornog odbora očekuje se, dakle, prema preduzeću i svim njegovim dioničarima, a ne samo prema, npr. većinskom vlasniku dionica ili nekomu drugom stakeholderu.³ Objektivnost nadzornog odbora može zavisiti o vlasničkoj strukturi, budući da dominantni dioničari mogu iskazati znatnu moć u izboru članova nadzornog odbora. Nadzorni odbor ne bi se trebao ponašati kao "predstavnička skupština"; u svom djelovanju trebao bi tretirati sve dioničare na isti način.

Nezavisnost nadzornog odbora, ili barem nekih njegovih članova, treba posebno naglasiti u situacijama kad su *ex ante* prava manjinskih dioničara slaba, a mogućnosti iskazivanja ograničene.

3.2. VELIČINA I STRUKTURA NADZORNIH ODBORA

Prosječan broj članova odbora razlikuje se zavisno o sistemu korporativnog upravljanja i zakonskim ograničenjima. Teško je upoređivati zemlje koje imaju različite temeljne sisteme korporativnog upravljanja i iz toga izvlačiti relevantne preporuke i zaključke.

Primjerice, njemačka preduzeća imaju razmjerno veliki broj članova nadzornog odbora. U prosjeku, broj članova nadzornih odbora u njemačkim korporacijama veći je od 10, a doseže u najvećim kompanijama i do 21 člana. Maksimalni broj članova nadzornih odbora je upravo 21.

Kakva je situacija u bosansko-hercegovačkim privrednim društvima?

Osnovni elementi za članstvo u nadzornim odborima bosanskohercegovačkih dioničkih društava definirani su Zakonom o trgovačkim društvima. Najmanji broj članova nadzornog odbora je tri člana. Prema Zakonu o trgovačkim društvima, članove nadzornog odbora bira običnom većinom glasova glavna skupština društva, ali i statutom se može odrediti da je za to potrebna veća većina ili ispunjenje dodatnih pretpostavki. Na temelju odredbi statuta, do 1/3 članova nadzornog odbora mogu imenovati određeni dioničari.

Broj članova nadzornog odbora mora se odrediti statutom. Zakonom se određuje koje osobe ne mogu biti članom nadzornog odbora, ali se za imenovanje ne postavljaju posebni uslovi ili pretpostavke koje moraju ispunjavati članovi. Ipak, to bi se moglo odrediti statutom (primjerice, staž i iskustvo, stručne kvalifikacije, državljanstvo i slično).

Tabela 1. Dionička društva prema broju članova nadzornih odbora

	Broj preduzeća	%
3 člana	13	65
4 člana	0	0
5 članova	5	25
6 članova	1	5
7 članova	1	5

³ Organisation for Economic Co-operation and Development (2004): OECD Principles of Corporate Governance, OECD Publications, Pariz, str. 58-60.

8 članova	0	0
9 članova	0	0
10 članova	0	0
11 članova	0	0
UKUPNO	20	100

Tabela 2. Da li su članovi NO-a zaposleni u preduzeću

	Članovi NO-a	%
da	34	47.2
ne	38	52.8
UKUPNO	72	100

Dalje, nas je zanimalo da li su članovi nadzornih odbora zaposleni u preduzeću. Istraživanju su potvrdila naša očekivanja, što znači da sa 53% članova, znači većina nije zaposlena u društvu. Postotak onih koji jesu zaposleni u društvu je 47%.

Tabela 3. Ocjena važnosti problemskih područja iz nadležnosti NO-a u radu NO

Kolika je važnost problemskih područja iz nadležnosti NO-a u radu NO		Nevažno	Malo važno	Osrednje važno	Važno	Jako važno	Ne zna	Ukupno
Strateško planiranje preduzećem	N	0	0	0	20	9	0	29
	%	0	0	0	69	31	0	100
Upravljanje rizikom	N	0	0	3	13	13	0	29
	%	0	0	10.3	44.8	44.8	0	100
Procjena rada uprave i menadžmenta	N	0	1	5	5	17	0	28
	%	0	3.6	17.8	17.8	60.7	0	100
Planiranje nasljeđivanja uprave	N	0	0	5	6	18	0	29
	%	0	0	17.2	20.7	62	0	100
Provođenje interne kontrole	N	0	0	0	13	16	0	29
	%	0	0	0	44.8	55.2	0	100
Definiranje pokazatelja uspješnosti	N	0	1	3	12	12	0	28
	%	0	3.6	10.7	42.8	42.9	0	100

Članovi nadzornih odbora iz anketiranih preduzeća smatraju da su sva ponuđena problemska područja nadzornih odbora bitni, od srednje važnosti do jake važnosti. Od toga odstupa, kao izuzetak, mišljenje njih oko 4% koji smatraju da su navedena problemska područja malo važni.

Preko polovine članova nadzornih odbora je ocjenom "jako važno" ocijenilo tri osobine: procjena rada uprave i menadžmenta, planiranje nasljeđivanja uprave i provođenje interne kontrole.

Članovi su visoko ocijenili i sljedeća područja nadležnosti: upravljanje rizikom, definiranje pokazatelja uspješnosti. Kao važno područje je ocijenjeno strateško planiranje preduzećem sa nešto manje od 70%.

Koga zastupaju članovi NO-a i o čemu raspravljaju na sjednicama?

Zanimljivi su i stavovi ispitanika iz oba uzorka o tome trebaju li radnici imati predstavnika u nadzornom odboru. Većina članova nadzornih odbora 49,2 % i članova uprava 52,9 % smatra kako radnici trebaju imati svog predstavnika u nadzornom odboru. S druge strane 44,8 % ima suprotno mišljenje.

Tabela 4. trebaju li radnici imati predstavnika u NO-u

	Članovi uprave	%	Članovi NO-a	%
Ne trebaju	15	44.1	30	44.8
Trebaju	18	52.9	33	49.2
Ne znam	1	3	4	6
UKUPNO	34	100	67	100

Tabela 5. Članovi nadzornih odbora po kriteriju koga zastupaju

Članovi nadzornog odbora predstavljaju	Članovi NO-a	%
većinskog vlasnika	38	56.7
manjinskog vlasnika	8	11.9
zaposlenike	14	20.9
sindikati	0	0
poslovnu banku (koja nije vlasnik)	0	0
državnu ili lokalnu zajednicu	6	8.9
nekog drugog	1	1.5
UKUPNO	67	100

U uzorku od 67 anketirana članova nadzornih odbora, više od 56% članova nadzornih odbora predstavlja većinskog vlasnika, a dodatnih 20% članova predstavlja zaposlenike. Nešto je manje od 12% članova nadzornih odbora manjinskog vlasnika. Državnu ili lokalnu zajednicu predstavlja 9% članova nadzornih odbora, dok je minoran udjel ostalih.

Tabela 6. Teme najčešće raspravljanje na sjednicama

Koje su teme najčešće raspravljanje na sjednicama	Članovi NO-a	%	Članovi UO-a	%
kvartalni / polugodišnji / godišnji finansijski izvještaji	62	30.1	34	34.3
priprema skupština društva	42	20.4	15	15.2
akvizicije te kapitalna i strateška ulaganja	18	8.7	13	13.1
analiza i autorizacija strateških odluka	10	4.8	5	5.1
tekući poslovni problemi	48	23.3	26	26.3
rješavanje kriznih situacija	15	7.3	2	2
rješavanje važnih kadrovskih rješenja	2	1	0	0
analiza okoline preduzeća	7	3.4	4	4
odnosi između suvlasnika	2	1	0	0
nešto dugo	0	0	0	0
ne zna / ne može procijeniti	0	0	0	0

3.3. OBILJEŽJA I POŽELJNE OSOBINE ČLANOVA NADZORNIH ODBORA

U uzorku od 30 anketiranih preduzeća, više od 2% članova nadzornih odbora ima magisterij ili doktorat znanosti, a dodatnih 60% članova ima visoku stručnu spremu. Nešto je manje od 13% članova nadzornih odbora s višom školom. Srednju stručnu spremu ima 10% članova nadzornih odbora, dok je minoran udjel nadzornika ostalih kvalifikacija.

Tabela 7. Stručna sprema nadzornih odbora

	Članovi NO-a	%
doktor i magistar nauka	2	2.8
VSS	43	59.7
VŠS	9	12.5
SSS	7	9.7
VKV i KV	4	5.5
NSS, PKV i NKV	0	0

bez odgovora	7	9.7
UKUPNO	72	100

Nije teško zaključiti da članovi nadzornih odbora imaju izrazito visoko formalno obrazovanje, naročito ako uzmemo kao usporedbu bosanskohercegovački prosjek.

Veličina članova nadzornih odbora anketiranih preduzeća iz našeg uzorka jesu ekonomske struke (njih oko dvije petine), a znatan je broj i članova koji su tehničke struke (gotovo četvrtina),

Članovi nadzornog odbora trebaju biti pouzdani i moralni, imati komunikacijska vještine i biti osobe s integritetom i karizmom. Neke studije pokazuju kako su ličnost, znanje, nezavisnost i raspoloživost vremena najvažniji kriteriji u izboru članova nadzornih odbora, posebno za kvalitetu obavljanja njihove temeljne funkcije: kontrole i praćenja rada uprave.

Smatramo kako bi nadzorni odbor, kao mjesto usaglašavanja različitih stajališta i raznovrsnih zahtjeva interesno-utjecajnih skupina, trebao biti sastavljen od osoba koje imaju različite osobine, interese i poglede. Takva heterogenost članstva u nadzornom odboru može imati sinergijske efekte u njegovu djelovanju, rezultirajući većom djelotvornošću i boljim odlučivanjem.

Tabela 8. procjena važnosti obilježja i osobina članova NO-a za efikasno funkcioniranje NO-a

		Nevažno	Malo važno	Osrednje važno	Važno	Jako važno	Ne zna	Ukupno
Lična i profesionalna etičnost	N	0	0	0	20	9	0	29
	%	0	0	0	69	31	0	100
Stručnost članova NO-a	N	0	0	3	13	13	0	29
	%	0	0	10.3	44.8	44.8	0	100
Razumijevanje finansijskih izvještaja	N	0	1	5	5	17	0	28
	%	0	3.6	17.8	17.8	60.7	0	100
Razumijevanje poslovnih izvještaja	N	0	0	5	6	18	0	29
	%	0	0	17.2	20.7	62	0	100
Sposobnost uočavanja ključnih problema	N	0	0	0	13	16	0	29
	%	0	0	0	44.8	55.2	0	100
Širina naobrazbe	N	0	1	3	12	12	0	28
	%	0	3.6	10.7	42.8	42.9	0	100
Poznavanje djelatnosti i problema djelatnosti pred.	N	0	1	4	7	17	0	29
	%	0	3.4	13.8	24.1	58.6	0	100
Sposobnost djelotvornog odlučivanja	N	1	0	0	17	11	0	29
	%	3.4	0	0	58.6	37.9	0	100
Nezavisnost o upravi društva	N	0	1	7	8	11	0	27
	%	0	3.7	25.9	29.6	40.7	0	100
Praktično iskustvo	N	1	0	9	9	9	0	28
	%	3.6	0	32.1	32.1	32.1	0	100
Dobra veza sa vladajućom politikom	N	10	7	4	6	1	0	28
	%	35.7	25	14.3	21.4	3.6	0	100
Spremnost da se odvoji vrijeme za rad NO-a	N	1	0	6	9	12	0	28
	%	3.6	0	21.4	32.1	42.9	0	100

Članovi uprave iz anketiranih preduzeća smatraju da su sva ponuđena obilježja i osobine članova nadzornih odbora bitni, od osrednje do jake važnosti. Od toga odstupa, kao izuzetak, mišljenje oko četvrtine menadžera koji smatraju da su dobre veze s vladajućom politikom na državnoj i lokalnoj razini nevažna ili malo važna poželjna osobina za članstvo u tom odboru.

Preko polovine menadžera je ocjenom "jako važno" ocijenilo tri osobine: sposobnost uočavanja ključnih problema, razumijevanje finansijskih izvještaja i poznavanje djelatnosti i

problema djelatnosti preduzeća. Te tri osobine, zajedno s razumijevanjem poslovnih izvještaja i drugih analiza uprave, dobile su najveće prosječne ocjene. Menadžeri su visoko ocijenili i sljedeće poželjne osobine: razumijevanje finansijskih izvještaja, stručnost članova nadzornog odbora, poznavanje djelatnosti i problema djelatnosti preduzeća, sposobnost djelotvornog odlučivanja, nezavisnost o upravi društva te spremnost da se odvoji vrijeme za rad u nadzornom odboru.

Stomatološki materiali in metode za preiskavo biokompatibilnosti teh materialov

Biokompatibilnost stomatoloških materialov in metode za njihovo preiskavo

Tjaša Zupančič Hartner¹, Rebeka Rudolf^{1,3}, Miodrag Čolić², Ivan Anžel¹

¹ Fakulteta za strojništvo Univerze v Mariboru, Slovenija

² Vojno-medicinska akademija Beograd, Srbija

³ Zlatarna Celje d.d. Celje, Slovenija

BIOKOMPATIBILNOST

Biološki kriteriji izbire stomatoloških materialov vključujejo klinična preizkušanja, ki so poznana že iz časov prve uporabe teh materialov za terapevtske namene. Pionirska preizkušanja teh materialov so namreč potekala že pred 60 leti, ko se je v stomatološko prakso uvedla uporaba amalganov in kompozitnih smol, potem ko so se pojavili negativni vplivi. Šele pojav neželenih procesov v organizmu je povzročil začetek ciljanih preizkušanj številnih stomatoloških materialov.

Pod pojmom biokompatibilnost razumemo interakcijo med stomatološkim materialom, vključujoč njegovo funkcijo, ki jo opravlja, v povezavi z organizmom, v katerega se material vgrajuje oziroma se uporablja za zdravljenje. Zaradi navedenega je osnovna zahteva pri uporabi materialov v stomatološki praksi dokazovanje njihovih negativnih vplivov na celice, tkiva ali celo organizem. Pod pojmom neškodljivost razumemo, da stomatološki material ne povzroča lokalno ali sistemsko citotoksičnost, iritacijo in alergijo, da ni mutagen in kancerogen. Da bi lahko nek stomatološki material definirali kot biokompatibilnega, morajo biti vsi trije dejavniki (tkivo, material in pričakovana funkcija materiala) v medsebojni harmoniji (1,2). Pri tem je potrebno poudariti, da nobeden material ni biološko popolnoma inerten, zaradi tega vedno govorimo o stopnji biokompatibilnosti.

V kontaktu materiala z živim tkivom prihaja do številnih kompleksnih interakcij, ki s skupnim nazivom predstavljajo biološki odgovor na uporabljen material. Tip biološkega odgovora je odvisen od vrste materiala, dolžine trajanja kontakta s tkivom, od organizma, v katerem se uporablja material in od funkcije materiala. Pri tem je potrebno navesti, da se s časom aplikacije spreminjata tako material kot organizem, zaradi česar se biokompatibilnost uvršča med dinamične procese. Le-ti lahko povzročijo, da material, ki je bil pred vgradnjo – aplikacijo ocenjen kot biokompatibilen, s časom postane izvor škodljivih efektov. V teh okvirih je poznana korozija dentalnih zlitin, ki pripelje do povečanega raztapljanja in prehajanja ionov težkih kovin v tkivo, kar povzroča toksičnost ne samo na nivoju bližnje okolice, ampak le-ta lahko deluje tudi na oddaljena tkiva. Pri tem ne smemo pozabiti tudi na vnetne procese pri bolnikih z diabetesom, kjer le-ti lahko povečajo citotoksični efekt stomatoloških materialov.

TESTIRANJE BIOKOMPATIBILNOSTI

Napredek v tehnologiji stomatoloških materialov, uvajanje novih materialov in odkritja, da posamezni materiali povzročajo citotoksičnost ter želje po njihovi relativni dolgi uporabi in izpostavljenosti živemu tkivu so privedli do zahtev, da mora stomatološka stroka poznati precizne odgovore na vprašanja ali je posamezen material škodljiv. Vsa neraziskana ali nepojasnjena dejstva so prispevala k uvedbi standardov za vsak stomatološki material ali instrument, kateri morajo pred vgradnjo dobiti ustrezno potrdilo za klinično uporabo. Na ta

način niso zašćiteni samo pacienti ampak tudi stomatologi, tehnično osebje in okolica v najširšem smislu (3, 4).

Vpeljava in uporaba standardov omogoča uporabo odgovarjajoćih testov in primerjavo dobljenih rezultatov v različnih laboratorijih pod identićnimi pogoji. Iz preteklosti je znano, da je standardizacija prešla več faz. Trenutno so tako v uporabi standardi Evropske unije, ki pokrivajo medicinske (ISO 10993) in stomatološke (ISO-TR 7405) inštrumente ter materiale. Ko govorimo o stomatoloških materialih, standardi predpisujejo paleto testov biokompatibilnosti, v odvisnosti od skupine materialov in namena njihove uporabe. Pri tem je potrebno omeniti, da se za testiranje biokompatibilnosti uporablja veliko število nestandardnih testov, ki so pomembni tudi za znanstvena raziskovanja na tem področju in za razvoj te stroke.

Testi biokompatibilnosti se v grobem dele na »in vitro« in »in vivo«. Testi »in vitro« vključujejo preizkušanja na izoliranih celicah oz. na linijah celic, bakterijah, glivicah, kulturah tkiv ali na organih, pa tudi na specialno pripravljenih modelih. Ti testi so relativno poceni in omogoćajo pridobivanje odgovorov na številna vprašanja o vplivu stomatoloških materialov na žive celice (nekroza, apoptoza, celićni metabolizem, proliferacija, aktivacija ali inhibicija posameznih funkcij, poškodba DNK). Osnovna pomanjkljivost teh testov je, da ne dajejo realnega vpliva materiala na specifićne ciljne celice »in vivo«.

»In vivo« testi se izvajajo na eksperimentalnih živalih, prostovoljcih ali pacientih. Ti testi so relativno dragi in težko ponovljivi, vendar pa s pomoćjo njih lažje ocenjujemo lokalne ali sistemske vplive materiala. Primerjava rezultatov iz živalskih modelov namreć ni vedno adekvatna zaradi posameznih razlik v morfo-funkcionalnih karakteristikah tkiv in organov, ki veljajo med živalmi in ljudmi. Zaradi navedenih razlik je potrebno zaključna raziskovanja opraviti na ljudeh, s čimer dobimo najrealnejše rezultate in zaključke. Pri tem je potrebno opozoriti, da sta pritisk javnosti za zašćito eksperimentalnih živali in poostretev etićnih principov za raziskovanja na ljudeh tista dejavnika, ki od preskuševalcev na tem področju zahtevata drugaćne teste, zato je preliminar na naloga le-teh uvajanje in razvoj novih testov zasnovanih na umetnih modelih tkiv in organov.

Pri raziskovanju biokompatibilnosti stomatoloških materialov je potrebno spremljati ne samo njihov škodljiv vpliv na celice, tkiva ali organizem, ampak tudi to, da lahko posamezen material aktivira nekatere funkcije, ki so koristne (stimulacija nastanka dentina, regeneracija kosti, obnova poškodovanega tkiva).

Za oceno biokompatibilnosti stomatoloških materialov se uporablja več testov, ki jih lahko razvrstimo v tri skupine. Inicialni testi vključujejo citotoksićnost »in vitro«, sistemsko toksićnost in teste mutagenosti. Ti testi so sočasno »skrining« testi, ki v primeru zadovoljivih rezultatov pokrivajo sekundarne teste: teste senzibilizacije, implant teste in teste iritacije. Tretja skupina zajema specifićne »in vivo« in »in vitro« teste (»usage tests«) vključujoć teste biokompatibilnosti, ki so opravljeni na ljudeh.

ISO standardi predpisujejo paleto testov, ki jih je potrebno opraviti za preizkušanje posameznih skupin stomatoloških materialov preden se odobri njihova registracija za klinićno uporabo. Izbor testov ni odvisen samo od vrste materiala ampak tudi od vrste kontakta – stika materiala z oralnim oziroma dentalnim tkivom. Za ta namen obstajajo doloćene razlike med materiali, ki so v kontaktu s površino oralnega/dentalnega trdega tkiva, oziroma za materiale, ki prodrejo v dentalna trda tkiva, pulpo ali kost ter so v stiku z oralnim medijem, in za materiale, ki so namenjeni za implantante. Izbor testov je odvisen od trajanja izpostavljenosti materiala s tkivom (kontakt do 24 ur, podaljšan kontakt od 24 ur do 30 dni ali trajni kontakt preko 30 dni).

Materiali tipa 1 (t.i. restavrirni – obnovitveni materiali) zahtevajo uporabo testov akutne sistemske toksićnosti (oralna pot vnašanja), teste mutagenosti, citotoksićnosti in pulpno/dentinske teste. Za podskupino teh materialov (kovinski restavrirni- obnovitveni materiali za katere je ali ni potrebna uporaba cementa, silikatnega cementa ali kompozita) je potrebna uporaba subkontantnega implant testa, testa senzibilizacije in testa iritacije oralne sluznice.

Pri materialih tipa 2 (materiali namenjeni za protetiko) je potrebno izvesti teste akutne sistemske toksićnosti (oralni ali intravenski naćin vnosa), teste mutagenosti, citotoksićnosti,

teste senzibilizacije in iritacije. Za nekatere materiale iz te skupine (dentalne kovinske zlitine) je potrebno narediti še kostne implant teste.

Za največjo skupino materialov tipa 3 (endodontski materiali) je poleg testov akutne sistemske toksičnosti, citotoksičnosti ter testa mutagenosti in senzibilizacije, nujno opraviti še hemolizni in endodontski test.

Za materiale tipa 4 (periodontni materiali), materiale za ortodontske namene (tip 5), materiale za oralno kirurgijo (tip 6) in za materiale za preventivo (tip 7) je potrebno brezpogojno izvesti primarne teste biokompatibilnosti, od sekundarnih testov pa le teste senzibilnosti in implant teste. Za materiale tipa 6 se pogosto pojavi zahteva po preizkušanju s kostnimi implant testi.

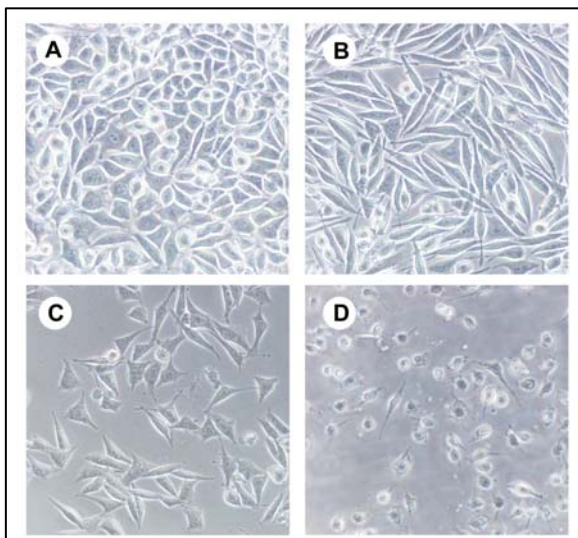
Pred samim testiranjem je potrebno adekvatno pripraviti testne vzorce v zadovoljivi veliki količini, pri čemer morajo biti le-ti identični. Sočasno je potrebno pripraviti tudi ustrezne pozitivne in negativne kontrole. Navedeni dejavniki so odločilni v testiranju biokompatibilnosti, saj zahteva le-to ne samo dobro poznavanje fizikalno-kemijskih lastnosti in mikrostrukture materiala ampak tudi detaljne karakteristike uporabljenega celičnega tkiva. V zaključni stopnji je potrebno dobljene rezultate še pravilno interpretirati. Zaradi navedene problematike ISO standardi jasno opisujejo metodologijo priprave trdnih, tekočih ali izparljivih vzorcev na eni strani, po drugi pa tudi pripravo ekstraktov in degradacijskih produktov za različne tipe stomatoloških materialov. Sicer pa je pri nekaterih vrstah materiala ali celičnih tkiv možna tudi prosta izbira testnih vzorcev. V takem primeru mora raziskovalec ali kvalificiran preizkuševalec v poročilo navesti dimenzije ali koncentracije vzorcev in na podlagi tega podati interpretacijo dobljenih rezultatov. Kadar govorimo o nestandardnih testih biokompatibilnosti materialov v okviru raziskovalnih projektov, lahko raziskovalci prosto izbirajo testne vzorce, vendar pa mora biti način priprave le-teh znanstveno utemeljen.

CITOTOKSIČNOST

Začetna ocena biokompatibilnosti stomatoloških materialov je najpogosteje povezana z „in vitro“ testi citotoksičnosti. Osnoven princip teh testov je preizkušanje biokompatibilnosti stomatoloških materialov na celicah, ki se gojijo v kulturah kot adherentne (sprijete) ali ne-adherentne celice. Izbor celic je odvisen od vrste materiala in od predpostavljenega mehanizma delovanja.

Za testiranje citotoksičnosti se najpogosteje uporabljajo kontinuirne fibroblastne celične linije mišjega porekla kot npr. L292 in 3T3 ali človeški diploidni fibroblasti (WI-38). Uporaba fibroblastnih celic v primarnih citotoksičnih esejih je sicer predpisana z veljavnim ISO standardi. Poleg teh celic so v uporabi tudi druge trajne celične linije (banke celičnih linij), ki imajo točno definirane fenotipske in funkcionalne lastnosti (epitelne, tumorske in druge celične linije; ter različne linije limfoidnih in leukemijskih celic). Transformirane celične linije imajo specialne lastnosti in uniformnost reagiranja v kulturi, kar posledično povzroča, da so v testih citotoksičnosti odgovori teh celic popolnoma drugačnih od celic, ki so gradniki zob in okoliškega ustnega tkiva. Zaradi tega se za raziskovanja pogosto uporabljajo primarne kulture fibroblastov pridobljene iz gingive ali zobne pulpe, celic oralnega epitela idr. Izbor primarnih netransformiranih celic ali celičnih linij je odvisen od vrste materiala, ki se testira kot tudi od potencialnih tarčnih celic, na katere bo stomatološki material deloval v „in vivo“ pogojih (zobna pulpa, oralna sluznica, idr.).

Če je stomatološki material v trdnem stanju, najenostavnejši test citotoksičnosti vključuje preizkušanje direktnega citotoksičnega efekta materiala v kulturi fibroblasta. Na sliki 1 je prikazan morfološki izgled celic v prisotnosti citotoksičnih substanc. Če se iz materiala raztapljajo potencialne toksične substance ali v primeru, da je material v tekočem stanju, potem je potrebno za testiranje uporabiti difuzne eseje.

**Slika 1:**

Morfološki izgled L929 celic v prisotnosti citotoksičnih substanc:

A – odsotnost citotoksičnosti;

B – blaga citotoksičnost;

C – zmerna citotoksičnost;

D – resna citotoksičnost;

Inverzna mikroskopija; x 200.

ZAKLJUČKI

Sodobni koncepti preizkuševanja biokompatibilnosti stomatoloških materialov temeljijo na obstoječih ISO standardih in so rezultat multidisciplinarnih raziskovanj. Kombinacije večjega števila „in vivo“ in „in vitro“ testov omogočajo realno ocenjevanje negativnih učinkov stomatoloških materialov, še posebno tistih, ki so v kontaktu z živim tkivom v daljši časovni periodi.

Poleg standardnih testov biokompatibilnosti (akutna toksičnost, citotoksičnost, mutagenost, iritacija, senzibilizacija), s katerimi se ocenjujejo splošna toksičnost in reakcije občutljivosti tkiva, so za stomatološko prakso pomembni tudi specifični testi (kostni implant test, dentinsko/pulpni test, endodontski test idr.), ki natančneje prikazujejo mehanizem delovanja stomatološkega materiala na specifično ciljano tkivo.

Razvoj genskega, celičnega in tkivnega bio-inženiringa omogoča vpeljavo novih testov in bioloških znamk za oceno biokompatibilnosti. Sicer pa so razvojne smernice na tem področju fokusirane na zamenjavo eksperimentalnih živali z novimi „in vitro“ modeli na nivoju celic, tkiv in organov.

Razvoj metod za preiskovanje biokompatibilnosti stomatoloških materialov poteka v Zlatarni Celje d.d. v okviru mednarodnega raziskovalnega projekta programa Eureka E!3555 DEN-MAT, pri katerem sodelujejo poleg slovenskih partnerjev: Fakultete za strojništvo Univerze v Mariboru tudi partnerji iz Srbije in sicer Stomatološka fakulteta Univerze v Beogradu ter Vojno-medicinska akademija Beograd. Del navedenega dela je sofinanciran tudi s strani ARRS v okviru projekta L2-7096-0795 z naslovom Razvoj nove dentalne zlitine z visoko vsebnostjo Au, pri katerem sodelujeta poleg Fakultete za strojništvo Univerze v Mariboru in Zlatarne Celje d.d. še Katedra za inženirske materiale in Katedra za toplotno tehniko Naravoslovnotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

LITERATURA

1. Hanks CT, Wataha JC, Sun Z: *In vitro models of biocompatibility: a review*. Dent Mater, 1996; 12(3):186-193.
2. Wataha JC: Principles of biocompatibility for dental practitioners. J Prosthet Dent, 2001; 86(2): 203-209.
3. Schmalz G: Concepts in biocompatibility testing of dental restorative materials. Clin Oral Investig. 1997; 1(4): 154-162.
4. Schmalz G: Materials science: biological aspects. J Dent Res, 2002;81(10):660-663.

Izrada silikonsko – gumenih kalupa i Room Temperature Vulcanizing (RTV) postupak brzog livenja

Ibrahim Turčinović
student Univerziteta "Džemal Bijedić"
- Mašinski fakultet Mostar

doc.dr.Dragi Tiro
Univerzitet "Džemal Bijedić"
Mašinski fakultet Mostar

Sažetak

Brza izrada prototipova je najčešće korišten naziv za skup povezanih tehnologija koje se koriste za izradu fizičkih objekata direktno iz CAD modela. Rapid Tooling (brza izrada alata) obuhvata niz tehnika koje se koriste za brzu izradu složenih alata, kalupa i oblika, koji se zatim koriste za izradu gotovih dijelova. Pored pregleda karakteristika RP procesa i podjele Rapid Tooling tehnologija, u ovom radu je detaljno objašnjen postupak Room Temperature Vulcanizing (RTV), pri čemu je praktično izrađen kalup i liveni dio ovim postupkom.

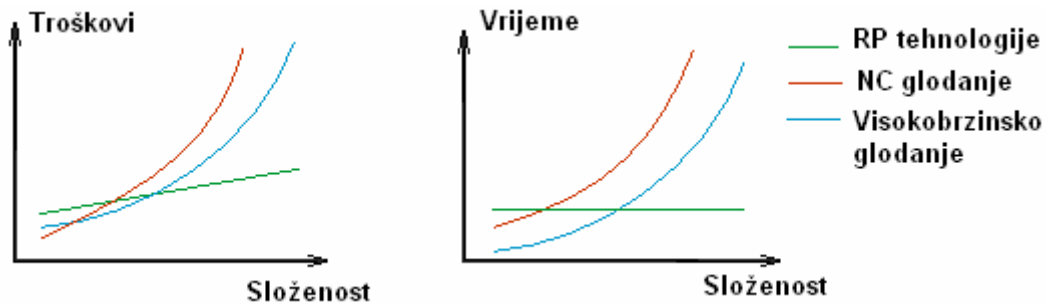
1 Uvod- Pregled tehnologija u oblasti Rapid Prototyping (RP) proizvodnje

Postupci brze izrade prototipova najčešće se dijele na tri glavne kategorije:

- **Rapid prototyping (brza izrada prototipova):** Izrada modela na temelju 3D CAD podataka. Kao materijali mogu se koristiti drvo, polimeri, metali, keramika i kompoziti u raznim oblicima (tekućine, prahovi, tanke ploče itd.). Modeli se najčešće izrađuju u svrhu procjene oblika i dimenzija, određivanja funkcionalnosti, izrade uzoraka za kupca, fotografiranja proizvoda u marketinške svrhe, testiranja u zračnim tunelima itd.
- **Rapid tooling (brza izrada alata):** Obuhvata niz tehnika koje se koriste za brzu izradu složenih alata, kalupa i oblika, koji se zatim koriste za izradu gotovih dijelova. Ovi se postupci najčešće primjenjuju kada se radi o malim serijama proizvoda i kada bi izrada alata uobičajenim postupcima bila jako skupa.
- **Rapid manufacturing (brza izrada proizvoda):** Tehnologije brze izrade prototipova primjenjuju se za izradu gotovih dijelova koji idu u prodaju.

Zahvaljujući razvoju RP tehnologija, fizički modeli se sve češće koriste i za funkcionalna testiranja kao i proizvodnju alata za probne serije proizvoda. Na ovaj način se eventualne greške u konstrukciji ili tehnologiji mogu otkriti u vrlo ranoj fazi. Ovo je vrlo važno, između ostalog i zbog toga što troškovi eventualnih izmjena u konstrukciji rastu značajno, kako se proizvod približava finalnim fazama razvoja.

Na slici 1. je prikazano grubo poređenje između RP i glodanja, s obzirom na troškove i vrijeme proizvodnje jednog dijela u funkciji njegove složenosti.



Slika 1. Poređenje konvencionalnih i RP Tehnologija [4]

S obzirom na zahtjeve karakteristika materijala, jasno je da se konvencionalnim tehnikama, podržanim računarskim tehnologijama, mogu postići, direktnim putem, dijelovi sa željenim mehaničkim osobinama i to predstavlja logičan izbor kada se radi o proizvodnji alata za velike serije proizvoda. Međutim, korištenjem lanaca raznih procesa od kojih je jedan i RP, mnogo puta je moguće da se indirektno, isti rezultati postignu za mnogo kraće vrijeme i uz manje investicije. Jedan od prvih korisnika RP tehnologije – Pratt & Whitney RP Casting Laboratory je objavila da je 1994. godine izradila 2000 RP dijelova po ukupnoj cijeni od \$600.000 - \$700.000. Pretpostavlja se da bi cijena izrade istog asortimana, ali konvencionalnim tehnologijama, bila oko \$7 miliona,

1.1. Rapid prototyping tehnologije

RP tehnologije spadaju u aditivne procese, što znači da se konačan oblik postiže dodavanjem materijala. Zavisno od fizičkih procesa koji se odvijaju u materijalu za vrijeme njegovog tretmana mogu se podijeliti na fotopolimerne, termoplastične i adhezivne. Fotopolimerni procesi počinju sa tečnom smolom koja očvršćava pod uticajem svjetlosti određene talasne dužine. Termoplastični procesi počinju sa čvrstim materijalom, koji se potom topi i spaja za vrijeme hlađenja. Kod adhezionih procesa koristi se vezivni materijal koji spaja osnovni konstrukcioni materijal, koji se nalazi u praškastom obliku.

Fotopolimerni procesi se odvijaju u prisustvu reaktivnih polimernih sistema. Ovi polimeri su osjetljivi na dejstvo svjetlosne energije (UV svjetlo): za vrijeme tretmana, polimerni lanac raste i prepliće se. Za termoplastične i adhezione procese je karakteristična primjena nereaktivnih polimernih sistema.

RP tehnologija je prvi put predstavljena u vidu komercijalnog rješenja u Detroitu na AUTOFACT show-u, novembra 1987. god. Do danas je razvijeno više od 30 procesa, od kojih je samo nekolicina komercijalna, dok su ostali u fazi istraživanja u razvojnim laboratorijama. Izbor materijala je veliki, a tačnost u granicama koje dozvoljavaju upotrebu proizvedenih dijelova za funkcionalna ispitivanja, kao i za proizvodnju alata za ispitivanje probnih serija.

Iako se prototipi mogu brzo napraviti i korištenjem NC mašina, rapid prototyping je naziv za tehnologije kod kojih se materijal dodaje, a ne skida.

Najkomercijalnije tehnologije koje se koriste za RP su:

- Stereolitografija (*StereoLithography Apparatus* SLA),
- Taloženje rastopljenog materijala (*Fused Deposition Modelling* - FDM),
- Selektivno lasersko sinterovanje (*Selective Laser Sintering* - SLS),
- Proizvodnja laminiranih objekata (*Laminated Object Modelling* - LOM),
- 3D printanje (*3D Printing* 3DP),
- Solid Ground Curing (SGC),
- Selective Adhesive and Hot Press – SAHP

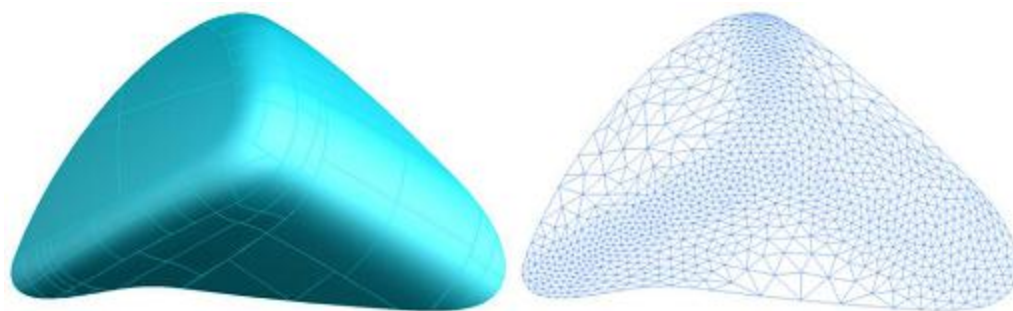
- Ballistic Particle Manufacturing (BPM) itd.

1.2. Karakteristike RP procesa

Za sve tehnologije, karakteristično je da ulaz u sam proces predstavlja 3D zapreminski model i skup odgovarajućih parametara. Model se potom "siječe" nizom paralelnih ravni. Prostor koji zauzima materijal između dvije paralelne ravni se naziva sloj (layer). Zato se sve ove tehnologije zajednički nazivaju i imenom LMT – Layered Manufacturing Technologies.

Metodologija svih procesa brze izrade prototipova je jednaka i sastoji se od nekoliko faza:

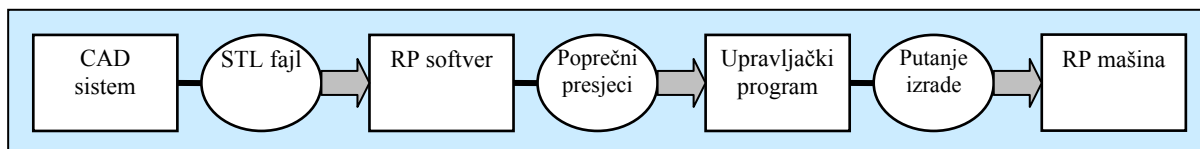
- **stvaranje STL (stereolitography) file-a iz 3D CAD podataka:** model se oblikuje pomoću jednog od brojnih CAD softverskih paketa kao što su npr. I-DEAS, Catia, Solidworks, PRO/Engineer itd. Nakon toga slijedi konvertiranje u STL format. STL je standardni format koji se koristi za brzu izradu prototipova. On predstavlja trodimenzionalnu površinu koja nastaje kao sklop planarnih trokuta. Upravo zbog planarnosti trokutastih elemenata nemoguće je dobiti tačno zakrivljenu površinu. Bolja aproksimacija se postiže povećanjem broja trokuta, čime se povećava veličina STL file-a, a time se povećava i vrijeme za predradnje.



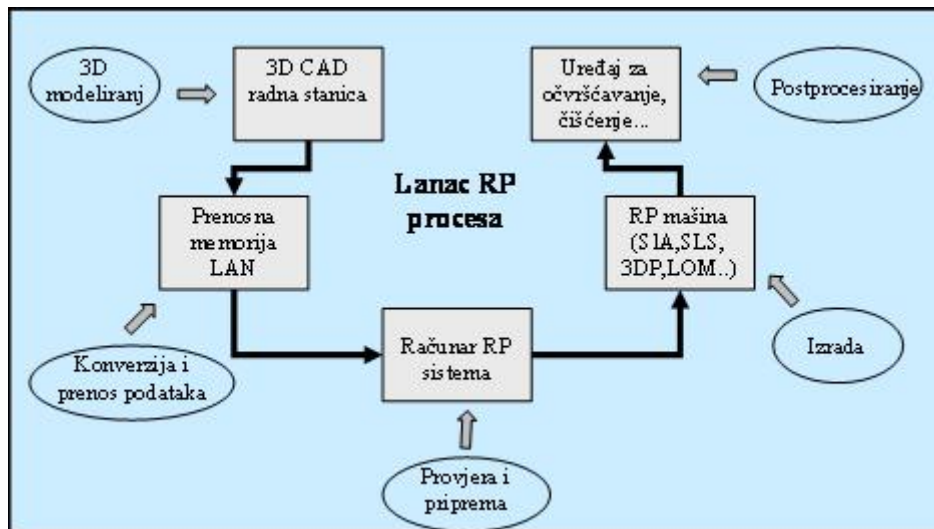
Slika 2. Prikaz modela u SolidWorks-u (lijevo) i STL formata (desno).[5]

- **Stvaranje slojeva:** poseban softver analizira poligonalni model i pretvara ga u niz poprečnih presijeka. Ovisno o postupku, laserska ili ink-džet glava počinje stvaranje slojeva, od najdonjeg prema najgornjem.
- **Naknadna obrada prototipova (postprocesiranje):** nakon stvaranja modela, s njega se uklanja zaostali neželjeni materijal, te se brusi ili polira kako bi se dobilo željeno stanje površine.

Lanac RP procesa predstavljen je na slici 4, a slika 3. prikazuje blok šemu procesa obrade podataka o 3D modelu u RP tehnologijama.



Slika 3. Proces obrade podataka o 3D modelu u RP tehnologijama.[6]



Slika 4. Lanac RP procesa. [6]

U tabeli 1. je predstavljen prikaz glavnih karakteristika RP procesa za 4 različite tehnologije.

Tabela 1. Prikaz glavnih karakteristika RP procesa za 4 različite tehnologije.

Proces	SLA	SGC	SLS	LOM
Mašina	SLA 250	Solider 5600	SLS Sinterstation 2000	LOM 1015
Proizvodjač	3D Systems, Inc.	Cubital Ltd.	DTM Corp.	Helisys
Maksimalne dimenzije dijela (mm)	254 X 254 X 254	508 X 508 X 355	305 X 381 (d x h)	220 X 2540 X 381
Debljina sloja (min-max, mm)	0.1 – 0.9	0.05 – 0.15	0.13	0.005 – 0.05
Brzina u vertikalnom pravcu	Zavisno od geometrije dela	60 – 100 nivoa/sat	Zavisno od geometrije dijela	10 mm/sat
Tačnost	0.2 mm	0.1 % (u svim pravcima)	$\pm 0.05 - \pm 0.25$ mm	± 0.127 mm
Materijali	Fotoosetljive smole	Fotoosetljive smole, vosak	Termoplastični materijali (PVC, najlon, ABS/SAN), vosak	Papir, najlon, poliestar

Najvažnija ograničenja pri izradi dijelova predstavljaju oblik i zapremina radne komore, koji određuju maksimalne dimenzije dijela. U slučajevima da dio zbog svojih dimenzija ne može da stane u radnu komoru, prihvatljivi rezultati se mogu postići podjelom modela na više dijelova, koji se nezavisno izrade, a potom spajaju.

Od debljine sloja zavisi kvalitet površine. Za veće vrijednosti debljine na površini modela može se uočiti stepenasti efekat, usljed slojevitog formiranja modela.

Tačnost dimenzija u različitim pravcima i mehaničke karakteristike dobijenog fizičkog modela su uglavnom obrnuto proporcionalne. Na tačnost dimenzija nepovoljno utiče efekat savijanja.

Efekat savijanja nastaje usljed skupljanja materijala prethodno izrađenog sloja za vrijeme opuštanja, odnosno kristalizacije. Izazvana pomjeranja su veća na sljedećem sloju, jer se i on naknadno, tokom svoje kristalizacije skuplja. Jasno je da je ovaj efekat izraženiji kod dijelova sa više slojeva. Efekat savijanja se može smanjiti adekvatnim "postavljanjem" (orijentacijom) modela u radnu komoru, kao i korištenjem odgovarajuće noseće strukture.

Treba težiti da veća dimenzija bude postavljena u radijalnom, a manja u aksijalnom pravcu cilindrične radne komore.

2. Rapid tooling (brza izrada alata)

Obuhvata niz tehnika koje se koriste za brzu izradu složenih alata, kalupa i oblika, koji se zatim koriste za izradu gotovih dijelova

Brza izrada alata (Rapid Tooling) je termin koji se upotrebljava kako za proizvodnju kalupa na osnovu modela izrađenog RP sistemima, tako i za proizvodnju kalupa direktno preko RP sistema. Ove tehnike nadopunjuju brzu izradu prototipova, proizvodeći veći broj dijelova različitih vrsta materijala.

Nezaobilazne su prednosti koje pružaju ove tehnike u odnosu na tradicionalne metode mašinske izrade, a to su:

- kraće vrijeme izrade (sa mjesec na nekoliko dana ili sedmica),
- niska cijena,
- mogućnost funkcionalnog testiranja dijelova u ranoj fazi konstruisanja,
- direktan prenos CAD podataka (mogućnost ljudske greške je minimalna).

Brza izrada alata se dijeli u odnosu na vijek trajanja proizvedenih alata na:

- Brzu izradu mekih i
- Brzu izradu tvrdih alata.

U odnosu na način izrade brza izrada alata dijeli se na

- Direktnu i
- Indirektnu izradu alata

Tako sve tehnologije brze izrade alata možemo podijeliti na:

Direktnu izradu mekih alata

Direktna izrada mekih alata se odnosi na kreiranje alata ili kalupa direktno preko RP procesa. Alati ili kalupi postupkom direktne izrade mekih alata mogu biti napravljeni od gumenih silikona, epoxy smole, metala niske tačke topljenja i pijeska. Ovakvi materijali dozvoljavaju samo pojedinačno kalupiranje ili mali period proizvodne upotrebe. Meki alati se upotrebljavaju za livenje plastičnih komponenti i imaju izdržljivost proizvodnje 100 do 1000 komada. Brojne su tehnike za direktnu izradu mekih kalupa, najrazvijenije metode su: Direct AIM (ACES Injection Moulding), Kalupljenje prostornom slagalicom (Space Puzzle Molding) itd.

Direktnu izradu tvrdih alata

Direktna izrada tvrdih alata se odnosi na kreiranje alata ili kalupa uglavnom od alatnih čelika, direktno preko RP procesa. Alati izrađeni ovim postupkom dozvoljavaju duži period proizvodne upotrebe od mekih alata, od više hiljada do nekoliko miliona. Neke od mnogih metode izrade tvrdih kalupa su: Soligen 3DP proces – direktna proizvodnja formi za livenje (Direct Shell Production Casting – DSPC), ZCast postupak livenja metala, brzo livenje (ProMetal Rapid casting technologies – ProMetal RCT) itd.

Indirektnu izradu mekih alata

U indirektnoj izradi kalupa samo model se kreira upotrebom RP procesa. Kalup, napravljen od gumenog silikona, epoxy smole, metala niske tačke topljenja ili keramike, se

onda kreira na osnovu modela. Komercionalno najzastupljenije metode su: Izrada silikonsko gumenih kalupa (Silicone rubber Room Temperature Vulcanizing - RTV), reaktivno injektivno brizganje (Reaction Injection Moulding – RIM), izrada epoxy alata sa primjesom metala (Metal filled Epoxy Tooling Technology), izrada kalupa raspršavanjem metala (Spray metall Tooling) itd.

Indirektnu izradu tvrdih kalupa.

Postoje mnoge vrste metoda indirektnu izrade tvrdih kalupa sa daljom tendencijom rasta. Među najrazvijenijim procesima su procesi brze izrade alata očvršćavanjem metala (Rapid Solidification Process RSP), Sprayform, EcoTool, MetalCopi, RTM Spark i RePliForm.

2.1. Izrada silikonsko gumenih kalupa (Silicone rubber Room Temperature Vulcanizing - RTV)

Izrada RTV silikonsko gumenog kalupa je osnovna vrsta indirektnu izrade mekih kalupa. Prototip izrađen bilo kojim RP procesom može biti upotrebljen kao model za proizvodnju RTV silikonsko gumenog kalupa.

Njena primjena je uglavnom u proizvodnji plastičnih prototipova u malim serijama livenja.

Veličina serije je od nekoliko komada pa do par stotina, što zavisi od reaktivne prirode polimera i geometrijske složenosti dijela i deformacije kalupa prilikom vađenja dijela iz kalupa.

Proces izrade RTV kalupa započinje postavljanjem modela u okvir koji je najčešće od drveta ili kartona.



Slika 5. Postavljanje modela u okvir.

Druga faza je izlijevanje silikonske mase preko modela.

Pri odabiru silikonskih masa neophodno je voditi računa da uzmemo mase koje ne zahtijevaju dug period očvršćavanja. Mnoge silikonske mase zahtijevaju jako dug period očvršćavanja, koji zavisi od debljine kalupa.

TEKASIL 2k i TEKASIL 2k – Z010 su dvokomponentne mase na silikonsko-kaučuk osnovi, proizvedene uglavnom za izradu kalupa.

Glavne karakteristike TEKASIL masa su:

- Niska viskoznost,

- Jednostavan za obradu,
- Za većinu materijala ne zahtijeva sredstvo za razdvajanje,

TEKASIL 2k – Z010 je dvokomponentna masa koju miješamo u omjeru 20:1. Komponenta B - očvršćivač potrebno je dobro umiješati lopaticom ili mikserom kako bi se osigurala jednaka materijalna struktura.



Slika 6. Miješanje dvije komponente TEKASIL 2k Z010 silikonske mase.

Kada je masa umiješana izlijemo je sa visine u tankom mlazu na predmet kojeg želimo da modeliramo. Na taj način omogućavamo da silikon popuni sve rupe i istisne vazduh, čime se postiže da vulkanizirana masa bude bez vazdušnih mjehurića.



Slika 7. Livenje silikonske mase preko modela.

Model možemo odvojiti od kalupa tek nakon 24 sata, ali potrebno je pričekati 48 sati da se dostignu konačne mehaničke karakteristike vulkaniziranog 2K silikona.



Slika 8. Odvajanje modela od kalupa.



Slika 9. Livenje polimera u kalup.

Nakon odvajanja modela od kalupa možemo pristupiti ulijevanju polimera u kalup. Najčešće korišteni materijali za livenje su poliuretan, poliester, epoksid, kalajno olovna legura ($200\text{ }^{\circ}\text{C}$), powder ($230\text{ }^{\circ}\text{C}$) i cinkna legura.

Pri livenju polimera u kalup neophodno je osigurati da deformacije kalupa koji je veoma elastičan budu što manje.

Kad polimer očvrstne možemo ga odvojiti od kalupa na isti način kao i model.



Slika 10. Odvajanje gotovog dijela od kalupa.



Slika 11. Silikonski kalup, model i prototip

Prednosti ovog postupka su jednostavnost procesa, laka proizvodnja kalupa za izradu kompleksnih dijelova, mogućnost izrade finih detalja, dostupnost materijala, dobra površinska obrada i pouzdanost procesa.

Glavni nedostatak procesa je u ograničenoj preciznosti - ovaj postupak se primjenjuje za manje precizne dijelove sa kompleksnim oblicima zbog deformacije mekih kalupa. RTV tehnologija uglavnom se koristi pri manualnom načinu proizvodnje, ali se u zadnje vrijeme pojavljuju automatizirane tehnologije.

3. Zaključak

Tehnologije brze izrade prototipova mogu predstavljati znatne uštede vremena i novca prilikom razvoja proizvoda. Ovim metodama su se izbjegle neke vrlo skupe faze koje su do sada bile prisutne: izrada alata, naknadna obrada odvajanjem čestica, u nekim slučajevima i termička obrada itd. Metode brze izrade prototipova omogućavaju izradu dijelova vrlo složenih oblika, čija je izrada do pojave ovih postupaka bila vrlo ograničena.

Tehnike brze izrade alata nadopunjuju brzu izradu prototipova, proizvodeći veći broj dijelova različitih vrsta materijala. Brojne su prednosti koje pružaju ove tehnike u odnosu na tradicionalne metode mašinske izrade, a to su: kraće vrijeme izrade, niska cijena, mogućnost funkcionalnog testiranja dijelova u ranoj fazi konstruisanja, direktan prenos CAD podataka, izrada finih detalja itd.

Primjena ovih postupaka raste iz dana u dan i prisutna je u svim industrijskim granama.

Literatura

- [1] Dragi Tiro, Trodimenzionalno printanje i ostali postupci brze izrade, Mašinski fakultet Mostar, 2008.
- [2] <http://www.masfak.ni.ac.yu>
- [3] Vojislav Radović, MEHANIČKA TEHNOLOGIJA II DIO; 1974. god.
- [4] <http://www.gradimo.hr>
- [5] <http://www.vu.vutbr.cz>
- [6] RP/RT/RE TEHNOLOGIJE - prezentacija; dr. Nened Grujović; 2007.god.
- [7] <http://www.mat-net.hr>
- [8] <http://www.sfsb.hr>
- [9] <http://www.parp.cmdok.dt.pl>
- [10] <http://www.raprotec.de/lomtechnik.htm>
- [11] <http://www.zcorp.com>
- [12] http://rpdrc.ic.polyu.edu.hk/contentrt_plastic_injectionaim_introduction.htm
- [13] <http://www.soligen.com>
- [14] <http://www.prometal.com>
- [15] <http://www.engineershandbook.com>

PRODUKCIJA I ZAŠTITA OKOLIŠA OD PRAŠINE NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA NEMETALNIH MINERALNIH SIROVINA

NIHAD VEJZOVIĆ, student

Univerzitet u Zenici, Fakultet za metalurgiju i materijale, *Odsjek za nemetalne materijale*

Travnička cesta 1, 72000 Zenica

Ključne riječi: nemetalne sirovine, površinska eksploatacija, prašina, zdravlje, okoliš.

UVOD

Sve sitnodisperzne krute čestice koje mogu lebjeti u vazduhu smatraju se prašinom. Lebdeća prašina čini sa vazduhom disperzni sistem u kome je vazduh disperzna sredina, a prašina je disperzna faza. Ovu lebdeću prašinu u vazduhu možemo jednostavno nazvati „aerosolom“ prašine čija se veličina čestica izražava i mikrometrima (μm). Prilikom usitnjavanja čestica dolazi do povećanja njihove površine a samim time i sklonosti raspršenog medija oksidaciji, apsorbovanju gasova, rastvaranju, itd.

KARAKTERISTIKE PRAŠINE

Prema stepenu disperznosti razlikuju se tri kategorije prašine:

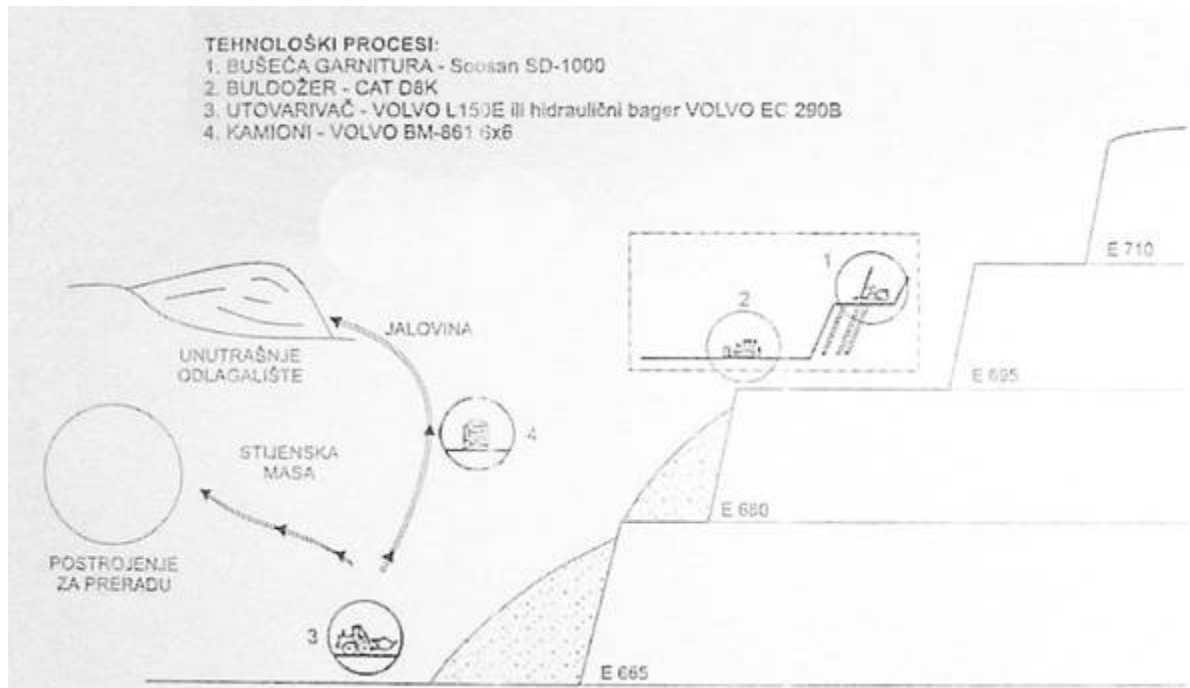
- prašina sa česticama većim od $10\ \mu\text{m}$, ova prašina se taloži povećanom brzinom kada vazduh miruje,
- prašina sa česticama od $10\ \mu\text{m}$ do $0,1\ \mu\text{m}$, ova se prašina taloži konstantnom brzinom kada vazduh miruje,
- prašina sa česticama ispod $0,1\ \mu\text{m}$, ova prašina se ne taloži.

Dokazano je da prašina sa česticama veličine 2 do $3\ \mu\text{m}$, mogu pomoću vazdušnih struja dospjeti na veoma velike udaljenosti, čak i do nekoliko stotina kilometara. Sposobnost prašine da lebdi zavisi od niza faktora: gustine, finoće, oblika čestica, vlažnosti, temperature, brzine kretanja vazduha, idr.

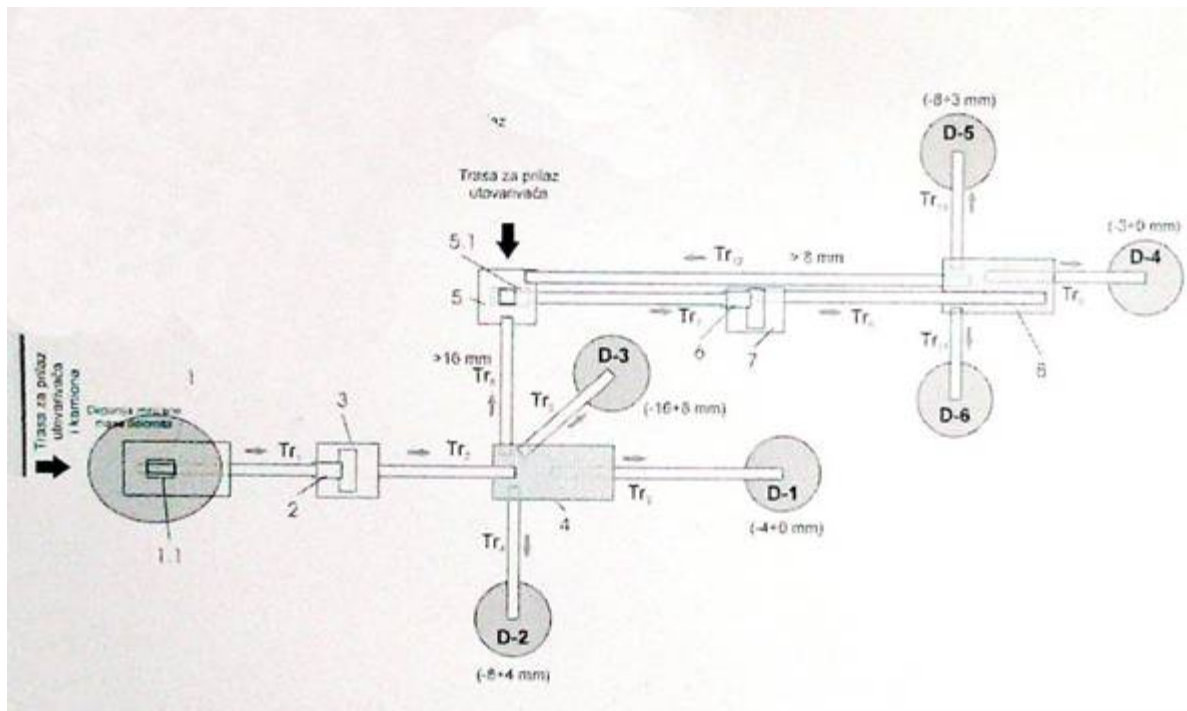
Prisustvo prašine na površinskim kopovima nemetalnih mineralnih sirovina je nepoželjno i štetno iz dva osnovna razloga:

- prašina je štetna po zdravlje ljudi zbog svoje otrovnosti i agresivnosti,
- prašina je štetna po funkcionalnost rada mašina i postrojenja,

Po zdravlje ljudi štetna je prašina sa veličinom čestica manjom od $10\ \mu\text{m}$, a naročito su štetne čestice veličine ispod $2\ \mu\text{m}$.



TEHNOLOŠKA ŠEMA SISTEMA POVRŠINSKE EKSPLOATACIJE U OGRANIČENOM PROŠIRENOM POVRŠINSKOM KOPU



TEHNOLOŠKA ŠEMA PRERADE [usitnjavanje (drobljenje i mljevenje) i klasiranje] STIJENSKE MASE U TEHNOLOŠKOJ LINIJI SEPARACIJE

1. poluotvoreni bunker sa dozirnim tračnim transporterom, 2. vibracioni dodavač, 3. udarno-rotaciona drobilica, 4. troetažno vibraciono sito, 5. prijemni bunker sa dodavačem, 6. vibracioni dodavač, 7. udarno-rotacioni mlin 8. troetažno vibraciono sito, Tr_1 do Tr_{12} tračni transporteri

Eksploatacijom nemetanih mineralnih sirovina na površinskim kopovima (PK) prašina se stvara prilikom izvođenja slijedećih radnih procesa:

- bušenje minskih bušotina,
- miniranje,
- utovar i transport,
- prerada (usitnjavanje, drobljenje i mljevenje, prosijavanje),
- presipna mjesta na trakastim transporterima,

Karakteristike zaprašenosti radilišta prilikom izvođenja pomenutih radnih procesa su: specifično stvaranje (produkcija) prašine, specifično izdvajanje prašine, intenzitet stvaranja prašine, intenzitet izdvajanja prašine i zaprašenost vazduha.

Specifično stvaranje (produkcija) prašine (kg/t), je odnos mase stvorene prašine prema masi minirane stijenske mase, prema masi izdrobljene ili izmljevene te prosijane stijenske mase (zavisno na koji se proces prerade odnosi).

Specifično izdvajanje prašine (g/t), je odnos mase prašine koja je prešla u lebdeće stanje prema masi razrušene stijenske mase iz određenog radnog procesa koji je naprijed naveden (najviše mljevenje).

Intenzitet izdvajanja prašine (kg/s), je količina prašine koja je prešla u lebdeće stanje u jedinici vremena.

Zaprašenost vazduha (mg/m³), predstavlja masu prašine u jedinici zapremine vazduha.

Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisije zagađujućih materija u zrak (Sl. Novine F BiH br. 12/05), propisane su granične vrijednosti zaprašenosti vazduha na površinskim kopovima nemetalnih mineralnih sirovina u iznosu od 50 mg/m³ vazduha.

Specifično izdvajanje prašine i zaprašenost zraka, prilikom eksploatacije nemetalnih mineralnih sirovina na površinskim kopovima, zavisi od specifičnog stvaranja prašine.

S obzirom da je intenzitet stvaranja prašine različit pri različitim radnim procesima (bušenje minskih bušotina, miniranje, utovar, transport, prerada, itd.), tako je i mineralni sastav prašine zavisn od mineralnog sastava eksploatisane stijenske mase, jalovine i uklopaka u masivu.

U atmosferskom vazduhu na površinskom kopu nemetalnih mineralnih sirovina mogu se nalaziti čestice lebdeće prašine različitih dimenzija, prema karakteru stvaranja prašine postoje dvije grupe izvora:

- tehnološki procesi dobivanja mineralne sirovine,
- tehnološki procesi prerade mineralne sirovine.

Izučavajući intenzitete stvaranja prašine prilikom utovara i transporta, isti možemo predstaviti slijedećim izrazom:

$$I_{sp} = b \times Q \times G_{pr} \text{ -----[mg/s]}$$

gdje su:

I_{sp} – intenzitet stvaranja prašine prilikom utovara,

b – koeficijent koji uzima u obzir karakteristike utovarno-istovarne opreme,

Q – kapacitet utovara i transporta u sekundi,

G_{pr} – količina prašine koja dospijeva u radnu okolinu na tonu proizvoda [mg/s]

Transportom eksploatisane mase trakama na mjestima presipa se u atmosferu izdvaja znatna količina prašine. Na ovo izdvajanje prašine utiču: brzina vazduha, vlažnost transportovane mineralne sirovine i visina presipa.

Rezultati ovog ispitivanja dati su u slijedećoj tabeli:

Visina presipa (m)	Vlažnost mase (%)	Brzina vazduha (m/s)	Zaprašenost vazduha (mg/m ³)
0,4	7,4	0,9	16
0,5	8,8	0,7	18
0,9	7,2	1,1	20

PROFESIONALNA OBOLJENJA OD PRAŠINE

Dejstvo lebdeće mineralne prašine na čovjekov organizam može biti otrovno, agresivno i radioaktivno. Stalnim i dugotrajnim izlaganjem i udisanjem zapašenog vazduha mogu se razviti profesionalne plućne bolesti, koje se zovu pneumokonioze (grč. *pneumon* – pluća i *konia* – prašina).

U zavisnosti od vrste prašine koja se udiše poznajemo oboljenja i nazivamo ih:

- *Antrakoza*, od udisanja ugljene prašine,
- *Silikoza*, od udisanja silicijske (kvarcne) prašine,
- *Azbestoza*, od udisanja azbestne prašine,
- *Aluminoza*, od udisanja aluminijske prašine,
- *Sideroza*, od udisanja prašine oksida željeza.

Od svih nabrojanih najopasnija je silicijska prašina, pošto se slobodni SiO_2 u alveolama pluća pretvara u silikatnu kiselinu (H_2SiO_3) koja odlazi u krv i koja negativno djeluje na ostale organe u tijelu.

Pored oboljenja pluća prašina negativno djeluje na čovjekov organizam i uzrokuje druga oboljenja, kao što su:

Bolesti kože, prašina zapuni pore što uzrokuje upale, koža postaje suha, gubi masnoću i podložna je drugim mehaničkim uticajima.

Bolesti očiju, prašina ima nadražujuća te infektivna dejstva kao što je konjuktivitis.

Maksimalno dozvoljene koncentracije lebdeće prašine u vazduhu (čest./cm^3) date su slijedećom tabelom:

Vrsta lebdeće prašine	broj čestica (čest./cm^3)
Mineralna prašinasa 70 do 100% SiO_2	110
Mineralna prašina sa 50 – 70% SiO_2	135
Mineralna prašina sa 30 – 50% SiO_2	200
Mineralna prašina sa 15 – 30% SiO_2	300
Mineralna prašina sa 5 – 15% SiO_2	600
Mineralna prašina sa oko 5% SiO_2	880
Mineralna prašina sa manje od 1% SiO_2	1750
Prašina azbesta	175
Prašina talka, liskuna (muskovita)	700
Prašina grafita	530

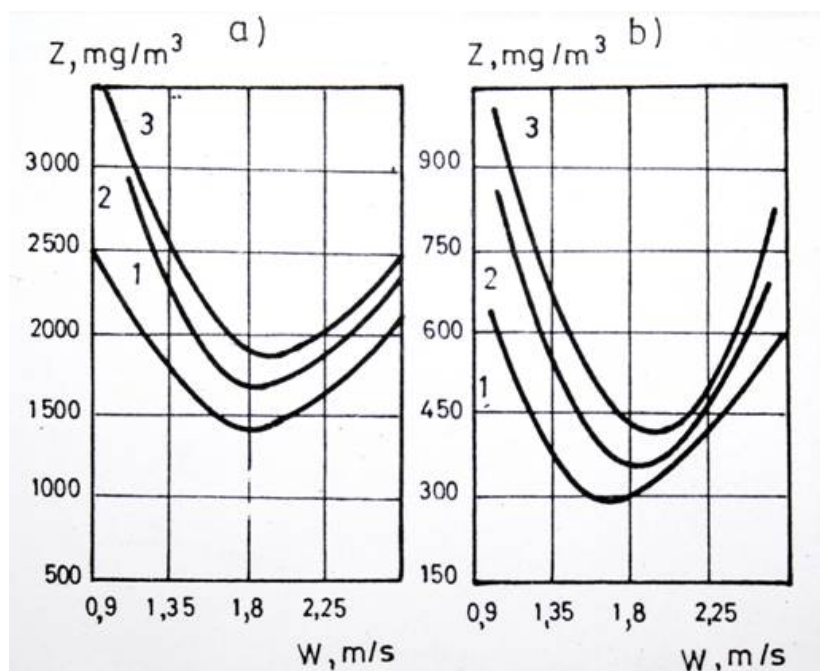
MJERE ZA SMANJENJE UTICAJA

Za smanjenje i ublažavanje negativnih uticaja prašine kako na čovjeka tako i na okoliš preduzimaju se slijedeće mjere, prema procesima:

- prilikom bušenja minskih bušotina, obaveznom ugradnjom posebnih separatora sa pripadajućim bunkerima za sakupljanje prašine,
- prilikom utovara mineralne sirovine, intenzivnim prskanjem vodom utovarnih površina i transportnih puteva,
- prilikom transporta mineralne sirovine, montažom posebne rampe sa prskalicama na izlaznoj kapiji iz kruga površinskog kopa.
- prilikom primarne prerade, montažom posebnih postrojenja za otprašivanje i čišćenje frakcija nemetalnih mineralnih sirovina (filterska postrojenja).

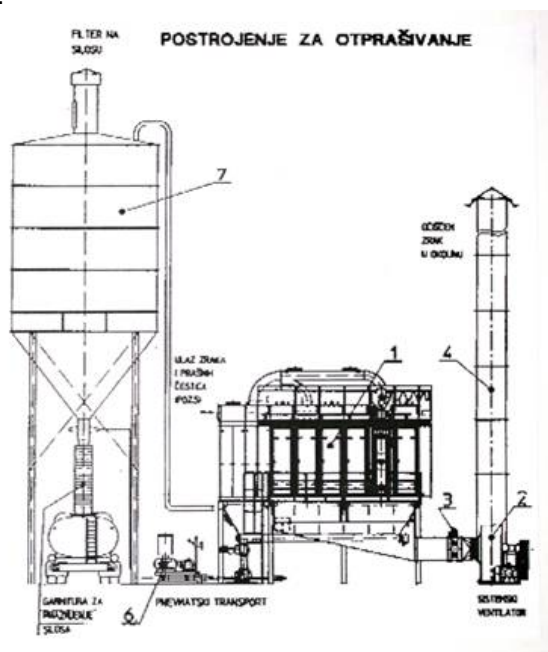
Najbolji rezultati se postižu instalisanjem filterskih postrojenja koja se sastoje od više manjih a međusobno skladno i funkcionalno povezanih sklopova, koje prema funkciji u filterskom postrojenju možemo poredati prema slijedećem:

- filter od tkanine za izdvajanje grubih čestica prašine,
- ventilatori sistema za stvaranje vazdušne struje u filterskom postrojenju,
- motorne regulacione zaklopke cjevovoda za regulaciju protoka zraka,
- usisni (primarni) cjevovodi do strojeva koji se otprašuju,
- pneumatski transpotrni sistem filtrata u silos sa kompresorom i cjevovodima.
- silos za filtrat sa pripadajućom opremom za pražnjenje,
- komandni elektro-ormar za napajanje filterskog postrojenja,
- sofisticirana tehnologija za potpuno automatsko upravljanje postrojenja.

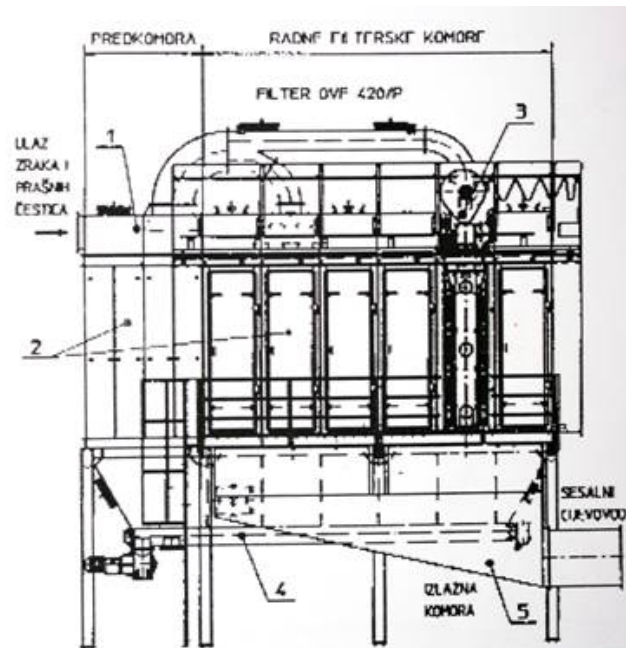


Dijagram zavisnosti zaprašenosti vazduha (Z) od brzine vazduha (W)

Na slijedećim šemama i slikama predstavljena su postrojenja i uređaji za smanjenje i ublažavanje negativnog uticaja prašine prilikom eksploatacije nemetalnih mineralnih sirovina na površinskim kopovima.

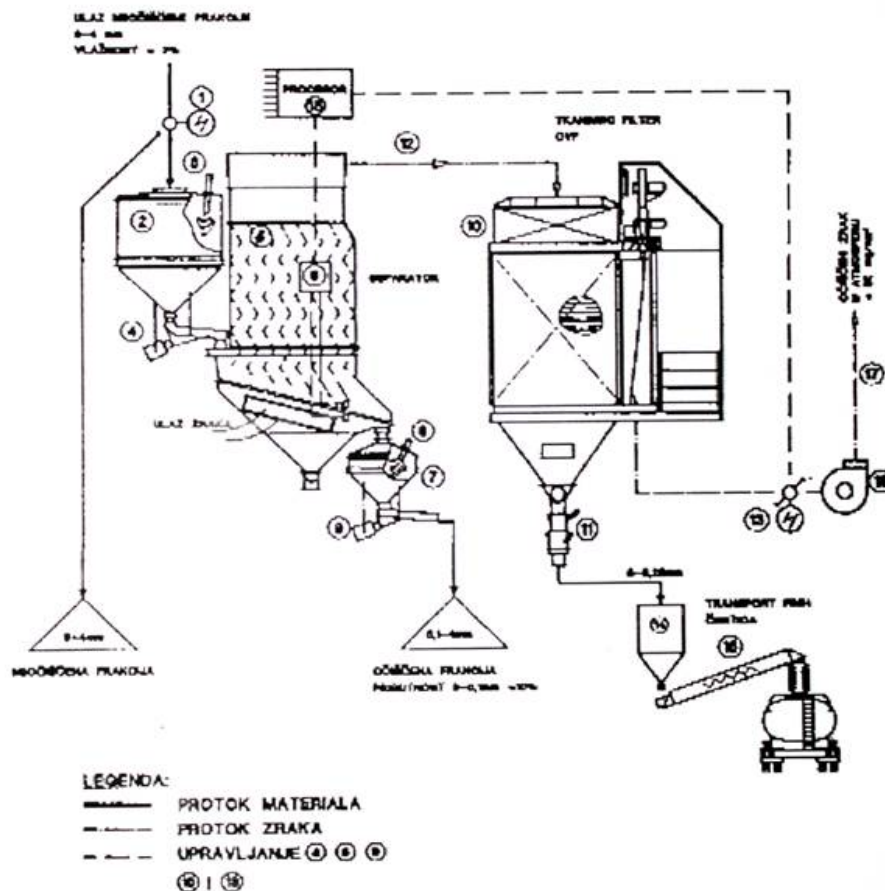


KOMORA ZA OTPRAŠIVANJE

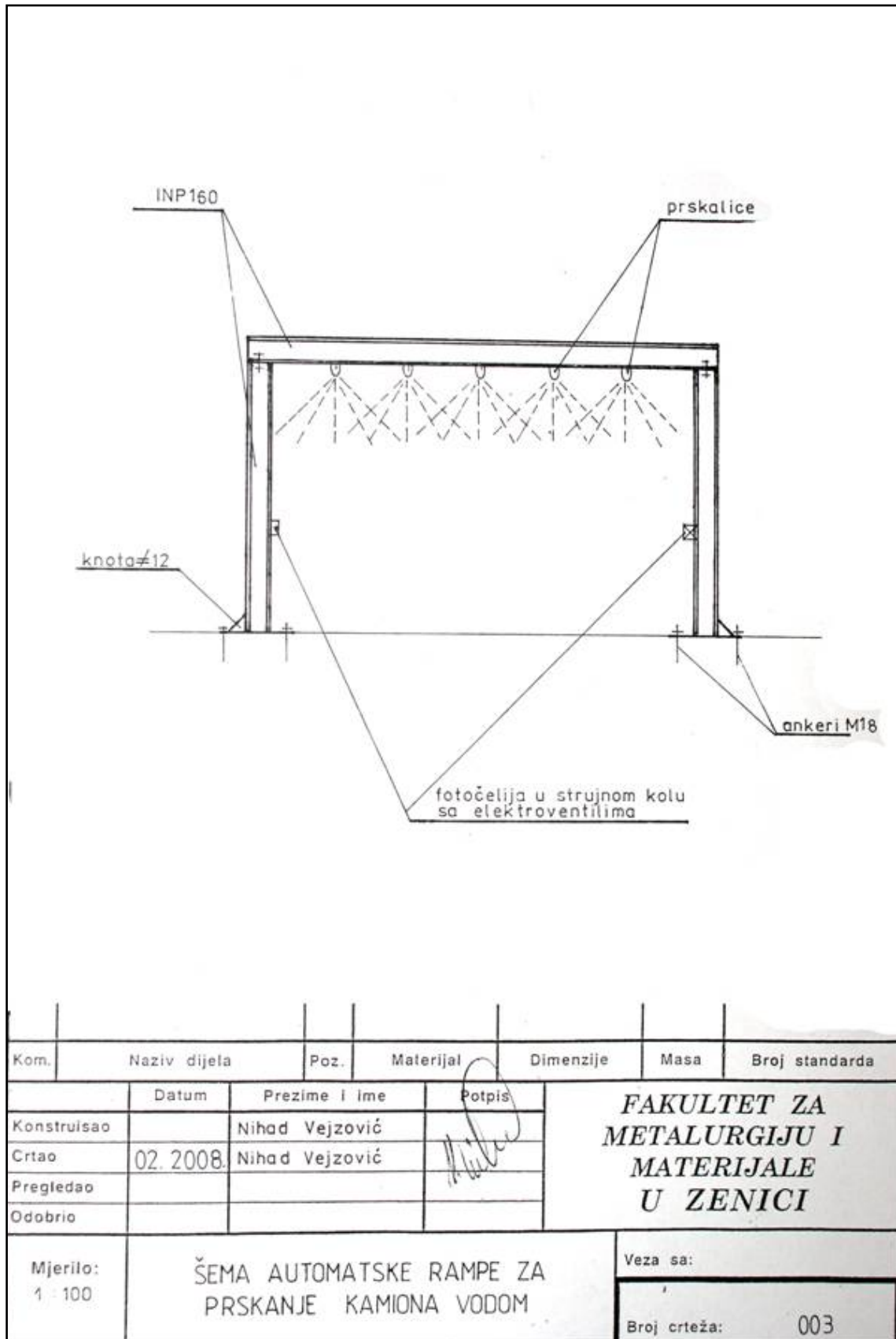


Radne komore, sa filterskim vrećama ili bez, mogu imati više komora i predkomora za izdvajanje grubih čestica.

Izborima tkanine filterskih vreća, njenog kvaliteta, u radnim komorama diktiramo i emisiju prašnih čestica na izlazu prema ispustu u atmosferu. Ova granica se kreće u rasponu do $\max 50 \text{ mg/m}^3$.



TEHNOLOŠKA ŠEMA POSTROJENJA ZA ČIŠĆENJE SITNIH FRAKCIJA



ZAKLJUČAK

Produkcija prašine koja je neizbežna pojava pri eksploataciji nemetalnih mineralnih sirovina, sa aspekta ekologije tj. zaštite okoliša može se primjenom predloženih mjera svesti u dozvoljene granice - zakonske norme a kojih se pridržavaju i ostali regioni Evrope. Potrebno je analizirati svako postojeće i novo eksploataciono područje, povećati eko-efikasnost novim načinom pristupa sistemu projektovanja, rada i kontrole tj. otvaranje novih radnih mjesta, prvenstveno kako bi ovim mjerama zaštitili već ugroženi okoliš te samim tim omogućili upošljavanje mladih i stručnih kadrova.

LITERATURA:

- [1] grupa autora: Osnove praktične primjene rudarske mehanizacije na površinskom kopu, Tuzla 1995.,
- [2] Zbornik radova: Mašine i postrojenja za drobljenje i klasiranje mineralnih sirovina, Zenica 1999.,
- [3] Sredojević Jovan.: Rudarska tehnologija, Zenica 2001.,
- [4] Abdulah R. Ahmić: Primarna prerada nemetaličnih mineralnih sirovina, Zenica 2005.,
- [5] Zakon o zaštiti zraka (Sl. Novine F BiH br.33/03),
- [6] Zakon o zaštiti okoliša (Sl. Novine F BiH br.33/03),
- [7] Zakon o zaštiti prirode (Sl. Novine F BiH br.33/03),
- [8] Pravilnik o graničnim vrijednostima kvaliteta zraka,

PROIZVODNJA VEZIVA CEMENTA I KREČA, SA OSVRTOM NA EMISIJU POLUTANATA SO_x , NO_x i CO_2

NIHAD VEJZOVIĆ, student
PETAR PETROVSKI, prof.Dr
MEDIHA ŠESTIĆ, doc.Dr

Univerzitet u Zenici, Fakultet za metalurgiju i materijale, *Odsjek za nemetalne materijale*

Travnička cesta 1, 72000 Zenica

Ključne riječi: cement i kreč, veziva, polutanti, ekologija

UVOD

Cement i kreč su anorganska veziva koja se dobivaju određenim tehnološkim postupcima, ona imaju svojstva da dodatkom vode u datom trenutku očvrstnu, odnosno vežu, prelazeći iz stanja plastičnog tijesta u čvrsto stanje.

Prema tome cement i kreč su građevinski materijali – veziva, koja se prilikom primjene, dodatkom vode daju oblikovati, postaju plastični a nakon upotrebe u ovakvom stanju poslije dužeg ili kraćeg vremena očvršćavaju te omogućavaju gradnju čvrstih i stabilnih građevinskih konstrukcija. Pred ove materijale kao prerađevine postavljaju se slijedeći zadaci :

- da mogu povezivati pojedine građevinske elemente,
- da građevinske objekte štite od atmosferilija,
- da mogu poslužiti kao ispune,

SIROVINE ZA PROIZVODNJU VEZIVA

Najvažnije sirovine za proizvodnju anorganskih vezivnih materijala, cementa i kreča su krečnjačke stijene – karbonati, glineni minerali, sulfatni minerali i pucolani. Kemijski karbonati predstavljaju soli ugljične kiseline.

Najznačajniji su minerali :

- kalcit, $CaCO_3$,
- magnezit, $MgCO_3$,
- dolomit, $MgCa(CO_3)_2$,

Pored proizvodnje anorganskih vezivnih maltera ovi minerali su sa glinenim mineralima i pucolanima mogu poslužiti kao sirovine za proizvodnju vatrostalnih materijala, tehničkog stakla i keramičkih materijala.

Glineni minerali su hidratizani alumosilikati i osnovni su sastojci glina. Dijelimo ih u dvije grupe: kaolinitiske i montmorilonitske minerale. Kako hidratizani alumosilikati imaju mogućnost potpune ili djelimične izostrukturalne zamjene aluminijuma sa magnezijumom ili željezom.

Prema svom granulometrijskom sastavu gline su fino disperzni, pa čak i koloidno disperzni minerali sa veličinom zrna od oko 2 μm , a udio koloidne frakcije može biti i do 80%.

Prema petrografskoj klasifikaciji gline svrstavamo u sedimentne stijene sa veličinom čestica manjom od 0,2 mm.

Sulfatni minerali su interesantni samo u proizvodnji cementa kao dodatak masi te u proizvodnji gipsa iz dihidrata $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$.

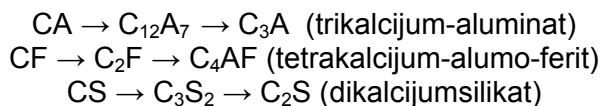
Pucolane, kao sirovine za proizvodnju anorganskih mineralnih veziva (cement i kreč), možemo svrstati u materijale koji mogu djelovati kao veziva samo ukoliko se hemijski aktiviraju. Svakako ih možemo posmatrati i kao sirovine za proizvodnju vezivnih materijala iako nemaju sopstvenih vezivnih svojstava ili ih imaju vrlo malo. Pucolane možemo podijeliti u dvije grupe : prirodne i vještačke. U prirodne pucolane ubrajamo sve pucolane vulkanskog porijekla, dok u vještačke ubrajamo industrijske otpadne materijale kao što su : elektrofilterski pepeo, šljake iz različitih ložišta, metalurške troske, isl. Ovi materijali imaju najčešću primjenu u proizvodnji cementa gdje se u fazi mljevenja dodaju cementnom klinkeru u iznosima i do 30%. U pravilu, dodatkom pucolana vezivima, pojačavamo mehaničke osobine veziva tj. postizemo veće čvrstoće kod istih.

Proizvodnja cementa

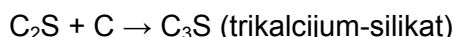
Moderna tehnologija za proizvodnju *cementnog klinkera* podrazumjeva da sirovinski materijal, mješavina krečnjaka, laporca gline, nakon kraćeg vremena provedenog u višestepenom predgrijaču, ulazi u kalcinator u kome se na temperaturi od 850 – 900 °C dolazi do otpuštanja CO_2 iz karbonatne sirovine. Stepem kalcinacije kreće se do 95%. Nakon kalcinatora sirovinski materijal ulazi u rotacionu peć gdje prilikom ulaska u zonu pečenja temperatura ove sirovinske mješavine raste i do 1450 °C. Ovdje dolazi do veoma važne faze pečenja – sinterovanja, procesa u kojem dio sirovinske mješavine prelazi u tečno stanje dok drugi dio ostaje u čvrstom stanju. Čvrsta zrna pri tome imaju rastopljeni samo površinski dio pa se između njih u čvrstom dijelu materijala pojavljuje tzv. intersticijska faza.

Pojava tekuće faze tj. rastopa – taline zavisi od karaktera sirovinske mješavine, veličine zrna i modula sirovine. Ovaj rastop je veoma bitan za reakcije u čvrstom stanju između bazičnih i kiselih oksida i formiranje minerala klinkera – klinkerizaciju.

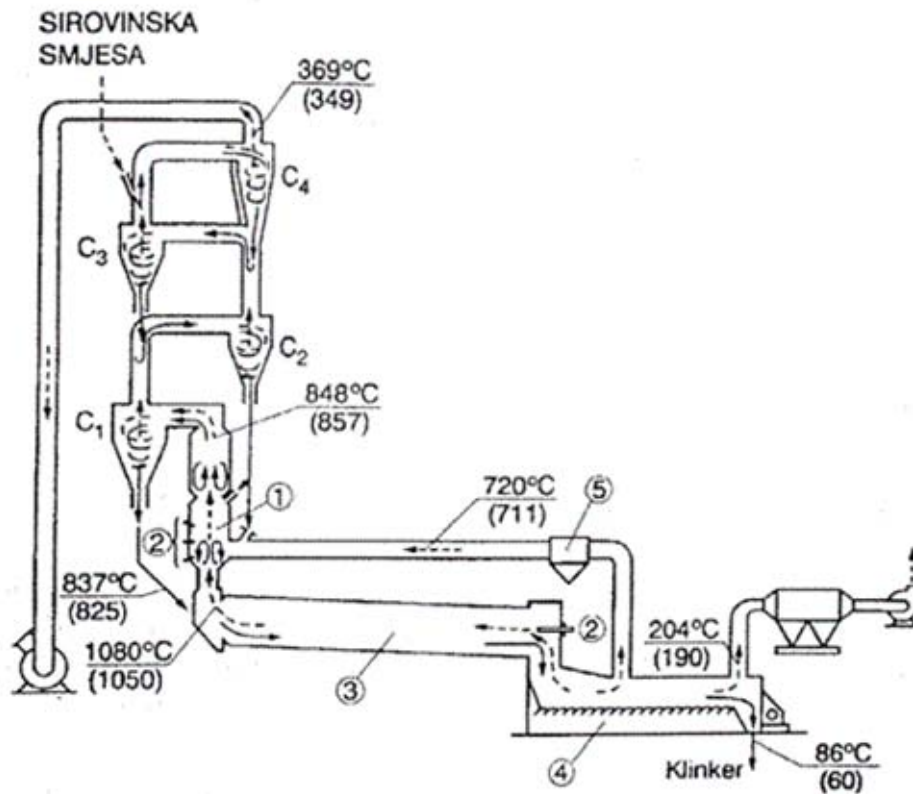
Na temperaturama do 1250 °C, preko intremedijernih jedinjenja, mogu se formirati slijedeće mineralne faze :



Dok se iznad temperature od 1250 °C formira C_3S , prema slijedećoj reakciji :



U zoni pečenja gdje se odigrava sinterovanje – sinter zona, materijal je dijelom u formi rastopa a temperature mogu dostići vrijednosti od 1450 – 1600 °C. Osim visokih temperatura, na pojavu rastopa utiču komponente mješavine, koje snižavaju temperaturu topljenja materijala, a nazivaju se topiteljima kao što su MgO i Na_2O . Na nastajanje C_3S iz C_2S i CaO uveliko ima uticaja i prisutna tečna faza, ali i tzv. mineralizatori koji se prelaskom ugrađuju u kristalnu rešetku C_3S i stabiliziraju je.



Šematski prikaz proizvodnje klinkera
(temperature date u zagradama odnose se na loženje mazutom a one van zagrade ugljenom prašinom)

Za potpuni prelazak svih komponenti sirovinske mješavine u tečno stanje – rastop bila bi potrebna temperatura od čak 1800 °C dok se klinkerizacija odvija na temperaturama iznad 1250 °C (pretežno kod 1400 – 1450 °C), uz udio od 25% tečne faze. Nakon izlaska iz zone pečenja i sinterovanja, gdje je bio izložen maksimalnim temperaturama, Portland-cementni klinker ulazi u zonu hlađenja gdje mu se temperatura spušta na 1250 °C i sa ovom temperaturom ulazi u hladnjak. Hlađenje je veoma važna faza u proizvodnji Portland-cementnog klinkera, jer se pomenuti ključni mineral klinkera *Alit* (C_3S) razlaže samo kod niže temperature te je zbog toga ovo hlađenje veoma bitno za kasnija svojstva cementa. Što je temperatura klinkera niža, prije početka kristalizacije aluminatne i feritne faze, sadržaj formiranog Alita bit će veći. Temperaturni interval ove kristalizacije ovisi od odnosa Al_2O_3/Fe_2O_3 , sadržaja alkalijskih i MgO .

Da bi došli do aproksimativne teoretske vrijednosti utroška energije potrebne za pečenje cementnog klinkera polazimo od idealne sirovinske mješavine bez ikakvih primjesa, a koja se sastoji od 75,8% krečnjaka, 16,3% kaolinita i 7,9% kvarcnog pijeska.

Kako gubitak žarenjem iznosi 35,6%, za proizvodnju 1 kg Portland-cementnog klinkera potrebno 1,553 kg sirovinske mješavine.

S obzirom da nema primjesa, nastali klinker sadržavat će samo osnovne minerale: C_3S , C_2S i C_3A , čiji se sadržaj može proračunati na osnovu sastava:

$$19\% C_3S; 54,7\% C_2S \text{ i } 26,3\% C_3A$$

Ili prevedeno u masene dijelove klinker bi sadržavao:

$$190 \text{ g } C_3S + 547 \text{ g } C_2S + 263 \text{ g } C_3A = 1000 \text{ g ukupno .}$$

U slijedećoj tabeli dati su materijalni i toplotni bilansi po fazama pečenja, te na osnovu provedene analize zaključujemo da krajnji bilans utrošene teoretske toplote iznosi 1800 KJ/kg.

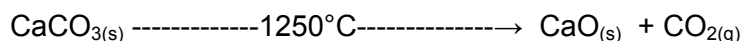
Materijalna bilansa minerala i toplote po fazama pečenja	Endo/egzotermni bilans u kJ/kg		
	Pojedinačan	Ukupan	Sveukupan
<i>Zagrijavanje (20-450 °C)</i>			
1173 g CaCO ₃	+ 523		
253 g kaolinita	+ 126		
123 g SiO ₂	+ 54		
Dehidratacija kaolinita	+ 234	+ 937	
<i>Zagrijavanje (450-900 °C)</i>			
1173 g CaCO ₃	+ 632		
218 g metakaolinita	+ 113		
123 g SiO ₂	+ 67		
Razlaganje CaCO ₃ (900 °C)	+ 1195	+ 2762	
<i>Zagrijavanje (900-1200 °C)</i>			
660 g CaCO ₃	+ 314		
218 g metakaolinita	+ 134		
123 g SiO ₂	+ 71		
Egzotermni efekat stvaranja Al ₂ O ₃	- 70	+ 452	+ 4151
<i>Stvaranje minerala klinkera (1200-1400 °C)</i>			
191 g C ₃ S	- 88		
544 g C ₂ S	+ 335		
265 g C ₃ A	+ 92		
Stvaranje tečne faze	+ 8	- 323	
<i>Toplota oslobođena hlađenjem</i>			
Klinkera 1400 – 20 °C	- 1507		
CO ₂ 900 – 20 °C	- 490		
Vodene pare 450 - 20 °C	- 29	- 2026	- 2349
<i>Teoretski utrošak toplote u kJ/kg</i>			+ 1802

Energetski bilans pečenja cementnog klinkera

Proizvodnja kreča

Krečnjački kamen, kao osnovna sirovina za **proizvodnju kreča**, mora sadržavati iznad 96% CaCO₃ a sadržaj ostalih primjesa, koje su pretežno nekarbonati, ne smije biti veći od 5%. Prema savremenim tehnološkim postupcima proizvodnje kreča (tipovima peći), u faktore koji utiču na proces dekarbonizacije krečnjaka ubrajamo: faktore koji definišu kvalitet sirovine i faktore koji definišu pečenje tj. ponašanje kamena u peći .

Proizvodnja kreča se bazira na svojstvu CaCO₃ da na visokim temperaturama iznad 900°C disocira na CO₂ koji se izdvaja kao plin i bazični oksid, to se može prikazati slijedećom kemijskom reakcijom :



Ukoliko se gasoviti CO₂ ne izvodi iz reakcionog sistema, prema Lešateljjeovom principu (Le Chatelier), temperature disocijacije se mijenjaju (povećavaju), zbog toga reakciju karbonata treba vršiti u toplotnim uređajima – pećima iz kojih se vrši kontinuirano odvođenje gasovitih

produkata, kako bi se ravnoteža kemijske reakcije pomjerila što više u desno i time olakšao proces disocijacije krečnjaka.

Toplotu potrebnu za disocijaciju karbonata – Q, možemo izračunati na bazi slijedećeg izraza kojim se definiše prijenos toplote :

$$Q = c \times G \times \Delta T \quad (\text{KJ/kg})$$

Gdje su .

c – specifična toplota karbonata (CaCO_3)

G – masa karbonata koji se kalcinira

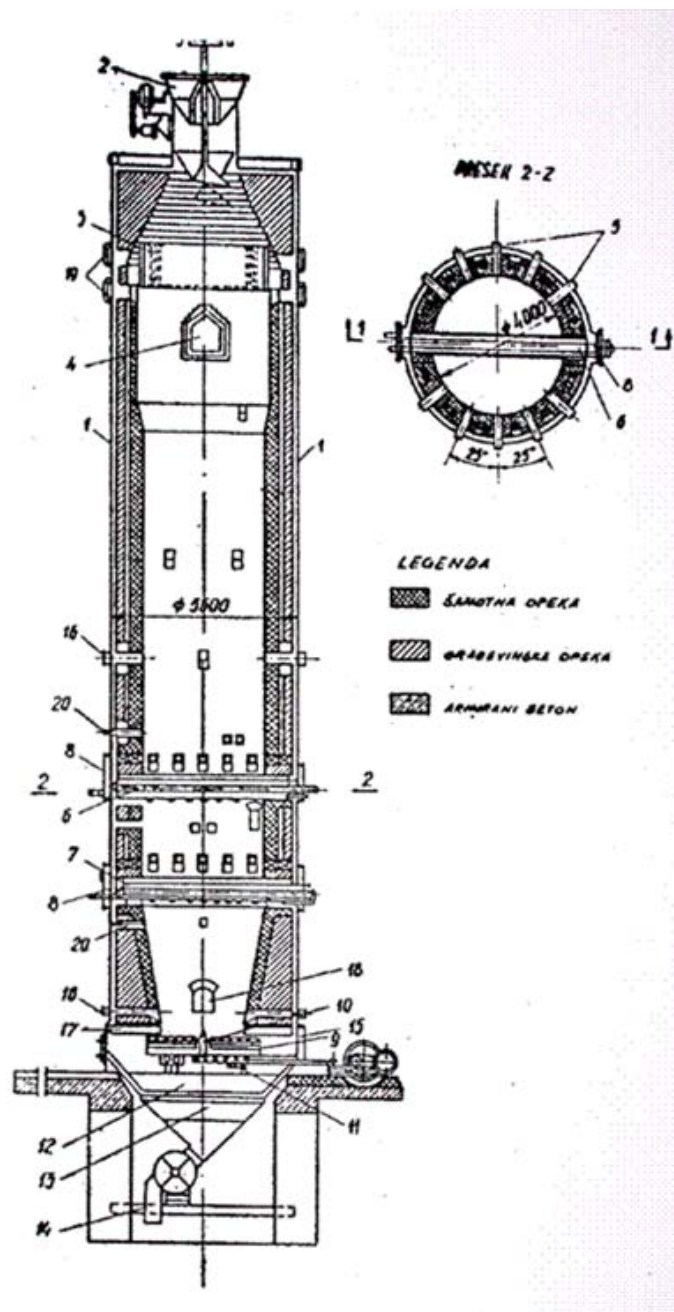
ΔT – razlika između konačne i početne temp. kalcinacije

Spec.toplota za $T_{\text{poč.}} = 291\text{K}$ (18°C) iznosi $1,067 \text{ (KJ/kg}^\circ\text{)}$

Spec.toplota za $T_{\text{disoc.}} = 1091\text{K}$ (818°C) iznosi $1,070 \text{ (KJ/kg}^\circ\text{)}$

Da bi se dobio 1 kg kreča (CaO) potrebno je, na osnovu izraza, utrošiti toplote $Q = 1679 \text{ KJ/kg}$, što predstavlja teoretski utrošak toplote.

S obzirom na fenomen „zadržavanja temp. disocijacije“ a koji traje dok se cjelokupni CO_2 ne oslobodi iz sistema, kao utrošak toplote dekarbonizacije uzima se vrijednost od 3180 KJ/kg .

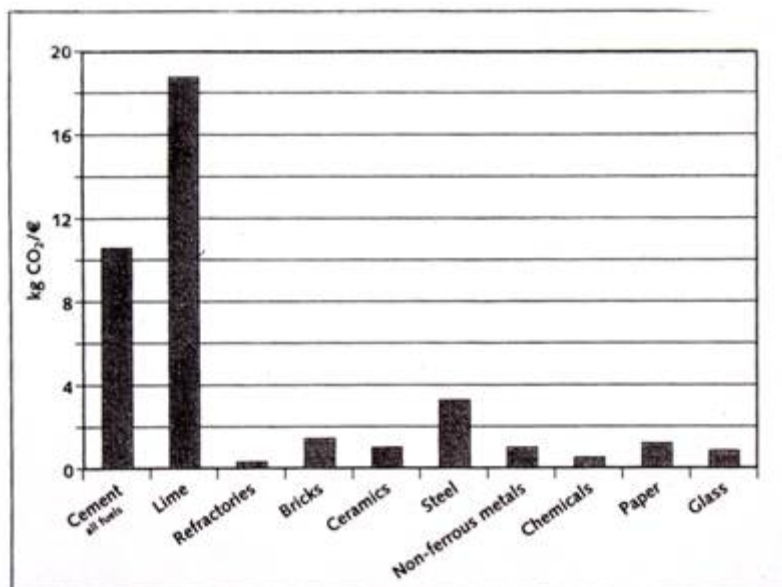


Jamasta gasna peć za pečenje kreča

1. Plašt peći, 2. Uređaj za punjenje, 3. Obloga, 4. Odvod gasova, 5. Ulaz gasa, 6., 7. i 8. Uvođenje zraka i gasovitog goriva, 9. Uređaj za pražnjenje, 10., 11. i 17. Zračno hlađenje, 12. i 13. Bunker, 14. i 15. Pražnjenje, 16. Otvori za promatranje, 18. Otvor za potpaljivanje peći, 19. i 20. Uređaji za mjerenje nivoa temperature i pritiska

EMISIJA I SMANJENJE

Radna temperatura i do 1450 °C postiže se kroz proces sagorijevanja odgovarajućih goriva a najčešće uglja, vrlo rijetko zemnog plina. Korištenje fosilnih goriva u procesima proizvodnje toplinske energije ima za posljedicu emisiju plinskih polutanata u atmosferu (SO_x, NO_x, idr.) kao i stakleničkog plina CO₂ koji pored sagorijevanja nastaje i procesom disocijacije kalcita.



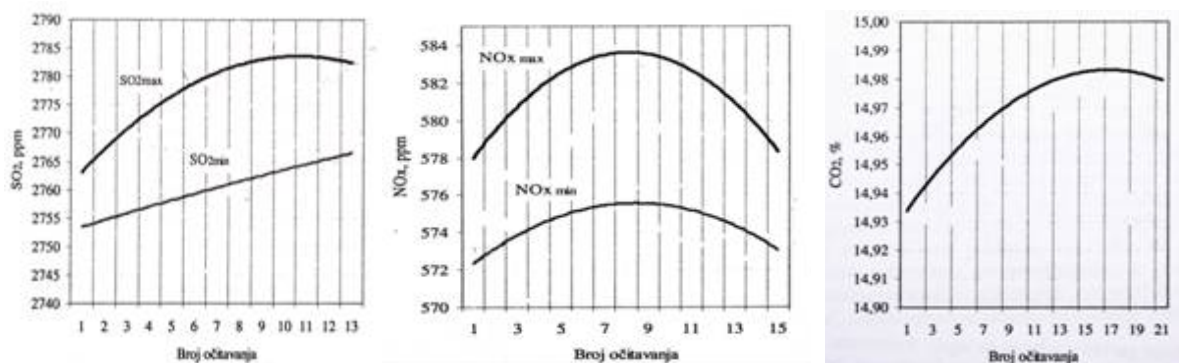
1 Wertbezogene CO₂-Emissionen [1]
1 Value-related CO₂ Emissions [1]

Različiti procesi i emisija CO₂

Specifična emisija komponenti sa dimnim plinovima iz procesa sagorijevanja:

Gorivo	H ₂ O kg/GJ	CO ₂ kg/GJ	CO g/GJ	SO ₂ g/GJ	NO _x g/GJ	C _m H _n g/GJ	Pepeo (Čad) g/GJ
Ugalj	13,7	100	5	740	220	3	80
Teško ulje	21	75	0,1	750	250	10	30
Prirodni plin	42	60	0,1	0	200	4	6
Dizel	25	74	500	180	1100	240	400

Na visokim temperaturama u toku procesa sagorijevanja uglja nastaju oksidi dušika, pretežno dušikov monoksid „termički NO“, koji oksidira do dušikovog dioksida, NO₂, na putu kroz dimovode. Oksidacija NO do NO₂ se završava u atmosferi pod uticajem sunčeve svjetlosti. Dušik i sumpor kao sastavni dio uglja, tokom procesa sagorijevanja-oksidacije učestvuju u formiranju oksida dušika „NO iz goriva“ i „toksičnih plinova SO_x“ kao polutanata.



Distribucija pokazatelja emisije SO_x, NO_x i CO₂

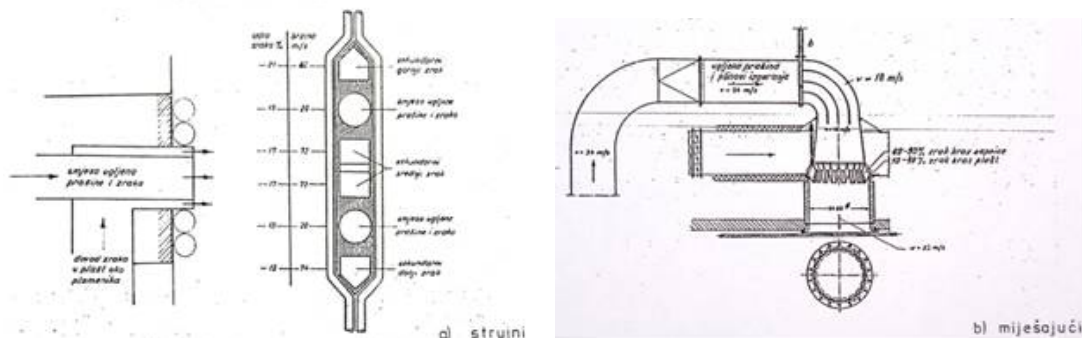
Modifikacija sistema procesa sagorijevanja može se izvršiti primjenom gorionika za sagorijevanje goriva u letu. Zadatak gorionika je da samljeveni ugalj i zrak pomiješa te zatim ubaci ili ubrizga u ložište tehnološkog uređaja gdje su potrebne visoke temperature.

U ložištima a na samom izlazu iz gorionika za sagorijevanje uglja u letu, mješavina goriva i zraka se pali i sagorijeva bez prekida. Zrak potreban za sagorijevanje se dovodi djelimično s ugljenom prašinom kao primarni zrak, a djelimično kroz posebne bočne vodove kao sekundarni zrak.

S obzirom na konstrukciju gorionika razlikuju se: strujni gorionici i gorionici sa miješanjem.

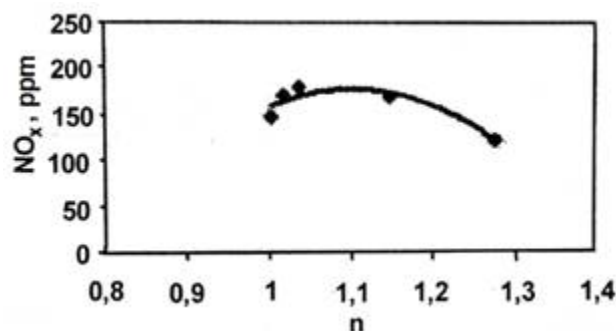
Strujnim gorionicima se dovodi mješavina ugljene prašine i primarnog zraka, dok se sekundarni zrak dovodi posebnim vodovima-sapnicama; ovaj zrak ima ulogu zaštite gorionika od visokih temperatura tako što svojom brzinom udaljuje plamen od gorionika.

Kod miješajućih gorionika sekundarni zrak se ne dovodi u plamen već se u gorioniku miješa s gorivom neposredno prije ubrizgavanja u ložište. Date sheme odnose se na gorionike za izgaranje mrkog uglja i lignita.



Šema gorionika za ugljenu prašinu

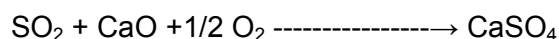
Kod slučaja višestepenog dodavanja zraka u ložište prilikom procesa sagorijevanja zemnog plina ostvaruju se niže temperature u ložištu a samim tim i izostajanje formiranja „termičkog NO“. Prema rezultatima istraživanja promjene koncentracije NO u funkciji promjene zračnog faktora može se vidjeti da je maksimalna koncentracija u oblasti viška zraka $n = 1,1$ do $1,3$ te da koncentracije ne prelaze 250 ppm.



Dijagram uticaja promjene zračnog faktora na emisiju NO_x kod slučaja višestepenog dodavanja zraka u gorioniku

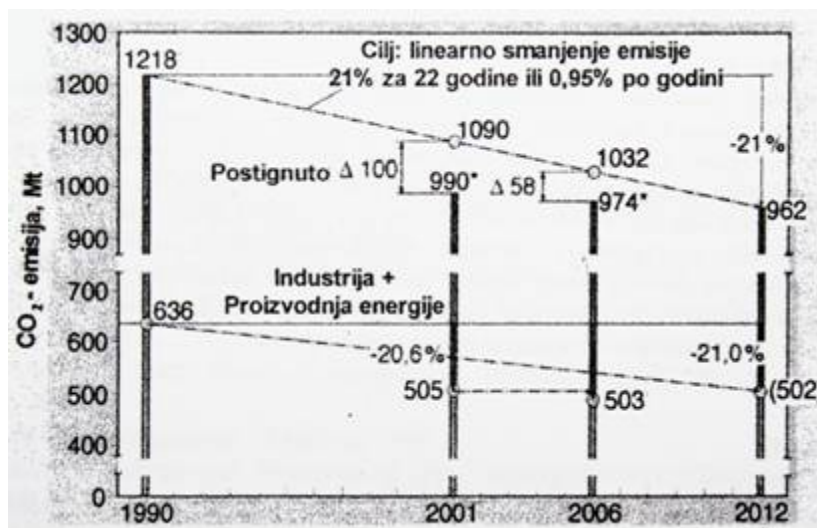
Kako se može vidjeti količina prisutnih oksida dušika i sumpora zavisi od temperature u plamenu, viška zraka, sadržaja dušika i sumpora u gorivu, vremena zadržavanja produkata sagorijevanja u zonama visokih temperatura i od načina miješanja goriva sa zrakom.

Za proces vrućeg odsumporavanja u ložište se dodaje krečni prah, gdje se odvija reakcija apsorpcije plina SO₂.



Modifikacijom sistema za proces sagorijevanja goriva, prema najnovijim naučnim saznanjima, direktno se utiče na smanjenje polutanata tj. ovo može imati ključnu ulogu za

redukciju emisije polutanata (SO_x , NO_x) u atmosferu. Ovim mjerama se sprječava formiranje polutanata u ložištu te ih nazivamo primarne mjere, dok kroz primjenu sekundarnih mjera kao što su desulfuracija i denitrifikacija može se izvršiti eliminacija velikog dijela ovih polutanata. Evropske zemlje, potpisnice Kyoto protokola postigle su zavidno smanjenje emisije navedenih plinova u atmosferu (čak do 10%). Pokazatelji smanjenja emisije CO_2 prema „Clean Development Mechanism“ i planu COP6 gdje se kao osnovica uzima 1990. godina, dati su pregledno na slijedećem dijagramu.



Dijagram smanjenja emisije stakleničkog plina CO_2 u zemljama Europske unije za period od 1990. do 2006. te planiranim smanjenjem do 2012. godine

Pored polutanata SO_x i NO_x , razmatrana je emisije CO_2 koja je uslovljena disocijacijom kalcita kao i ukupna količina uključujući emisiju iz procesa sagorijevanja goriva u ložištima peći.

U procesu proizvodnje veziva postavljaju se odgovarajući zahtjevi sa aspekta kvaliteta proizvoda, sistema rada peći, korištenog goriva kao i polazne sirovine, sa ciljem da se postignu niske vrijednosti emisije CO_2 . Istraživanje je pokazalo da se kroz uštedu energije postiže minimalno smanjenje emisije ovog stakleničkog plina tako da se globalno reduciranje emisije CO_2 iz disocijacije kalcita može postići samo smanjenjem produkcije proizvoda.

ZAKLJUČAK

Zaštita okoliša je obavezni dio razvojnih projekata iz oblasti energetike u regionima Evrope. S obzirom da je zaštita okoliša globalni problem potrebno je formiranje integracionih procesa energetskih tržišta ovih regiona. Kako bi se uključila u navedene procese, Bosna i Hercegovina mora analizirati postojeće energetske sisteme te povećati kako energetske tako i eko-efikasnost ovih sistema novim pristupom projektovanju, radu i kontroli a što bi omogućilo zapošljavanje mladih stručnih kadrova tj. otvaranje novih radnih mjesta.

LITERATURA :

- [1] NEAP : „Državni akcioni plan za zaštitu okoline“, Sarajevo 2003.,
- [2] Šestić M. : Toplotehnika u metalurgiji II dio, Zenica 1987.,
- [3] Neimarlija N. : Energetska postrojenja, Zenica 2003.,
- [4] Petrovski P. i Bušatlić I. : Cementi i druga neorganska veziva, Zenica 2006.,
- [5] Kurtanović R. : Ležišta nemetalnih mineralnih sirovina, Zenica 2000.,
- [6] Šestić M.: Ekološki problemi u procesima proizvodnje toplinske i električne energije pri korištenju uglja, Naučni skup Kakanj 2002.,

- [7] Šestić M. I Mahmutović A.: Emisija CO₂ i NO_x kod sagorijevanja uglja i zemnog plina u svijetlu Kyoto – Protocola, Naučni skup Fojnica 2005.,
- [8] Zakon o zaštiti zraka (Sl. Novine F BiH br.33/03),
- [9] Zakon o zaštiti okoliša (Sl. Novine F BiH br.33/03),
- [10] Zakon o zaštiti prirode (Sl. Novine F BiH br.33/03),
- [11] Pravilnik o graničnim vrijednostima kvaliteta zraka,
- [12] Kyoto Protocol and Steel Industry, CO₂ Emissions trading, Steel 2006.,

“OPTIMIZACIJA CNC OBRADJE DRVENIH BUBNJEVA U FIRMI STANEX D.O.O. ZENICA”

“OPTIMIZATION OF CNC MACHINING OF WODDEN DRUMS IN STANEX Ltd. ZENICA”

Almir Plančić¹, student, mr.sc. Ismar Alagić², asistent, Prof.dr. Darko Petković¹, Edin Rizvić dipl.oec.³

¹ Univerzitet u Zenici, Mašinski fakultet, B&H

² REZ-RDA Central BiH/Univerzitet u Zenici, Mašinski fakultet, B&H,

³ Stanex d.o.o. Zenica

SAŽETAK

U ovom radu su obrađeni savremeni koncepti optimizacije mašinske obrade drvenih bubanja, teoretske osnove, načini praktične primjene i rezultati koji bi se postigli njihovim korištenjem. Cilj rada je bio postavljanje projektantskih podloga za uspješnu primjenu savremenog CNC/CAD-CAM koncepta u firmi Stanex do.o. Zenica.

U radu je prikazana primjena softverskih aplikacija Xilog Plus i SolidWorks u industrijskim uslovima optimiranja obrade drvenih bubanja u firmi Stanex d.o.o. Zenica. Ovaj rad pokazuje da korištenje metode konačnih elemata pomaže projektantima da unesu rezultate pojedinačnih komponenata u sistem sklopa drvenog bubnja, poboljšaju tačnost simulacije i proces samog projektovanja podignu na viši sistemski nivo.

Zaključak koji je dobijen na osnovu svih gore navedenih faktora je taj da će, iako uvođenje i korištenje savremenih CNC/CAD-CAM koncepta iziskuje velika sredstva, u skoroj budućnosti biti neophodno primjenjivati ove koncepte da bi se osiguralo uspješno poslovanje preduzeća Stanex i povećala konkurentnost domaćih drvoprerađivačkih firmi na sve zahtjevnijem tržištu.

Ključne riječi: optimizacija, CNC mehanička obrada; drveni bubanj, Xilog Plus, Solid Works.

ABSTRACT

This paper deals with contemporary CNC/CAD-CAM concepts of wooden drums machining, theoretical principles, ways of practical application and results which would be achieved by their use. The goal of this paper was to set some designing instructions for successful application of the contemporary CNC/CAD-CAM concept in the company – Stanex Ltd., Zenica.

Application of Xilog Plus and Solid Works software applications in industrial conditions optimisation of CNC machining of wooden drums in company “Stanex” is shown in this article. This article shows that Finite Element Method (FEM) helps designer asses the effects of flexible components on full system performance of wooden drum, improve the accuracy of simulations and thus bring it closer to the system-level design.

Following the aforementioned facts, the conclusion was made that, although the introduction and use of contemporary CNC/CAD-CAM concepts requires huge funds, it will be necessary in the near future to apply these concepts in order to provide successful operation of the Stanex company and to increase competitiveness of domestic wood processing companies at the demanding market.

Key words: Optimization, CNC machining; wooden drum, Xilog Plus, Solid Works.

1. UVOD

U ovom radu je izvršeno optimiziranje obrade drvenih bubnjeva koji se proizvode u firmi STANEX d.o.o. Zenica. Optimiziranje je izvršeno u cilju što ekonomičnije obrade bubnjeva. Pri realizaciji ovog istraživanja optimiziranje mehaničke obrade drvenih bubnjeva je urađeno uz podršku programskih paketa Xilog Plus SOLIDWORKS 2007 SP0.0. Uz korištenje aplikacije SOLIDWORKS 2007 SP0.0 izrađen je tehnička dokumentacija predmeta rada, a potom je izrađen trodimenzionalni CAD model dijela. Na bazi izrađenog 3D-CAD modela drvenog bubnja uz mogućnost korištenja direktnog CAD interfejsa uz korištenje aplikacije Xsilog PLUS izrađen je CNC program mehaničke obrade i generiran G-kod kao funkcija puta pri mehaničkoj obradi drvenog bubnja na CNC obradnom centru.

Proces optimizacije mehaničke obrade je izvršen uz optimiranje odabira alata i putanje kretanja korištenih alata pri mehaničkoj obradi drvenog bubnja na obradnom centru Morbidelli Author 753.

Osim toga urađena je i numerička analiza raspodjele napona i pomjeranja tokom stezanja obradka u stezač sa čeljustima na CNC obradnom centru Morbidelli Author 753. Simulacija i numerička analiza procesa stezanja drvenog bubnja prilikom mehaničke obrade na CNC obradnom centru je urađena uz korištenje programske aplikacije Solid Works.

2. OSNOVNI PODACI O FIRMI STANEX d.o.o. ZENICA

Preduzeće „STANEX“ d.o.o. je osnovano 06.10.1995. godine i registrovana kao veleprodaja elektromaterijala. U svom širokom asortimanu STANEX nudi kablove, rasvjetu, sklopnu i mjernu tehniku, opremu za dalekovode NN mreže, gromobransku opremu, te elektroinstalacioni materijal.

Prilikom obilježavanja desetogodišnjice rada „Stanex“ d.o.o. Zenica zvanično je otvorena tvornica za proizvodnju drvenih bubnjeva za potrebe kablovskih industrija. Tvornica je opremljena najmodernijom tehnologijom za obradu drveta koja je danas u funkciji izrade drvenih bubnjeva, a sutra, zbog svoje univerzalnosti može biti i u drugoj funkciji.

Mjesečni kapaciteti kreću se u rasponu od 1.500 do 2.000 komada što ovisi od dimenzije drvenih bubnjeva. Važno je istaći da je za ovaj proizvod korištena 100% domaća sirovina i kompletan proizvod se radi u vlastitoj režiji.

„Stanex“ d.o.o. Zenica izvozi 65% svoje proizvodnje prema «Eurocable group» d.d. Zagreb, a ostatak se odnosi na jedinu tvornicu kablova u Bosni i Hercegovini „Kapis“ Tomislavgrad.

Tvornica drvenih bubnjeva „Stanex“ d.o.o. Zenica je registrovana u Fitosanitarnoj upravi Bosne i Hercegovine, te posjeduje šestoznamenasti kod BA-00 02-06 HT, u skladu sa IPPC - ISPM standardom br. 15, te može nesmetano izvoziti drvenu ambalažu u države članice EU.



Slika 1. Firma Stanex d.o.o. Zenica Slika 2. CNC obradni centar Morbidelli, Author 753

3. PROBLEM I CILJ ISTRAŽIVANJA

Pri pokretanju proizvodnje i stavljanju u rad savremene proizvodne opreme, u firmi Stanex su se suočili sa potrebom optimizacije procesa mehaničke obrade na obradnom centru Morbidelli Author 753.

Nivo korištenja savremenih CAD tehnologija je bio na izuzetno niskom nivou, pa stoga i onemogućena značajnija primjena CAM koncepta u njegovom punom kapacitetu.

Na temelju svega navedenog je vidljivo da je osnovni problem pri optimiranju procesa mehaničke obrade drvenih bubanja u firmi Stanex predstavljao nizak nivo u korištenju mogućnosti raspoložive proizvodne opreme kroz mogućnost korištenja CAD-CAM integracije.

Stoga, osnovni cilj ovog rada jeste postavljanje projektantskih podloga za primjenu naprednih CNC/CAD-CAM pristupa u koncipiranju proizvodnje drvenih bubnjeva u firmi Stanex d.o.o. Zenica.

4. TEORIJSKE OSNOVE CNC PROGRAMIRANJA

Pojavom numerički (NC) i kompjuterskih upravljanih (CNC) mašina, postiglo se kvalitetnije i sigurnije upravljanje mašinama unaprijed izrađenim programima na računaru. Efektivno korištenje CNC mašina određeno je izborom dijelova predviđenih za obradu, odnosno njihovim konstrukcijskim osobinama i tehnološkošću.

Samom procesu izrade CNC programa prethodi kvalitetna tehnološka priprema procesa.

Tehnološka priprema za CNC programiranje se sastoji od:

- Određivanje nomenklature dijelova koji se preporučuju za obradu na CNC mašinama,
- Tehnološko prilagođavanje radioničkog crteža,
- Koordinatni sistem i nulte tačke,
- Izbor priprema,
- Projektovanje tehnološkog procesa:
 - formiranje plana obrade,
 - formiranje plana stezanja,
 - formiranje plana alata,
 - izbor režima rezanja,
 - projektovanje putanje putanje alata.

Najveći ekonomski efekti primjene CNC mašina u srednjeserijskoj i malo-serijskoj proizvodnji postižu se obradom dijelova sa složenim vanjskim i unutrašnjim površinama, velikim brojem različitih otvora, povećanim zahtjevima tačnosti obrade i međusobnih rastojanja.

U cilju povećanja produktivnosti rada na CNC mašini, izbor dijelova se vrši na osnovu:

- materijala i oblika priprema,
- gabaritnih dimenzija,
- složenosti konfiguracije,
- broja komada u seriji,
- mogućnosti izrade grupnih pribora,
- zahtijevane tačnosti dimenzija i kvaliteta obrade,
- mogućnosti kompletne obrade i izrade programa itd.

Posto ćemo u ovom radu govoriti o primjeni CAD/CAM programiranja, to je potrebno imati na umu slijedeće napomene:

- ❖ U procesu programiranja interaktivno se koriste podaci razvijeni u CAD sistemu (u našem slučaju u programskoj aplikaciji Solid Works);
- ❖ Neophodno je povezivanje CAD sistema s nekim od sistema za CNC programiranje (u našem slučaju putem direktnog CAD interfejsa između aplikacija Solid Works i Xilog Plus kao upravljačke platforme na obradnom centru Morbidelli Author 753);
- ❖ Geometrijski i tehnološki podaci potrebni za programiranje direktno se preuzimaju iz CAD sistema (preuzima se 3D-CAD model iz Solid Works u Xilog Plus);

- ❖ Podaci iz baze podataka CAD sistema mogu se pozivati i koristiti za programiranje uz upotrebu dodatnog software-a za programiranje (programiranje i generiranje G-koda se vrši u aplikaciji Xilog Plus).
- ❖ CNC software (u našem slučaju Xilog Plus) radi sve potrebne programe za definisanje putanje alata, a simulacija putanje prikazuje se na monitoru;
- ❖ Programer za zadata geometriju proizvoda definiše režime obrade, poziciju i putanje alata,
- ❖ CNC program se automatski generiše.

Kao zaključak, možemo istaknuti da je za izradu programa nekog dijela na CNC mašini neophodno obezbijediti slijedeće:

- Preuzimanje podataka o radnom predmetu,
- Planiranje procesa obrade,
- Programiranje obrade (ispis programa),
- Simulacija procesa obrade.

Povezivanjem CAD i NC programskih sistema moraju se obezbijediti slijedeće funkcije:

- Prihvatanje i upotreba CAD podataka o radnom predmetu:
 - osnovni podaci,
 - geometrijske informacije (elementi),
 - tehnološki elementi.
- Interaktivnu pripremu geometrijskih i tehnoloških informacija za programiranje:
 - modifikaciju (prilagođavanje) geometrijskih elemenata konture,
 - definisanje karakterističnih tačaka konture,
 - redoslijed upotrebe alata i dr.
- interaktivno programiranje procesa obrade:
 - plan obrade (struganje, bušenje, glodanje,...),
 - generisanje putanje alata,
 - definisanje alata,
 - definisanje režima obrade,
 - geometrijski prikaz konture obradka,
 - definisanje plana stezanja (način i broj),
 - simulacija procesa obrade.

5. RADNO OKRUŽENJE XILOG PLUS

Razvoj CNC mašina za obradu drveta je doživio veliki rast u posljednjih 10 godina. Svaki od vodećih svjetskih proizvođača mašina i opreme je razvio specijalizovane softverske aplikacije za upravljanje radom CNC mašina. Tako npr. Mašine proizvođača firme Biesse rade pod aplikacijom Biesse Work, mašine proizvedene od strane firme Masterwood su upravljane putem aplikacije Masterwood, mašine firme Wining posjeduju vlastitu aplikaciju Ligno Pro, Homag grupacija koristi aplikaciju Wood Wop itd.

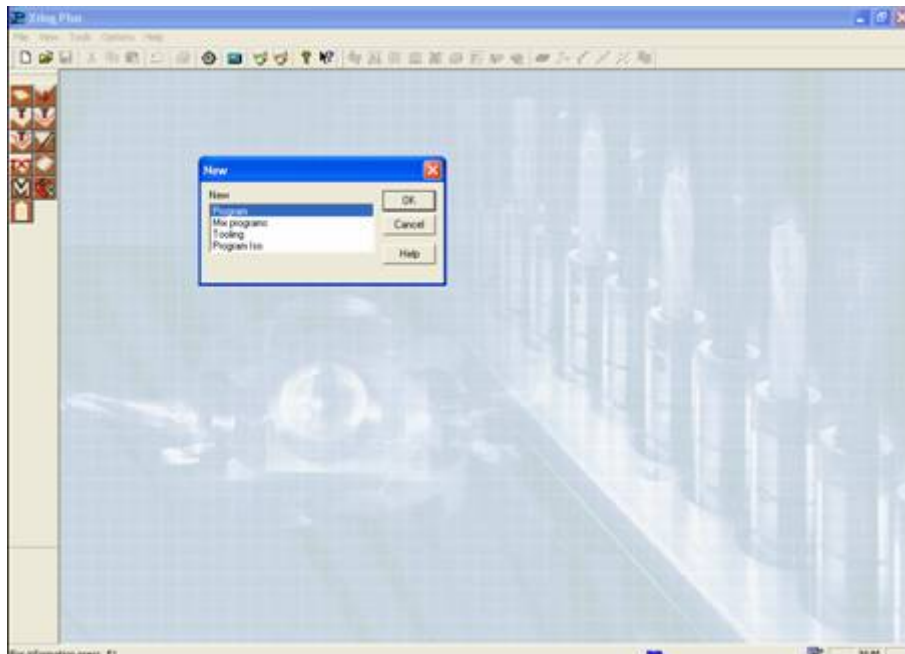
Grupacija SCM i jedan od njenih predstavnika u grupi CNC obradnih cenatara Morbidelli radi pod programskom aplikacijom Xilog Plus. Zajedničko za sve od pobrojenih programskih aplikacija je da su izrađene po principu "user friendly", što znači da su jednostavne za korištenje i da posjeduju direktan CAD interfejs sa većinom 3D-CAD programskih aplikacija.

U ovom radu mi ćemo pokazati integraciju podataka iz Solod Works i izvoz tih podataka u programsku aplikaciju Xilog Plus gdje će se izraditi CNC program obrade drvenog bubnja.

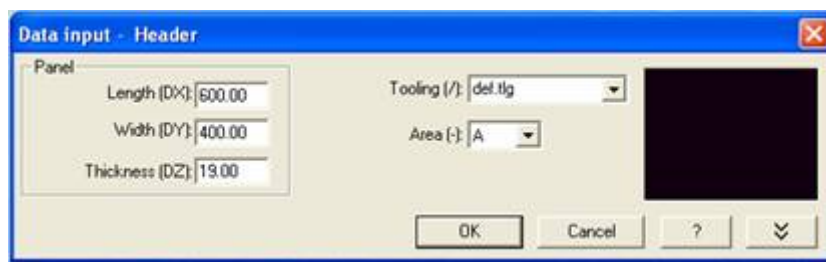
Prije nego što pređemo na eksperimentalni dio rada, biće potrebno dati osnovne informacije o radnom okruženju programske aplikacije Xilog Plus.

Na svakoj Morbidelli radnoj CNC stanici treba biti instalisana programska aplikacija Xilog Plus.

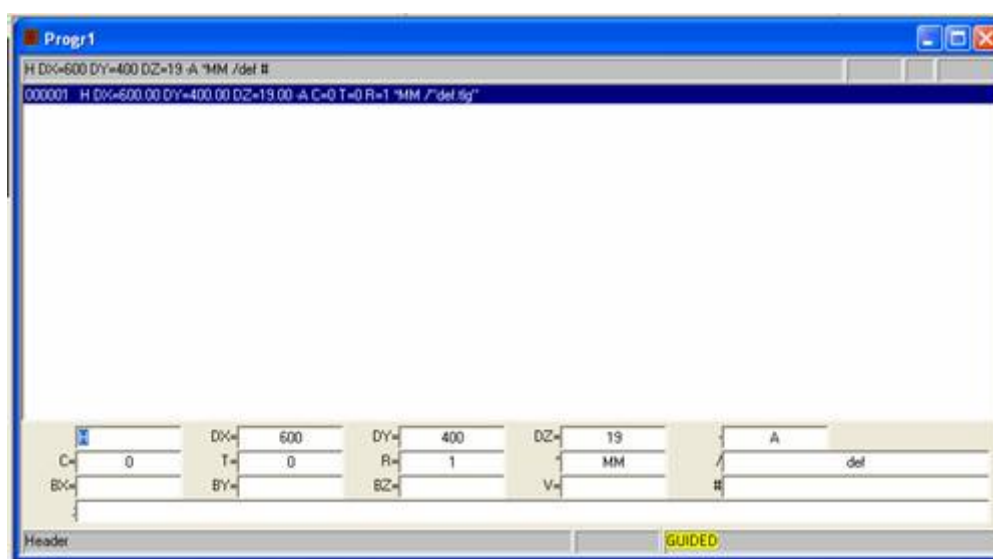
Pokretanjem mašina /PC i pritiskom na FILE-NEW (CTRL+N) otvara se slijedeći prikaz:



Nakon toga, izborom menija "PROGRAM" pristupa se podešavanju parametara za CNC programiranje i pojavljuje nam se slijedeći programski prikaz:



U ovom prozoru biramo dimenzije konačnog oblika (po x, y i z koordinati) komada koji se izrađuje. Takođe moramo definisati površine za stezanje i baziranje radnog komada. Kada su izvršena sva navedena podešenja, na ekranu se pojavljuje slijedeći programski prikaz:



Operacija bušenja na CNC obradnom centru Morbidelli Author 753 u okviru programske aplikacije Xilog Plus se realizuje na slijedeći način.

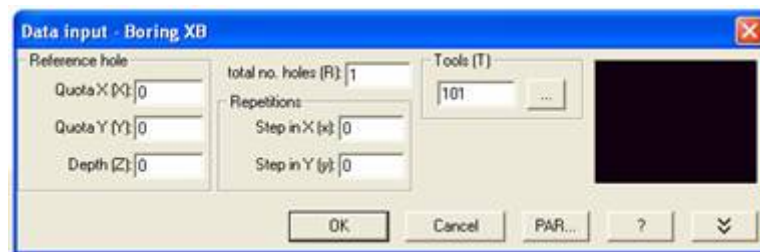


Naredbom BORING dajemo komandu za bušenje. Klikom na tu komandu dobijemo slijedeći programski prikaz:



U ovom programskom prikazu biramo koju od ponuđenih vrsta bušenja ćemo da koristimo u našem slučaju (BORING, OPTIMIZED BORING ili SLANTED BORNIG).

Ako uzmemo komandu BORING znači izabrali smo bušenje rupe sa određenim alatom, i dobijamo slijedeći programski prikaz:



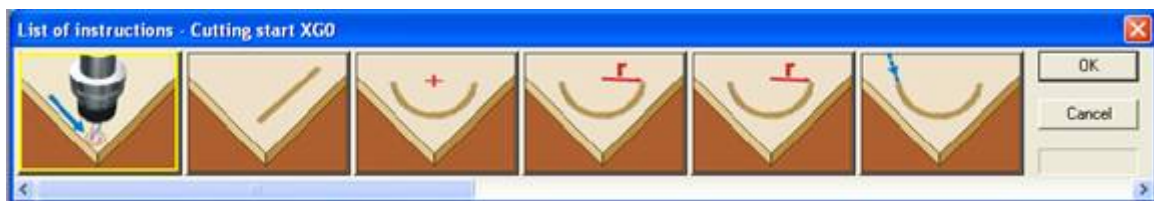
U ovom programskom prikazu upisujemo koordinate rupe po x,y i z koordinati. Također, moramo izabrati alat sa kojim ćemo da vršimo bušenje. Pored toga imamo i mogućnost za bušenja više istih rupa s tim što moramo upisati broj rupa i razmak po x i y koordinati.

Ako želimo da izvršimo bušenje samo jedne rupe u izbornik REPETITIONS se umjesto određenih vrijednosti koordinata unosi vrijednost nula, a također i u izbornik TOTAL NO. HOLES unosimo vrijednost jedan (1), baš zbog toga što želimo da napravimo samo jednu rupu na našem drvenom bubnju.



Naredbu za operaciju glodanja zadajemo pomoću naredbe STANDARD ROUTING

Pritiskom na tu naredbu dobijamo slijedeći programski prozor:



Od ponuđenih više opcija za glodanje, odabire se ona koja je najprikladnija za predmetni slučaj.

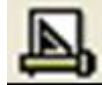
Također, kada izaberemo naredbu koja nam je potrebna moramo da upišemo slijedeće karakteristike glodanja: krajne koordinate po x,y i z, radijus zakošenja (ako želimo krug), da li želimo glodanje u smjeru kazaljke na satu ili smjeru kontra kazaljke na satu.

Prilikom programiranja u XILOG PLUS-u svaka naredba je vizuelno iskazana, tako da prilikom izbora bilo koje naredbe imamo vizuelan prikaz šta ta naredba može da uradi.

Izuzetno važna naredba za XILOG PLUS je naredba CUTING START.

Sa tom naredbom mi moramo da dovedemo alat do pozicije odakle želimo da krenemo sa bušenjem, glodanjem ili bilo kojom drugom operacijom. Veoma važno je da znamo gdje nam se nalazi alat prilikom programiranja jer možemo da zadamo pogrešnu komandu i može da dođe do loma alat ili čitavog sistema.

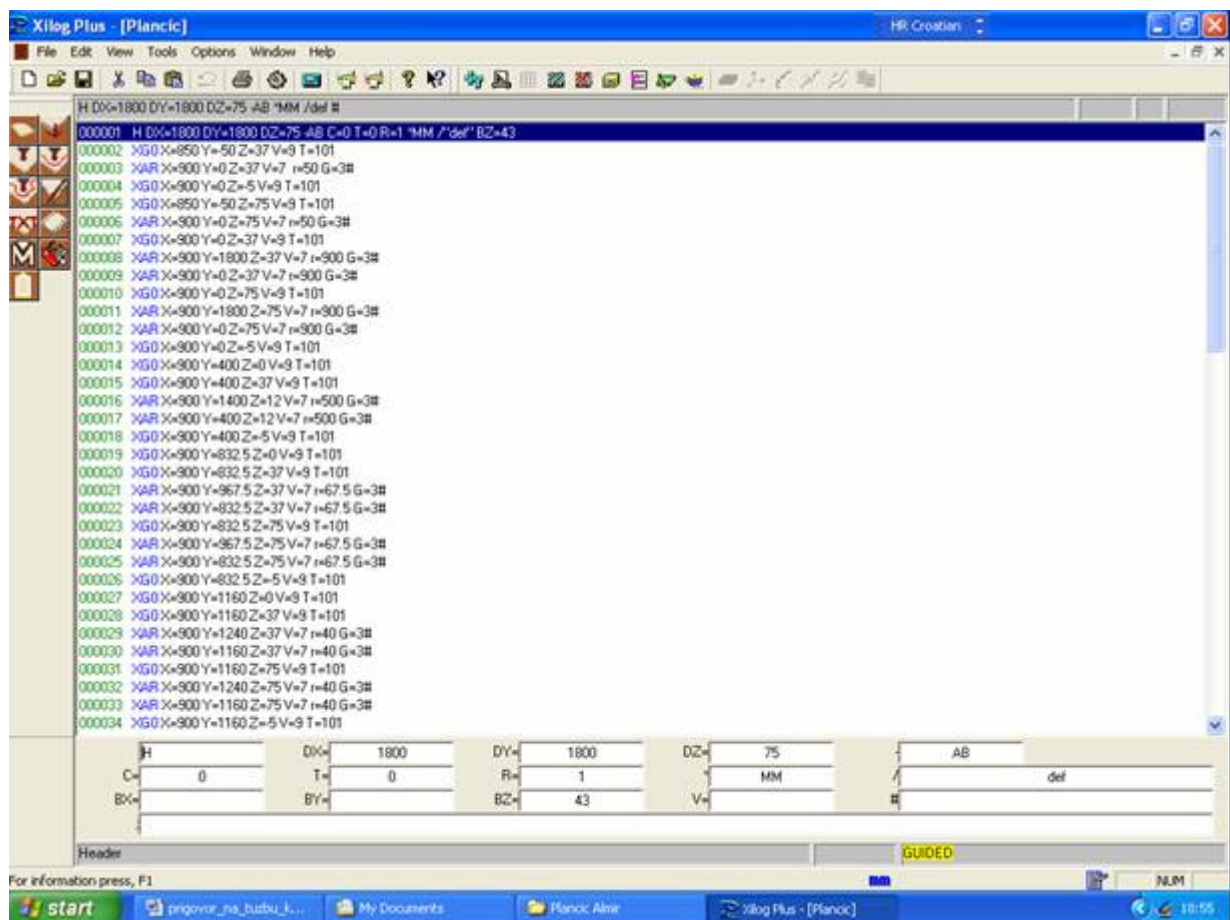
Prilikom programiranja možemo da vidimo svaki naš korak šta smo uradili i gdje nam se alat



trenutno nalazi sa naredbom PROGRAM GRAPHICS

U ovom dijelu rada dat je kratak opis radnog okruženja programske aplikacije XILOG PLUS koja je namjenjena za izradu CNC programa na obradnom centru Morbidelli.

Na slici 3 je dat prikaz izrađenog CNC programa za mehaničku obradu drvenog bubnja na obradnom centru Morbidelli Author 753. Program je izrađen uz korištenje programske aplikacije Xilog Plus.

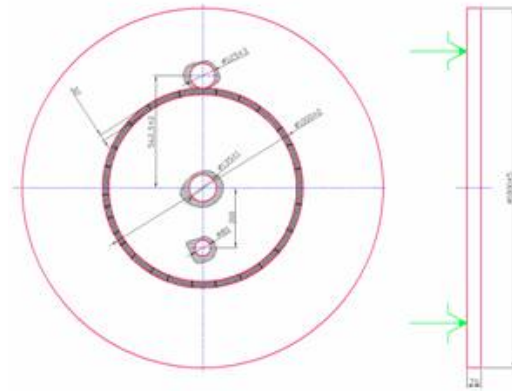
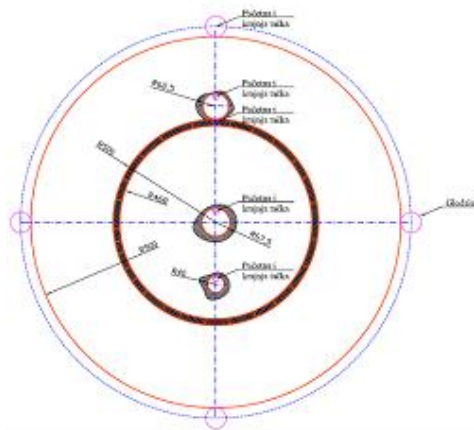


Slika 3. CNC program mehaničke obrade drvenog bubnja izrađen u radnom okruženju aplikacije Xilog Plus

6. EKSPERIMENTALNO ISTRAŽIVANJE I REZULTATI

Pri projektovanju drvenog bubnja korištena je softverska aplikacija Solid Works 2007 SP0.0.

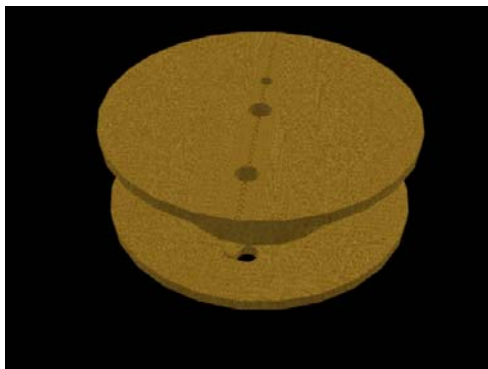
Na slici 4. je dat radionički crtež predmetnog drvenog bubnja.



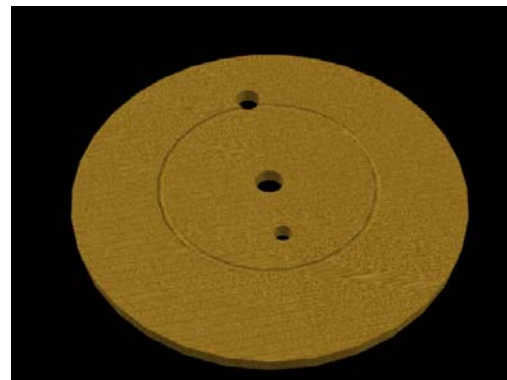
Slika 4. Radionički crtež drvenog bubnja Slika 5. Putanja kretanja alata pri obradi drvenog bubnja

Na temelju izrađenog 2D radioničkog crteža, izrađena je putanja kretanja alata pri mehaničkoj obradi drvenog bubnja, koja je prikazana na slici 5.

Trodimenzionalni CAD model drvenog bubnja koji je izrađen u softverskoj aplikaciji Solid Works i predstavlja preduslov za bilo kakvu CAD-CAM integraciju je dat na slici 6. Dok je na slici 7 dat prikaz stranice bubnja koja je namijenjena za mehanički obradu na CNC obradnom centru.



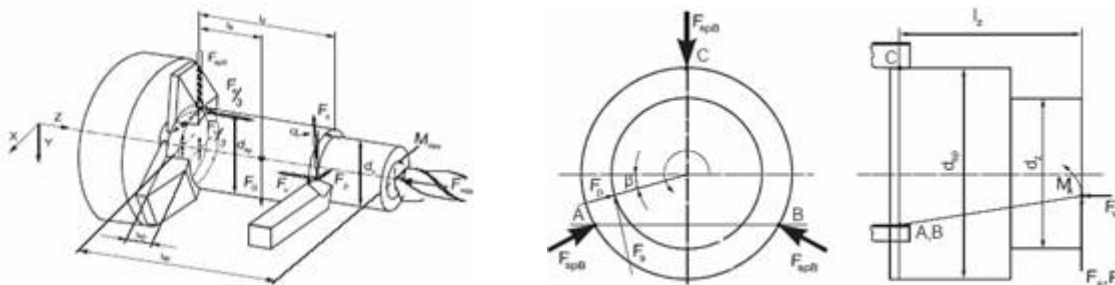
Slika 6. 3D-CAD model drvenog bubnja



Slika 7. 3D-CAD model obrađene stranica bubnja

Da bi bili u mogućnosti da provedemo numeričku analizu i simulaciju procesa stezanja pripremljenog drvenog bubnja, u stezaču sa čeljustima potrebno je da posjedujemo pripremljen 3D-CAD model radnog predmeta.

Na slici 8 je dat prikaz raspodjele sila stezanja pri baziranju i stezanju radnog komada u stezač sa čeljustima.



Slika 8. Teorijsko tumačenje procesa stezanja u stezaču sa čeljustima na obradnom centru Morbidelli

Sile koje se javljaju prilikom stezanja obratka se izračunavaju pomoću slijedećih jednačina:

$$F_{sp,min} = \left(A + \frac{1}{\mu_{sp}} \cdot \sqrt{B^2 + C^2} \right) \cdot F_s \quad \dots(1)$$

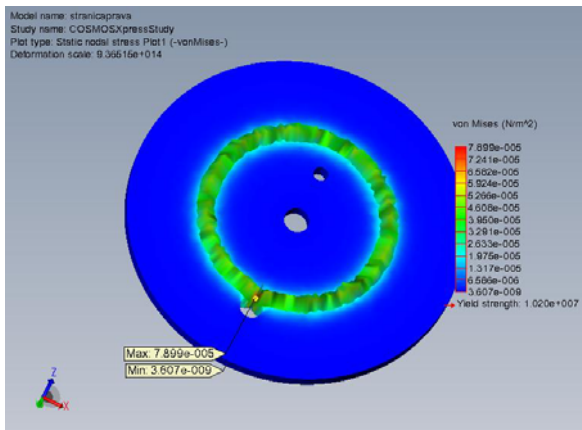
Gdje je:

$$A = \frac{l_z \cdot \left(1 + \left(\frac{F_p}{F_s} \right)^2 \right) - \frac{1}{2} \cdot d_z \cdot \frac{F_p}{F_s} \cdot \frac{F_v}{F_s}}{\sqrt{l_z^2 + \left(l_z \cdot \frac{F_p}{F_s} - \frac{1}{2} \cdot d_z \cdot \frac{F_v}{F_s} \right)^2}}; \quad B = \frac{d_z \cdot \frac{F_v}{F_s}}{2 \cdot \sqrt{l_z^2 + \left(l_z \cdot \frac{F_p}{F_s} - \frac{1}{2} \cdot d_z \cdot \frac{F_v}{F_s} \right)^2}}; \quad C = \frac{4 \cdot \sqrt{l_z^2 + \left(l_z \cdot \frac{F_p}{F_s} - \frac{d_z}{2} \cdot \frac{F_v}{F_s} \right)^2}}{d_{sp}} - 2 \cdot \frac{F_v}{F_s} \quad \dots(2)$$

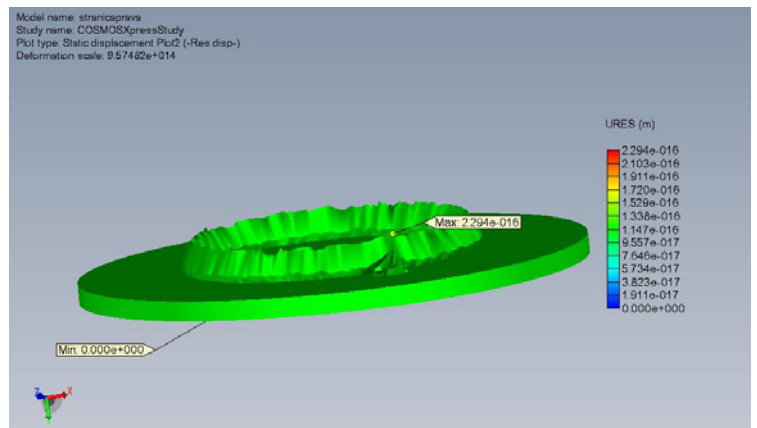
Uzimajući u obzir osnovne karakteristike materijala od kojeg je izrađen drveni bubanj, a datih u slijedećoj tabeli:

Naziv karakteristike	Veličina	Jedinica
Modul elastičnosti	1.0843e+010	N/m ²
Poissonov omjer	0.45	NA
Modul smicanja	2.9e+006	N/m ²
Volumna masa	8.8e+008	kg/m ³
Napon tečenja	1.0199e+007	N/m ²

Dobijamo provođenjem numeričke analize prikaze raspodjele napona (slika 9) i raspodjele pomjeranja (slika 10) tokom procesa stezanja radnog komada u stezaču sa čeljustima.



Slika 9. Distribucija napona



Slika 10. Pomjeranja obilka

Nakon provedene numeričke analize možemo zaključiti da se raspodjele napona i pomjeranja nalaze u dozvoljenim okvirima i ne ugrožavaju funkcionalnost finalnog proizvoda. Izrađeni 3D-CAD model se uvozi iz Solid Works-a u aplikaciju Xilog Plus i tamo se generira G-kod za mehaničku obradu drvenog bubnja na CNC obradnom centru Morbidelli, Author 753 koji je dat na slici 3.

7. ZAKLJUČAK

U ovom radu dat je prikaz optimizacije procesa mehaničke obrade drvenog bubnja na CNC obradnom centru Morbidelli, Author 753.

Za konkretan radni primjer ponuđena je integracija 3D-CAD modeliranja i generiranje G-koda u CAM okruženju. Za izradu 3D-CAD modela je korištena softverska aplikacija Solid Works 2007 SP0.0. Osim toga, ova aplikacija je korištena za provođenje numeričke analize i simulacije procesa stezanja priprema drvenog bubnja u stezaču sa čeljustima na CNC obradnom centru Morbidelli Author 753. Provedenom analizom raspodjele napona i pomjerenja vidljivo je da projektovana sila stezanja neće proourkovati nikakve vidljive i trajne deformacije na radnom komadu drvenog bubnja. Time neće biti ugrožena funkcionalnost i upotrebna vrijednost finalnog proizvoda.

Izrađeni 3D-CAD model je na temelju direktnog CAD interfejsa uvezen iz aplikacije Solid Works u radno okruženje programske aplikacije Xilog Plus. Potom je u aplikaciji Xilog Plus generiran G-kod i izrađen CNC program obrade drvenog bubnja na obradnom centru Morbidelli, Author 753.

Ovim radom je dokazana opravdanost uvođenja CNC/CAD-CAM integracije u drvprerađivačkoj industriji, kao načinu kako domaće firme mogu dostići međunarodnu konkurenciju u polju projektovanja proizvoda i optimizacije tehnološkog procesa izrade tih istih proizvoda uz korištenje savremenih CAD-CAM koncepata.

8. LITERATURA

- [1] Nanua Singh, Computer – Integrated Design and Manufacturing; John Wiley and Sons; Toronto, 1996.
- [2] Tornincasa S., Chirone E., Diegno Tecnico Insutriale 1, Il capitolo, Torino, 2000.
- [3] D. Zelenović, B. Petrović i dr., Integralni razvoj proizvoda, Osnove, Novi Sad, 1997.
- [4] S. Olević i S. Lemeš; Osnovi Konstruiranja, Konstruiranje pomoću računara (CAD), Mašinski fakultet u Zenici, 1998.
- [5] G. Wiskot, Werkzeuge konstruieren mit CAD, Werkstatt und Betrieb, 1989.
- [6] P. Planinc, RIM 2005, Specijalizirani CAD/CAM programi, jedan od preduvjeta opstanka u proizvodnji namještaja, Bihać, 2005.
- [7] Alagic I. :“USING THE FINITE ELEMENT METHOD (FEM) IN ORDER TO OPTIMIZE OF CLAMPING FORCE FOR JAW-CHUCKS DURING MACHINING PROCESS OF THE BRAKE DISC”, 9th International Research/Expert Conference”Trends in the Development of Machinery and Associated Technology”, TMT 2005, Antalya, Turkey, 26-30. September, 2005.
- [8] SCM, Morbidelli, XILOG3MMI TRAINING MANUAL, 2007.
- [9] Solid Works 2007 SP0.0, Technical Guide, 2007.
- [10] <http://www.engineeringtoolbox.com/>
- [11] <http://www.efunda.com/>
- [12] <http://www.pampasbows.com/>

RAPID PROTOTYPING – KOMPARATIVNA ANALIZA RAZLIČITIH RP SISTEMA

RAPID PROTOTYPING – COMPARATIVE ANALYSIS OF VARIOUS RP SYSTEMS

Enis Osmanović student
University of Tuzla
Faculty of Mechanical
engineering

Summary:

There are numerous Rapid Prototyping systems available today. Thus, selecting the right one is difficult. This paper makes comparative analysis of leading RP systems, suggests ways to choose an adequate RP system. Also covered are world trends of implementation of RP systems.

Key words: Rapid Prototyping 1, SLA 2, SLS 3, 3DP 4

Rezime:

Definicija i podjela Rapid Prototyping sistema kao i područje primjene su neke od teza koje su obrađene u ovom radu. Date su prednosti i mane vodećih RP sistema, te je izvršena komparativna analiza mogućnosti istih. Date su osnovne smjernice za izbor adekvatnih RP sistema.

Ključne riječi: Rapid Prototyping 1, SLA 2, SLS 3, 3DP 4

1. Uvod

Pod pojmom *rapid prototyping – RP* (brza izrada prototipova) podrazumijevamo klasu tehnologija koja je u stanju automatski konstruisati fizički model na osnovu CAD podataka. Pojam *rapid* (brzi) je relativan, jer za većinu prototipova izrađenim RP tehnologijom je potrebno vrijeme izrade od tri do sedamdeset i dva sata. Što je, opet, daleko brže od konvencijalnih postupaka izrade prototipova.

Sve RP tehnike imaju u osnovi isti pristup. Iz toga slijedi da svi RP sistemi imaju sličan lanac procesa. Ukupno postoji pet koraka u lancu, i to su sljedeći:

- 3Dmodeliranje,
- konverzija i prenos podataka,
- provjera i priprema,
- izrada i
- postprocesiranje

RP tehnologije spadaju u aditivne procese proizvodnje i zavisno od agregata koji se koristi za proizvodnju možemo ih podijeliti:

- **tečni**
 - o fotootočrščavajući fluid (*Stereolitografija – SLA*)
 - o elektroprovodni fluid (*Electrochemical Fabrication – EFAB*)
 - o voda (*Rapid Freez Prototyping – RFP*)

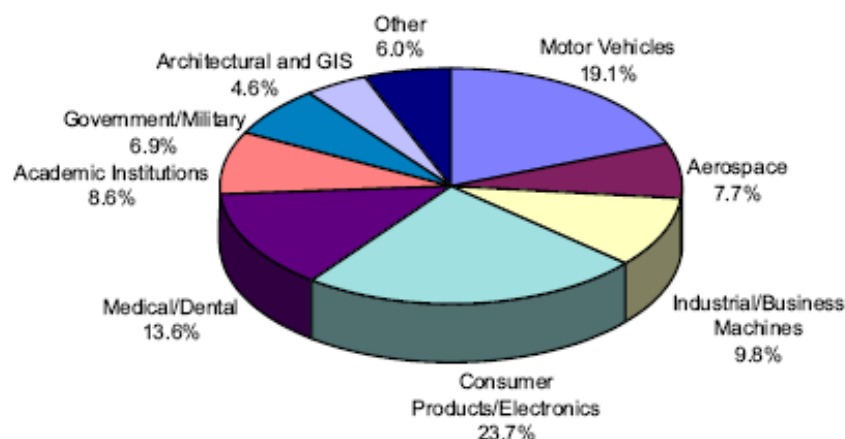
- **čvrsti**
 - o ekstrudiranjem topljenog materijala (*Fused Deposition Modeling – FDM*)
 - o vezivanjem folije i sječenjem (*Laminated Object Manufacturing – LOM*)
 - o sječenjem folije i vezivanjem (*Laser Profiling Machine – LPM*)
- **praškasti**
 - o topljenjem praha (*Selective Laser Sintering – SLS*)
 - o vezivanjem praha adhezivima (*3D Printing – 3DP*)
- **ostali**
 - o gas (*Gas Phase Deposition – GPD*)
 - o pojedinačni atomi i molekuli (*Nanotehnologija*)

2. Područje primjene RP sistema

Iako mogućnost je primjene RP sistema gotovo neograničena, sve ih možemo svrstati u tri kategorije:

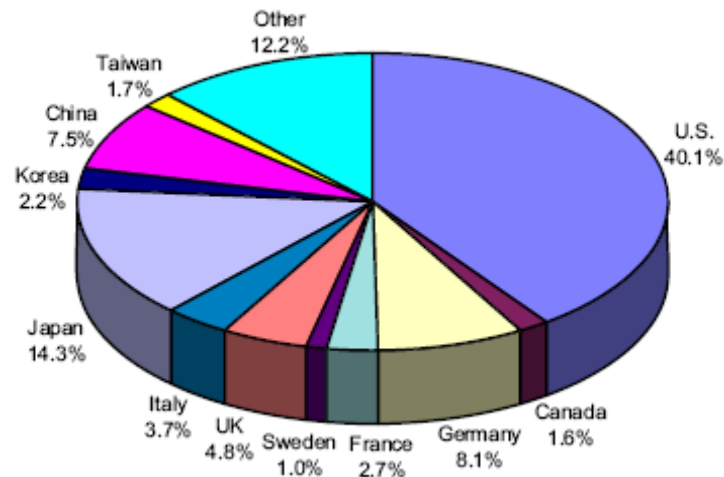
- **Prototyping** – kao što samo ime sugerše, primarna upotreba RP sistema je bila za izradu prototipova. Jednostavnom i lahkom izradom prototipova olakšala se komunikacija između inženjera. Također, bržom izradom prototipova omogućeno je lakše testiranje samog dizajna proizvoda i mogućnost primjene iterativnog postupka razvoja proizvoda.
- **Rapid Tooling** – predstavlja automatsku proizvodnju alata visoke kvalitete. Proizvodnja alata je jedan od najsporijih i najskupljih procesa u proizvodnji. Alati su često kompleksnog oblika i visokih zahtjeva u pogledu tačnosti izrade, tvrdoće i otpornosti na habanje. RP sistemi se koriste uglavnom kod livenja imogu se podijeliti na direktne i indirektne. Indirektni postupci izrade alata se koriste za izradu modela na osnovu kojih se pravi alat, dok direktni odmah daju gotov proizvod.
- **Rapid Manufacturing** – predstavlja proizvodnju gotovih proizvoda pomoću RP tehnologije. Rapid Manufacturing sistemi trenutno se koriste za proizvodnju veoma malog broja proizvoda, ali to će se promijeniti razvojem RP tehnologije i uvođenjem većeg broja metalnih materijala. Rapid Manufacturing sistemi nikad neće u potpunosti zamijeniti konvencijalne metode proizvodnje, jer su konvencijalne metode ekonomičnije za veći broj proizvoda. Rapid Manufacturing sistemi će se koristiti za izradu manjih serija i kompleksnijih komada.

Primjena RP sistema u različitim granama privrede na osnovu izvještaja grupe WOHLERS ASSOCIATES za 2007 godinu možemo primjetiti da je najveća primjena RP sistema u proizvodnji elektroničkih elemenata (Dijagram 1).



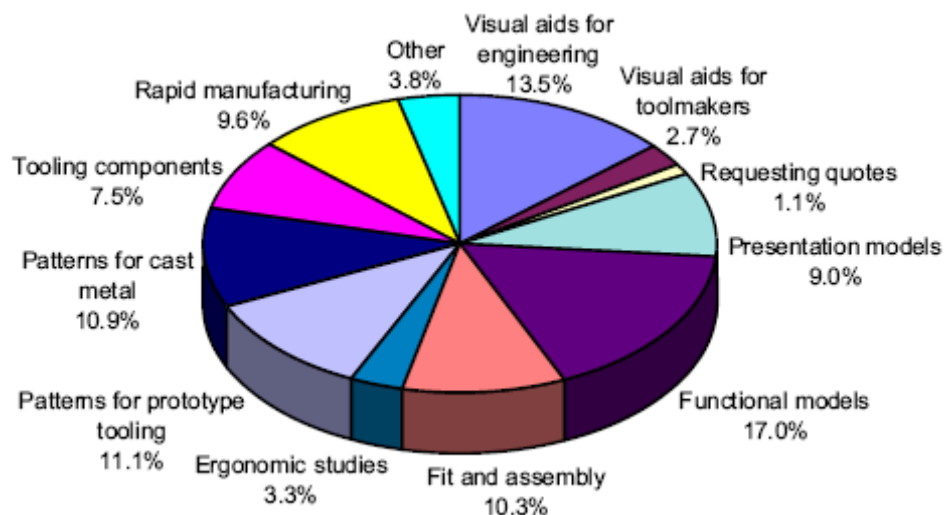
Dijagram 1. Primjena RP sistema za različite grane privrede (Wohlers Report 2007)

Također, u istom izvještaju su dati i podaci o zastupljenosti pojedinih zemalja u svjetskom tržištu RP sistema. Vidimo da su najveći zahtjevi za RP sistemima u SAD-u, zatim slijedi Japan i ostale razvijene zemlje.



Dijagram 2. Učešće pojedinih zemalja u svjetskom tržištu (Wohlers Report 2007)

Sljedeći dijagram prikazuje način na koji su kompanije koristile proizvode dobivene RP sistemima. Vidimo da se proizvodi RP sistema i dalje najviše koriste za izradu funkcionalnih modela i kao vizuelna pomoć inženjerima. Na Rapid Manufacturing otpada svega 9,6% ukupnih proizvoda RP sistema.



Dijagram 3. Način primjene proizvoda RP sistema (Wohlers Report 2006)

3. Poređenje RP sistema

Danas u svijetu postoji veliki broj različitih RP sistema, koji se baziraju na različitim tehnologijama dobijanja proizvoda (vidi uvod). Također, nisu svi RP sistemi na istom novou razvijenosti i implementacije. Neki su u širokoj upotrebi dok se neki RP sistemi tek razvijaju. Zato ćemo pažnju usmjeriti na trenutno vodeće tehnologije (SLA, FDM, SLS i 3D Print). Ne ulazeći u problematiku samog postupka dobijanja proizvoda dati ćemo prednosti i nedostatke svih pojedinih RP sistema i na kraju napraviti komparaciju istih.

- Stereolitografija – SLA

Stereolitografija – SLA (engl. StereoLithography Apparatus) spada u kategoriju tehnologija koje rade sa tečnim materijalima, a koristi princip fotopolimerizacije.

Glavne prednosti SLA tehnologije su sledeće:

1. **Non-stop rad.** Mašine za SLA se mogu koristiti stalno i bez nadzora.
2. **Dobra podrška korisniku.** Kompjuterizovan proces služi korisniku kao dobra podrška.
3. **Moguće razne radne zapremine.** Razne SLA mašine imaju radne zapremine od malih do velikih, shodno potrebama raznih korisnika.
4. **Dobra preciznost.** Zahvaljujući dobroj preciznosti, SLA se može koristiti za razne primene.
5. **Kvalitet površine.** Najbolji završni kvalitet od svih RP tehnologija se dobija SLA postupkom.
6. **Širok izbor materijala.** Postoje razni materijali, od onih opšte do specijalne namene.

Glavni nedostaci SLA tehnologije su:

1. **Zahjeva oslonce.** Dijelovi koji imaju prepuste i usjeke moraju imati kompleksne strukture za oslanjanje koje se izrađuju zajedno sa modelom.
2. **Zahjeva postprocesiranje.** Postprocesiranje uključuje uklanjanje oslonaca i drugog neželjenog materijala, što je zamorno, vremenski zahtjevno i može nanijeti štetu modelu.
3. **Zahjeva naknadno očvršćivanje.** Često je potrebno da se predmet naknadno očvršćava nakon izrade, da bi se polimerizacija odigrala u potpunosti i da bi se ojačala struktura predmeta.
4. **Toksičan materijal.** Monomeri koji se koriste za SLA su često toksični, i sa njima se mora rukovati pažljivo. Neophodna je dobra ventilacija prostorije i posebne mjere opreza pri vađenju izrađenih dijelova i prenošenja do komore za naknadno očvršćavanje.

Tabela 1. Karakteristike SLA sistema kompanije 3D Systems

Model	SLA 5000	SLA 7000	Viper si ²
Namjena	Sistem za izradu velikih dijelova	Sistem za izradu velikih dijelova, dva puta brži od SLA 5000, sa manjom debljinom slojeva za bolji kvalitet površine	Posjeduje dvije rezolucije, trajniji laser
Dimenzije radne zapremine	508x508x584 mm	508x508x600 mm	250x250x250 mm
Zapremina radne tečnosti	253,6 l	253,6 l	32,2 l
Tip lasera	Nd:YVO ₄	Nd:YVO ₄	Nd:YVO ₄
Talasna dužina lasera	354,7 nm	354,7 nm	354,7 nm
Snaga lasera	216 mW	800 mW	100 mW
Trajanje lasera	5000 radnih sati	5000 radnih sati	7500 radnih sati
Dvije tačke fokusa	Ne	Da	Da
Prečnik tačke fokusa u graničnom pojasu	0,25±0,025 mm	0,25±0,025 mm	0,25±0,025 mm 0,075±0,015 mm
Prečnik tačke fokusa u šrafuri	0,25±0,025 mm	0,7615±0,0765 mm	
Sistem za presvlačenje	Zephyr	Zephyr	Zephyr

- FDM (Fused Deposition Modeling)

Ova metoda spada u tehnologije koje izrađuju prototipove od čvrstog materijala, a radi po principu ekstrudiranja.

Glavne prednosti FDM tehnologije su sljedeće:

1. **Izrada funkcionalnih dijelova.** FDM postupkom moguće je izrađivati prototipove od materijala sličnih ili istih kao za izradu pravog proizvoda. Upotrebom ABS plastike dobijaju se funkcionalni dijelovi koji imaju 85% čvrstoće gotovog proizvoda.
2. **Minimum otpada.** Izrada dijelova FDM postupkom vrši se ekstrudiranjem materijala na prethodno formirane slojeve. Tako se troši tačno toliko osnovnog materijala koliko je potrebno za izradu dijela, i sekundarnog materijala koliko je neophodno za izradu oslonaca, pa se stvara minimalna količina otpada.
3. **Lakoća uklanjanja oslonaca.** Upotrebom tehnika za izradu oslonaca pod nazivom Break Away Support System (BASS) i WaterWorks Soluble Support System, oslonci se mogu lako ukloniti ili isprati.
4. **Lakoća promene materijala.** Materijali za izradu, u vidu namotane žice (ili u kertridžima), su zgodni za rukovanje i mogu se brzo zamjeniti kada ponestanu u eksploataciji. Ovo pojednostavljuje upotrebu sistema i čini održavanje lakšim.

Glavni nedostaci FDM tehnologije su sledeći:

1. **Ograničena tačnost.** Oblik i dimenzije žice osnovnog materijala određuju maksimalnu tačnost FDM procesa. Uglavnom je prečnik žice 1,27 mm, pa shodno tome postoje granice tačnosti za izradu delova.
2. **Sporost procesa.** Proces izrade je spor, jer se cela površina poprečnog preseka mora popuniti materijalom. Brzina izrade je ograničena brzinom ekstrudiranja ili zapreminskim protokom materijala kroz glavu mašine.
3. **Nepredvidivo skupljanje.** Pošto se u FDM postupku materijal ekstrudira kroz glavu i naglo hladi pri deponovanju, naponi koji se javljaju usled brzog hlađenja naprežu model. Tako je česta pojava skupljanja i krivljenja, a samo uz veliko iskustvo, korisnik može da predvidi takve pojave i kompenzuje ih podešavanjem parametara procesa.

Tabela 2. Karakteristike FDM sistema firme Stratasys

Model	Prodigy Plus	FDM Vantage SE	FDM Titan	FDM Maxum
Maksimalna veličina dela	203x203x305 mm	406x355x406 mm	406x355x406 mm	600x500x600 mm
Tačnost	±0,127 mm	do 127 mm: ±0,127 mm preko 127 mm: ±0,038 mm/mm	do 127 mm: ±0,127 mm preko 127 mm: ±0,038 mm/mm	do 127 mm: ±0,127 mm preko 127 mm: ±0,038 mm/mm
Debljina sloja	fina – 0,178 mm standardna – 0,254 mm gruba – 0,33 mm	0,127 do 0,254 mm	0,178 do 0,356 mm	0,178 do 0,356 mm
Materijal	ABS	ABS, polikarbonat	ABS, polikarbonat, polifenilsulfon	ABS, ABSi
Sistem izrade oslonaca	WaterWorks	WaterWorks, BASS	WaterWorks, BASS	WaterWorks

- SLS Selektivno lasersko sinterovanje (SLS)

SLS postupak spada u tehnologije koje sinterovanjem izrađuju predmete od praškastog materijala.

Prednosti SLS tehnologije su sljedeće:

1. **Dobra postojanost dijelova.** Dijelovi se izrađuju u precizno kontrolisanom okruženju. Postupak i materijali omogućuju direktnu izradu funkcionalnih dijelova.
2. **Veliki izbor materijala.** Dostupni su razni materijali, uključujući najlon, polikarbonate, metale i keramičke materijale, što doprinosi fleksibilnosti SLS sistema i nudi različite funkcionalne primjene.
3. **Nema potrebe za osloncima.** S obzirom da sistem ne zahtjeva definisanje i izradu oslonaca, značajna je ušteda u vremenu jer nema puno posla oko pretprocesiranja i postprocesiranja.

4. **Nije potrebno puno postprocesiranja.** Kvalitet gotovog dijela je prihvatljiv, a po želji se može minimalno postprocesirati sačmarenjem ili pijeskarenjem.
5. **Nije potrebno naknadno očvršćivanje.** Priroda postupka je takva da gotovi dijelovi imaju punu čvrstoću, pa nije potrebno naknadno očvršćivanje.

Sljedeće mane odlikuju SLS tehnologiju:

1. **Velike dimenzije sistema.** Potreban je prilično veliki prostor za postavljanje ovih sistema. Dodatni prostor je potreban za skladištenje inertnog gasa koji se koristi u procesu izrade.
2. **Visoka potrošnja energije.** Sistem troši dosta električne energije zbog velike snage lasera koja je neophodna za sinterovanje praha.
3. **Slab kvalitet površine gotovog dijela.** Nakon vađenja iz mašine, dijelovi imaju slab kvalitet površine, uslijed relativno velikih dimenzija čestica praha.

Tabela 3. Karakteristike SLS sistema kompanije 3D Systems

Model	Sinterstation Pro 140	Sinterstation Pro 230	Sinterstation HiQ
Maksimalne dimenzije dijela	550x550x460 mm	550x550x750 mm	381x330x457 mm
Radna zapremina	140 l	230 l	58 l
Minimalna debljina sloja	0,1 mm	0,1 mm	0,076 mm
Brzina skeniranja	10 m/s	10 m/s	5 m/s (sa HS sistemom: 10 m/s)
Laser	70 W CO ₂	70 W CO ₂	30 W CO ₂ (sa HS sistemom: 100 W)

- 3DP (3D Printing)

Ova tehnologija spada u postupke sa praškastim materijalom, a koristi princip vezivanja čestica praha adhezivima.

Glavne prednosti 3DP tehnologije su sljedeće:

1. **Velika brzina.** Sistemi sa 3DP tehnologijom trenutno su najbrže RP mašine. Predmeti veličine fudbalske lopte mogu se izraditi za dva sata.
2. **Svestranost.** Trenutno se dijelovi izrađeni 3DP mašinama koriste u automobilskoj, vazduhoplovnoj, kosmičkoj i telekomunikacionoj industriji, zatim u industriji obuće, medicini i obrazovanju. Svaki segment procesa razvoja proizvoda može biti pokriven ovakvim prototipovima, od revizije dizajna, do umjerenog funkcionalnog testiranja.
3. **Jednostavnost upotrebe.** Ovi sistemi su pogodni za upotrebu u kancelarijama, a jednostavnost upotrebe znači da nije potrebno tehničko lice za izradu dijela. Bazirani su na standardnim i lako dostupnim komponentama inkjet štampača, pa su laki za održavanje i pouzdani.
4. **Nema otpadnog materijala.** Neiskorišteni prah može se upotrijebiti u sljedećoj izradi. Samo se vezivno sredstvo ne može ponovo koristiti.
5. **Pun kolor.** Moguća je upotreba boja za izradu dijelova, što je jedinstvena karakteristika ove tehnologije. Bojenjem je moguće vizuelizovati polja veličina unutar predmeta, što je vrlo korisno u metodi konačnih elemenata.

Važni nedostaci su sljedeći:

1. **Ograničena funkcionalnost dijelova.** U odnosu na SLS, dijelovi izrađeni ovim sistemima znatno su slabiji, što ograničava upotrebu u funkcionalnim ispitivanjima.
2. **Ograničen izbor materijala.** Kako je politika kompanije ZCorporation da korisnici gube pravo na garanciju ukoliko koriste materijale koji nisu odobreni, izbor materijala je ograničen na one koje ova kompanija trenutno nudi.
3. **Slab kvalitet površine.** Dijelovi izrađenim 3D štampom imaju relativno grubu površinu, pa je često potreban neki vid postprocesiranja.

Tabela 4. Karakteristike 3D štampača kompanije ZCorporation

Model	ZPrinter 310 System	Spectrum Z510	Z810 System
Maksimalne dimenzije dela	203x254x203 mm	254x356x203 mm	500x600x400 mm
Brzina izrade sloja	2 sloja/min	Kolor: 2 sloj/min Jednobojni: 6 sloj/min	Kolor: 2 sloj/min Jednobojni: 6 sloj/min
Debljina sloja	0,089 – 0,203 mm	0,089 – 0,203 mm	0,089 – 0,203 mm
Rezolucija u horizontalnoj ravni	300x300 dpi	600x540 dpi	300x300 dpi
Boja	Ne	Da	Da
Broj glava za štampanje	1	4	4

- Usporedna analiza

Nakon što smo predstavili prednosti i mane pojedinih RP sistema pojedinačno, u sljedećih nekoliko tabela će biti predstavljeni ti isti sistemi uporedo. Time će biti olakšano ocjenjivanje prednosti pojedinih sistema u odnosu na druge, a time i olakšano donošenje odluke o izboru adekvatnog sistema.

Tabela 5. Osnovni podaci o pojedinim RP tehnologijama

	FDM	SLA	SLS	3DP
Maksimalna veličina dijela (inci)	24x20x24	20x20x24	15x13x18	20x24x16
Brzina	VRLO DOBRA	SREDNJA	SREDNJE LOŠE	SREDNJA
Materijal	Materijal u obliku žice	Fotoosjetljive smole	Termoplastični materijali (PVC najlon)	Praškasti materijali
Završne obrade – kvalitet površine	Srednja	Dobra	Dobra	Veoma dobra
Prosječna cijena materijala (EUR)	100 - 185	85 - 120	24 - 45	50 - 150
Prosječni raspon cijena pojedinih sistema (EUR)	25000 - 300000	105000 - 420000	100000 - 425000	35000 - 150000

Tabela 6. Komparativna analiza pojedinih RP sistema

Sistem	FDM	SLA	SLS	3DP
Relativna cijena (Mali dijelovi i dijelovi srednje veličine)	8	6	5	7
Relativna cijena (Dijelovi srednje veličine i veliki dijelovi)	4	7	5	3
Tačnost	5	6	5	4
Funkcionalnost prototipa	7	5	7	4
Prezentativnost prototipa	5	7	5	3
Izrada detalja	3	6	4	2
Čvrstoća	6	4	6	2
Mogućnost izbora materijala	3	5	6	1
Vrijeme proizvodnje dijela	7	5	4	7
Mogućnost tačnog prikazivanja	4	3	7	4
Otpornost na vodu, hemijske supstance i toplotu	7	3	6	3

Mogućnost dobivanja metalnih prototipa direktno sa mašine	0	0	6	0
Dijelovi od elastomera i fleksibilnih smola	1	0	6	0
Mogućnost proizvodnje kalupa za livenje	4	7	5	2
gdje je: 0 = ne zadovoljava; 1 = loše; 4 = dobro; 6 = vrlo dobro; 8 = odlično				

Tabela 7. Komparacija osobina materijala pojedinih RP postupaka

	Zatezna čvrstoća (Mpa)	Modul zatezanja (MPa)	Modul elastičnosti (MPa)	Udarni modul (J/m)	Tvrdoća (D)
FDM (ABS)	35	2480	2618	107	78
SLA (SL7560)	55	2500	2500	36	86
SLA (SL5510)	77	3296	3054	27	86
SLS (PA)	44	1600	1285	214	75
SLS (GF)	38	5910	3300	96	-
3DP (P1500)	19	827	827	32	62

Iz prethode tabele možemo zaključiti koji od metoda daje najbolje rezultate po kriteriju zatezne čvrstoće, modula zatezanja, modula elastičnosti, udarnog modula i tvrdoće. Zavisno od namjene i funkcije prototipa koji je potrebno izraditi bit će presudno za izbor RP sistema kao i vrsta materijala i sama cijena sistema

4. Način odabira RP sistema

Kada se govori o izboru ili odluci koji RP sistem odabrati potrebno je naglasiti da postoje značajna preklapanja u mogućnostima i specifikacijama različitih RP tehnologija, što ima za posljedicu da se većina aplikacija može uspješno izvršiti sa nekoliko različitih tehnologija.

Determiniranje tipa proizvodnog procesa koji će se koristiti zavisi od tipa aplikacije, korištenog materijala, zahtjeva tačnosti i brojnih drugih faktora. Sam izbor dodatno usložnjava činjenica da su mnoge RP tehnologije nezrele, imaju značajna ograničenja i obično postoji nekoliko konkurentskih alternativa.

Još jedan važan faktor koji utiče na krajnju odluku o izboru nekog od RP sistema je i tip softverskog paketa, te format ulaznih podataka koji će se koristiti za prenos podataka sa računara na RP mašinu. Bitno je napomenuti da većina novih CAD sistema raspolaže sa odgovarajućim postprocesorima za transformaciju 3D modela u odgovarajući ulazni format za RP mašine – SLI format.

Tabela 8. Način izbora odgovarajućeg RP sistema

Ako se koristi ...	Onda izabrati ...
Aplikacija koja uključuje kalupe za injekciono modeliranje dijelova i/ili zahtjeva visoku tačnost	Stereolitografija (SLA)
Dio je proizvod u finalnom materijalu (izrada alata) i sa odgovarajućim osobinama ili dio je finalni proizvod koji sa mehaničkim osobinama imitira dijelove kalupa za ubrizgavanje	Selektivno lasersko sinterovanje (SLS)
Veliki objekti koji će načelno biti korišteni za livenje u pijesku	Proizvodnja laminatnih objekata (LOM)
Brzi konceptualni model dok su fizičke osobine drugorazredne važnosti	Modeliranje uklanjanjem topljenjem (FDM) ili tro-dimenzionalno printanje (3DP)
Proces zahtjeva ekstremnu tačnost i vrlo visoku rezoluciju što je slučaj u industriji nakita i pri proizvodnji malih dijelova	Inkjet sistem kao što je ModelMaker Series od SolidScape, Inc.
Direktna proizvodnja metalnih objekata (alata ili prototipova)	Selektivno lasersko sinterovanje (SLS) ili neki od metoda baziranih na laserskom topljenju kao što je lasersko-inženjersko mrežno oblikovanje (Laser-Engineered Net Shaping LENS)
Proces koji zahtjeva komunikaciju sa dizajnerskim namjerama	Uredski RP sistem (Desk top RP system)

Odabir RP sistema nije nimalo jednostavan s obzirom na sam broj dostupnih RP sistema, ali postoje određeni algoritmi koji mogu olakšati izbor adekvatnog RP sistema. U tekstu Dr. Brown-a i dr. Stier-a u

časopisu *Journal of Industrial Technology* detaljno su opisana pitanja koja trebamo postaviti prilikom odabira RP sistema. Pitanja poput:

- Kolika je veličina dijelova koji se mogu izraditi na datom RP sistemu?
- Da li je za dati software potreban dodatni računar?
- Koliko je dostupna i pogodna obuka za dati sistem?
- Koliko dati RP sistem zadovoljava potrebe okolne industrije?
- Kolika je dimenzionalna tačnost izradaka? Itd.

Nakon što odgovorimo na sva zadata pitanja, pravimo matricu odlučivanja i odabiremo optimalni RP sistem koji će zadovoljiti naše uslove. Više informacija o ovom postupku možete naći u časopisu *Journal of Industrial Technology Volume 18, Number 1 • November 2001 to January 2002*.

5. Zaključak

Broj RP sistema koji su danas dostupni na tržištu je relativno veliki, a najrasprostranjeniji su: stereolitografske aparature (Stereolitography Aparatus-SLA), selektivni laserski sintetizatori (Selective Laser Sintering-SLS), modeliranje nanošenjem topljenjem (Fused Deposition Modeling-FDM) i trodimenzionalno printanje (Three-Dimensional Printing-3DP). Potrebno je naglasiti da širom svijeta trenutno postoji veliki broj RP tehnologija koje su u fazi razvoja, te još nisu u potpunosti komercijalizirane, a neke od njih su navedene u podjeli RP tehnologija

Nema sumnje da će RP sistemi u narednim godinama uzimati sve više tržišta proizvodnih tehnologija, kako bude napredovao njihov razvoj. Velike su prednosti RP sistema u odnosu na ostale proizvodne tehnologije, pogotovu kada je u pitanju brzina izrade samog proizvoda. Trenutno ograničavajući faktori RP sistema su materijali i cijena izrade većih serija.

RP sistemi su najviše zastupljeni u SAD-u i Japanu i ostalim razvijenim zemljama, ali na osnovu zadnjeg *Wohlers Report* – a primjetan je rast primjene istih sistema i u drugim zemljama. RP sistemi se i dalje najviše koriste za pravljenje prototipova i proizvoda za vizuelnu pomoć, te da samo 9,6% ukupnih proizvoda otpada na proizvodnju gotovih proizvoda.

Imajući u vidu prednosti i mane pojedinih RP sistema, kao i rezultate komparativne analize date u ovom radu, moguće je izvršiti odabir određenog RP sistema. Pored tehničkih karakteristika datog sistema potrebno je u obzir uzeti i ekonomske faktore za dati sistem.

Od svih RP sistema, najbliži RP sistemi za primjenu u BiH u datim uslovima su 3D Print i sistemi za Rapid Tooling. Sistem 3D Print-a je pogodan zbog svoje niske cijene i fleksibilnosti kao i mogućnosti printanja u više boja. Idealan je za izradu vizuelnih pomagala kako u privredi tako i u nastavnom procesu. Moguća je njegova primjena i za izradu prezentacija i reklama. Rapid Tooling sistemi bi svojom primjenom smanjili vrijeme izrade alata, a time i povećali fleksibilnost preduzeća i njegovu konkurentsku sposobnost. Ovo se posebno odnosi za preduzeća koja se bave livenjem ili brizganjem plastike. Problem kod ovih sistema je relativno velika cijena početnih ulaganja.

Literatura

- [1] Brza izrada prototipova – Rapid Prototyping –Dr. Nenad Grujović Mašinski Fakultet Kragujevac (2004)
- [2] Rapid Prototyping & Manufacturing State of the Industry – Wohlers Report USA (2006)
- [3] Rapid Prototyping & Manufacturing State of the Industry – Wohlers Report USA (2007)
- [4] Selecting Rapid Prototyping Systems – By Dr. Ryan Brown and Dr. Kenneth W. Stier
Journal of Industrial Technology Volume 18, Number 1, November 2001 to January 2002.

KVANTIFIKACIJA PERZISTENTNIH ORGANSKIH POLUTANATA GASNOM HROMATOGRAFIJOM SA MS DETEKTOROM U UZORCIMA VAZDUHA

Maja Djogo, diplomirani inženjer zaštite životne sredine-master, Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, Srbija

Prof. emeritus Mirjana Vojinović Miloradov-mentor, Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, Srbija
email: djogo.maja@gmail.com

1. Uvod

Poslednjih godina, čovečanstvo se susreće sa intenzivnim zagađivanjem životne sredine. Usavremenom dobu urbanog, industrijskog, saobraćajnog i agrohemijiskog razvoja, zagađenje predstavlja globalni međunarodni problem jer je frontalno, univerzalno i trajno [7]. Podaci Svetske zdravstvene organizacije nedvosmisleno pokazuju da se naša planeta polako, ali sigurno, pretvara u ogromnu gasnu komoru. Za pogoršanje uslova života na zemlji odgovorne su i kisele kiše, ozonske rupe, globalno zagrevanje, klimatske promene, a naročito bioakumulacija pojedinih toksičnih supstanci.

Stalno povećanje broja stanovnika na Zemlji, razvoj industrije i tehnologije, stvaranje novih procesa, metoda i proizvoda, urbanizacija savremenog društva i povećanje životnog standarda, razvoj saobraćaja, neadekvatno odlaganje otpada kao i primena novih agro-tehničkih mera dovode do stalnog povećanja sadržaja toksičnih i perzistentnih materija u atmosferi.

Smanjenje prisustva nepoželjnih materija moguće je ostvariti planiranjem i izradom postrojenja, izborom sirovina i opreme, primenom savremenih tehnoloških rešenja i propisanih procedura u procesu proizvodnje, odgovarajućim načinom odlaganja sirovina, proizvoda i otpada kao i kontinuiranom kontrolom kvaliteta vazduha i ekspozicije ljudske populacije prisutnim polutantima, tj. monitoringom vazduha.

Jedan od najznačajnijih monitoring programa u Evropi je European Monitoring and Evaluation Program (EMEP), koji je formiran nakon konvencije o velikom dometu prekograničnog vazdušnog zagađenja (Long Range Transboundary Air Pollution – LRTAP).

U okviru EMEP-a definisana su tri ključna segmenta kontinualnog monitoringa: prikupljanje i analiza emisionih podataka, merenje kvaliteta vazduha i padavina, i modelovanje atmosferskog transporta i depozicije.

2. Perzistentni organski polutanti

Perzistentni organski polutanti (POP) predstavljaju grupu hemijskih jedinjenja različitog porekla i sličnih fizičko-hemijskih karakteristika (isparljivost, lipofilnost, bioakumulacija, biomagnifikacija, difuzija kroz atmosferu na velike udaljenosti, perzistentnost u životnoj sredini i dr) [6].

Perzistentni organski polutanti su u različitom stepenu otporni na fotohemijisku, biološku i hemijisku degradaciju. Perzistentni organski polutanti obuhvataju tri grupe organskih jedinjenja [1]:

1. Pesticide – DDT i metaboliti, HCH, HCB, hlordan, toksafen, dieldrin, endrin i dr
2. Industrijske hemikalije – PCB
3. Sporedne produkte procesa proizvodnje i sagorevanja – PAH, dioksini i furani.

Perzistentni organski polutanti uglavnom vode poreklo iz antropogenih izvora zagađivanja (proizvodnja i korišćenje određenih organskih hemikalija, industrijska postrojenja, otpadne vode, procesi sagorevanja otpada i različitih materija organskog porekla, sagorevanje drveta, nafte, izduvni gasovi automobila i dr).

Vreme poluživota u prirodnoj sredini predstavlja osnovni kriterijum za svrstavanje nekog jedinjenja u grupu perzistentnih organskih polutanata, a poznato je da neki POP perzistiraju u okolini i po nekoliko godina, pa čak i decenija.

Prisustvo POP u životnoj sredini nije ni u čijem interesu, jer ova vrsta jedinjenja ima više negativnih osobina:

- Vrlo visoka toksičnost za živa bića,
- Visoka perzistentnost – vreme poluživota u zemlji je od 10 do 12 godina,
- Perzistentnost u jako kiselim i jako alkalnim sredinama,
- Perzistentnost u jako oksidacionim i jako redukcionim sredinama i na 700°C,
- Mala rastvorljivost u vodi,
- Dobra rastvorljivost u mastima,
- Isparljivost – omogućava POP da kruže u prirodi,
- Visok nivo koncentrovanja.

3. Policiklični aromatični ugljovodonici (PAH)

Policiklični aromatični ugljovodonici (PAH) su jedinjenja koja se sastoje od dva ili više kondenzovanih aromatičnih prstenova. PAH nastaju u procesima pirolize i nepotpunog sagorevanja.

U atmosferi, policiklični aromatični ugljovodonici se mogu naći u gasovitom stanju ili adsorbovani na čestice. PAH sa dva ili tri prstena (naftalen, antracen, fluoren, fenantren) se nalaze uglavnom u gasovitoj fazi, dok policiklični aromatični ugljovodonici sa četiri prstena (fluoranten, piren, krizen) perzistiraju u obe faze. PAH koji imaju pet ili više prstenova kao što je benzo(a)-piren, benzo(ghi)perilen, su uglavnom adsorbovani na čvrste čestice. Vreme koje provedu u atmosferi kao i udaljenost transporta PAH, zavise od veličine čestica na kojima su adsorbovani i od eksternih faktora.

Ljudi na različite načine mogu biti izloženi ovoj grupi jedinjenja:

- Inhalacija aerosoli i čestica koje sadrže PAH
- Ingestija kontaminirane hrane ili vode i
- Direktan kontakt preko kože sa materijalom koji u sebi sadrži PAH.

IRAC je formirala dve grupe policikličnih aromatičnih ugljovodonika:

1. Grupa A - kancerogeni PAH (benzo(a)antracen, benzo(a)piren, dibenz(ah)antracen)
2. Grupa B - suspektno kancerogeni PAH (benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, indenol(1,2,3-cd)piren i dr).

Pravilnikom o graničnim vrednostima, metodama merenja imisije, kriterijumima za uspostavljanje mernih mesta i evidenciji podataka objavljenom u Službenom glasniku Republike Srbije pod br. 30 i 35, 1997. godine, data je granična vrednost imisije za benzo(a)piren koja iznosi 0,1 ng/m³ u naseljenim mestima [4].

4. DDT/metaboliti

Upotreba DDT je bila široko rasprostranjena za vreme II svetskog rata i to za potrebe zaštite od tifusa i malarije. Korišćen je i u proizvodnji pamuka, žitarica i krompira. Velike količine DDT su oslobođene u sve delove životne sredine, za vreme njegove intenzivne primene bilo

u poljoprivredi ili za prevenciju bolesti ili kao posledica proizvodnje i transporta ove supstance.

DDT je svrstan u aneks B Stokholmske konvencije, čime se proizvodnja i upotreba DDT zabranjuje u svim zemljama, sa izuzetkom za zemlje koje ove supstance koriste za prevenciju bolesti. Konačni cilj je da se DDT u potpunosti eliminiše iz upotrebe i da se zameni adekvatnim alternativnim proizvodima.

Fizičko-hemijske osobine DDT ukazuju na visoku perzistenciju i visok stepen otpornosti prema degradaciji. Glavni produkti degradacije DDT su DDE i DDD, čije su karakteristike veoma slične karakteristikama DDT. Zahvaljujući tome što spadaju u grupu lipofilnih jedinjenja, DDT/metaboliti pokazuju visok nivo bioakumulacije i perzistencije u biotskom materijalu. Vreme poluživota DDT/metaboliti u vazduhu se kreće u intervalu od 17 sati do 7 dana. Polutanti ovog tipa su u atmosferi uglavnom adsorbovani na čvrste čestice.

DDT/metaboliti spadaju u grupu potencijalno kancerogenih supstanci, koje uzrokuju poremećaj rada endokrinih žlezda i utiču na reproduktivni i imuni sistem.

5. Heksahlorcikloheksan (HCH)

Heksahlorcikloheksan ($C_6H_6Cl_6$) ili gama-heksahlorcikloheksan (γ -HCH, lindan) je našao široku primenu u poljoprivredi kao jedno od najefikasnijih insekticidnih sredstava. U vazduhu, γ -HCH perzistira u vidu bezbojne pare, neprijatnog mirisa.

Heksahlorcikloheksan u atmosferu dospeva procesima proizvodnje, korišćenja, skladištenja i transporta. HCH u atmosferi perzistiraju u gasovitom obliku ili adsorbovani na čvrste čestice. Procesom taloženja čestica, pa potom njihovim ispiranjem putem padavina, HCH dospevaju na zemlju.

Svakodnevno, čovek je izložen dejstvu ovih jedinjenja i to na različite načine [2]:

- Konzumiranjem hrane ili pića koji su prethodno kontaminirani sa HCH,
- Inhalacijom zagađenog vazduha u blizini fabrika u kojima se proizvode proizvodi koji sadrže γ -HCH,
- Direktno preko kože.

Kod ljudi koji su izloženi većim koncentracijama ovih jedinjenja (na primer, u fabrikama koje proizvode produkte koji u sebi sadrže γ -HCH, unosom hrane i sl), primećeno je prisustvo γ -HCH i u humanom materijalu – krvi, adipoznom tkivu i humanom mleku.

Međunarodna agencija za istraživanje raka (IARC) je klasifikovala HCH i sve njegove izomere kao moguće kancerogene supstance, dok je EPA klasifikovala tehnički HCH i α -HCH kao suspektne kancerogene supstance, a β -HCH kao moguće kancerogene supstance.

6. Polihlorovani bifenili (PCB)

Polihlorovani bifenili su smeše sintetizovanih organskih jedinjenja. Usled toksičnosti i potencijalne kancerogenosti, 1977. godine, zakonom o kontroli toksičnih supstanci, se zabranjuje proizvodnja i ograničava upotreba ovih jedinjenja. Zemlje potpisnice Stokholmske deklaracije se obvezuju na potpuno povlačenje PCB iz upotrebe i iz zatvorenih sistema, zaključno sa 2007. godinom.

PCB spadaju u grupu aromatičnih organskih jedinjenja čije je jezgro supstituisano molekulima hlora.

Registrovano je 209 različitih PCB, poznatijih pod nazivom kongeneri. Razlika između kongenera se ogleda u broju atoma hlora vezanih za bifenilno jezgro kao i u položaju koji atomi hlora zauzimaju u jezgru.

Polihlorovani bifenili su uljasti, tečni fluidi, čija boja tamni, a viskozitet raste sa porastom broja atoma hlora u aromatičnim jezgrima. Specifične fizičko-hemijske karakteristike kojima se odlikuje čitava klasa jedinjenja su [5]:

- Nalaze se u tečnom agregatnom stanju na temperaturi od 25°C,

- Hemijska inertnost,
- Izražena oksidativna stabilnost,
- Termička stabilnost – razgrađuju se tek na 1000°C,
- Visoka tačka ključanja,
- Visoka tačka paljenja, 170 - 380°C – spadaju u grupu nezapaljivih supstanci,
- Neeksplozivnost,
- Slaba rastvorljivost u vodi,
- Ne hidrolizuju u vodi,
- Izražena rastvorljivost u organskim rastvaračima, naročito u ugljovodonicima i lipidima,
- Niska električna provodljivost,
- Visoka toplotna provodljivost.

Polihlorovani bifenili se mogu detektovati u svim medijima životne sredine: vodi, zemljištu, sedimentima, vazduhu i u živim organizmima. Od ukupne količine PCB koji su prisutni u prirodi, 99% se nalazi u vodi, 0,3% u vazduhu, a preostala količina je ravnomerno raspoređena između sedimenata i živih organizama [5].

PCB se unutar i između različitih delova životne sredine, transportuju procesima kao što su: molekulska difuzija, sorpcija, isparavanje, advekcija, disperzija, različiti hemijski procesi i aerobna i anaerobna mikrobiološka razgradnja.

U ambijentalnom vazduhu koncentracioni nivoi PCB se kreću u opsegu od 0,002 do 15 µg/m³, a u padavinama od 0,001 do 0,25 µg/l, pri čemu se gornje granice detektuju u urbanim sredinama [5].

Postoji više načina na koje čovek može da dođe u kontakt sa polihlorovanim bifenilima, a neki od njih su [2]:

- Korišćenje fluorescentnog osvetljenja i električnih uređaja proizvedenih pre tridesetak godina, koji mogu da ispuštaju male količine PCB u ambijentalni vazduh,
- Unošenjem kontaminirane hrane (riba, meso i dr) i vode,
- Inhalacijom vazduha kontaminiranog polihlorovanim bifenilima,
- U industriji – do kontakta sa PCB može doći na više načina.

PCB u dodiru sa kožom, može izazvati pojavu osipa i akni. Studije i istraživanja koja su sprovedena na zaposlenima u industrijama u kojima se javljaju polihlorovani bifenili, pokazuju promene u krvi i urinu.

Nekoliko studija ukazuju na povezanost PCB sa pojavom određenih vrsta kancera kod ljudske populacije.

Međunarodna agencija koja se bavi problemima kancerogenih oboljenja (IARC) svrstala je PCB u 2A grupu, a EPA u 2B tj. u kategoriju "hemijskih materija suspektno kancerogenih za ljudsku populaciju" [5].

7. Materijal i metod

Za početak upravljanja perzistentnim organskim polutantima od ključne važnosti su: identifikacija izvora, kvalitativan i kvantitativan opis koncentracioni nivoa POP kao i definisanje strategije za smanjenje ili potpunu eliminaciju POP iz životne sredine.

Usled relativno niskog koncentracionog nivoa POP u vazduhu, za uzorkovanje ambijentalnog vazduha primenjen je visokozapreminski (HV) uzorkivač, filter od staklenih vlakana i sorbent, za efikasno kolektovanje uzoraka organskih polutanata [3]. Najčešće upotrebljavani sorbenti su Tenax, XAD-2 smola i poliuretanska pena (PUF). Istraživanja su pokazala da XAD-2 smola efikasnije prikuplja lako isparljive komponente, dok je PUF pogodniji za rad na terenu i obezbeđuje željene protoke vazduha kroz uzorkivač. PUF efikasno kolektuje OCP, PCB i dibenzo-p-dioksine [4].

Aktivno uzorkovanje vazduha predstavlja konvencionalnu metodu koja je usmerena na detekciju i kvantifikaciju nepolarnih jedinjenja u vazduhu. Sama metodologija je složena, strukturirana i organizovana, a proces uzorkovanja sistematičan, strogo definisan i kontrolisan što zahteva obučenosť pojedinaca ili istraživačkog tima koji ga realizuje. Metodologija aktivnog uzorkovanja vazduha je godinama bila implementirana u monitoring perzistentnih organskih polutanata, obezbeđujući pri tom nove, praktične rezultate i omogućujući proveru, sistematizaciju i produbljivanje postojećih znanja [5].

Aktivno uzorkovanje vazduha podrazumeva protok poznate količine vazduha kroz uzorkivač, u određenom vremenskom periodu i module uzorkovanja (filter i sorbent).

Vazduh se pod uglom od 90°, propušta kroz horizontalno postavljeni jednoslojni filter od staklenih vlakana gde se zadržavaju čestice veličine prečnika preko 0,1 μm. Vazduh potom prolazi kroz sorbente od poliuretanske pene, koji se nalaze iza filtera od staklenih vlakana, a čija je funkcija adsorbovanje gasovite faze.

Prednost metode aktivnog uzorkovanja vazduha je precizno određivanje zapremine vazduha koja prolazi kroz module uzorkovanja, što omogućava preciznu detekciju koncentracionih nivoa polutanata u ambijentalnom vazduhu [5].

Nedostaci metode aktivnog uzorkovanja vazduha su:

- Potreba za izvorom električne energije za rad uzorkivača, što ograničava izbor lokacije monitoringa,
- Visoka cena opreme,
- Kompleksnost opreme,
- Nepogodnost metode za periodično i dugoročno praćenje emisije i imisije polutanata.

Uzorke treba čuvati na 4°C ukoliko je vremenski period između uzorkovanja i laboratorijske analize duži od 24 sata.

Ekstrakcija uzoraka treba da se uradi u periodu od 7 dana nakon uzorkovanja, a analiza u roku od 40 dana nakon ekstrakcije [4].

Za aktivno uzorkovanje vazduha korišćen je GV2360 Thermoandersen TSP, Graseby-Andersen USA, prikazan na slici 1.

Korišćen uzorkivač Thermoandersen GV2360 je projektovan za simultano kolektovanje suspendovanih čestica i gasovite faze organskih polutanata. Uzorkivač je smešten u zaštitno aluminijumsko kućište, sa čije prednje strane su smeštena vrata, obezbeđena sigurnosnom bravom. Sa unutrašnje strane vrata se nalazi merač protoka (Sierra 620). Aluminijumsko kućište sa poklopcem štiti uzorkivač od spoljašnjih uticaja, čime su obezbeđeni približno ujednačeni uslovi uzorkovanja. U gornjem delu kućišta, ispod poklopca, smešteno je ležište za jednoslojni filter od staklenih vlakana koji služi za kolektovanje suspendovanih čestica. U kućištu se nalazi čelična cilindrična cev prečnika 9 cm i visine 30 cm predviđena za sorbente od poliuretanske pene. Za svako uzorkovanje vazduha korišćen je po jedan jednoslojni filter od staklenih vlakana i dva sorbenta od poliuretanske pene gustine 0,003 g/m³ (Gumotex Břeclav), prečnika 9 cm i dužine 5 cm [13].



Slika 1 Uzorkivač vazduha GV2360 Thermoandersen TSP [12]

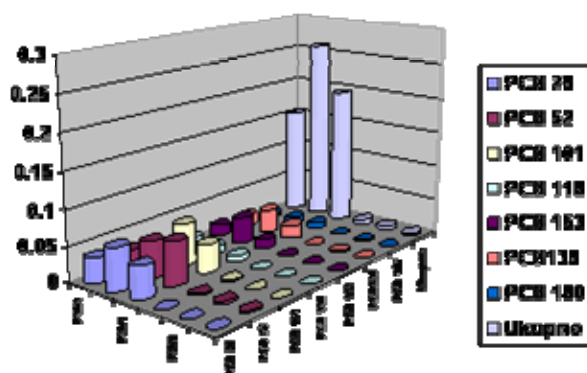
8. Gasna hromatografija/masena spektrometrija (GC/MS)

Gasna hromatografija/masena spektrometrija je (GC/MS) je kombinacija dve mikroanalitičke tehnike: GC – separacione i MS – identifikacione. Prema tome, u ovoj kombinaciji uloga gasne hromatografije se svodi na razdvajanje, dok se uloga masene spektrometrije svodi na identifikaciju komponenti smeše.

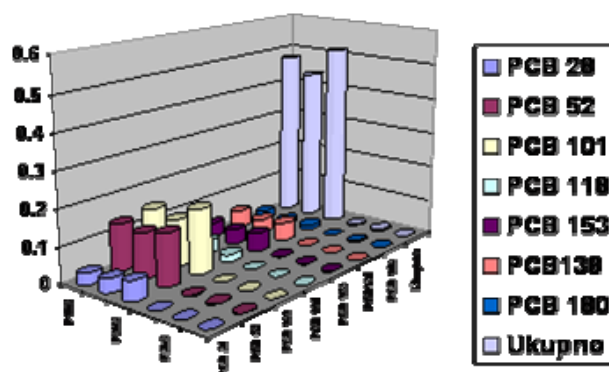
Kombinacija ove dve tehnike ima nekoliko prednosti. Pre svega moguće je izdvojiti komponente iz smeše jedinjenja, a potom i izvršiti njihovo kvalitativno i kvantitativno određivanje. Čak i od veoma male količine analita može se dobiti kompletan maseni spektar koji daje podatke kao što su: molekulska težina ispitivanog jedinjenja, karakteristike fragmentacije (cepanja) jona, kao i hemijski "fingertip" (otisak) koji služi kao osnova za identifikaciju ispitivanog analita.

9. Rezultati uzorkovanja polihlorovanih bifenila na teritoriji grada Novog Sada i diskusija

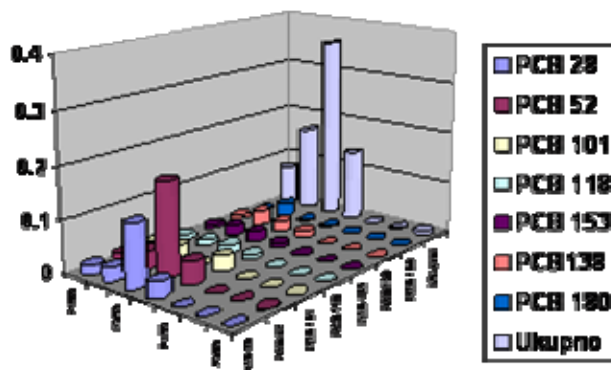
U Novom Sadu, uzorkovanje vazduha je realizovano u periodu od 02.07. do 04.07.2004. godine. Jedan uzorkivač je postavljen u krug Rafinerije nafte Novi Sad, ispred zgrade Vatrogasne stanice rafinerije (lokalitet N1). Drugi uzorkivač je postavljen u dvorištu predškolske ustanove u naselju Šangaj, koje se nalazi u blizini Rafinerije nafte Novi Sad (lokalitet N2), dok je treći uzorkivač postavljen u dvorištu Sekretarijata za zaštitu i unapređenje životne sredine, u Radničkoj ulici broj 2, u centru grada (lokalitet N3). Svi uzorkivači su postavljeni na zemlju [4].



Grafik 1. Koncentracioni nivoi PCB u ambijentalnom vazduhu
Novi Sad, Rafinerija nafte, lok. N1 [ng/m³]



Grafik 2. Koncentracioni nivoi PCB u ambijentalnom vazduhu
Novi Sad, Naselje Šangaj, lok. N2 [ng/m³]



Grafik 3. Koncentracioni nivoi PCB u ambijentalnom vazduhu
Novi Sad, Centar grada, lok. N3 [ng/m^3]

Prosečni koncentracioni nivoi u krugu Rafinerije nafte (lok. N1), kretali su se u opsegu od $0,007 \text{ ng/m}^3$ (PCB 180) do $0,050 \text{ ng/m}^3$ (PCB 52). Ukupni koncentracioni nivoi na lokalitetu N1 su se kretali u opsegu od $0,267 \text{ ng/m}^3$ do $0,159 \text{ ng/m}^3$, dok je ukupna koncentracija PCB na tom lokalitetu iznosila $0,212 \text{ ng/m}^3$.

U naselju Šangaj, smeštenog u neposrednoj blizini Rafinerije nafte Novi Sad (lok. N2), prosečni koncentracioni nivoi su iznosili od $0,015 \text{ ng/m}^3$ za PCB 180 do $0,155 \text{ ng/m}^3$ za PCB 101. Ukupni koncentracioni nivoi na lokalitetu N2 su se kretali u opsegu od $0,524 \text{ ng/m}^3$ do $0,444 \text{ ng/m}^3$. Ukupna koncentracija PCB na ovom lokalitetu je iznosila $0,485 \text{ ng/m}^3$.

Na lokalitetu N3 (centar grada), prosečni koncentracioni nivoi PCB su se kretali u opsegu od $0,010 \text{ ng/m}^3$ (PCB 180) do $0,078 \text{ ng/m}^3$ (PCB 52). Na ovom lokalitetu ukupni koncentracioni nivoi su se kretali u opsegu od $0,366 \text{ ng/m}^3$ do $0,077 \text{ ng/m}^3$, dok je ukupna koncentracija PCB iznosila $0,206 \text{ ng/m}^3$.

Na sva tri odabrana lokaliteta na teritoriji opštine grada Novi Sad registrovano je prisustvo rezidua polihlorovanih bifenila u ispitivanim uzorcima vazduha.

Na području Novog Sada konstatovano je prisustvo uniformne distribucije PCB.

Na osnovu dobijenih podataka, zaključuje se da kretanje vazdušnih struja kao i opšti atmosferski uslovi znatno utiču na rasprostiranje i transport PCB na ovom području. Nakon nekontrolisanog sagorevanja i razaranja skladišne i procesne opreme, prisutne količine polutanata u vazduhu se pozicioniraju na teritoriji opštine grada.

10. Zaključak

Perzistentni organski polutanti (POP) predstavljaju grupu organskih jedinjenja, koji su u različitoj meri otporni na biološku, hemijsku i fotolitičku degradaciju. POP se slabo rastvaraju u vodi, a dobro u lipidima što i objašnjava njihovu sklonost ka bioakumulaciji u masnim tkivima svih živih organizama. POP spadaju u grupu poluisparljivih jedinjenja, što im pruža mogućnost da se pre konačne depozicije, adsorbuju na čestice u vazduhu i prenose kroz atmosferu na velike razdaljine.

Ljudi mogu biti izloženi dejstvu perzistentnih organskih polutanata putem ishrane (konzumiranjem kontaminiranih namirnica) ali i putem kože i respiratornog sistema. Izloženost POP može biti akutna ili hronična i u oba slučaja može biti povezana sa širokim spektrom negativnih zdravstvenih efekata. Različita ispitivanja su potvrdila da perzistentni organski polutanti remete funkcije reproduktivnog, nervnog, endokrinog i imunog sistema kao i da imaju mutagene, teratogene i kancerogene efekte.

Ratni akcidenti na prostorima Republike Srbije (proleće 1999. godine) koji su za posledicu imali delimično ili potpuno razaranje industrijskih postrojenja i skladišnih objekata sa toksičnim materijama, kao i nekontrolisano sagorevanje pri eksplozijama, doveli su do generisanja i ispuštanja velikih količina POP u sve medijume životne sredine.

Na osnovu dobijenih rezultata ispitivanja kvaliteta ambijentalnog vazduha na odabranim lokacijama u Novom Sadu i Pančevu, izvedeni su sledeći zaključci:

- U zakonskoj regulativi Republike Srbije maksimalne dozvoljene koncentracije (MDK) ispitivanih grupa perzistentnih organskih polutanata nisu definisane, tako da nije moguće izvršiti poređenje detektovanih koncentracija sa zakonom propisanim vrednostima. Pravilnik o graničnim vrednostima (*"Službeni glasnik RS", br. 30/97, 35/97*) definiše graničnu vrednost imisije samo za benzo(a)piren, koja iznosi 0,1 ng/m³ za 24-satni uzorak. Granične vrednosti ostalih ispitivanih polutanata nisu propisane nacionalnim zakonodavstvom.
- Na svim odabranim lokalitetima je detektovano prisustvo rezidualnih koncentracija perzistentnih organskih polutanata (PAH, DDT, HCH i PCB) u ispitivanom matriksu.
- Organohlorni pesticidi su, kao lako isparljiva jedinjenja, dominantno prisutni u gasovitoj fazi, dok je udeo nešto teže isparljivih policikličnih aromatičnih ugljovodonika značajniji u suspendovanoj fazi. Sedam EPA kongenera polihlorovanih bifenila su prisutni kako u gasnoj tako i u čestičnoj fazi i dobijeni rezultati ukazuju na specifičnu depoziciju, distribuciju i transport PCB.
- Na teritoriji grada Novog Sada, najviši ukupni koncentracioni nivo ispitivanih policikličnih aromatičnih ugljovodonika je registrovan na lokalitetu N1, u krugu Rafinerije nafte Novi Sad.
- Najviše ukupne koncentracije na teritoriji grada Novog Sada detektovane su u krugu industrijskih zona – u Novom Sadu u krugu Rafinerije.
- Granična vrednost imisije, GVI za benzo(a)piren je prekoračena na svim selektovanim lokalitetima uzorkovanja ambijentalnog vazduha. Registrovani koncentracioni nivoi B(a)P na odabranim lokalitetima se kreću unutar prosečnih koncentracionih nivoa detektovanih u većini evropskih zemalja u 1998. godini.
- Na teritoriji Novog Sada primećuje se neuniformna distribucija PAH, što ukazuje na to da detektovani koncentracioni nivoi analiziranih polcikličnih aromatičnih ugljovodonika nisu samo rezultat globalnog transporta kroz atmosferu, već da su, u pojedinim oblastima, prisutni i lokalni izvori zagađenja. Rezidualne koncentracije PAH na teritoriji grada Novog Sad predstavljaju zbirni efekat pređašnjeg, prisustva i formiranja polutanata prilikom akcidenata izazvanih ratnim dejstvom od 1992. do 1999. godine.
- Distribucija ispitivanih organohlornih pesticida (DDT, HCH) je uniformna, što ukazuje na to da su detektovani koncentracioni nivoi OCP rezultat primene (najčešće u poljoprivredi) i globalnog rasprostiranja kroz atmosferu, kao i na to da ne postoje značajni lokalni izvori emisije.
- Analiziranjem ukupnog sadržaja PCB na pojedinim lokalitetima Novog Sada primećena je specifična razlika u prostornoj raspodeli ovih polutanata i uticaju vazdušnih strujanja unutar ovih oblasti. Pored relativno približnih vrednosti, primećen je izostanak maksimalne koncentracije na potencijalnoj tački emisije PCB – lokalitet N1 (krug Rafinerije nafte). Ovakva raspodela koncentracionih nivoa PCB ukazuje na: moguće odsustvo direktnog izvora emisije na području grada Novog Sada, specifičnost geografskih i mikro-klimatskih karakteristika posmatranog područja kao i na neadekvatno prostorno planiranje industrijske zone grada.
- Rezultati dobijeni ispitivanjem vazdušnih koncentracija PCB pružaju informacije o rasprostiranju, transportu i sudbini PCB kongenera u blizini lokalnih izvora emisije, i na taj način omogućavaju procenu njihovog uticaja.
- Analiziranjem koncentracionih nivoa PCB u ambijentalnom vazduhu odabranih lokacija, utvrđena je diskontinualna raspodela ove grupe polutanata kao i potreba za dislociranjem primarnih izvora kontaminacije u cilju smanjenja prisustva PCB u matriksima životne sredine.
- Dobijeni rezultati ukazuju na potrebu za stalnim ispitivanjima i monitoringom kvaliteta vazduha u cilju smanjenja proizvodnje i emisije perzistentnih organskih polutanata jer njihovo prisustvo u matriksima životne sredine predstavlja veliku opasnost po sav živi svet i okolinu uopšte.

- Za početak upravljanja perzistentnim organskim polutantima od ključne važnosti su: identifikacija izvora, kvalitativan i kvantitativan opis koncentracionih nivoa POP kao i definisanje strategije za smanjenje ili potpunu eliminaciju POP iz životne sredine.

Literatura

1. AMAP - Arctic Monitoring and Assessment Programme, Persistent Organic Pollutants – Old and New, 2002. ,<http://www.amap.no>
2. ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry, <http://www.atsdr.cdc.gov>
3. Jakšić, J, Turk, M, Vojinović Miloradov, M, Holoubek, I, Klanova, J, Krajinović, S, Bašić, Đ, Ristivojević, A.: "Određivanje perzistentnih organskih polutanata u vazduhu", VI Međunarodna eko-konferencija Zaštita životne sredine gradova i prigradskih naselja, Monigrafija, Novi Sad, 2005.
4. Jakšić, J.: "Koncentracioni nivoi perzistentnih organskih polutanata u vazduhu generisanih u toku ratnog akcidenta od 1992 - '99.", autorski reprint, Novi Sad, 2006., str. 40 – 52.
5. Turk, M, Jakšić, J, Vojinović Miloradov, M, Klanova, J.: "Post-war levels of Persistent Organic Pollutants (POPs) in air from Serbia determined by active and passive sampling methods", Environmental Chemistry Letters (ECL) Journal 5, 2007., str. 109 – 113.
6. UNEP, Inventory of Information Sources on Chemicals Persistent organic pollutants, 1999.
7. World Health Organization, Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution, 2003., <http://www.euro.who.int>

KONSTRUKCIJA CROSSFLOW TURBINE ZA MIKROHIDROELEKTRANU LAĐANICA

Vedran Avdić, Apsolvent -Mašinski fakultet Sarajevo
Hajrudin Džafo, dipl.ing.maš. Mašinski fakultet Sarajevo
Emir Avdić, dipl.ing.maš. Intrade Energija doo, Sarajevo
Semiz Šišić, dipl.ing.maš. Metalno dd, Zenica

1. Uvod

Na Mašinskom fakultetu u Sarajevu je pokrenut Projekat opremanja Laboratorije za hidrotehniku i hidrauliku potrebnom opremom za mjerenje i praćenje parametara rada hidrauličnih mašina u laboratorijskim uslovima.

Postavljen je cilj unapređenja edukativnih i istraživačkih aktivnosti u laboratoriji na izradi diplomskih i magistarskih radova, analiza rada različitih tipova hidrauličkih turbina za primjenu u mikrohidroelektranama, a prije svega područje istraživanja crossflow turbina ranga 15-100 m, i cijevnih turbina područja 2 –12 metara, snaga do 200 kW.

Na primjeru konstruisanja i izrade *crossflow* turbine snage 7,2 kW za mikrohidroelektranu Lađanica, studenti-apsolventi su bili aktivno uključeni, i ovaj rad je dio aktivnosti apsolventa na izradi diplomskog rada iz ove oblasti na Mašinskom fakultetu.

Uz konsultantske usluge predstavnika firme Intrade Energija doo Sarajevo u radionicama firme Metalno dd Zenica je izrađena mikro hidroturbina za bruto pad 2,5 metra, i protok 400 l/s, a prema konstrukcionim crtežima sa Mašinskog fakulteta Sarajevo.

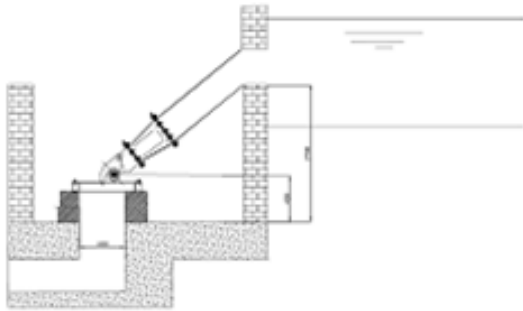
2. Projekat Laboratorije za hidrotehniku na Mašinskom fakultetu u Sarajevu

Nakon potpisivanja Ugovora o saradnji 28.11.2007. godine između Mašinskog fakulteta i firme Intrade Energija doo Sarajevo, potpisan je 09.04. 2008. godine u Ljubljani i Ugovor o saradnji sa Turboinstitutom dd Ljubljana, koji ima 60 godina iskustva i tradicije u ovoj oblasti. Dogovorene su aktivnosti za 2008. i 2009. godinu, na realizaciji I faze opremanja Laboratorije (ispitna stanica za *crossflow* turbine ranga 15-100 metara, snage do 200 kW) i II faze (ispitna stanica sa mogućnošću sagledavanja kavitacijskih uslova za cijevne turbine područja primjene 2-12 metara i snage do 200 kW).

Prema konsultantskim preporukama inženjera Intrade Energija doo Sarajevo i saradnika Mašinskog fakulteta, konstruisana je i izrađena mikro hidroturbina snage 7,2 kW u radionicama Metalno dd Zenica. Mikrohidroagregat na lokaciji vodotoka Lađanica - Glavatičevo je 18. aprila 2008. godine uspješno pušten u probni rad.

3. Konstrukcija hidroagregata

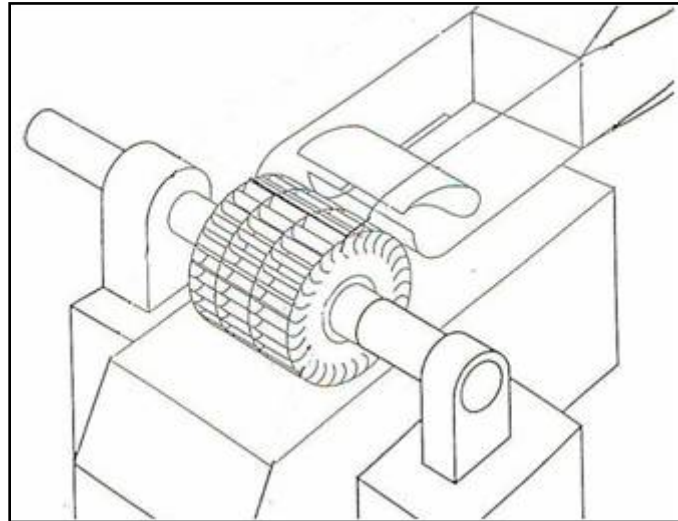
Hidroelektrični agregat je samostalna jedinica za proizvodnju električne energije iz potencijalne energije vodotoka.



Slika 1. Zahvat vode i dovod na turbinu

Sastoji se iz dvije osnovne cjeline sa pratećom opremom:

- hidroagregat
- upravljačko-regulaciona oprema



Slika 2: Konstruktivno rješenje crossflow turbine

Hidroagregat se sastoji od:

- čeličnog postolja varene konstrukcije,
- vodne turbine tipa crossflow (u literaturi još poznata pod nazivom Banki, Ossberger) opremljenom odgovarajućom elektrohidrauličkom opremom koja omogućava automatsko i ručno upravljanje agregatom.

Turbinska osovina je preko kandžaste spojnice i remenog prenosa vezana na osovину trofaznog sinhronog generatora.

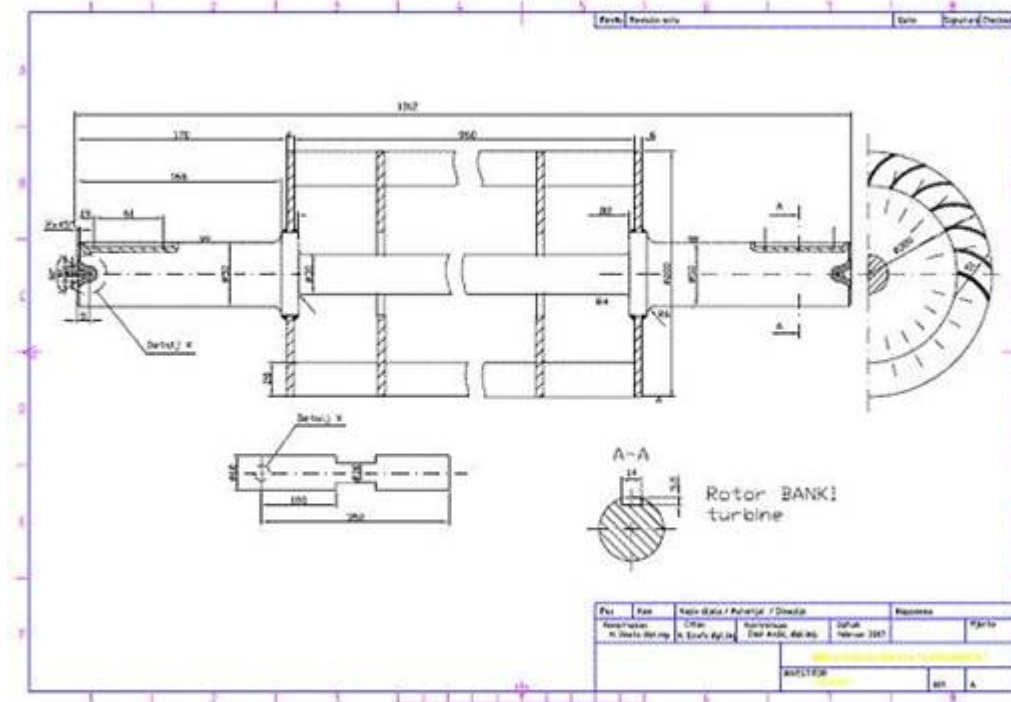
Upravljačko-regulaciona oprema služi za upravljanje agregatom automatski, mjerenje parametara agregata, zaštitu kompletnog postrojenja, signalizaciju stanja postrojenja, te razvod upravljačkog i sigurnosnog napajanja.

Svi dijelovi hidroelektričnog agregata podložni koroziji temeljno su zaštićeni i završno obojeni.

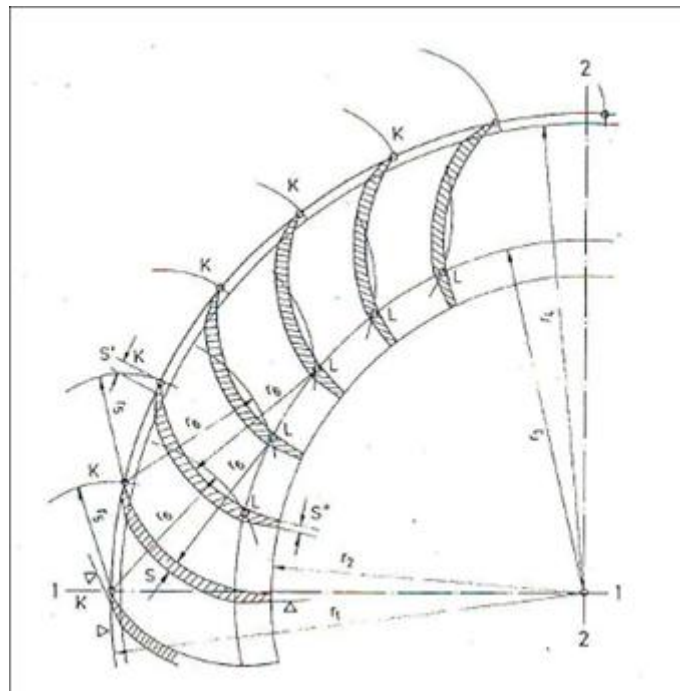
Konstrukciji čelici Č.0562 (St 52.3 DIN) i Č.0361 (St 37.2 DIN) su osnovni materijali upotrebljeni za izradu dijelova turbine (rotor sa osovinom, mlaznica, lopatica sa osovinom za regulaciju toka u mlaznici, i dr.).

Turbina je zavarena konstrukcija, rotor sa osovinom dinamički balansiran u radionici, mlaznica je sa lopaticom za regulaciju. Sklop je postavljen na postolje-ram od U-profila.

3.1. Rotor turbine

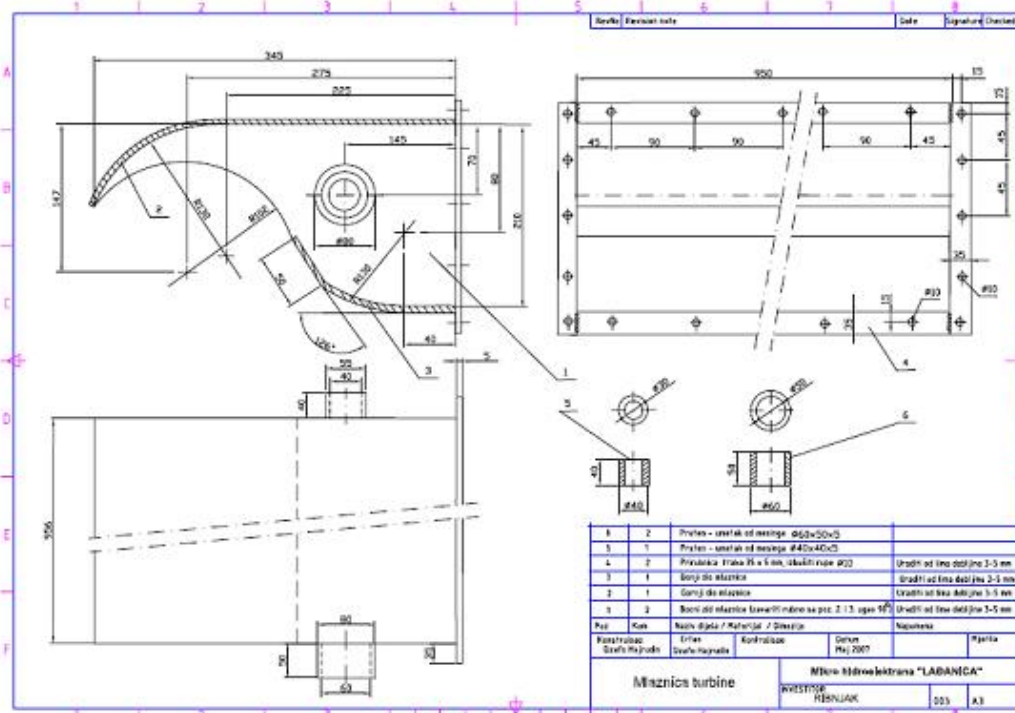


Lopaticе turbine pri vrhu i dnu oblikovati brušenjem prema nacrtu:

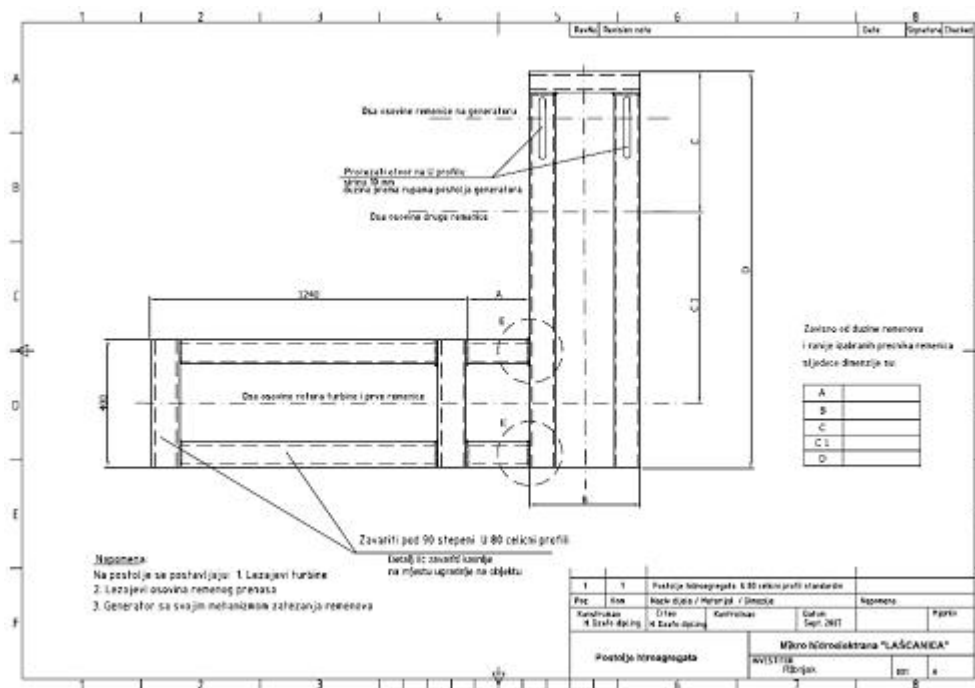


Svi zavarani spojevi lopatica sa diskovima i osivinom moraju biti obrađeni brušenjem, sa minimalnim neravninama.

3.2. Mlaznica sa lopaticom za regulaciju toka



3.3. Postolje hidroagregata



Prema detaljnim konstruktivnim crtežima urađene su sve pozicije i montaža sklopa hidroagregata u radionici.



Slika 3: Montaža rotora i mlaznica turbine



Slika 4: Montaža turbine, prenosnog mehanizma i generatora u radionici Metalno d.d. Zenica

4. Način rada – korištenje hidroenergije vodotoka

Potencijalna energija vode na vodozahvatu, putem derivacionog dovodnog kanala pretvara se u kinetičku energiju vode koja se koristi za pogon vodne turbine kao pogonske mašine.

Rotorske lopatice turbine preuzimaju kinetičku energiju vode i pretvaraju je u mehaničku energiju koja se očituje u obrtanju osovine turbine. Ta se mehanička energija prenosi preko spojnice i remenog prenosa na osovinu generatora u funkciji radne mašine.

Generator pretvara mehaničku energiju elektromagnetskim putem u električnu energiju, koja se od sabirnice generatora, kablovima preko rasklopnih elemenata u upravljačko-regulacionom ormaru, prenosi u elektrodistributivnu mrežu do krajnjih korisnika električne energije.

Hidroelektrični agregat može raditi u dva osnovna režima rada:

a) Automatski režim rada:

Potpuno automatsko upravljanje agregatom, automatsku sinhronizaciju, automatsku regulaciju opterećenja zavisno o trenutno raspoloživom dotoku vode, kao i automatsku zaštitu.

Ovo je osnovni način rada hidroelektračnog agregata.

b) Ručni režim rada:

Podrazumjeva ručno upravljanje agregatom, ručno opterećivanje agregata prema raspoloživom dotoku vode, uz ručno održavanje nazivne frekvencije zavisno o trenutno priključenom opterećenju.

TEHNIČKI PODACI

TURBINA:

Instalisani proticaj	0,400 m ³ /s
Neto pad	2,50 m
Snaga turbine	7,20 kW
Broj obrtaja	200 min ⁻¹
Stepen korisnog dejstva	0,75
Prečnik rotora	205 mm
Širina rotora	960 mm
Broj unutrašnjih diskova	2
Radikalna širina lopatica	51 mm

GENERATOR:

Snaga generatora	7,5 kW
Stepen korisnog djestva	0,85
Broj obrtaja	1500 min ⁻¹
Nazivni napon	380 V
Nazivna frekvencija	50 Hz

Hidroelektrični agregat je predviđen za ugradnju u čvrsti objekat koji treba prethodno pripremiti. Dovod vode do turbine je betonskim kanalom, a čelični kanal pravougaonog profila se spušta do ulaza u turbine, koristeći visinsku razliku od 2,5 metara.

5. Zaključak

Projekat Laboratorije za hidrotehniku na Mašinskom fakultetu u Sarajevu već daje rezultate - mikrohidroelektrana snage 7,2 kW puštena u probni rad.

Prema konsultantskim preporukama inženjera Intrade Energija doo Sarajevo i saradnika Mašinskog fakuleta, konstruisana je i izrađena mikro hidroturbina snage 7,2 kW u radionicama Metalno dd Zenica. Mikrohidroagregat na lokaciji vodotoka Lađanica - Glavatičevo je 18. aprila 2008. godine uspješno pušten u probni rad.

Na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Sarajevu je kroz ovaj Projekat postavljeni cilj unapređenja edukativnih i istraživačkih aktivnosti u oblasti hidroenergetike. Veliku podršku ovim aktivnostima su dali Dekan prof. Dr. Ejub Džaferović, i Direktor Intrade Energija doo Sarajevo, Emir Avdić, dipl. ing. maš.

Na ovom primjeru konstruisanja i izrade *crossflow* turbine za mikrohidroelektranu Lađanica, bili su aktivno uključeni i studenti-apsolventi.

TITAN I NJEGOVE LEGURE

Hodžić Arnela, student
Mujčin Amer, student
Dr. Nađija Haračić, prof.

Univerzitet u Zenici
Mašinski fakultet

SAŽETAK

Titan spada u grupu lakih metala. Ima veoma dobre mehaničke osobine, koje zavise od količine i vrste primjesa. Kod njih je izražena trajna dinamička čvrstoća. Čvrstoća mu je veća nego kod aluminija. Osnovni nedostatak titana je mali modul elastičnosti ($E=112000\text{N/mm}^2$), zbog toga se ne može postići veća krutost konstrukcije. Sklon je pucanju na povišenim i niskim temperaturama. Aluminij je osnovni legirajući element kod titanovih legura. On povećava čvrstoću, vatrootpornost, modul elastičnosti i vatropostojanost.

Legure titana se obrađuju kaljenjem, otpuštanjem, zavarivanjem kao i drugim postupcima. Postoje još neki legirajući elementi kao što su: kalaj, vanadij, molibden, krom, mangan, olovo i kobalt. Najčešća primjena titana i njegovih legura je u zrakoplovnoj i svemirskoj tehnici, brodogradnji i hemijskoj industriji. Prikladan je za izradu djelova koji rade na povišenim temperaturama od 300°C - 600°C .

Ključne riječi: titan, legure titana, lake legure, mehaničke osobine

SUMMARY

Titanium belongs to group of light metals. It has very good mechanical properties, which depends by quantity and sort of alloy. Strength of titanium is bigger than strength of aluminium. Basis defect of titanium is very small module of elastic ($E=112000\text{ N/mm}^2$) and because of that the construction can't be very stiff. Titanium is inclined to splitting at high and also low temperatures. Aluminium is basis alloyed element. Aluminium increase strength, fire resist and module of elastic.

Titanium alloys prepared with quenching, welding and anilling like and under treatments. There is more alloyed elements like: Sn, V, Mo, Cr, Mn, Pb and Co. Titanium and its alloys can use in aircraft and airspace industry, ship and chemical industry. It is useful for manufacture tiles which work at high temperatures from 300°C to 600°C .

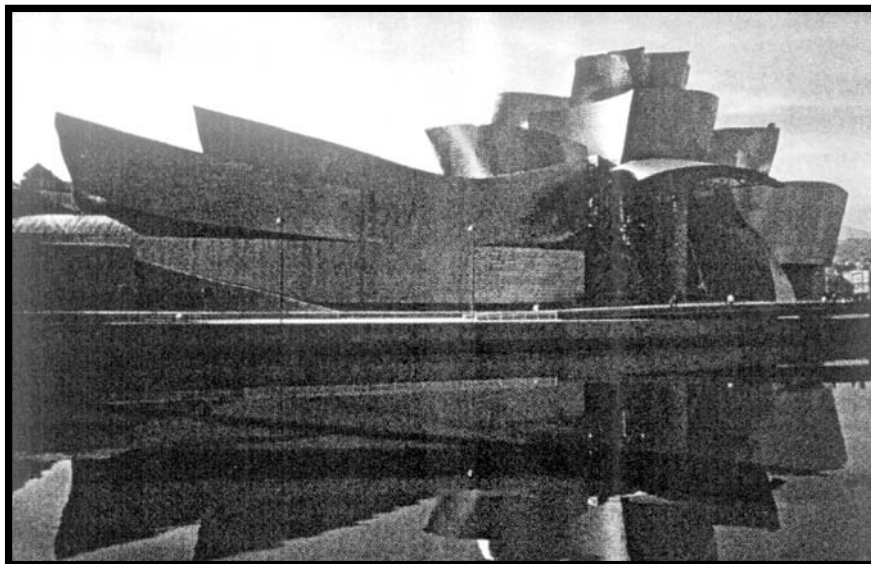
Key words: Titanium, titanium alloys, light alloys, mechanical properties

UVOD

Titan je prvi otkrio Gregor krajem 18. stoljeća, tačnije 1790. godine u Engleskoj, a pet godina kasnije Klaproth ga je pronašao u Mađarskoj. Proizvodnja titana je počela mnogo kasnije, tek 1950. godine jer je postojala teškoća u odvajanju ovog metala od kisika.. Jedan od procesa odvajanja je Krollov ekstrakcioni proces. Ovaj postupak je veoma skup i zahtijeva šesnaest puta veću potrošnju energije po jednoj toni nego čelik, a samo dva puta veću od aluminija.

1.1. Osobine titana

Najvažnije fizičke osobine titana su: mala težina, dobra čvrstoća, lakoća obrade i velika otpornost na koroziju. Ove osobine zavise od čvrstoće metala. Općenito, što je metal čišći, lakši je za preradu, ali je njegova čvrstina manja. Titan je odlična baza za dodatne legure. Gotovo svi metali su rastvorljivi u titanu. S obzirom da mehaničke osobine ovise o čistoći metala neke vrste titana se proizvode u mljevenom obliku. Vrste titana i njihovi opisi su dati u tabeli 1. Razlike u čvrstoći raznih vrsta titana su povezane sa količinom nitroгена i ugljika koju taj metal sadrži. Kao i kod većine elemenata, hemijske osobine titana se mogu značajno mijenjati kad se prave legure koje se komercijalno proizvode.



Sl.1. Muzej Guggenheim – Bilbao u Spaniji (obložen titanom)[5]

Tabela 1. Mehaničke osobine različitih vrsta nelegiranog titana [2]

		Mehaničke osobine na sobnoj temperaturi			Mehaničke osobine pri temperaturama od 315[°C]		
		Napon pri prekidu (1000psi)	Napon na granici tečenja (1000psi)	Izduženje (%)	Napon pri prekidu (1000psi)	Napon na granici tečenja (1000)	Izduženje (%)
Nominalni sastav (%)	Stanje						
Visoka čistoća (99,9%)	žaren	34	20	54	16	-	52
Komercijalna čistoća (99,2%)	žaren	59	40	28	28	13	-
Komercijalna čistoća (99,2%)	žaren	79	63	27	33	19	33
Komercijalna čistoća (99,0%)	žaren	95	80	25	43	27	28

*1000psi = 0,0152N/mm²

Tabela 2. Komercijalne titanove legure i njihovo označavanje [2]

Nominalni sastav (%)	Produktivno označavanje				Druga označavanja		
	<i>Lonac</i>	<i>Mallory-Sharon</i>	<i>Republičko</i>	<i>TMCA</i>	<i>AMS</i>	<i>AST M</i>	<i>Vojno</i>
ALFA TITANOVE LEGURE							
Ti-5Al-2,5Sn	A-110AT	MST-5Al-2,5Sn	RS-110C	Ti-5Al-2,5Sn	4926	B-265-58T-Gr6	(T-9047B-2) (T-9046B-3)
Ti-6Al-4Zr-1V	-	-	-	Ti-6Al-4Zr-1V	-	-	-
Ti8Al-1Mo-1V	-	-	-	Ti-8Al-1Mo-1V	-	-	-
Ti-8Al-2Cb-1Ta	-	MST-821	-	-	-	-	-
Ti-8Al-8Zr-1(Cb-Ta)	-	MST-881	-	-	-	-	-
Ti-7Al-12Zr	A-120ZA	-	-	-	-	-	-
ALFA-BETA TITANOVE LEGURE							
Ti-3Al-2,5V	-	MST-3Al-2,5V	-	-	-	-	-
Ti-5Cr-3Al	-	MST-3Al-5Cr	-	-	4927	-	T-9047B-3
Ti-2Fe-2Cr-2Mo	-	-	-	Ti-140A	4923	-	(T-9046B-4) (T-9047B-4)
Ti-8Mn	C-110M	MST-8Mn	RS-110A	-	4908 A	B-265-58T-Gr7	T-9046B-1
Ti-4Al-4Mn	C-130AM	MST-4Al-4Mn	RS-130	-	4925 A	-	T9047B-6
Ti-4Al-3Mo-1V	C-115AMoV	-	RS-115	Ti-4Al-3Mo-1V	-	-	-
Ti-4Al-4Mo-4V	-	-	-	Ti-4Al-4Mo-4V	-	-	-
Ti-5Al-2,75Cr-1,25Fe	-	-	RS-140	-	-	-	-
Ti-5Al-1,5Fe-1,4Cr-1,2Mo	-	-	-	Ti-155A	4929	-	T-9047B-7
Ti-6Al-4V	C-120AV	MST-6Al-4V	RS-120A	Ti-6Al-4V	(491 1) (492 8)	B-265-58T-Gr5	(T-9046B-2) (T-9047B-5)
Ti-7Al-4Mo	C-135Mo	-	RS-135	Ti-7Al-4Mo	-	-	-
Ti-16V-2,5Al	C105VA	MST-16V-2,5Al	-	-	-	-	-

Titanova otpornost na koroziju u različitim uslovima je uzrokovana hemijskim osobinama titana, što može biti povezano sa formiranjem površinskog sloja otpornog na oksidaciju. Ovaj sloj štiti samo na umjerenoj temperaturi, jer titan oksidira veoma sporo na temperaturama manjim od 249⁰ C. Brzina oksidacije se povećava sa povećanjem temperature. Sa nitrogenom reaguje na nešto višim temperaturama nego sa kisikom. U hemijskom smislu titan je otporan na „vlažni hlorni gas“, hlorne otopine i oksidne kiseline kao što su dušikove. Otporan je na razblažene koncentrate sulfata. Takođe je otporan na većinu organskih kiselina na sobnim temperaturama. Pri zagrijavanju se rastvara u razblaženoj solnoj, sumpornoj i azotnoj kiselini. Hidrofluorne i fosforne kiseline kao i određeni koncentрати alkalnih kiselina nagrizaју titan.

1.2. Oksidacija titana

Titan oksidira, ali se i kisik s titanom pretvara u čvrsti rastvor. To sve zavisi od visine temperature. Može doći i do istovremene oksidacije i difuzije. Difuzija kisika u titan zavisi od temperature; pri povišenoj temperaturi dolazi i do difuzije i do oksidacije. Upotreba titana pri povišenim temperaturama je ograničena reakcijom sa kisikom. Na primjer: komad debljine 1,015mm postaje nesavjetljiv, ako se izlaže nekoliko sati temperaturi od 816⁰ C na zraku. Isti komad se može izlagati i 500 sati temperaturi od 566⁰ C, a da nema promjena u sastavu i osobinama. Drugi primjer je komad debljine 0,381mm, koji odolijeva plamenu od 1093⁰ C, petnaest minuta.

2. TEHNIČKI TITAN

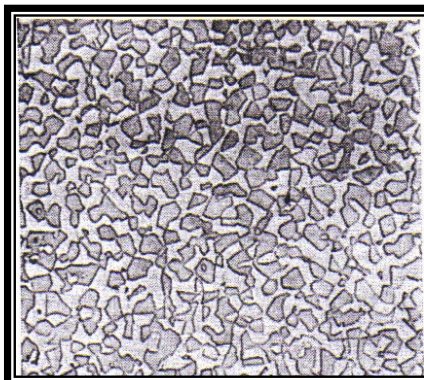
Tehnički titan proizvodi se u obliku limova, šipki i žice (tab.3.). Označava se sa BT1-1 i BT1-2. BT1-2 ima veći ukupni sadržaj primjesa, posebno kisik od BT1-1. Dok titan BT1-1 ima veliku otpornost na koroziju i on ne zaostaje iza platine, što se objašnjava obrazovanjem tankog i veoma gustog površinskog oksidnog sloja

Tabela 3. Mehaničke osobine tehničkog titana [Inženjersko tehnički priručnik]

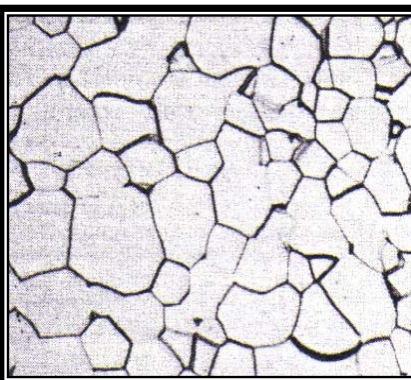
Oznaka titana	Oblici poluproizvoda	Stanje materijala	σ_M u N/mm^2	E u %	TU
BT1-1	Limovi debljine u mm: 0,5-1,8 2,0 i deblji Šipke	Žaren	441-588	≥ 30	AMTU 475-4-61
		Žaren	441-588	≥ 25	Isto
		Žaren	441-588	≥ 20	AMTU 363-56
BT1-2	Limovi debljine u mm: 0,5-1,8 2,0 i deblji Šipke	Žaren	539-588	≥ 25	AMTU 475-4-61
		Žaren	539-735	≥ 20	Isto
		Žaren	539-686	≥ 15	AMTU 363-56

3. LEGURE TITANA

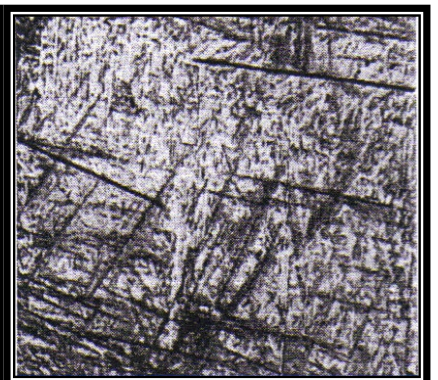
Osnovni legirajući elemenat titanovih legura je aluminij. On povećava mehaničku otpornost na visokim temperaturama i obrazuje sa titanom legure pogodne za zavarivanje. Nedostatak kroma, mangana i željeza kao elemenata za legiranje je taj što pri dužem držanju na temperaturi iznad $400^{\circ}C$, legura postaje krta. Legure titana sa ovim elementima imaju dobre mehaničke osobine i zadržavaju dobru plastičnost. Molibden, vanadij i kalaj stabilizuju legure koje su postale krte. Osobine titanovih legura su mala gustoća, visoke mehaničke osobine i otpornost na koroziju. Ove legure mogu se koristiti u raznim agresivnim sredinama. Imaju mali koeficijent širenja i mogu da se koriste za elemente koji su izloženi temperaturnim promjenama. Legure mogu postati krte ako sadrže vodik.



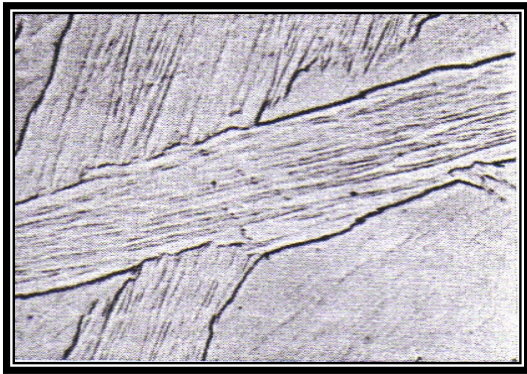
Struktura α - β legure
proizvedene i žarene u α - β
polju 250x



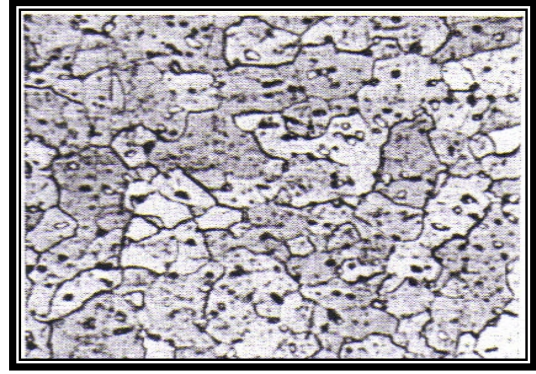
Struktura nelegiranog titana
ili α legure žarene u α polju
x100x



Struktura α - β legure α polju
kaljene u β polju
250x



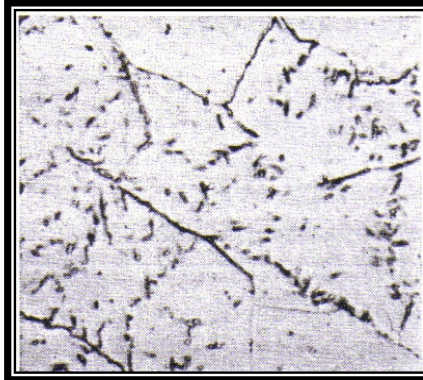
Struktura nelegiranog titana ili α legure kaljene u β polju



Struktura α legure koja sadrži karbid žaren u α karbidnom polju 250x



Struktura α legure
100x



Struktura nestabilne β legure kaljene u β polju



Struktura nestabilne β legure polako hlađene u β polju 250x

3.1. Alfa legure

One su nelegirane (čiste i komercijalno čiste) i stabilizovane sa neprelaznim metalima. Elementi Al, Sn, i Ga služe pri očvršćavanju čvrstim rastvorom na sobnoj temperaturi. Veći dio α (alfa) ili približnih alfa legura sadrži Al (oko 5% u prosjeku) kao legirajućeg elementa. Osim aluminija (Al) sadrže još i kalaj (Sn) i cirkonij (Zr) u podjednakim količinama. Male količine silicija (Si) nisu neobične, kao ni mikrolegirajući dodatak bora (B) $< 0,001\%$. α -legure imaju prihvatljivu čvrstoću žilavost i lako su zavarive. Otporne su na koroziju. Nisu sklone tranziciji od žilavosti ka lomu pri promjeni temperature i one su najčešće korištene legure u kriogene svrhe.

3.2. Beta legure

Beta stabilni elementi nalaze se u V i VI grupi periodnog sistema elemenata. Najjednostavniji su Nb (V grupa) i ranije zabilježeni Mo (VI grupa). Struktura β legure na sobnoj temperaturi je često stabilna ili metastabilna. Ove legure se mogu lako formirati i imaju visok nivo čvrstoće na povišenim temperaturama. Beta legure ispoljavaju osobinu tranzicije od žilavosti ka lomu i ne razmatraju se u kriogene svrhe.

3.3. Alfa-beta legure

Iako α - β legure sadrže α i β stabilizatore, ravnotežna faza je obično α , premda zapreminska frakcija β varira između 5 i 50 %. Najjednostavnija i najpopularnija α - β legura je Ti-6Al-4V. Ova klasa legura ima sličnost površine sa glatkom površinom ugljičnih čelika, ali one nemaju takav niz osobina kao odgovarajuće čelične mikrostrukture. Jednostavnost

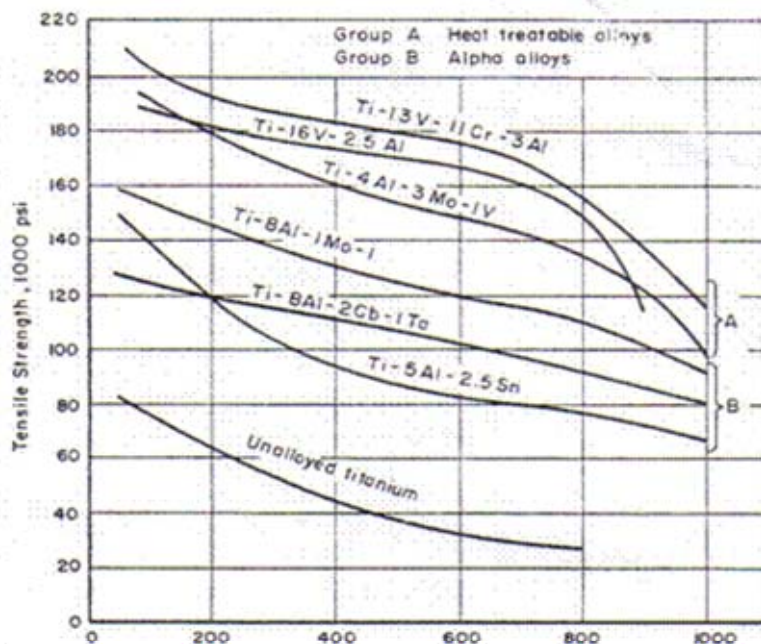
kompozitnih legura 6-4, spojene sa odgovarajućim nizom mikrostruktura i osobina znači da su korištene u različite svrhe, $\alpha+\beta$ legure se mogu u granicama lako formirati i imaju dobre osobine na povišenim temperaturama. Legure sa više od 20% β se mogu lako zavarivati.

U α stabilnom sistemu, beta faza se ne može održati gašenjem niti postoji proces očvršćavanja kao rezultat beta-alfa transformacija. Zbog male sposobnosti topljenja u beta titanu dominantna je beta faza ojačavanja beta stabilizatorom. Legure titana beta stabilizatora su najjednostavnije. Kada se beta stabilizatori dodaju u malim količinama dobije se dvostruk proces $\alpha-\beta$. U većim količinama dodatak leguri stabilizira beta fazu na niskoj temperaturi tako da se ova faza može održavati i na sobnoj temperaturi.

U ovim uslovima beta faza je nestabilna i djelimično će se pretvoriti uprelaznu fazu, te se rasprši u alfa fazu ili fazu jedinjenja prilikom zagrijavanja na određenim temperaturama. U određenim sistemima titan –molibden, titan-tantal, titan-vanadij, moguće je stabilizovati beta fazu uz veliku količinu beta stabilizatora. Zbog toga su u beta sistemu dostupne 3 vrste legura: alfa-beta, nepostojane beta, postojane beta. Osobine beta stabilnih legura ovise o količini dodatka legure u čvrstom stanju. U alfa titanu, beta stabilizator ima malu sposobnost topljivosti; osobine alfa-beta legura kao i stabilizator i nastala beta legura ovisi o količini dodatka legure u procesu topljenja u beta fazi.

4. PLASTIČNE OSOBINE

Pri obradi deformacijom u toplom stanju tehnički titan je veoma plastičan, pri hladnoj deformaciji plastičnost mu je zadovoljavajuća. Najveći broj elemenata se izrađuje hladnom deformacijom u zatvorenim kalupima, a preporučeno je da se složeni oblici izrađuju deformacijom na 300⁰ C-400⁰ C. Temperatura deformacije u toplom stanju je 750⁰ C-1000⁰ C. Dobro se zavaruje primjenom lučnog zavarivanja u zaštitnoj atmosferi (argona) i elektro-otpornog zavarivanja bez primjene zaštitne atmosfere.



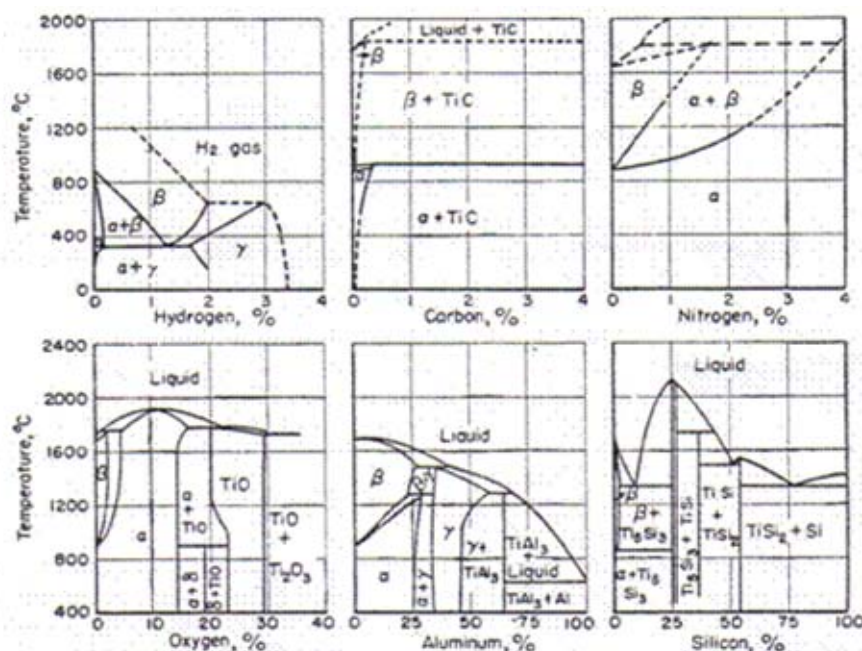
SI.3. Uticaj temperature na zateznu čvrstoću nekoliko titanovih legura

4.1. Očvršćavanje čvrstim rastvorom α faze

α legure su važne za očvršćavanje čvrstim rastvorom α stabilizatora otkad je kontribucija prema čvrstoći ovih elemenata veća.

Alfa legura takođe može biti učvršćena intersticijskim atomima u čvrstom rastvoru. U tabeli 8. se može vidjeti da je uticaj intersticijskih atoma mnogo jači od substicijskih, vjerovatno zbog

povećanja neodgovarajućih razlika, kao što su jače atomske veze između intersticija i titana. Očito je da čvrstoća Ti-Al legure opada sa rastom količine Al u leguri. Titan ima jači afinitet za C i N nego Al, ali Al ima veći afinitet prema O.



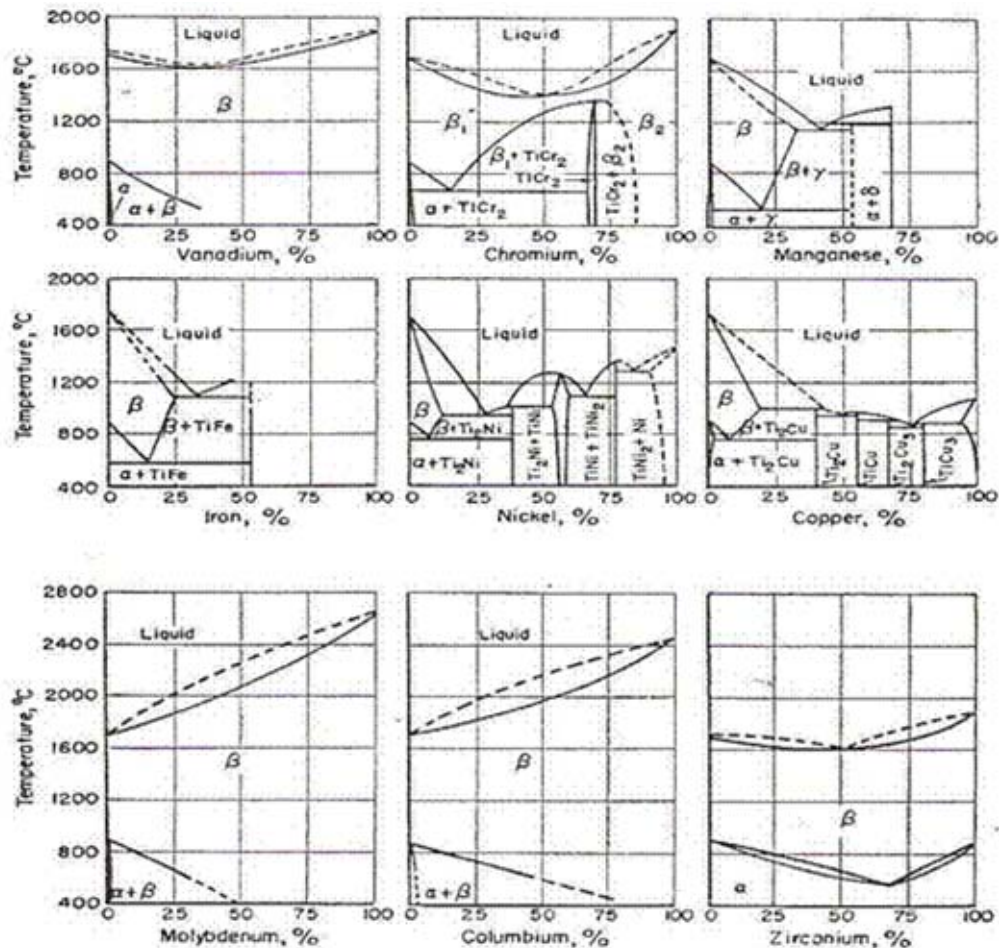
Sl.4. Ravnotežni dijagrami titana sa nekim neprelaznim elementima

4.2. Očvršćavanje čvrstim rastvorom beta faze

Pri povišenim temperaturama očvršćavanje čvrstim rastvorom u beta fazi postaje nedjelotvorno. Uticaj očvršćavanja čvrstim rastvorom u beta fazi beta stabilizatorom je relativno slab, kao što se može vidjeti u tabeli 4. Pri povišenim temperaturama očvršćavanje čvrstim rastvorom u β fazi postaje nedjelotvorno.

Tabela 4. Uticaj očvršćavanja čvrstim rastvorom u beta fazi beta stabilizatorom

	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Mo
Nm ⁻² /wt %	19	21	34	46	48	35	14	27
Nm ⁻² /atm%	20	23	39	54	59	43	18	54



Sl. 5. Ravnotežni dijagrami titana sa nekim prelaznim elementima

5. PODJELA TITANOVIH LEGURA PREMA NAMJENI

Prema namjeni titanove legure se dijele na:

- o Legure za opće svrhe (BT6)
- o Legure za limove (OT4, BT4, BT5)
- o Legure mehanički otporne na visokim temperaturama (BT3, BT3-1, BT8)

5.1. Legure za opće svrhe

Legura BT6 se proizvodi u obliku limova, šipki, kovanih proizvoda i proizvoda izrađenih deformacijom u zatvorenim kalupima. Otporna je na koroziju. Ima dobru plastičnost u toplom stanju. Temperatura kovanja je 950-980°C. Složena obrada u zatvorenim kalupima se obavlja pri zagrijavanju do 500-700°C. Legura se zavaruje primjenom elektrootpornog kontaktnog i argon-lučnog zavarivanja, uz primjenu zaštitne atmosfere. Poslije zavarivanja treba vršiti termičku obradu radi obnavljanja plastičnosti. Čvrstoća legure može da se poveća termičkom obradom. U napregnutom stanju legura je postojana pri temperaturama do 500°C. Primjenjuje se za izradu nepokretnih elemenata koji rade pri temperaturi 400-450°C.

5.2. Legure za limove

Legure OT4, BT4 i BT5 imaju otpornost na koroziju. Plastičnost legura OT4 i BT4 u toplom stanju je dobra, a legura BT5 je zadovoljavajuća. Obrađuju se deformacijom u toplom stanju. Izvlačenje jednostavnih oblika može da se vrši pri temperaturi 20°C. Obrada složenih

elemenata, deformacijom u zatvorenim kalupima, obavlja se pri zagrijavanju do 500°C. Sve ove legure se zavaruju primjenom argon-lučnog zavarivanja. Pri zavarivanju elemenata složenih oblika treba vršiti žarenje radi otklanjanja unutrašnjih napona. Pri zagrijavanju do 350-400°C legure zadržavaju svoje osobine. Legure OT4 i BT4 upotrebljavaju se kao poluproizvodi u obliku limova, elemenata koji rade na temperaturama do 350°C. Legura BT5 se bolje zavaruje od legura OT4 i BT4. Primjenjuje se u obliku limova, šipki i kovanih proizvoda za izradu elemenata koji se zavaruju i rade na temperaturama do 400°C.

5.3. Legure mehanički otporne na visokim temperaturama

Legure BT3, BT3-1 i BT8 izrađuju se u obliku kovanih proizvoda, proizvoda izrađenih deformacijom u zatvorenom kalupima, i šipki. Otporne su na koroziju. Temperatura deformacije u toplom stanju je 850-1100°C. Legura BT3 je postojana na temperaturama do 350°C i primjenjuje se kao konstrukcioni materijal za elemente koji rade na tim temperaturama. Legura BT3-1 je modificirana legura BT3 sa dodatkom Mo. Postojana je na temperaturama do 500°C. Primjenjuje se za izradu elemenata kovanjem, deformacijom u zatvorenim kalupima, koji rade pri temperaturama do 500°C. Legura BT8 se dobro zavaruje primjenom elektrootpornog zavarivanja. Obradljivost rezanjem je zadovoljavajuća. Ova legura ima najbolje mehaničke osobine na visokim temperaturama od svih titanovih legura. Primjenjuje se za izradu kovanjem, valjanjem, deformacijom u zatvorenim kalupima na temperaturama do 600°C.

6. ZAKLJUČAK

Ovaj rad predstavlja pregled titana i njegovih legura na osnovu savremenih radova čiji naslovi su navedeni u literaturi. Prikazane su glavne osobine titana kao hemijskog elementa i koje dobije legiranjem sa drugim elementima stvarajući legure, čije se osobine međusobno razlikuju u zavisnosti od stepena legiranja i vrste legirajućeg elementa.

7. LITERATURA

- [1.]*** Inženjersko tehnički priručnik-ŠESTA KNJIGA- Izdavačko preduzeće "Rad", Beograd, 1976
- [2.] Clilford A. Hampel. Rare metals handbook, Second Edition, Reinhold Publishing Corporation Chapman & Hall, Ltd; London, 1961.
- [3.] Hadžipašić A.: Materijali u mašinstvu, Dom štampe Zenica, Zenica 2000.
- [4.] Steven Yue (Dept. Of Metallurgical Engineering, Mc Gill University, Montreal, Quebec) i Simon Durham (Materials Engineering, Pratt & Whitney Canada, Longueuil, Quebec)
- [5.] Haračić N.: Inženjerski metalni i nemetalni materijali, Mašinski fakultet u Zenici, 2005.

BAKAR I NJEGOVE LEGURE

Emir Salkić, student
Sejad Velispahić, student
Dr. Nađija Haračić, prof.
Univerzitet u Zenici
Mašinski fakultet u Zenici

SAŽETAK

U ovom radu je dat pregled fizičkih, hemijskih i mehaničkih osobina bakra. Bakar se nalazi u grupi savremenih metalnih materijala upravo iz razloga što je našao veliku primjenu u elektrotehnici. Takođe se koriste u znatnoj mjeri i njegove legure, koje posjeduju dobre mehaničke osobine.

KLJUČNE RIJEČI: bakar, legure, mesing

ABSTRACT

Rewiew of the physical, chemical and mechanical characteristic of copper is given in this paper. The copper is in group of contemporary metallic materials because of its large usage in electrotechnic. Copper alloys used in grate quantity because of its good mechanical characteristics, also.

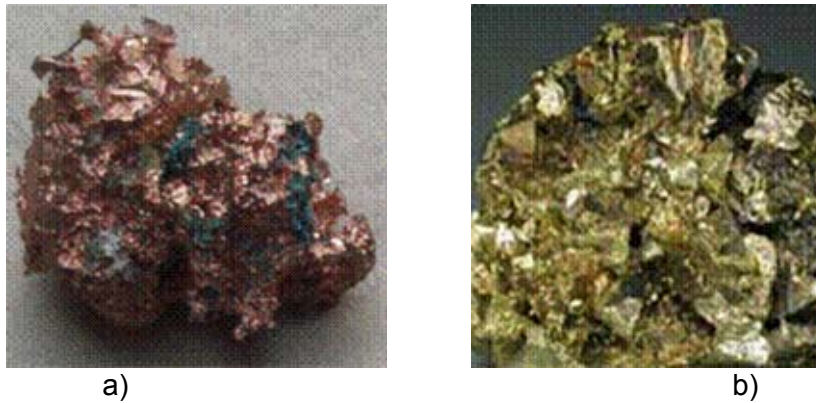
KEY WORDS: copper, alloys, brass

1. UVOD

Bakar je jedan od sedam metala koji su bili poznati još u starom vijeku. Neka od najvećih starih nalazišta bakarne rude nalazila su se oko Velikih jezera na granici SAD-a i Kanade. Na tim lokalitetima pronađeno je više od 10 000 mjesta iskopa od kojih neka potječu iz 3000. godine p.n.e., čiji grumeni su mogli dosegnuti težinu od 100 kilograma. Bakar se u početku koristio za izradu nakita zbog svoje mehkoće, no otkrićem obrade hladnim postupkom dobijena je dvostruko veća tvrdoća, a time i alat i oružje potrebne tvrdoće. Jedina mana te obrade je bila krhkoća. Sve veća upotreba bakra uzrokovala je promjene u tadašnjem društvu. Pojavile su se skupine prvih specijalista, rudara, kovača, metalurga, a potraga za rudom bila je sve veća.

2. DOBIJANJE I OSOBINE BAKRA

Bakar se dobija iz sulfidnih ruda halkopirita i halkozina [1], s tim da se proces proizvodnje dijeli u dvije faze od kojih je prva dobijanje sirovog Cu, a druga predstavlja rafiniranje sirovog bakra koje se vrši topioničkim prečišćavanjem u elektro pećima i elektrolitičkim putem. Prema JUS C.D1.002 razlikujemo dvije vrste bakra u zavisnosti od načina rafiniranja tj. topionički Cu i elektrolitički Cu.



Slika1. Bakar (a) i halkopirit (b) [7.]

Bakar je najznačajniji među neplemenitim metalima. Bolji provodnik od njega je samo srebro, koje je plemeniti metal. To je metal osrednje čvrstoće. Vrlo je istegljiv i može da se oblikuje plastičnom deformacijom na sobnoj temperaturi (naročito je istegljiv na $t = 800-900^{\circ}\text{C}$). On ima to svojstvo da kad se zagrijava ne prelazi direktno u tečno agregatno stanje na svojoj temperaturi topljenja, već najprije omekša kao tijesto. Na toj temperaturi bakar se lahko kuje, valja i izvlači. U pogledu korozije, bakar je otporan na vazduh, jer mu se stvara po površini tanka zelena skrama-patina ($\text{CuCO}_3 \times \text{Cu(OH)}_2$), koja ga štiti od dalje korozije. Otporan je na običnu i morsku vodu, ali nije na organske kiseline i amonijak. Kako je neotporan na sumpor, ne smije da dođe u dodir sa gorivom koje sadrži sumpor. Zbog toga što je vrlo otporan na vazduh, upotrebljava se za zaštitu drugih materijala od korozije (gvožđa i čelika). Na sl.2. prikazan je primjer upotrebe bakra u izradi podmornica s obzirom na njegova antikorozivna svojstva [7.]



Slika 2. Primjer primjene bakra u izradi podmornica [7.]

2.1. Osobine čistog bakra

Čist bakar se loše lije, jer rastvara gasove sa kojim dolazi u dodir, kao što su kiseonik, ugljen-dioksid i dr. Pri očvršćavanju on ispušta te gasove i na mjestu gdje je bio gasni mjehur ostaje pora. Tako odlivku slabe mehanička svojstva. Zato mu se dodaje fosfor za dezoksidaciju, čime mu se sposobnost livenja znatno poboljšava. Odlično se lemi. Dobro se legira sa mnogim metalima i to: cinkom, aluminijumom, silicijumom, olovom i dr. U odnosu na čisti metal legure bakra imaju mnogo bolja mehanička svojstva, mnogo manju električnu provodljivost, mnogo se bolje liju i pogodnije su za obradu rezanjem. Prema stepenu čistoće bakra razlikujemo 4 kategorije bakra koje su date u (tabeli 1).

Tabela 1. Podjela bakra prema čistoći [1.]

Klasa kvaliteta bakra	Min. količina bakra (%)	Upotreba
Topionički bakar 1	99,00	Za ložišta, sprežnjake i naglavke kotlovskih cijevi
Topionički bakar 2	99,25	Za polufabrikate trgovačkog kvaliteta i za legure nepropisane visoke čvrstoće
Topionički bakar 3	99,50	Za limove, cijevi, trake, žice, legure za valjanje, presovanje i kovanje sa više od 60% Cu
Topionički bakar 4	99,75	Za limove, cijevi, trake, žice, legure za valjanje, presovanje i kovanje sa više od 60% Cu
Elektrotehnički bakar	99,5-99,9	Za elektrotehničke potrebe

Bakar zavisno od načina dobijanja može biti: katodni, bezkiseoničan, kiseonični i dezoksidiran.

- **Katodni bakar** je osnovni oblik elektrolitički rafinisanog bakra visoke čistoće. Služi za dobijanje bezkiseoničnog i dezoksidisanog bakra, a koristi se kao anoda u galvanskoj tehnici.
- **Bezkiseonički bakar** se dobija elektrolitičkim putem, ima vrlo visoku čistoću, a pretapa se u vakumu. Koristi se za izradu dijelova u elektrotehnici od kojih se zahtijeva visoka električna provodljivost. Podesan je za zavarivanje, tvrdo lemljenje, i veoma je plastičan.
- **Kiseonički bakar** se dobija pretapanjem katodnog bakra u oksidacionoj atmosferi. Ako je u oznaci prisutan simbol E, tada je bakar podesan za izradu dijelova u elektrotehnici, a ako nema simbola E onda se radi o topioničarskom bakru namijenjenom za topljenje ili za izradu legura.
- **Dezoksidisani bakar** ima vrlo visoku čistoću sa prisustvom fosfora i drugih elemenata koji potiču od sredstava za dezoksidaciju. Veoma je plastičan, dobro se zavaruje i tvrdo lemi.

2.2. Mehaničke osobine

Mehanička osobine (svojstva) čistog bakra u žarenom stanju su dati u (tabeli 2).

Tabela 2. Mehanička osobine (svojstva) čistog bakra u žarenom stanju [3.]

Granica tečenja	57 MPa
Zatezna čvrstoća	227 MPa
Udarne žilavost	1080 J
Tvrdoća	32,7 HB
Modul elastičnosti E	$12,7 \cdot 10^4$ MPa
Modul klizanja	$4,8 \cdot 10^4$ MPa

2.3. Plastična deformacija bakra

Cu ima površinski centriranu kubnu rešetku i zbog toga malu zateznu čvrstoću R_m - 200Mpa. Bakar posjeduje veliku duktilnost, te se deformacijom može dobro hladno i vruće oblikovati. Cu se može dobro polirati, tako da reflektira preko 90% vidljivog svjetla. Druga karakteristika je vrlo dobra električna i toplotna vodljivost. Razlikuje se bakar s primjesama kisika od 0.02-0.05% kod koga su zbog prisustva Cu_2O na granicama kristalita, nešto lošije mehaničke osobine od dezoksidiranog Cu dok se električna vodljivost bakra zbog udjela O ne smanjuje.

Cu se dezoksidira uglavnom s P i Li. Na taj način se dobiju bolje mehaničke osobine. Međutim, zbog onečišćenja sa fosforom (P) i drugim dezoksidirajućim elementima znatno opada električna vodljivost. Tako, npr. već 0.04% P smanjuje električnu vodljivost bakra za 20%. Može se proizvesti i bakar koji nema ni oksida ni ostataka dezoksidirajućih elemenata.

Mehaničke osobine Cu se mogu mijenjati samo hladnom plastičnom deformacijom. Rekristalizacionim žarenjem iznad $200^{\circ}C$ vraća se hladno deformirani Cu u prvobitno stanje. Kod žarenja i zagrijavanja mora se paziti da bakar ne dođe u dodir sa H jer vodik difundira u njemu i veže s kisikom stvarajući pri zagrijavanju unutrašnje pukotine – vodikovu bolest bakra. U vrućem stanju bakar se valja u temperaturnom intervalu između 600 i $800^{\circ}C$.

Bakar se izrađuje u obliku polufabrikata: šipki, profila, žica, limova, i traka, cijevi i vučenih žica, u različitim stanjima čvrstoće označeni posebnim simbolima. Tako se u praksi i javlja oznaka za stanje čvrstoće zasnovana na korištenju starih jedinica za zateznu čvrstoću, npr. Č20 koja označava mehko stanje sa zateznom čvrstoćom od $20Kp/mm^2$ (200 MPa). Na slici 3. prikazani su visokokvalitetni proizvodi od bakra.



Slika 3. Visokokvalitetni proizvodi od bakra [7]

- Legure bakra se mogu klasificirati prema:
 - načinu izrade,
 - namjeni,
 - broju glavnih legirajućih elemenata,
 - prirodi glavnih legirajućih elemenata.
- **Prema načinu izrade razlikuju se :**
 - legure za livenje, koje se odlikuju livenjem u pjesčane kalupe, kokile ili se liju centrifugalno ili pod pritiskom.

- legure za gnječenje, koje se oblikuju presovanjem, valjanjem, vučenjem itd.

- **Prema namjeni razlikuju se :**

- legure za dodavanje i dezoksidaciju,
- legure za spajanje, lemljenje i zavarivanje.

- **Prema broju legirajućih elemenata postoje:**

- dvokomponentne,
- trokomponentne,
- složene Cu-legure.

3. LEGURE BAKRA

3.1. Legure i njihov značaj

Čisti metali se rijetko upotrebljavaju. U pravilu metali sadrže nečistoće i/ili legirajuće elemente koji se dodaju s namjerom. Ovi elementi mogu biti primljeni u kristalne rešetke osnovnog materijala ili mogu stvoriti posebne nove faze. U praksi se najčešće upotrebljavaju **legure** ili **slitine**. **Legure** nastaju legiranjem (slijevanjem) najmanje dvaju ili više elementa (komponenata). Pod legurom se smatraju materijali s metalnim svojstvima koji se sastoje od dva ili više osnovnih materijala od kojih je najmanje jedan metal, kao što je to primjer olova u bronci ili nemetala kao ugljik u čeliku.

3.2. Mesing

Legure bakra s cinkom, koje se u praksi nazivaju mesinzi imaju u svom sastavu više od 50% bakra, a odlikuju se visokom otpornošću prema koroziji kao i dobrim mehaničkim svojstvima zbog čega je široko primjenjen materijal u mašinstvu. Mada mesing može biti i višekomponentna legura, ipak se pod mesingom podrazumijeva legura bakra i cinka. Može se reći da se najbolji odnos mehaničkih svojstava postiže pri sadržaju cinka od oko 40%. Naime zatezna čvrstoća raste sve do 44- 45% cinka, ali plastičnost (izduženje) blago opada već poslije 30% cinka. Mehanička svojstva mesinga zavise kako od sadržaja cinka u leguri, tako i od stepena eventualne mehaničke obrade. U tom smislu se kod mesinga, s obzirom na stepen izvršene hladne deformacije, razlikuju se sljedeća stanja:

- mehko,
- polutvrdo,
- tvrdo,
- opružno tvrdo.

Mesing ojačan usljed izvršene hladne deformacije, može se ponovo dovesti u plastično stanje ako se izvrši njegovo rekristalizaciono žarenje na temperaturi od 500–700°C. Pri ovome se uklanjaju i štetna unutrašnja naprezanja i postiže najbolja plastičnost. Mesing je sklon spontanoj pojavi prskotina u toku dužeg vremena, radi postojanja zaostalih napona kao posljedice obrade deformacijom. Osnovni razlog za ovo leži u tzv. naponskoj koroziji. Ovo se može izbjeći višesatnim niskotemperaturnim žarenjem (na 250°C). Međutim potpuna efikasnost se postiže samo primjenom potpune rekristalizacije na oko 600°C.

Osnovna podjela mesinga prema tehnološkoj namjeni je sljedeća:

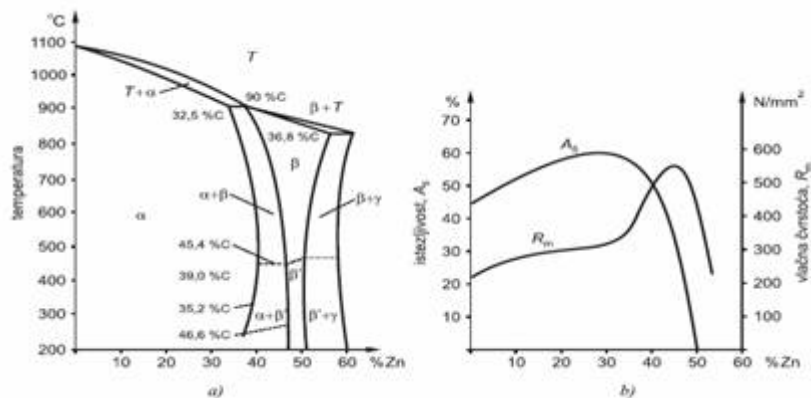
- mesing za gnječenje,
- mesing za livenje.

Oštra razlika između ovih vrsta ne postoji. Treba napomenuti da je obrada deformacijom u hladnom stanju teža ukoliko raste sadržaj cinka u leguri (*raste tvrdoća, opada plastičnost*). Ako je sadržaj cinka oko 36%, mesing se normalno obrađuje deformacijom u hladnom stanju. Pri sadržaju od 36-42% cinka, može se obrađivati i u

hladnom i u toplom stanju. Plastičnost mesinga raste sa opadanjem sadržaja cinka do 28%, tako da su legure sa 28 do 33% cinka izuzetno pogodne za hladno oblikovanje.

3.2.1. Dijagram stanja Cu-Zn

Glavne legure bakra s cinkom, mesinzi, su najrasprostranjenije legure bakra s vrlo raznolikom primjenom koja slijedi na osnovu sljedećih svojstava: dobre električne i toplinske vodljivosti, dobrih mehaničkih svojstava, mogućnosti prerade u hladnom i toplom stanju i antikorozivnosti. Vezu između mikrostrukture i mehaničkih svojstava mjedi može se pratiti usporedbom ravnotežnog dijagrama stanja Cu-Zn i dijagrama u kojem je prikazana ovisnost zatezne čvrstoće i istezljivosti o udjelu cinka (slika 4).



Slika 4. Dijagram stanja Cu-Zn (a) i prikaz utjecaja cinka na mehanička svojstva (b) [6.]

Pri peritektičnoj temperaturi od 902°C bakar otapa do 32,5 %Zn. Topljivost raste sa sniženjem temperature do 39 %, pri 454°C. Uz vrlo sporo hlađenje, što omogućava postizanje ravnoteže, rastvorljivost cinka u bakru opada do 35,2 % pri 250°C. Difuzija cinka je vrlo spora, tako da uz industrijske brzine ohlađivanja ostaje na sobnoj temperaturi oko 37 % Zn otopljenog u kristalima mješancima bakra označenih sa α. Porastom udjela cinka u leguri iznad 37 % pojavljuje se u mikrostrukтури intermetalna faza β' (sređena struktura) koja odgovara sastavu Cu-Zn. β'-faza je tvrda, ali prilično žilava na sobnoj temperaturi. Zagrijavanjem iznad 454°C prelazi u oblik β (nesređena struktura) koja je oblikovljiva deformiranjem. Između 45 i 50 %Zn legura je monofazna. Mikrostruktura se sastoji samo od intermetalne faze β'. Daljnji porast udjela cinka iznad 50 % dovodi do pojave γ-faze u mikrostrukтури. Ona je vrlo krhka i zbog toga je legura nepovoljna za inženjersku primjenu. Na slici 5 prikazani su proizvodi izrađeni od mesinga.

3.2.2. Treće komponente u mesingu

- **Aluminij-** Al znatno povećava čvrstoću, a slabije mijenja istezanje i plastičnost. Dodaci aluminija na površini formiraju tanke oksidne filmove, što na temperaturi žarenja znatno štiti od oksidacije. Dodatkom 2% Al potpuno prestaje oksidacija mesinga na višim temperaturama.

- **Željezo-** Fe u mesingu usitnjuje njegovo kristalno zрно. Dodaci iznad 0.2%Fe povećavaju čvrstoću i temperaturu rekristalizacije mesinga.

- **Nikal-** Dodaci Ni u mesingu povećavaju njegovu otpornost prema koroziji i usitnjavaju zрно kod žarenja. Legurama iz α + β područja znatno povećavaju čvrstoću, dok se taj utjecaj u legurama iz α- područja ne primjećuje.



Slika5. Neki proizvodi na bazi Cu-Zn [7.]

4. ZAKLJUČCI

Najznačajnija upotreba bakra je u elektronici (dalekovodi, generatori) budući da je bakar vrlo dobar vodič električne struje. Bakar je i dobar vodič topline te se koristi i za izradu kotlova i cijevi za grijanje. Osim toga se koristi za izradu različitih metalnih predmeta npr. žlijebova, za pokrivanje krovova, itd. Osim čistog bakra, raširena je upotreba i bakarnih legura (bronce, mjedi) te spojeva (bakreni sulfat - modra galica). Najvažniji proizvođači bakra su Čile, Sjedinjene Američke Države, Indonezija, Australija i Peru.

Bakar spada u grupu savremenih metalnih materijala upravo iz razloga što je našao veliku primjenu u elektrotehnici. U automobilske industriji se koristi za izradu hladnjaka – rebra hladnjaka su najčešće izvedena u vidu talasa. Cijevi hladnjaka kroz koje prolazi tečnost za hlađenje su najčešće izrađene od bakra i mesinga zbog otpornosti na koroziju.

Mesing se koristi u elektrotehnici, kao konstrukcijski i ukrasni materijal, npr. za izradu muzičkih instrumenata. Najčešće je žute boje. Crvenkasta boja bakra gubi se sa povećanjem procenta cinka u leguri. Ima veću čvrstoću od bakra, reaguje na atmosferske uticaje. Primjenjuje se u izradi limova, cijevi i žica.

5. LITERATURA

- [1.] Haračić N.: Materijali I –Predavanja, Mašinski fakultet Zenica, 2007/08.
- [2.] Hadžipašić A. :Materijali u Mašinstvu,Zenica 2000.god.
- [3.] Đukić V.: Metalni materijali, ,Beograd 1989.god.
- [4.] Mamuzić I.:Teorija plastične deformacije metala, Sisak 2000.god.
- [6.] Oruč M., Sunulahpašić R.: Savremeni metalni materijali, Zenica 2005.god.
- [7.] [LEGURE](#), Format datoteke: PDF/Adobe Acrobat - [Prikaži HTML verziju](#), 1/2), slika 2.6a.
Primjer ovog tipa je i sistem Cu-Zn (β' -mesing), slika 2.6b. Ove legure kristališu u VCK.
strukturi.
- [8.] Ostale Internet-baze podataka

LIVENA GVOŽĐA

Alić Ena, student
Ibraković Lejla, student
Nađija Haračić, prof.
Univerzitet u Zenici
Mašinski fakultet

SAŽETAK

Gvožđe se ne nalazi u prirodi kao hemijski čist element, već se dobija raznim postupcima iz ruda gvožđa. Ugljik je najvažniji legirajući element gvožđa koji u vrlo malim količinama znatno utiče na svojstva legure. Povećanjem procenta ugljika u gvožđu opada gustina i temperatura topljenja. Ugljik utiče i na druge tehničke osobine: povećava granicu razvlačenja, otpornost na habanje, krtost, a smanjuje istezanje, kontrakcije sposobnosti izvlačenja, sposobnost deformacije u toplom i hladnom stanju itd.

Ključne riječi : gvožđe, livena gvožđa, mehaničke osobine

ABSTRACT

Iron does not exist as a pure chemical element in Nature, but gets with different ways who has an effect on alloy characteristics. Carbon is the most important alloyed element of iron, which has a little effect on alloy characteristics. Carbon also has effects with the other technical properties such as: increase yield properties, abrasion resistance, fragility etc.

Key words: Iron, iron casting, mechanical features

1. U V O D

Stabilni ravnotežni dijagram Fe-C koji odgovara kristalizaciji grafita prikazuje se uvijek skupa sa metastabilnim dijagramom Fe-Fe₃C i to isprekidanom linijom. Ovaj dijagram je pomaknut prema višim temperaturama (eutektička sa 1.145-1.153°C) S-738 i nižim temperaturama. Tačke se označavaju istim slovima samo sa oznakom "prim". Kod kristalizacije po stabilnom ravnotežnom dijagramu Fe-C umjesto cementita kristalizira grafit, pa prema tome gdje se u metastabilnom dijagramu pojavljuje primarni Fe₃C u stabilnom se pojavljuje primarni grafit. Sekundarni Fe₃C zamjenjuje sekundarni grafit; ledeburit grafitnim eutektidom, a perlit grafitni eutektoid. Do kristalizacije po stabilnom ravnotežnom dijagramu može doći samo kod vrlo polahkog hlađenja i legiranjem sa grafitnim elementima.

U industriji kristalizacija gvožđa obično teče kombinovano po metastabilnom i stabilnom dijagramu. Po stabilnom dijagramu gvožđa kristaliziraju samo u temperaturnom području do nešto ispod eutektičke reakcije da bi zatim kod nižih temperatura preobražaja tekli po metastabilnom Fe-Fe₃C dijagramu.

Prema tome će gvožđa u uslovima hlađenja u industriji npr. u livnicama, kristalizirati do nešto ispod eutektične temperature kao austenit i grafitni eutektikum, a kod daljeg hlađenja će se iz austenita stvarati sekundarni Fe₃C dok će na eutektoidnoj temperaturi preostali austenit preći u perlit.

Posljedica takve kombinovane kristalizacije su kristalne strukture sivog gvožđa u industriji koje se sastoje iz grafitnih lamela u metalnoj osnovi koje sačinjavaju perlit(perlitni liv) ili perlit i cementit ili perlit i ferit.

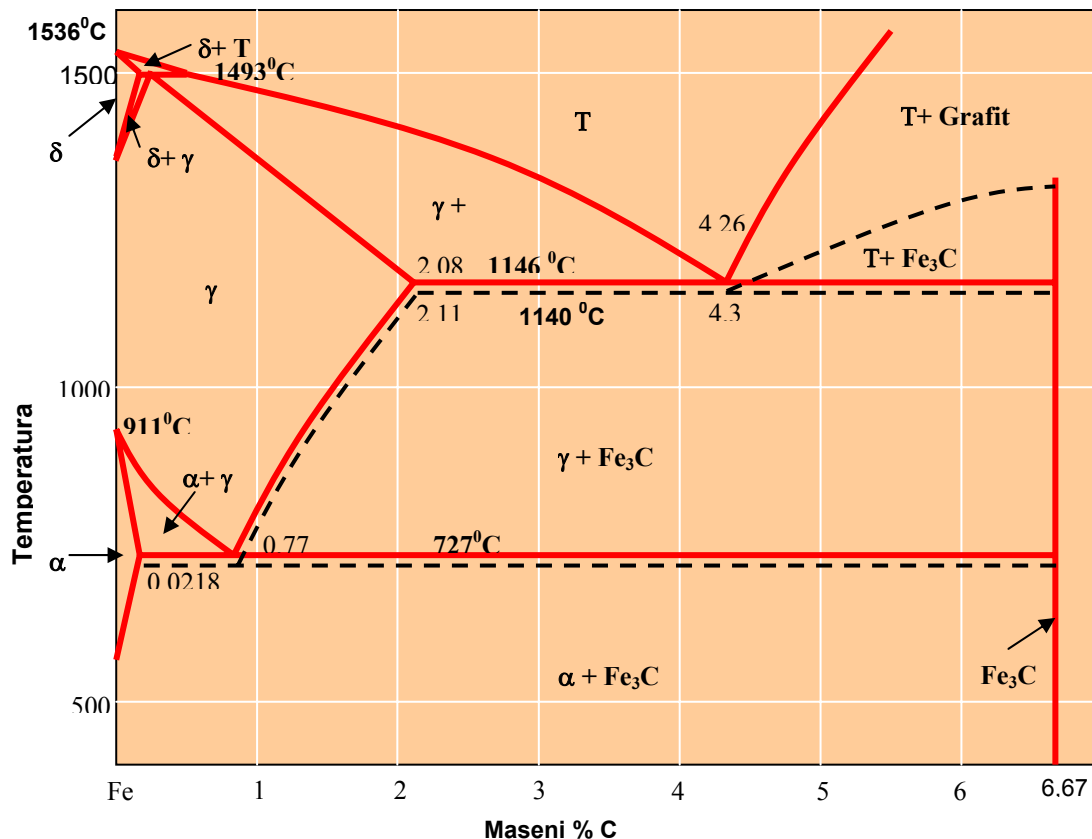
Struktura metalne osnove, kao i količina ugljika izlučenog kao grafit zavisi od brzine hlađenja i legirajućih elemenata u gvožđu.

1.2. Reakcije u sistemu Fe-C eutektička transformacija u lijevanom željezu

Na osnovi Fe-Fe₃C faznog dijagrama (crtkana linija), eutektička transformacija se zbiva u Fe-C leguri na 1140 °C: $T \rightarrow \gamma + \text{Fe}_3\text{C}$.

Ako mi proizvodimo lijevano željezo upotrebljavajući legure željezo-ugljik, ova transformacija stvara bijeli lijev s mikrostrukturom sastavljenom od Fe₃C i perlita, Fe-Fe₃C sastav je metastabilni fazni dijagram. Pod ravnotežnim uvjetima, eutektička reakcija je: $T \rightarrow \gamma + \text{grafit}$ Fe-C fazni dijagram prikazan je na slici 1. Kod stabilne eutektičke reakcije na 1140 °C je: $T \rightarrow \gamma + \text{grafit}$ i nastaje sivi lijev, žilavi lijev i lijev s kompaktnim ugljikom.

U legurama Fe-C, taljevina se lako pothladi na 6 °C (temperaturna razlika između stabilne i metastabilne eutektičke temperature) i formira se bijelo lijevano željezo. Dodajući oko 2 % Si, željezo povećava temperaturnu razliku između eutektika, dozvoljavajući veća pothlađenja i duže vrijeme za nukleaciju i rast stabilnih eutektičkih grafita. Dakle, silicij je stabilizirajući element za grafit. Suprotan efekt imaju krom i bizmut, koji pospješuju bijelo lijevano željezo. Također se mogu dodavati globulatori, kao što je FeSi legure, da bi se poboljšala nukleacija grafita ili se može reducirati brzina hlađenja odljevka, da bi se omogućilo duže vrijeme za rast grafita.



Slika 1. Fazni dijagram Fe-C; stabilna željezo-grafit ravnoteža (puna linija) i metastabilna željezo-cementit transformacija (crtkana linija)

Silicij također smanjuje količinu ugljika u eutektiku. Može se definirati ekvivalent ugljika (CE):

$$CE = \% C + \frac{\% Si + \% P}{3}$$

Eutektička reakcija je uvijek blizu 4,3 % (CE). Visok ugljikov ekvivalent pospješuje rast ugljičnog eutektika. Velika brzina hlađenja i mali ugljikov ekvivalent pospješuje formiranje bijelog lijeva, dok niska brzina hlađenja i visoki ugljikov ekvivalent pospješuje sivi lijev.

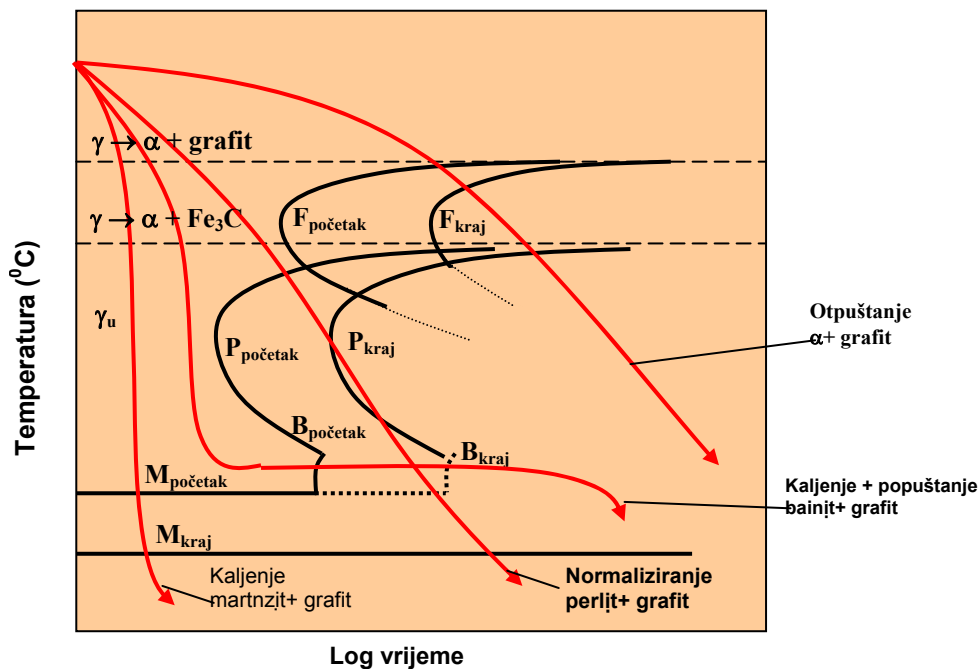
2. EUTEKTOIDNA TRANSFORMACIJA U LIVENOM ŽELJEZU

Struktura matriksa i svojstva svake vrste livenog željeza se određuju transformacijom austenita za vrijeme eutektoidne transformacije. U Fe-Fe₃C faznom dijagramu, koji se upotrebljava za čelik, austenit se transformira u ferit i cementit, često u formi perlita. Ipak, silicij pospješuje stabilnu eutektoidnu reakciju: $\gamma \rightarrow \alpha + \text{grafit}$.

Pod ravnotežnim uvjetima, ugljikovi atomi difundiraju iz austenita u egzistirajuće partikle čestice grafita, ostavljajući ferit s malo ugljika.

Transformacijski dijagram prikazan na slici 2. opisuje kako se austenit može transformirati za vrijeme toplinske obrade. Žarenje (ili hlađenje u peći) stvara meka feritična matrica.

Normalizacija, ili hlađenje na zraku stvara perlitična matrica. Lijevano željezo se može kaliti i poboljšati da bi se proizveo bainit ili može biti gašeno u martenzit, a zatim poboljšano. Kaljen i poboljšan žilavi lijev, s čvrstoćom do 1380 MPa, se upotrebljava za mjenjače visokih kvaliteta.



Slika 2. Dijagram transformacije austenita u livenom gvožđu

3. KRISTALNE STRUKTURE FE-C LEGURA PREMA STABILNOM DIJAGRAMU STANJA

% C	STRUKTURA
Do 0,02	Fe α
Do 0,69	F+graf.eutektoid Fe α +(Fe α -C) Graf.eutektoid Fe α +C
0,69 do 2,11	Graf.eutektoid + Sek.graf.
2,11 do 4,26	Podeutektički S.6 Sek.grafit + grafitni eutektoid+e-eutektikum;u praksi lamelarni grafit+perlit +Fe ₃ C ili ferit
4,26	Eutektičko F.6.graf.eutektikum e+(Fe α +C) u praksi lamelarni grafit +perlit +Fe ₃ C
Više od 4,26	Nadeutektičko sivo gvožđe Grafitni eutektikum+grafit

4. LIVENA GVOŽĐA

Livena gvožđa se ne mogu smatrati dvojnim legurama gvožđa i ugljika, jer ona sadrže i Si i Mn radi regulisanja grafitizacije i prateće elemente S, P, O₂ i N₂; dok u legiranim livenim gvožđima imamo još i legirajuće elemente Mo, V, W i druge.

Osobine, kao i primjena livenih gvožđa zavise od oblika ugljika, koji se nalazi u strukturi gvožđa. Ugljik u livenom gvožđu može se nalaziti u dva oblika, kao karbid gvožđa (Fe₃C) ili karbid dobijen vezivanjem ugljika sa drugim elementima i kao slobodan ugljik-grafit.

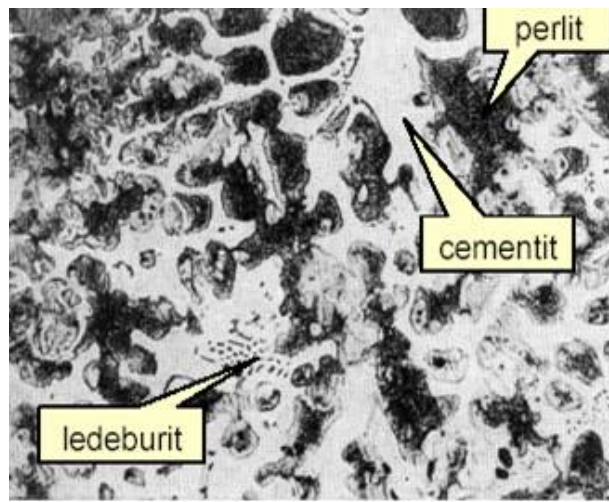
U vezi sa načinom dobijanja i oblikom javljanja ugljika u gvožđu razlikujemo dvije vrste gvožđa i to:

- Bijela livena gvožđa
- Siva livena gvožđa

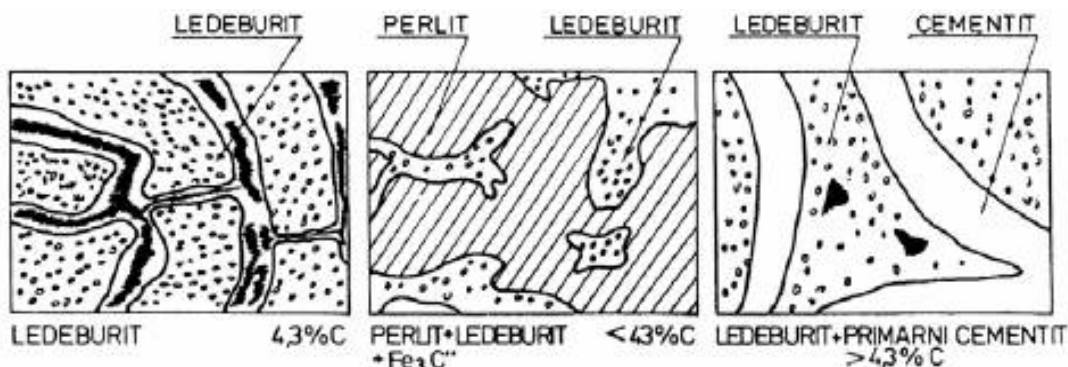
Osim ove dvije vrste razlikujemo i druge vrste livenih gvožđa kao što su:

- Legirana livena gvožđa
- Modificirana siva livena gvožđa
- Temper livena gvožđa

4.1. Bijela livena gvožđa



Slika 3. Bijelo liveno gvožđe



Slika 4. Struktura bijelog livenog gvožđa

Ugljik se kod bijelih livenih gvožđa većinom nalazi vezan u obliku cementita ili drugih karbida. Bijela livena gvožđa mogu biti legirana i nelegirana, ali i kod jednih i drugih osnovni strukturni elementi su: cementit, ledeburit i perlit, koji daju prijelomnoj površini bijelog livenog gvožđa

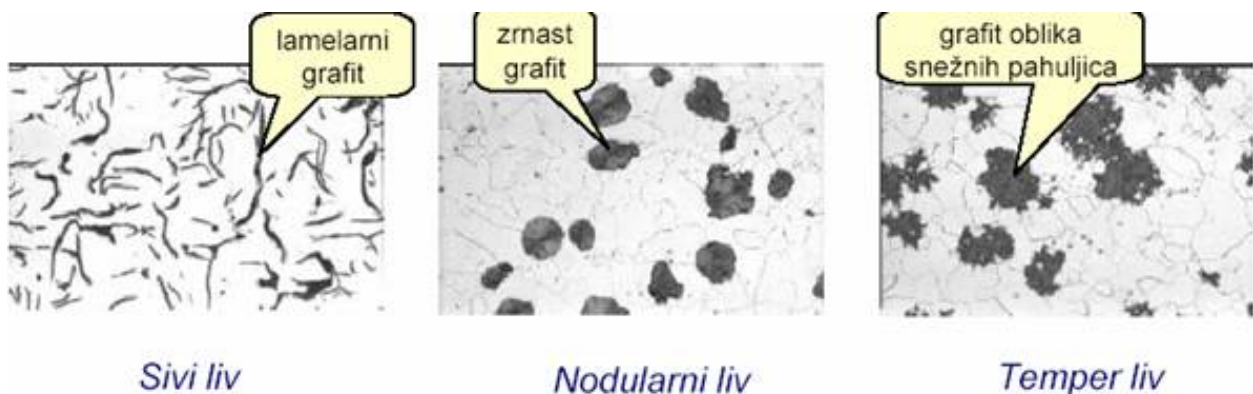
sjaj. Što se tiče mehaničkih osobina bijela livena gvožđa su uvijek tvrda, otporna na habanje i vrlo teško se obrađuju rezanjem zbog čega se obrađuju uvijek brušenjem. Nemogu se obrađivati deformacijom. Odlikuju se otpornošću na koroziju, toplotu i kiseline. Tvrdća bijelih livenih gvožđa kreće se od: $HB = 300 \text{ Kp/mm}^2$ pa sve do $HB=600 \text{ Kp/mm}^2$, a kod legiranih bijelih livenih gvožđa i do $HB=800 \text{ Kp/mm}^2$.

Bijela livena gvožđa se manje upotrebljavaju u mašinstvu od sivih livenih gvožđa. Ona se više koriste kao materijal za preradu u čelike i temperlivena gvožđa. Bijela livena gvožđa ne podvrgavaju se termičkoj obradi već se koriste u livenom stanju.

4.2. Siva livena gvožđa

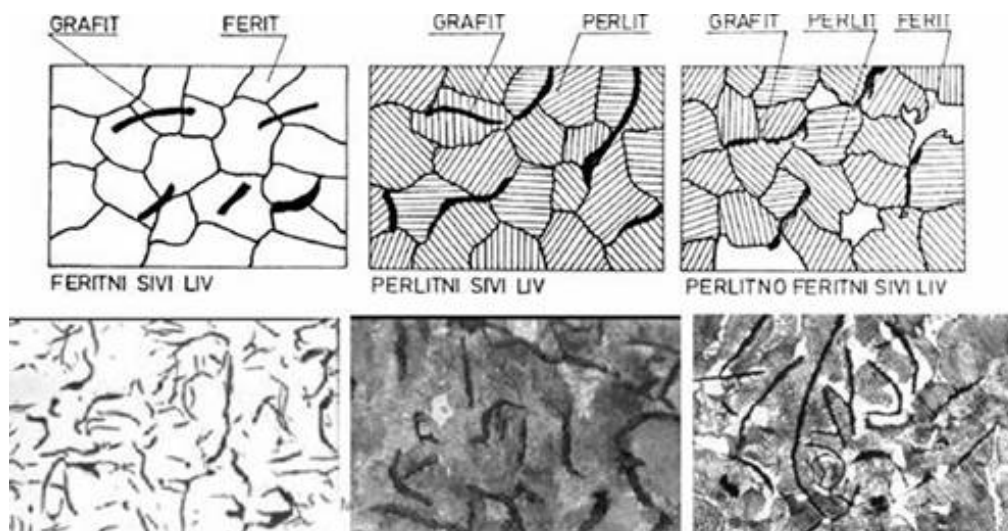
Prema obliku grafita u sivom livenom gvožđu razlikuju se:

- Sivi liv-SL (lamelarni grafit)
- Nodularni liv –NL (zrnasti grafit)
- Temper liv –TeL (grafit oblika snežnih pahuljica)



Slika 5. Podjela sivih livenih gvožđa prema obliku grafita [xy]

Naziv sivi liv potiče od tamnog izgleda prelomljenog odlivka. Od ukupne količine ugljika u sivom livu, najviše 0,8% C vezano je u obliku karbida gvožđa (cementit - Fe_3C sadržan u perlitu), a preostala količina izlučena je u obliku lamelnog grafita. U sivom livu nema slobodnog cementita, već samo u vidu eutektoida-perlita. Metalna osnova livenog gvožđa, zavisno od % C i % Si može biti perlitna, perlitno-feritna i feritna.



Slika 6. Metalna osnova livenog gvožđa

4.2.1. Mehanička svojstva sivih livenih gvožđa

Odlivci od sivog liva imaju nisku tvrdoću, malu jačinu na kidanje, ali 3-5 puta veću jačinu na pritisak. Razlog tome je što napone zatezanja prenosi samo metalna osnova, a ne i lamele praškastog grafitu, dok pri dejstvu pritiska i one učestvuju u raspodjeli napona. Zatezna čvrstoća sivog livenog gvožđa je veća što mu je tvrdoća veća. Oblik grafitu u sivom livenom gvožđu ima značajan uticaj. Ako je grafit izlučen u obliku zrna to je negativnost mase presijecanja gvožđa smanjena, pa se pri dobijanju sivog livenog gvožđa teži što sitnijim, zrnastim uključinama grafitu.

Tabela Mehaničke osobine sivog liva

KLASA SL	SL100	SL150	SL 200	SL 250	SL 300	SL 350	SL 400
$R_{m,min}$ (N/mm ²)	100	150	200	250	300	350	400
HB max	192	201	216	238	250	270	280

Osim ispitivanja zatežućom silom siva livena gvožđa ispituju se i na savijanje. Vrš se tako što se uzorak cilindričnog ili prizmatičnog oblika postavlja na dva oslonca, opterećuje silom po sredini, koja se povećava sve dok se uzorak ne prelomi. Jačina na savijanje sivog mašinskog liva je 1,5 do 2 puta veća od zatene jačine i kreće se u granicama od 35 do 50 kp/mm².

U pozitivne osobine sivog liva spadaju: relativno jeftina proizvodnja, dobra livkost, dobra mašinska obradivost odlivaka i otpornost na abraziju.

4.2.2. Podjela sivog liva (JUS C.J2.020)

Po JUS-u pod sivim livom podrazumijeva se liv sa više od 1,7% C, kod koga je veći dio ugljika izlučen u obliku grafitu kroz cijeli presjek. Običan sivi liv SL-00 upotrebljava se za izradu neopterećenih dijelova: odlivci za štednjake, ukrasni dijelovi. Običan sivi liv SL-14 koristi se za malo opterećena postolja, kanalizacioni i sanitarni liv, dijelove poljoprivrednih mašina, konzole i td.

Liv srednje jačine SL-18 koristi se za malo opterećene cilindre, klipove klipnih mašina, vodovodne cijevi i armature, dijelovi mašina za elektroindustriju. Liv srednje jačine SL-22 koristi se za srednje opterećena postolja i dijelove mašina, doboše kočnica brzih vozila i dijelova sa povećanim habanjem, poklopce, lokomotivskih cilindara.

Liv velike čvrstoće SL-26 koristi se za cijevi i armature pod pritiskom, jako opterećene dijelove mašina, cilindre lokomotiva i dizel motora itd. Liv velike čvrstoće SL-30 koristi se za naročito opterećene odlivke. JUS-om se predviđa sivi liv za naročitu upotrebu:

Tabela 1. Sivi livovi za naročitu upotrebu

Termički obrađeni	Vatropostojani	Hemijski postojani	Tvdi liv
Kaljeni KSL	Nisko vatrostalni VSL	HSL	Tvdokorni livTTL
Poboljšani PSL	Hematitni VHSL	-	Bijeli liv BTL
Mehki MSL	-	-	-
Vještački ostvareni OSL	-	-	-
Kokilni liv KOSL	-	-	-

4.3. Legirana livena gvožđa

Radi poboljšanja mehaničkih osobina kao što su čvrstoća i žilavost, livenom gvožđu se dodaju u manjim količinama legirajući elementi: Cr, Ni, Ni-Cr, Ti, Mo, Cu i Al. Legirajući elementi omogućavaju stvaranje sitno zrnatijeg i ravnomjernije raspoređenog grafita. Pravilnim izborom i doziranjem legirajućih elemenata ostvaruje se visoko kvalitetno sivo liveno gvožđe sa fino sitnozrnastom perlitnom strukturom i sitno zrnastim ravnomjerno raspoređenim grafitom. Prema sadržaju legirajućih elemenata livena gvožđa dijelimo na:

- Niskolegirana sa sadržajem legirajućih elemenata do 3%
- Srednjelegirana sa sadržajem legirajućih elemenata 3 do 10%
- Visokolegirana sa sadržajem legirajućih elemenata preko 10%

4.4. Modificirana siva livena gvožđa

Dobivaju se dodavanjem specijalnih materija-modifikatora-u liveno gvožđe pred izlivanje. Kao modifikator najčešće služi Si koji se dodaje rastopljenom sivom gvožđu 75% ferosilicija ili silikokalcija.

Modificirati se mogu nelegirana i legirana livena gvožđa. Za vrlo mehko liveno gvožđe primjenjuju se kombinovani modifikatori, kao što su:

- Silikokalcij
- Ferosilicij
- Specijalni modifikator, koji sadrži 2 dijela ferosilicija i jedan dio aluminija.

Od modificiranih livova izrađuju se i odgovorniji dijelovi kao što su : koljenasta vratila, valjaonička vratila itd.

- **Odbjeljivanje livenog gvožđa** koristi se za dobijanje naročito tvrde površine odlivka, koji je u radu izložen habanju kao što je to kod vagonskih točkova, valjaka za valjanje metala, matrica za izvlačenje i td. Za dobijanje odlivaka sa odbijeljenim površinskim slojem osim odgovarajućih brzina hlađenja potreban je i odgovarajući hemijski sastav gvožđa. Odbijeljena livena gvožđa često se nazivaju "Melirana" ili "Tvrđim livovima".

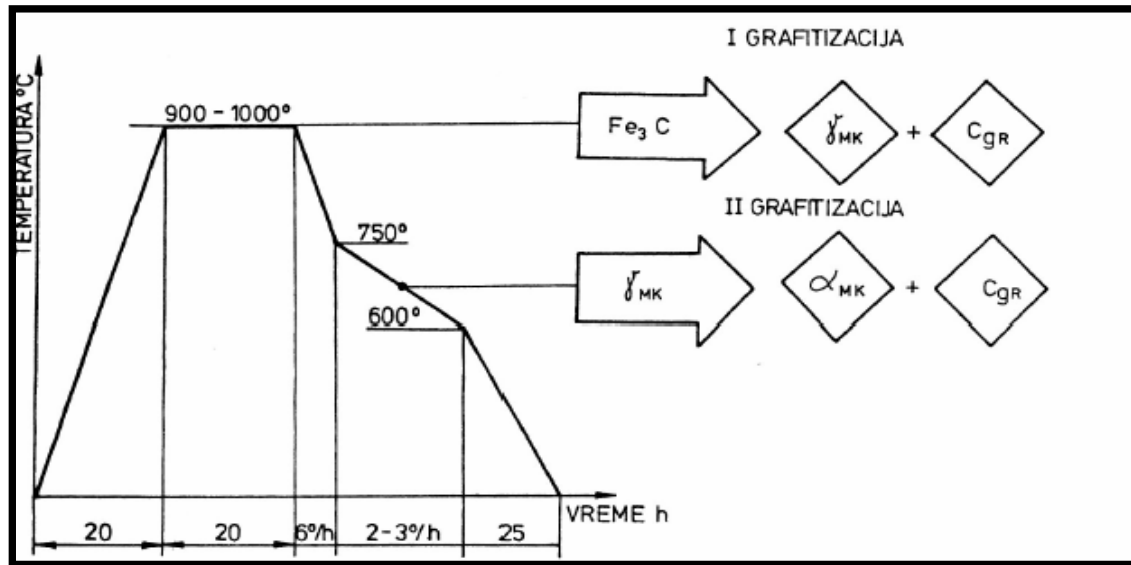
4.5. Temper livena gvožđa

Temper livena gvožđa spadaju u kvalitetna livena gvožđa. Dobijaju se od bijelog livenog gvožđa dugotrajnim žarenjem na povišenim temperaturama radi razlaganja cementita. Prema hemijskom sastavu, načinu dobijanja, strukturi i osobinama razlikujemo dvije vrste temper livenih gvožđa:

- Crni temper liv (američki)
- Bijeli temper liv (evropski).

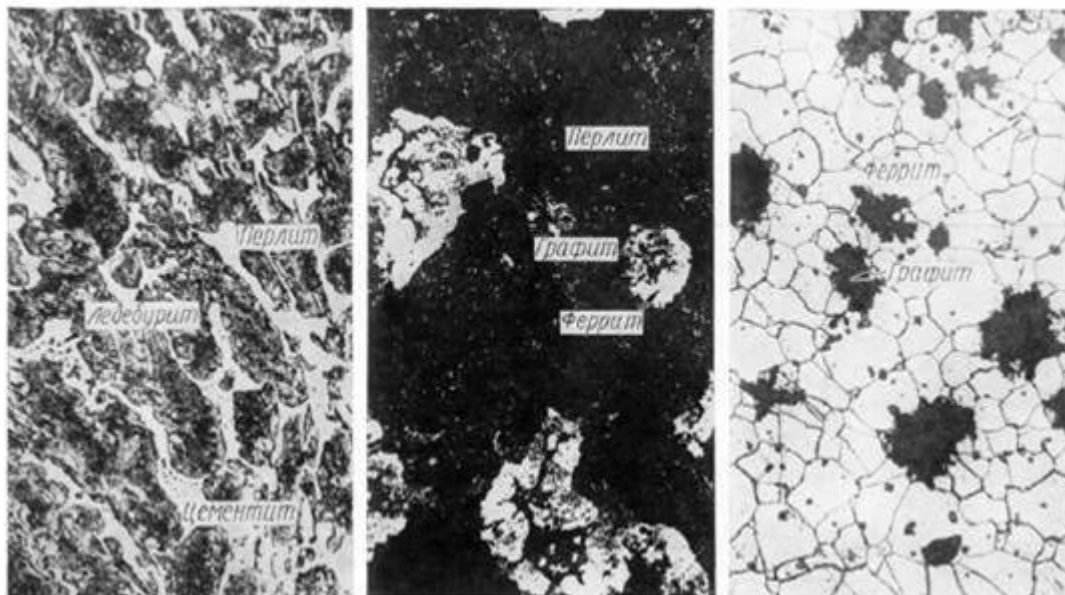
Crni temperovani liv dobija se dugotrajnim žarenjem bijelog livenog gvožđa u zaštitnoj atmosferi, pri čemu se cementit u strukturi razlaže, a ugljik se u potpunosti, ili njegov pretežni dio izlučuje u obliku temperovanog ugljika (sl.7).

Grafitizacija crnog temperovanog liva se odvija u dvije faze. U prvoj fazi, prva grafitizacija, na temperaturi 900 do 1000 °C razlaže se cementit na austenit i elementarni ugljik-grafit u obliku temper ugljika. U drugoj fazi, druga grafitizacija, austenit se razlaže na ferit i elementarni ugljik (sl.8).



Crni temperovani liv

Slika 7. Termički tretman pri dobijanju crnog temperovanog liva

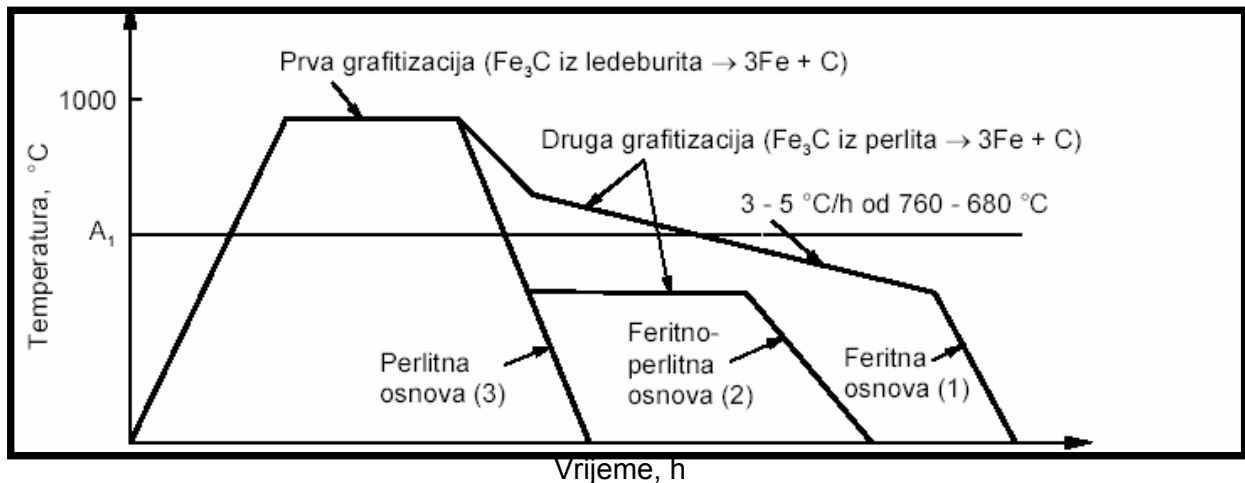


a) Bijelo liveno gvožđe b) Poslije prve grafitizacije c) Poslije druge grafitizacije

SL.8. Strukture poslije grafitizacije

U drugoj fazi žarenja prezasićenog austenita pri temperaturi približno 700°C koriste se dvije a nekad i tri varijante hlađenja.

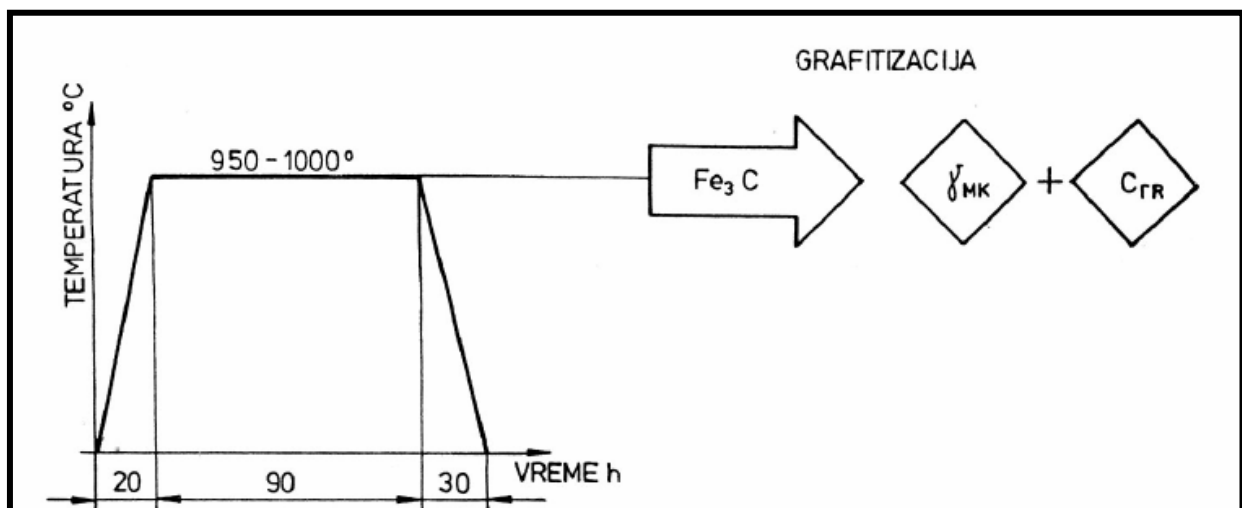
Kriva 1 odgovara veoma sporom hlađenju oko temperature A1, tako da se formira feritna metalna osnova, obogaćena dodatnim temper ugljikom u toku drugog stadija grafitizacije. Pri znatno većoj brzini hlađenja (kriva 3) dobija se perlitna osnova. Ako se legura podhladi brzinom oko 20°C/min do 500°C i pri ovoj temperaturi dobiće se feritno-perlitna osnova sa dodatnim temper ugljikom izlučenim u drugom stadiju grafitizacije po liniji 2 (slika9.)



Sl.9. Drugi stepen grafizacije

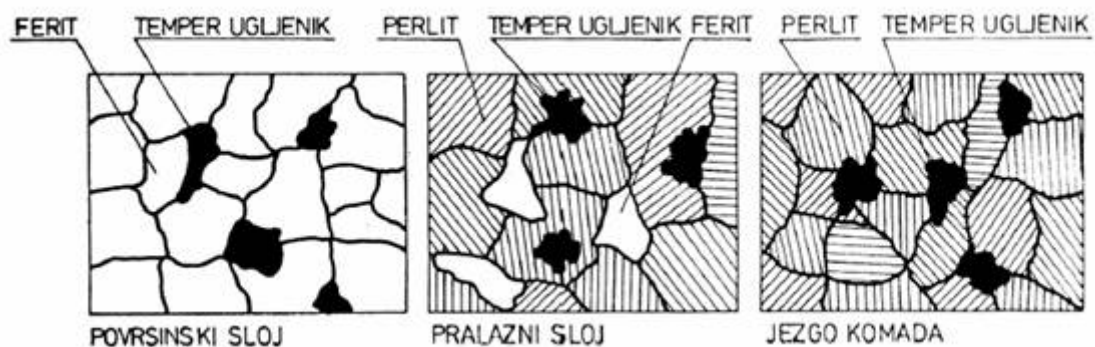
4.5.1. Bijeli temperovani liv

Dobija se dugotrajnim žarenjem bijelog livenog gvožđa u oksidacionoj atmosferi-običnim pećima, pri čemu nastaje razlaganje cementita na gvožđe i temper grafit, kao i manje ili veće razugljeničenje površinskog sloja.



Sl. 10. Grafizacija-postupak razlaganja cementita

Mikrostruktura bijelog temperovanog liva na površinskom sloju na površinskom sloju, obzirom na proces razugljeničenja je čisto feritna, u prelaznoj zoni perlitno ferlitna, a jezgro odlivka ima perlitnu strukturu sa gnjezdastim rasporedom grafita (sl. 11).



Sl.11. Mikrostrukture temperovanog gvožđa

5. NODULARNI LIV

Pošto obično liveno gvožđe sadrži grafit u obliku lamela ono je vrlo krto. Nodularni liv se dobija dodavanjem cerijuma rastopljenom gvožđu pred izlivanje. Cerijum se dodaje u takvoj količini da nakon livenja ostaje u gvožđu više od 0,02%. Noduliranju se podvrgava nadeutektno gvožđe.

Podeutektno gvožđe može se podvrgnuti noduliranju ako je legirano sa više od 10% Ni. Nodularni liv je otporan na dejstvo 10% NaOH i na temperaturi od 500°C i na kisele rastvore.

5.1. Termička obrada livenih gvožđa

Termička obrada vrši se u cilju povećanja obradivosti, smanjenju unutrašnjih naprezanja, poboljšanju fizičkih i mehaničkih svojstava.

Za poboljšanje fizičko mehaničkih svojstava odlivci se podvrgavaju slijedećim termičkim obradama: kaljenju, otpuštanju, normalizaciji i starenju.

6. ZAKLJUČAK

Ovaj rad opisuje liveno gvožđe i njegove mehaničke osobine na osnovu radova i knjiga koje su navedene u literaturi. Ovdje je prikazano kako ugljik utiče na osobine gvožđa. Povećava granicu razlačenja, otpornost na habanje, krtošću, a smanjuje istezanje, kontrakcije sposobnosti izvlačenja, sposobnost deformacije u toplom i hladnom stanju itd.

7. LITERATURA

- [1] Haračić N.: Inženjerski metalni i nemetalni materijali“ Mašinski fakultet Zenica , Zenica 2005.
- [2] Pajević M. B.:Livenje gvožđa i čelika
- [3] * ** Ispitivanje materijala, univerzitetska literatura
- [4] Adamović D,: Mašinski materijali, predavanja
- [5] * ** www internet adrese

MOGUĆNOST PROCJENE VREMENA IZRADE ROTACIJSKIH DIJELOVA

Tihomir Opetuk, diplomant
Predrag Ćosić, prof.Dr
Sveučilište u Zagrebu, FSB, I. Lučića 5,
10000 Zagreb
tihomir.opetuk@fsb.hr
predrag.cosic@fsb.hr; <http://ptp.fsb.hr>

SAŽETAK

Razvojem industrije, transporta, komunikacije i tehnologije dolazi do porasta konkurencije procesom globalizacije. Taj proces najviše pogađa mala poduzeća od kojih se zahtijevaju vrlo brzi odgovori na dobivenu ponudu, tj. da ju prihvate ili odbiju. Vrijeme odgovora je kratko i nemoguće je izraditi tehnološki proces izrade kako bi se dobilo vrijeme izrade. Također, porastom konkurencije pada i cijena proizvoda te metode i načini procjene vremena izrade dolaze sve više do izražaja.

Ideja autora ovog rada je razviti aplikaciju koja će omogućiti procjenu vremena izrade, a samim time i procjenu troškova izrade. Aplikacija prikazana u ovom radu će se koristiti samo za rotacijske dijelove, odnosno osovine.

Aplikacija je napravljena u *Microsoft Office Excel*-u gdje se unošenjem podataka dobiva vrijeme potrebno za izradu osovine. Nakon što se napravila aplikacija, njezin rad bio je testiran tako da su pomoću nje izračuna vrijeme potrebno za izradu 20 osovine. Za te osovine je uz pomoć *CAMWorks* programa izrađen tehnološki proces izrade, čime je dobiveno i vrijeme potrebno za njihovu izradu.

Ova aplikacija omogućuje procjenu vremena izrade, čime se smanjuje vrijeme potrebno za odgovor kupcima, a samim time se povećava konkurentnost na tržištu.

1. UVOD

Mnoga poduzeća danas svoju proizvodnju premještaju u tzv. „zemlje trećeg svijeta“ ili Istočne Europe jer time smanjuju troškove proizvodnje i povećavaju dobit. To znači da su im troškovi transporta daleko manji od troškova proizvodnje. Osim niskih transportnih troškova razlog tome je i jeftina radna snaga u tim zemljama.

Danas postoje naznake da će ubrzo doći do promjene tih odnosa. Premještanjem proizvodnje u te zemlje, oni su usvojili tehnologiju te sada sami osnivaju svoje tvornice i projektiraju vlastite proizvode. Također, cijena goriva raste iz dana u dan, porast osobnog standarda u Kini, kasnije u Indiji, smanjit će komparativne prednosti jeftine radne snage. Pitanje je trenutka kada će troškovi transporta postati bitan dio troškova proizvodnje. Za očekivati je da će se proizvodnja ponovno seliti u profitabilnije države, s manjim poreznim opterećenjima i jeftinijim radnicima. Samim time će se otvoriti nova tržišta, nove mogućnosti, te će se povećati konkurencija.

Također razvojem tržišta povećava se i konkurencija, a povećanjem konkurencije pada i cijena proizvoda. Mnogi današnji kupci šalju poduzećima crtež ili sliku proizvoda s pitanjem o cijeni izrade i roku isporuke. Zbog kratkog vremena odgovora proizvođači ne mogu izraditi cijeli tehnološki proces za definiranje vremena izrade i cijene proizvoda. Isto tako izrada tehnološkog procesa izrade ne bi imala smisla jer se radi samo o ponudi, najčešće pojedinačnoj i maloserijskoj proizvodnji.

U većini slučajeva proizvođači otprilike daju ponudu, odnosno oni na temelju iskustva i izgleda crteža pretpostavljaju cijenu proizvoda i vrijeme potrebno za izradu. Tada se mogu dogoditi pogreške prilikom definiranja cijene proizvoda. Može se ponuditi cijena za koju će se kasnije ispostaviti da je premala, odnosno da poduzeće nije u stanju izraditi proizvod po toj cijeni. Isto tako se u toku proizvodnje može dogoditi da je vrijeme potrebno za izradu duže nego što smo procijenili. Tada se javljaju nepotrebni troškovi jer se mora raditi prekovremeno ili se zbog kašnjenja narudžbe moraju platiti penali.

Iz ovog se vidi da je jako važno znati dobro odrediti cijenu i vrijeme potrebno za izradu proizvoda. To se još više odnosi na mala poduzeća, odnosno privatnike jer si oni ne mogu priuštiti takve pogreške. Iz toga razloga ideja autora ovog rada je razviti aplikaciju koja bi služila za procjenjivanje vremena izrade, a samim time i procjenjivanje cijene izrade, odnosno cijene proizvoda. Ova aplikacija se odnositi na procjenu komadnog vremena izrade osovina, a u aplikaciji će u obzir biti uzeto, kao primjer samo vanjsko tokarenje. Ona je orijentirana na mala i srednja poduzeća (*Small and Medium Enterprises-SME*), odnosno privatnike, te će se iz tog razloga koristiti alati koji su pogodni za obradu svih vrsta materijala. Za izradu će se koristiti *Kenna Universal* alati jer su ti alati upravo rađeni za mala poduzeća, odnosno poduzeća koja u proizvodnji imaju veliki broj raznovrsnih proizvoda, a isto tako veličine serija su male. Razlog tome je da mala i srednja poduzeća u Hrvatskoj zauzimaju veliki postotak ukupne proizvodnje.

Temeljne karakteristike pojedinačne i maloserijske proizvodnje su:

- veliki broj zahtjevnih pozicija u malim serijama,
- kratki rokovi isporuke,
- težnja tržišta da se cijene približe cijenama masovne proizvodnje. [1]

U radu će se koristiti sljedeći programi:

- *SolidWorks* – za izradu 2D i 3D crteža,
- *CAMWorks* – za izradu tehnološkog procesa izrade proizvoda i dobivanje vremena potrebnih za izradu,
- *Global WINTOMS (Kennametal)* – za dobivanje parametara obrade u ovisnosti o vrsti alata i materijalu,
- *Microsoft Office Excel* – za izradu aplikacije za procjenu vremena izrade.

Također unutar rada biti će izračunat tehnološki proces izrade za 20 osovina, i to tako da će se varirati vrsta materijala. Pretpostavka je da će tehnološki proces izrade i komadna vremena potrebna za izradu osovina biti proračunata pomoću *CAMWorks* programa.

A nakon toga će se napraviti aplikacija za procjenu komadnog vremena izrade t_1 , te će pomoću nje biti procijenjeno vrijeme potrebno za izradu osovina. Na kraju rada je dana usporedba rezultata komadnih vremena potrebnih za izradu osovina dobivenih *CAMWorks-om* i aplikacijom za procjenu komadnog vremena izrade.

2. IZRADA TEHNOLOŠKOG PROCESA OBRADE [2,3,4]

Budući da su osovine za izradu tehnološkog procesa crtane u *SolidWorks* programu, a taj program nema CNC modul, program za dobivanje G-koda i vremena izrade je *CAMWorks* program. Jedan od razloga jest da je taj program u potpunosti kompatibilan sa *SolidWorks* programom čime se skraćuje vrijeme potrebno za izradu tehnološkog procesa izrade.

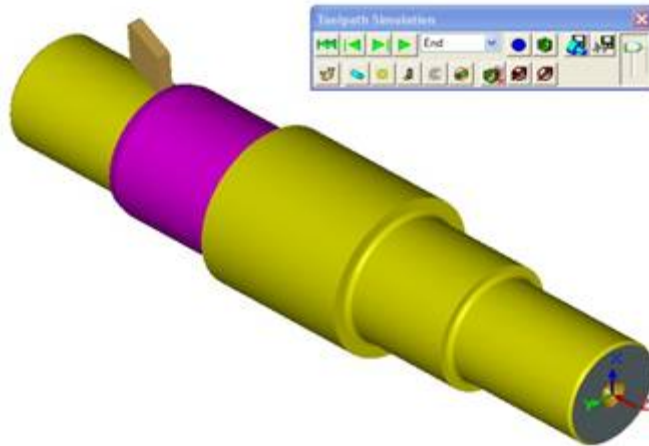
CAMWorks također sadrži AFR (**A**utomatic **F**eature **R**ecognition/Automatsko prepoznavanje značajki) sustav. Taj sustav omogućava programu da automatski prepozna koje dijelove treba odstraniti (tokariti ili glodati). Rad tog sustava se bazira na bazi podataka, gdje se uz pomoć *IF-THEN* logičkih operatora definiraju operacije obrade. Ovdje treba napomenuti da ovaj sustav daje izvrsne rezultate za operacije glodanja, dok za tokarenje većinu operacija korisnik sam treba definirati.

CAMWorks program se sastoji od sljedećih modula:

- 2½ osno glodanje,

- 3 osno glodanje,
- Višeosno glodanje (4-5 osi istovremeno),
- 2 i 4 osno tokarenje,
- Glodanje i tokarenje,
- 2 i 4 osna EDM (**E**lectrical **D**ischarge **M**achining/Obrada električnim pražnjenjem) obrada žicom.

Izgled simulacije procesa izrade u CAMWorks-u je prikazan na slici 2.1.



Slika 2.1: izgled simulacije procesa izrade u CAMWorks-u

3. MODEL APLIKACIJE

Kod modela aplikacije ideja autora rada je podijeliti osovinu na osnovne oblike. Razlog tome jest da nije lako procijeniti vrijeme potrebno za izradu osovine. Taj dio podjele se odnosi na finu i grubu profilnu obradu jer za cijelu osovinu broj prolazi tokom tokarenja nije jednak, te se njezinom podjelom na osnovne oblike taj proces procjene vremena izrade olakšava. Za procjenu vremena izrade potrebno je za svaki osnovni oblik izračunati vrijeme potrebno za njihovu izradu, a njihov zbroj će dati komadno vrijeme potrebno za izradu osovine.

3.1. Aplikacija za računanje osnovnih podataka

Osim već prije navedene aplikacije za računanje komadnog vremena izrade, u *Microsoft Office Excel-u* također je napravljena aplikacija koja služi za računanje slijedećih podataka:

- Brzine vrtnje,
- Brzine rezanja,
- Površinske hrapavosti,
- Potrebne snage stroja,
- Količine odstranjenog materijala.

U ovom radu ova aplikacija se koristi za izračunavanje potrebne površinske hrapavosti, potrebne snage rezanja, odnosno dubine rezanja. Ona se jednako koristila za izračunavanje vremena potrebna za rezanje dobivena CAMWorks-om i vremena dobivenog aplikacijom. Za izračunavanje ovih podataka korištene su slijedeće formule [2,3]:

- Brzina vrtnje:

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \left[\text{min}^{-1} \right] \quad (1)$$

- Brzina rezanja:

$$v_c = \frac{\pi \cdot n \cdot D}{1000} [m/min] \quad (2)$$

- Površinska hrapavost:

$$R_{\max} = \frac{f_n^2 \cdot 125}{R_\varepsilon} [\mu m] \quad (3)$$

- Potrebna snaga stroja:

$$P_c = \frac{v_c \cdot a_p \cdot f_n \cdot k_{c0,4}}{60 \cdot 10^3} \cdot \left[\frac{0,4}{f_n \cdot \sin \kappa_r} \right]^{0,29} [kW] \quad (4)$$

$$P = \frac{P_c}{\eta} [kW] \quad (5)$$

- Količina odstranjenog materijala:

$$Q = v_c \cdot a_p \cdot f_n [cm^3/min] \quad (6)$$

- gdje je:

n – brzina vrtnje $[min^{-1}]$

v_c – brzina rezanja $[m/min]$

D – promjer koji se obrađuje $[mm]$

$R_{\max}$ – maksimalna visina neravnina $[\mu m]$

f_n – posmak $[mm/rev]$

R_ε – radijus nosa pločice $[mm]$

P_c – potrebna snaga rezanja $[kW]$

a_p – dubina rezanja $[mm]$

$k_{c0,4}$ – potrebna sila rezanja za debljinu čestice od 0,4 mm $[N/mm^2]$

κ_r – kut ulaska alata $[^\circ]$

P – potrebna snaga stroja $[kW]$

η – iskoristivost stroja

Q – količina odstranjenog materijala $[cm^3/min]$

3.2. Aplikacija za računanje vremena potrebnih za izradu osovina

Kao što je već prije navedeno, aplikacija za izračunavanje komadnog vremena izrade osovina je izrađena u *Microsoft Office Excel-u*. Aplikacija se ukupno sastoji od 10 slijedećih radnih listova, tj. tipičnih obrada tokarenja obzirom na površinu:

- Podaci o stroju,
- Čeona obrada,
- Obrada središnjeg uvrta,
- Profilna obrada-ravna,
- Profilna obrada-skošenja,
- Obrada utora,
- Obrada radijusa,
- Obrada navoja,
- Pomoćno vrijeme,
- Komadno vrijeme izrade t_1 .

Redoslijed radnih listova u aplikaciji jest takav da prati redoslijed operacija tehnološkog procesa izrade. U komadno vrijeme izrade ulaze slijedeća tri vremena:

- Tehnološka vremena izrade,
- Vremena brzog hoda,
- Pomoćna vremena.

Za izračunavanje tehnoloških vremena izrade koriste se formule koje se koriste u klasičnom procesu izrade tehnološkog procesa izrade. Formule koje se u aplikaciji koriste za izračunavanje tehnološkog vremena izrade su slijedeće [2,3]:

- Brzina vrtnje:

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} [\text{min}^{-1}] \quad (1)$$

- Vrijeme potrebno za obradu:

$$t_t = \frac{l \cdot i \cdot a_p}{f_n \cdot n} \cdot 60 [s] \quad (7)$$

$$t_t = \frac{l \cdot i \cdot a_p}{f_n \cdot n} \cdot 60 [s] \quad (8)$$

- Broj prolaza:

$$i = \frac{D_p - d_z}{a_p \cdot 2} \quad (9)$$

- Broj prolaza rezanja:

$$i_s = \frac{l}{s} \quad (10)$$

- gdje je:

n – brzina vrtnje $[\text{min}^{-1}]$
 v_c – brzina rezanja $[m/\text{min}]$
 D – promjer koji se obrađuje $[mm]$
 t_t – vrijeme potrebno za obradu $[s]$
 l – duljina obrade $[mm]$
 a_p – dubina rezanja $[mm]$
 f_n – posmak $[mm/rev]$
 i – broj prolaza
 D_p – početni promjer obrade $[mm]$
 d_z – završni promjer obrade $[mm]$
 i_s – broj prolaza rezanja
 s – iznos preklapanja $[mm]$

Formula pod brojem 8 se koristi za izračunavanje vremena potrebnog za grubu obradu utora, dok se formula pod brojem 7 koristi za izračunavanje vremena potrebnog za obradu ostalih operacija obrade.

Za izračunavanje vremena brzog hoda, koristi se slijedeći općeniti izraz:

- Vrijeme brzog hoda:

$$t_r = \frac{l}{v_r \cdot 1000} \cdot 60 [s] \quad (11)$$

- gdje je:

t_r – vrijeme brzog hoda $[s]$
 l – duljina koja se prevaljuje $[mm]$
 v_r – brzina brzog hoda $[m/\text{min}]$

Vrijeme koje se koristi za brzi hod je specifično te se za svaku operaciju koristi druga formula, te iz toga razloga one nisu prikazane u radu, nego je prikazan opći izraz za

izračunavanje vremena potrebnog za brzi hod. Također, to je vrijeme koje je najteže procijeniti, odnosno opisati formulom jer je teško odrediti udaljenost koju će alat proći.

Da bi se izračunala pomoćna vremena koristi se slijedeći izraz:

$$t_p = \text{vrijeme stezanja obratka} \cdot \text{broj stezanja} + \text{trajanje izmjene alata} \cdot \text{broj izmjene alata} [s] \quad (12)$$

- gdje je:

$$t_p - \text{pomoćno vrijeme} [s]$$

3.2.1. Podaci o stroju

Prilikom rada s aplikacijom prvo je potrebno unijeti podatke o stroju. Kod podatka o stroju unose se slijedeći podaci:

- Maksimalna brzina vretena $[\text{min}^{-1}]$ – unosom ovog podatka onemogućuje se obrada s većim brojem okretaja od ove maksimalne vrijednosti. Ako nam je maksimalna brzina vrtnje $n = 3500 \text{ min}^{-1}$ i obrađuje se promjer $d = 20 \text{ mm}$ pri brzini rezanja od $v_c = 460 \text{ m/min}$ dobiva se brzina vrtnje $n = 7321 \text{ min}^{-1}$, aplikacije će automatski promijeniti brzinu vrtnje na $n = 3500 \text{ min}^{-1}$.
- Maksimalna brzina pogonjenih alata $[\text{min}^{-1}]$ – kao i podatak prije, unošenjem ove vrijednosti onemogućuje se obrada s većim brojem okretaja od ove maksimalne vrijednosti.
- Brzina brzog hoda- $v_r [m/min]$ – ovaj podatak nam služi za izračunavanje vremena brzog hoda. Kada se ovaj podatak unese u aplikaciju, njegov daljnji upis nije potreban.
- Udaljenost izmjene alata od čela osovine- $Z_{os} [mm]$ – ovaj podatak služi za izračunavanje vremena brzog hoda.
- Udaljenost izmjene alata od čela osovine- $X_{os} [mm]$ – ovaj podatak služi za izračunavanje vremena brzog hoda.
- Vrijeme stezanje obratka $[s]$ – služi nam za izračunavanje pomoćnog vremena.
- Trajanje izmjene alata $[s]$ – ovaj podatak također služi za izračunavanje pomoćnog vremena.

3.2.2. Ostali podaci

U ostale radne listove u ovisnosti o vrsti obrade, odnosno osnovnom obliku, unose se slijedeći podaci:

- Početni promjer obrade – $D [mm]$,
- Završni promjer obrade – $d [mm]$,
- Brzina rezanja – $v_c [m/min]$,
- Posmak – $f_n [mm/rev]$,
- Duljina obrade – $l [mm]$,
- Promjer centralnog uvrta – $D_c [mm]$,
- Duljina koja se obrađuje – $l [mm]$,
- Dubina rezanja – $a_p [mm]$
- Duljina osovine – $L_{os} [mm]$ – ovaj podatak se koristi za izračunavanje vremena potrebnog za brzi hod,
- Iznos preklapanja – $s [mm]$,
- Radijus koji se obrađuje – $R [mm]$,
- Duljina obrade ako je $R = W$ – $l [mm]$ unosi se samo ako je debljina alata (W) jednaka radijusu koji se obrađuje, u protivnom ova ćelija ostaje prazna,
- Duljina obrade ako je $R > W$ – $l [mm]$ unosi se samo ako je debljina alata (W) manja od radijusa koji se obrađuje, u protivnom ova ćelija ostaje prazna,

- Udaljenost radijusa od čela osovine – $l_c [mm]$ – služi za računanje vremena brzog hoda.
- Korak navoja – $P [mm]$,
- Broj prolaza – i .

Slika 3.2.2.1 pokazuje izgled radnog lista za čeonu obradu.

Čeona obrada-gruba						
	I. Operacija	II. Operacija	III. Operacija	IV. Operacija	V. Operacija	VI. Operacija
Početni promjer obrade-D [mm]						
Brzina rezanja-vc [m/min]						
Posmak-fn [mm/rev]						
Brzina brzog hoda-vr [m/min]	0	0	0	0	0	0
Brzina vrtnje-n [rev/min]	0	0	0	0	0	0
Vrijeme potrebno za obradu pojedine operacije-t _o [s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vrijeme brzog hoda za pojedine operacije tr [s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ukupno vrijeme obrade-t [s]	0,00					
Čeona obrada-fina						
	I. Operacija	II. Operacija	III. Operacija	IV. Operacija	V. Operacija	VI. Operacija
Početni promjer obrade-D [mm]						
Brzina rezanja-vc [m/min]						
Posmak-fn [mm/rev]						
Brzina brzog hoda-vr [m/min]	0	0	0	0	0	0
Brzina vrtnje-n [rev/min]	0	0	0	0	0	0
Vrijeme potrebno za obradu pojedine operacije-t _o [s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vrijeme brzog hoda za pojedine operacije tr [s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ukupno vrijeme obrade-t [s]	0,00					

Slika 3.2.2.1: Radni list za operaciju čeone obrade

3.2.3. Pomoćno vrijeme

Podaci o vremenu potrebnom za stezanje i vremenu potrebnom za izmjenu alata su unijeti u podacima o stroju tako da je ovdje potrebno unijeti slijedeće podatke:

- Broj stezanja,
- Broj izmjena alata.

3.2.4. Komadno vrijeme izrade

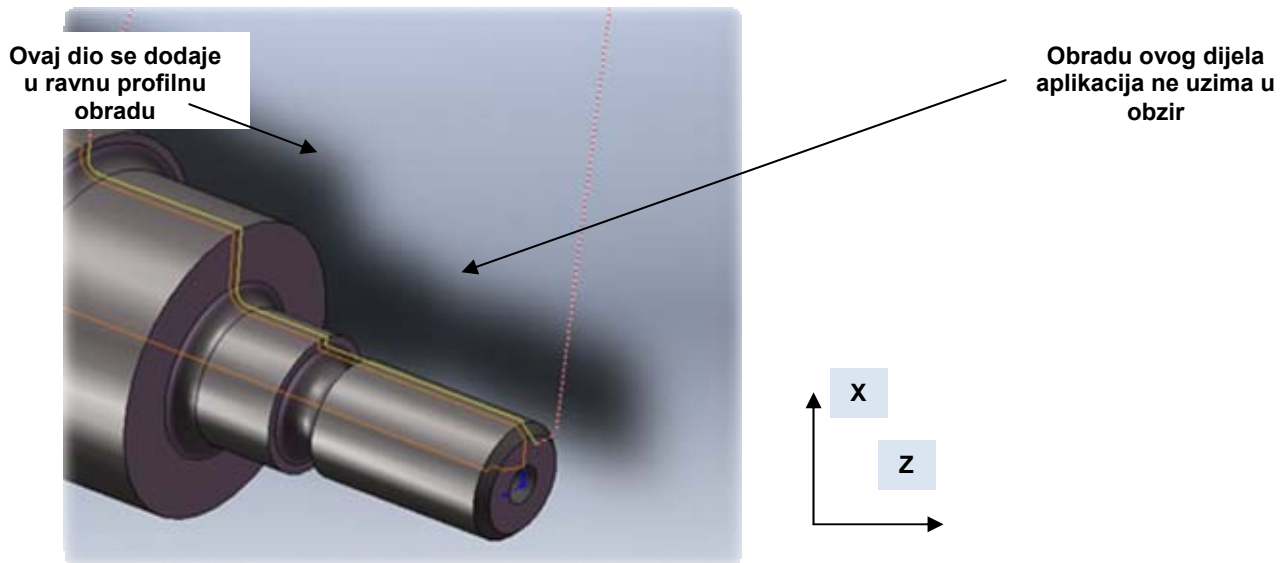
Kada se unesi podaci za obradu svih osnovnih oblika dobije se komadno vrijeme potrebno za izradu osovine.

3.3. Ograničenja modela

Kako i svaki model tako i model aplikacije ima neka ograničenja. Ograničenja modela aplikacije su slijedeća:

- Model je primjenjiv za rotacijske obratke odnosno osovine.
- Model je ograničen samo na vanjsko tokarenje.
- Kod modela nisu uzete u obzir operacije glodanja, brušenja itd.
- Kod profilne obrade, odnosno kada se u profilu obrađuje radijus, to se u aplikaciju unosi kao dio profilne obrade ravne. To znači da se duljina profilne obrade ravne poveća za duljinu radijusa. To ograničenje se uvodi radi pojednostavljenja modela, a i njegov utjecaj na komadno vrijeme izrade je zanemariv. Okvirno, veličina te pogreške bi bila manja od 0,1% iz razloga što je to mali segment osovine i njegov utjecaj na komadno vrijeme izrade je zanemariv. Za profilnu obradu skošenja takvo ograničenje nije uvedeno iz razloga da se na osovinama može nalaziti konus, te bi takvo pojednostavljenje imalo veliki utjecaj na komadno vrijeme izrade. Izgled ograničenja je prikazan na slici 3.2.5.1.

- Još jedno ograničenje je obrada po osi X gdje se aplikacijom ta obrada ne uzima u obzir, odnosno ovim modelom ju nije moguće opisati. Razlog tome je taj što bi za to u aplikaciji trebalo definirati redoslijed osnovnih oblika kod grube i fine profilne obrade. Time bi se samo zakomplicirao rad aplikacije, a utjecaj greške nije velik. Ovaj model se koristi samo za obradu po osi Z, iznimka je čeona obrada kod koje se u obzir ne uzima obrada po osi Z nego po osi X. To ograničenje će imati utjecaj na grubu i finu profilnu obradu, a njezin će utjecaj biti veći što će brzina rezanja biti manja, jer se time povećava vrijeme potrebno za izradu. Također u ovisnosti o izgledu osovine, odnosno njezinim značajkama, kod nekih osovina će ovo ograničenje imati manji utjecaj, jer će duljina obrade po osi X biti mnogo manja, a neke ju osovine neće niti imati. U odnosu na komadno vrijeme potrebno za izradu, ova pretpostavka neće imati veliki utjecaj na procjenu vremena izrade što će se vidjeti kod analize rezultata. Izgled ograničenja je prikazan na slici 3.2.5.1.



Slika 3.2.5.1: Izgled ograničenja modela aplikacije

4. ANALIZA REZULTATA

Tablica 4.1 pokazuje usporedbu komadnih vremena potrebnih za izradu osovina dobivenih *CAMWorks-om* i aplikacijom za procjenu komadnog vremena izrade. Na slici 4.2 prikazana je u postocima prosječna razlika u komadnom vremenu izrade u ovisnosti o vrsti operacije, dok slika 4.3 pokazuje prosječnu razliku u sekundama u ovisnosti o operaciji obrade. Na oba grafa te razlike se odnose na komandna vremena dobivena *CAMWorks-om* i aplikacijom za procjenu komadnog vremena izrade. Te razlike nam pokazuju koliko se aplikaciju može procijeniti komadno vrijeme izrade. Iz prvog grafa se vidi da najveću prosječnu razliku ima gruba obrada utora i obrada radijusa. Za grubu obradu utora ta razlika iznosi 9,83%, dok za obradu radijusa iznosi 8,05%. Iako u postocima to izgleda mnogo, obje ove operacije imaju kratko vrijeme trajanja, te prosječna vremenska razlika za grubu obradu utora iznosi 1,11 sekundi, dok za obradu radijusa prosječna razlika iznosi 1,55 sekundi. Do tih razlika dolazi zbog toga što je obje ove operacije teško opisati, odnosno matematički izraziti. Razlog tome je taj što je teško opisati putanju alata kod tih operacija. Niti jedan, niti drugi iznos nemaju veliki utjecaj na ukupnu razliku.

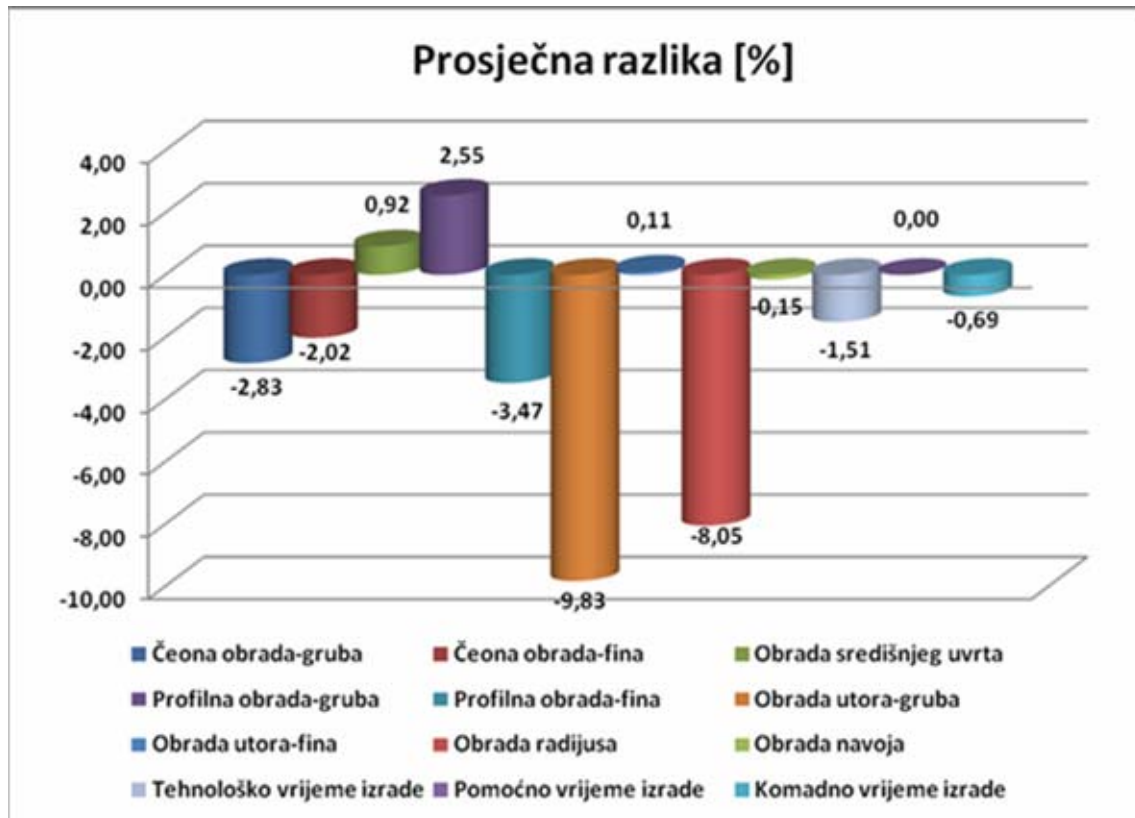
Najveći vremenski utjecaj na komadno vrijeme izrade ima profilna obrada. Za grubu profilnu obradu ta razlika iznosi 2,87 sekundi, dok za finu profilnu obradu iznosi 3,85 sekundi. Do te razlike dolazi zbog prije navedenih ograničenja modela, odnosno zbog izgleda osovina. Pod tim izgledom podrazumijevaju se značajke osovine, odnosno obrada po osi X. Pošto obje ove operacije imaju najveće vrijeme trajanja, njihova prosječna razlika u postocima nije velika. Ona za grubu profilnu obradu iznosi 2,55%, dok za finu iznosi 3,47%.

Gruba i fina čeonra obrada, obrada središnjeg uvrta i obrada navoja su operacije obrade koje je jednostavno matematički izraziti, odnosno opisati, te je kod njih prosječna razlika mala i njihov utjecaj je praktički zanemariv.

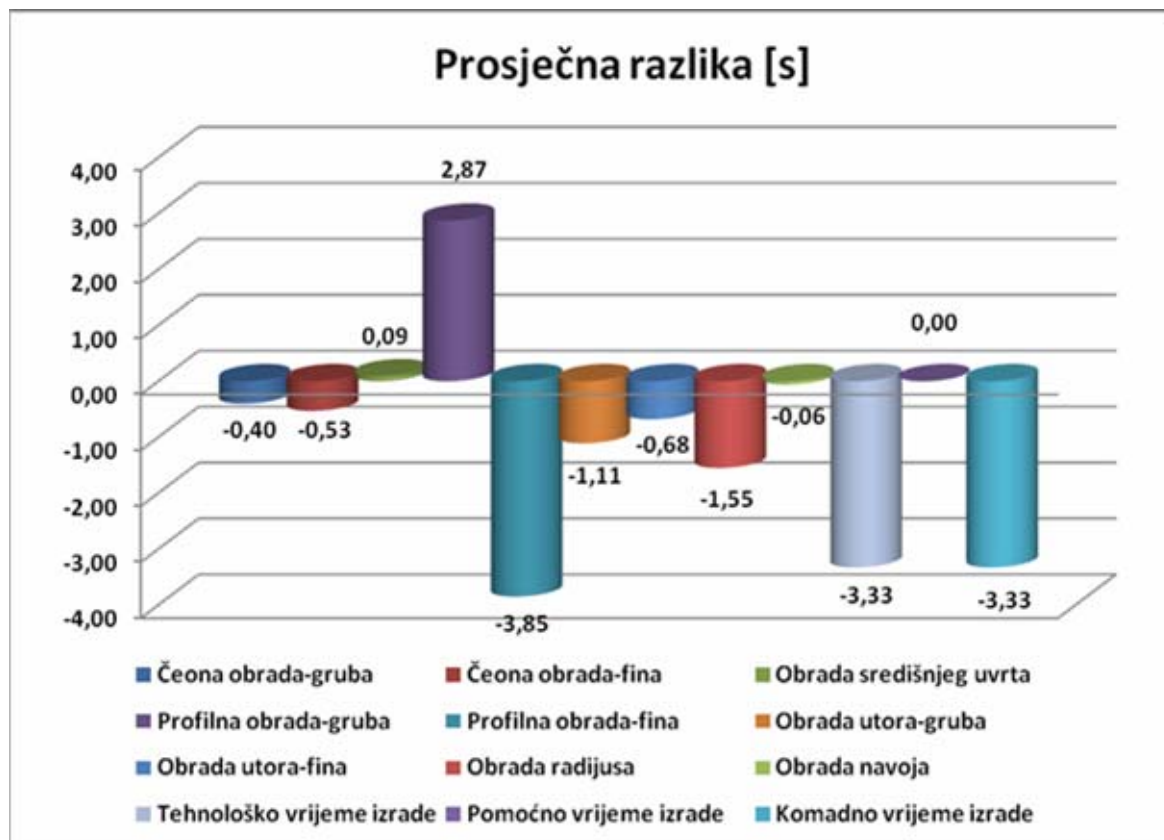
Prosječno vremensko odstupanje tehnološkog vremena izrade iznosi 3,33 sekunde, odnosno u postocima 1,51%, što je jako malo odstupanje te aplikacija dobro procjenjuje tehnološko vrijeme izrade. Pošto je iznos pomoćnog vremena jednak za oba načina dobivanja vremena izrade, razlika u postocima za komadno vrijeme izrade je još manja i iznosi 0,69%, odnosno 3,33 sekunde vremenski.

Tablica 4.1: Usporedba komadnih vremena potrebnih za izradu osovina

	Komadno vrijeme potrebno za izradu dobiveno CAMWorks-om [s]	Komadno vrijeme potrebno za izradu dobiveno Excell aplikacijom [s]	Razlika komadnog vremena izrade Excel-CAMWorks [s]	Razlika komadnog vremena izrade Excel-CAMWorks [%]
Osovina 1	314,24	312,57	-1,67	-0,53
Osovina 2	502,86	498,28	-4,58	-0,91
Osovina 3	390,00	391,00	1	0,26
Osovina 4	2011,96	2041,25	29,29	1,46
Osovina 5	356,49	354,49	-2	-0,56
Osovina 6	672,66	675,54	2,88	0,43
Osovina 7	252,00	246,15	-5,85	-2,32
Osovina 8	254,14	252,21	-1,93	-0,76
Osovina 9	264,36	262,26	-2,1	-0,79
Osovina 10	483,60	462,89	-20,71	-4,28
Osovina 11	378,18	381,02	2,84	0,75
Osovina 12	382,80	377,72	-5,08	-1,33
Osovina 13	369,77	369,99	0,22	0,06
Osovina 14	409,56	409,04	-0,52	-0,13
Osovina 15	420,83	420,93	0,1	0,02
Osovina 16	1255,8	1224,9	-30,9	-2,46
Osovina 17	719,49	702,1	-17,39	-2,42
Osovina 18	1875,44	1837,38	-38,06	-2,03
Osovina 19	596,27	595,41	-0,86	-0,14
Osovina 20	1474,31	1503,04	28,73	1,95



Slika 4.2: Prosječna razlika vremena izrade u postocima



Slika 4.3: Prosječna razlika vremena izrade u sekundama

5. Zaključak

Ova aplikacija dobro procjenjuje vremena izrade, te bi se iz tog razloga mogla koristiti u nastavi, gdje bi studenti pomoću nje mogli procijeniti vremena izrade svojih rotacijskih obratka. Također ova aplikacija nije u potpunosti automatizirana čime se od korisnika, odnosno studenata zahtijeva interakcija prilikom njezine primjene. Osim primjene u nastavi, aplikacija se može koristiti u privredi, kod pojedinačne i maloserijske proizvodnje za procjenu komandnog vremena izrade osovina.

Ako bi se željelo aplikaciju automatizirati to ne bi bilo moguće u potpunosti. Dio koji bi se mogao automatizirati je prepoznavanje osnovnih oblika odnosno operacija obrade. Da bi se to ostvarilo potrebno je razviti sustav koji bi na temelju 2D crteža ili 3D modela automatski prepozna te oblike odnosno operacije. Dio koji se ne može automatizirati jest proces unošenja podataka, odnosno parametara obrade i podataka o stroju u aplikaciju. Razlog tome je taj što to ti parametri ovise o vrsti stroja koji se primjenjuje, materijalu osovine, alatima itd.

Što se aplikacije tiče ona bi se mogla poboljšati, a ta poboljšanja mogla bi obuhvaćati prije navedena ograničenja. To znači da bi profilnu obradu trebalo malo modificirati, odnosno promijeniti model tako da se u njega uključi obrada po osi X. Što se tiče pojednostavljenja modela u pogledu da se prije navedena obrada radijusa stavi pod ravnu profilnu obradu, ona bi se mogla odvojiti u posebni radni list, ali time bi se samo zakomplicirao rad s aplikacijom, a ne bi dobili velika poboljšanja u pogledu procijene vremena izrade. Također bi se moglo razmotriti bolje opisivanje vremena potrebnog za brzi hod, ali za to bi se moralo uči u način rada CAM programa.

Što se tiče generalizacije modela, odnosno da se u obzir uzmu operacije glodanja, bušenja, brušenja itd. to se u aplikaciji može napraviti tako da se dodaju radni listovi koji bi se odnosili na te operacije. Kod glodanja u obzir bi se uzela samo obrada utora za pero ili klin, jer bi se u slučaju uzimanja u obzir svih mogućih operacija glodanja jako zakomplicirao rad s aplikacijom. odnosno količina radnih listova bi se povećala. Preporuka autora rada je da se umjesto mijenjanja postojećeg modela, odnosno aplikacije, napravi novi model, na temelju kojega bi se napravile aplikacije za procjenu vremena izrade pojedinih operacija obrade (glodanje, bušenje, brušenje itd.). Također se može razmotriti mogućnost izrade aplikacije u nekom od programa za programiranje kao što je *Microsoft Visual Studio*.

Korištenjem ove aplikacije mogu se postići znatne uštede prilikom procjene komadnog vremena izrade. Da bi se procijenilo komadno vrijeme obrade pomoću aplikacije potrebno je 15 minuta bez obzira da li se radi o 2D crtežu ili 3D modelu. U odnosu na *CAMWorks* postiže se vremenska ušteda od 4 puta ako se radi o 3D modelu, odnosno 5 puta ako se radi o 2D crtežu. Ako se kao CAM program koristi *CATIA*, koja je kompliciranija za rad u odnosu na *CAMWorks* postiže su vremenska ušteda od 6 puta ako se radi o 3D modelu, odnosno 7 puta ako se radi o 2D crtežu. To znači da se korištenjem ove aplikacije može uštedjeti vrijeme koje je potrebno da se izradi ponuda, odnosno cijena proizvoda.

6. Literatura

- [1] D. Antolić: „Procjena vremena izrade proizvoda regresijskim modelima“ – magistarski rad, FSB Zagreb, 2007.
- [2] Mr. Vinko Gačnik dipl. ing. strojarstva, Dr. Ferdo Vodenik dipl.ing, „Projektiranje tehnoloških procesa“ Tehnička knjiga, Zagreb, 1990.
- [3] Prof. dr. sc. Predrag Čosić, Predavanja s kolegija „Projektiranje tehnoloških procesa“, akademska godina. 2005./2006.
- [4] <http://ptp.fsb.hr>

RAZVOJ TURISTIČKO-EKOLOŠKOG VOZILA DEVELOPMENT of TOURISTIC-ECOLOGICAL VEHICLE

Mladen Karivan, student
Muamer Trako, student
Denis Spahić, dipl.ing.maš., asistent
Josip Kačmarčik, dipl.ing.maš., asistent
dr. Senad Balić, docent
Univerzitet u Zenici, Mašinski fakultet

SAŽETAK

U radu je predstavljena i primijenjena metodika razvoja turističko-ekološkog vozila, odnosno tricikla *Tadpole* varijante za tri osobe, simboličkog naziva *TEV*. Razvoj je realizovan primjenom odgovarajućih metoda za analitičke proračune, eksperimentalne analize, te računarnom podržanih metoda za 3D modeliranje, za numeričke proračune na bazi metode konačnih elemenata, te za ergonomske analize. Primjena ovih metoda provedena je kroz realizaciju pomenute metodike, zasnovane na savremenim postavkama metodike inženjerskog dizajna i razvoja novih proizvoda.

Ključne riječi: metodika inženjerskog dizajna, turističko-ekološko vozilo, metoda konačnih elemenata, ergonomska analiza

ABSTRACT

In this paper engineering design methodology is presented and implemented in the design of *Tourist Eco Vehicle (TEV)*, i.e. the tadpole tricycle variant for three persons. The design is carried out via implementation of appropriate methods for analytical calculations, experimental analysis and also computer aided methods for 3D modeling, numerical analysis (finite element method), and ergonomic analysis. The implementation of above mentioned engineering methods is based on modern principles of engineering design methodology and new product development

Key word: Engineering Design Methods, Touristic-Ecological Vehicle, Finite Element Method, Ergonomic Analysis

1. Uvod

Termin tricikl/trokolica (engl. *Tricycle*, danas su u upotrebi i termini *Trike* i *Tandem bike*) koristi se od početka 19 stoljeća i potiče od grčke složenice *treia* - *tri* i *kyklos* - krug ili točak. Prvi pisani trag o upotrebi tricikla, u obliku zaprežnog vozila, datira iz 1828 godine. Od tada pa do danas, vozilo u formi tricikla pojavljuje se u različitim varijantama u zavisnosti od svrhe, rasporeda točkova i pogona (pogon pedalama, parom, električnim ili motorom sa unutrašnjim sagorijevanjem). Iako su na samom početku tricikli bili predviđeni samo za odrasle (pisani tragovi datiraju iz 1868. godine), danas najčešću varijantu tricikla predstavlja izvedba za djecu koja se pogoni pedalama na prednjem točku.

Raspored točkova tricikla obično se sreće u jednoj od slijedeće tri varijante:

- *Delta* - dva točka nazad, jedan naprijed (najčešći raspored). Preko jednog ili oba zadnja točka vrši se pogon tricikla, dok se prednjim točkom upravlja, ili se pogon prenosi na prednji točak, a zadnji su upravljivi;
- *Tadpole* - dva upravljiva točka naprijed i jedan pogonski točak nazad. Prednji točkovi takođe mogu biti pogonski, a upravljanje se vrši preko zadnjeg točka;
- *iL3* - predstavlja varijantu tri točka u jednoj liniji.

Za tricikl je uobičajeno, mada nije univerzalno pravilo, da su prednji i zadnji točkovi različitog prečnika.

2. Faze razvoja TEVa

Razvoj TEVa odvijao se u slijedećim fazama:

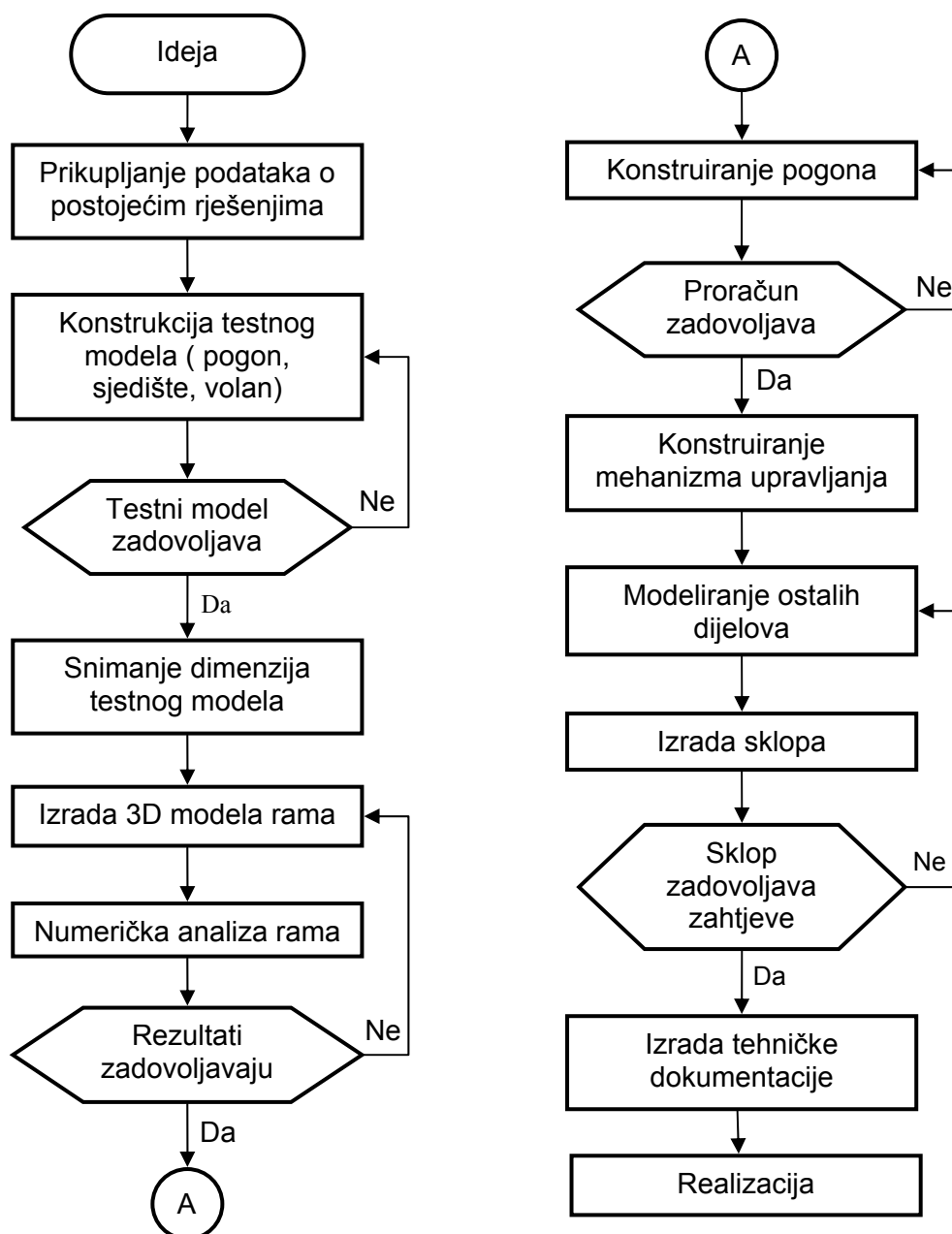
1. razrada liste zahtjeva (konstrukcijska specifikacija),
2. pronalaženje principa iz poznatih tehničkih rješenja,
3. analiza poznatih tehničkih rješenja,
4. razmatranje mogućnosti realizacije, u smislu odluke da li je teorijsko rješenje izvedivo i da li se uređaj može proizvoditi unutar datih ograničenja, te da li je ekonomski isplativo,
5. izrada potpune liste zahtjeva,
6. priprema i planiranje rješenja problema u smislu planiranja i organizacije vođenja projekta,
7. realizacija projekta.

Tabela 1. Lista zahtjeva

Konstrukcijska specifikacija	zahtjev	želja
1. FUNKCIJA 1.1. Turistička vožnja	1.1	
2. RADNA SVOJSTVA 2.1. Preglednost 2.2. Aerodinamičnost 2.3. Dobra upravljivost 2.4. Višestepeni prijenos 2.5. Izdržljivost (3x90 kg)	2.1 2.3 2.5	2.2 2.4
3. ERGONOMSKA SVOJSTVA 3.1. Komandni uređaji 3.2. Bezbjedno upravljanje 3.3. Udobnost	3.1 3.2 3.3	
4. ESTETSKA SVOJSTVA		4.
5. MINIMALNI TROŠKOVI IZRADE	5.	

3. Dijagram toka razvoja TEVa

Na slici 1. je dat dijagram toka razvoja TEVa.

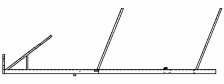
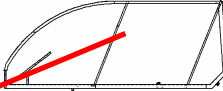
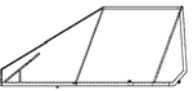
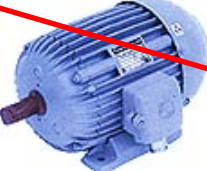
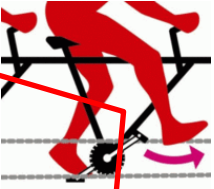
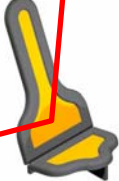
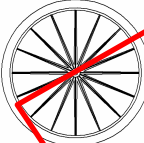
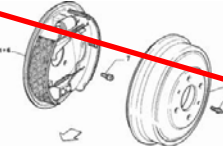
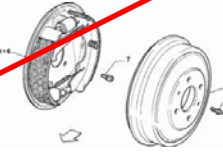


Slika 1. Dijagram toka razvoja TEVa

4. Morfološka matrica

U tabeli 2 je data morfološka matrica varijanti rješenja TEVa.

Tabela 2. Morfološka matrica

Kostur				
Materijal kostura	Konstrukcioni čelik	Aluminij	Titanijum	Legura Aluminija
Pogon	 SUS motor	 Elektromotor sa solarnim pogonom	 Ljudski pogon	Hibridni (Elektro + ljudski pogon)
Sjedište	 Auto sjedište	 Klasično sjedište bicikla	 Novi dizajn	
Materijal sjedišta	Daska i eko-koža	Daska i platno	Cijevi i platno	
Prednji točkovi	 Bicikl 26"	 Bicikl 20"	 Tomos 26"	
Zadnji točak	 Bicikl 26"	 Bicikl 20"	 Tomos 26"	
Sistem upravljanja	Volan	Poluge		
Krov	Pleksiglas	Lim i plegsiglas	Platno i pleksiglas	Cerada i pleksiglas
Kočnica zadnjeg točka	 V kočnice	 Doboš	 Disk	
Kočnice prednjih točkova	 V kočnice	 Doboš	 Disk	

5. Konstruiranje rama

Za potrebe određivanja početnih dimenzija rama, slijedeći ergonomske principe, izrađen je testni model sjedišta, pogona i upravljačkog mehanizma (slika 2). Testiranjem modela utvrđen je optimalan oblik i položaj sjedišta, a zatim i adekvatna pozicija pogonskih pedala koja obezbjeđuje upotrebu tricikla za vozače različitih visina. Za konstruiranje testnog modela iskorišteni su kostur i pogonski mehanizam starog *BMX* bicikla. Takođe je određen i testiran najpovoljniji položaj volana, koji omogućava nesmetano istovremeno upravljanje triciklom i okretanje pedala.



Slika 2. Testni model

Ulazne varijable za izradu CAD modela rama dobivene su na bazi analize različitih varijanti testnog modela. Koristeći se softverom Solid Edge v19, izrađen je 3D model rama primjenom tehnike izvlačenja 2D profila po različitim putanjama. U konačnici je dobiven ram dopadljivog dizajna, izrađen kombiniranjem odgovarajućih pravougaonih i kružnih profila.



Slika 3. 3D model rama

Predloženi dizajn rama analiziran je provedbom numeričkih proračuna na bazi metode konačnih elemenata (MKE), pri čemu se koristilo softverom FEMAP v9.3.

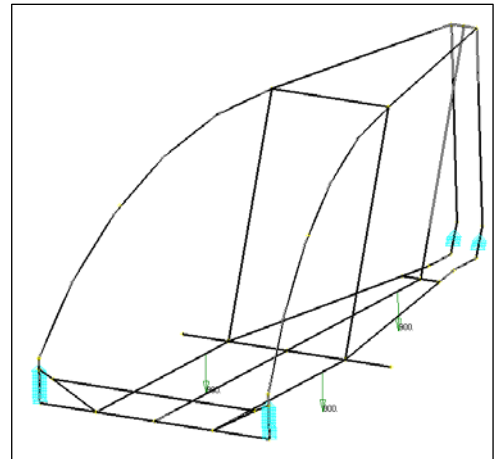
Kriterij za maksimalno pomjeranje lakih konstrukcija dat je slijedećim izrazom [7]:

$$\text{granice pomjeranja} = \left(\frac{l}{1000} \div \frac{l}{750} \right)$$

Prema navedenom izrazu, veličina pomjeranja u slučaju predloženog rama treba da se nalazi u granicama od 2,8 – 3,7 mm. Kako bi se zadovoljio dati uslov, provedeno je nekoliko numeričkih analiza konstrukcije rama, pri čemu se koristilo standardnim profilima različitih dimenzija.

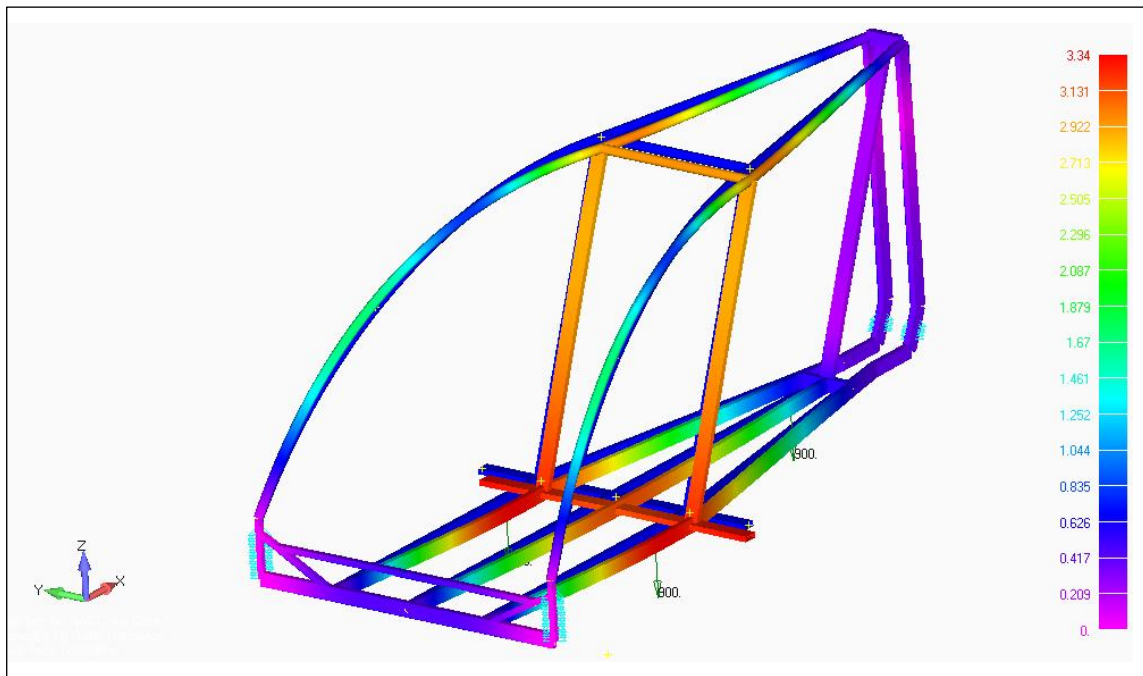
Tabela 3. Ulazni podaci i rezultati numeričkih analiza

Podaci o materijalu	
Youngov modul elastičnosti E	2,1 E5 MPa
Poissonov koeficijent ν	0,3
Podaci o FEM analizi	
Tip elementa	Beam
Veličina elementa	10 mm
Opterećenje	3x 800 N
Rezultati analiza	
Profil	Pomjeranje
40x20x1,5 φ 25x2	8,377 mm
40x20x2 φ 25x2	7,175 mm
30x20x2 φ 32x2	7,582 mm
50x20x2 φ 33,7x2	3,551 mm



Slika 4. MKE model rama

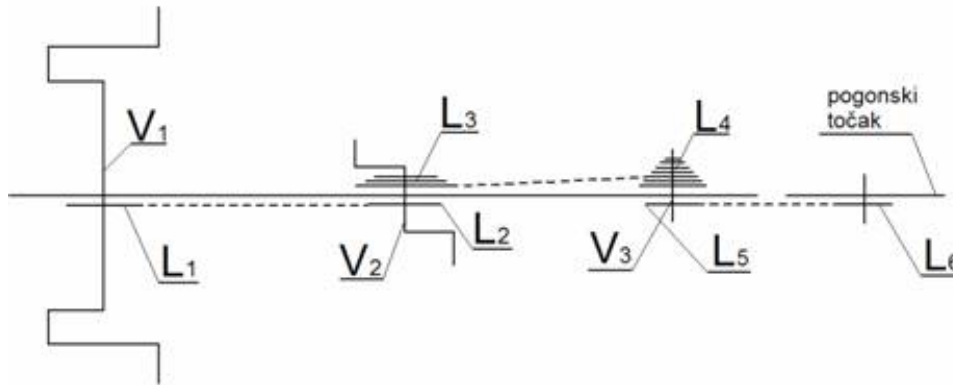
Na 3D model rama primijenjeni su odgovarajući granični uslovi, te je opterećen u tri tačke koncentrisanom silom od 800 N (što odgovara prosječnoj težini odrasle osobe). Kombiniranjem kvadratnih i kružnih profila različitih dimenzija presjeka i debljine stjenke (Tabela 3) dobivena je varijanta rama koja, usljed opterećenja koncentrisanim silama, ima najmanje deformacije u Z pravcu (maksimalna deformacija iznosila je 3,5 mm).



Slika 5. Deformacije rama usljed vanjskog opterećenja, izražene u mm

6. Pogon

Slika 6. prikazuje principijelnu šema pogona. Sistem se sastoji iz jednostepenih lančanika L_1 , L_2 , L_5 , L_6 , te trostepenog L_3 i sedmostepenog L_4 . Lančanik L_1 se nalazi na vratilu V_1 koje spaja pedale osoba 1 i 2. Sila sa lančanika L_1 se preko lanca prenosi na lančanik L_2 koji se nalazi na vratilu V_2 , na kojem se nalaze pedale osobe 3. Na istom vratilu se nalazi i trostepeni lančanik L_3 . Pomoću L_3 i sedmostepenog L_4 lančanika vrši se promjena ukupnog prenosnog odnosa pogona. Lančanik L_4 je preko vratila V_3 spojen s lančanicom L_5 . Lančanik L_5 je lancem spojen s L_6 koji se nalazi na pogonskom točku. Prenosni odnos lančanika L_1 i L_2 , te L_5 i L_6 jednak je jedinici.



Slika 6. Principijelna šema pogona

Prema preporukama, usvojeno je da osoba pritiskom noge može proizvesti silu od $F_N = 700 \text{ N}$. Razdaljina osa pedala i vratila iznosi $d_p = 170 \text{ mm}$.

Zakretni momenat na vratilu 1 iznosi:

$$T_1 = F_N \cdot d_p \cdot 2 = 700 \cdot 170 \cdot 2 = 238000 \text{ Nmm} \quad (6.1)$$

Zakretni momenat na vratilu 2 iznosi:

$$T_2 = T_1 + (F_N \cdot d_p) = 238000 + (700 \cdot 170) = 357000 \text{ Nmm} \quad (6.2)$$

Kada je *TEV* u prvoj brzini, prenosni odnos između lančanika L_3 i L_4 iznosi jedan. Prema tome, moment na vratilu 2 se prenosi i na točak.

Usvojeno je da je pola opterećenja na prednjim, a pola na pogonskom točku.

Traženo ubrzanje iznosi 1 m/s^2 (za 10 s treba da se dostigne brzina od 36 km/h).

Opterećenje točka iznosi:

$$N = Q \cdot g = 400 \cdot 9,81 \approx 4000 \text{ N}, \quad (6.3)$$

gdje je $Q = 400 \text{ N}$ ukupna težina *TEVa* sa posadom.

Usvaja se otpor od 5% od ukupne težine *TEVa* sa posadom (otpor prva dva točka i otpor zraka). Diferencijalna jednačina kretanja *TEVa* ima slijedeći oblik:

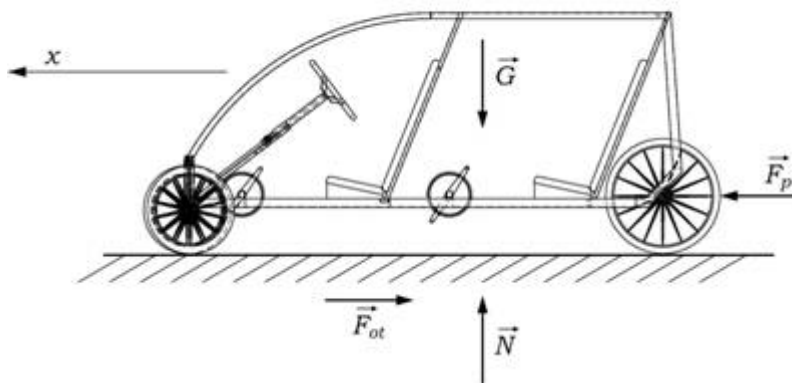
$$m \cdot \ddot{x} = F_p - F_{ot} \quad (6.4)$$

gdje su:

$\ddot{x}$ - ubrzanje u x-pravcu (usvojeno 1 m/s^2)

F_p – sila pokretanja,

F_{ot} – sila otpora.



Slika 7. TEV prilikom pokretanja

Iz izraza (6.4) slijedi:

$$400 \cdot 1 = F_p - N \cdot 0,05 ,$$

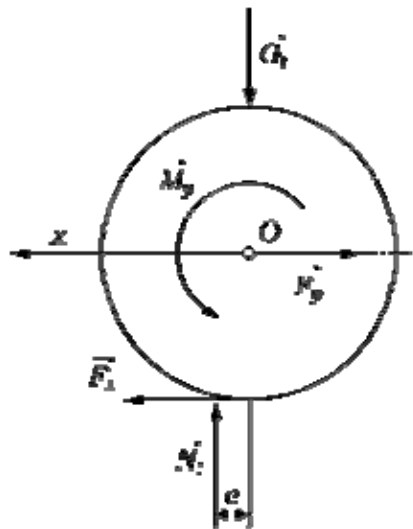
odakle je sila pokretanja jednaka:

$$F_p = 400 \cdot 1 + 4000 \cdot 0,05 = 600 \text{ N}$$

Sila pokretanja djeluje na zadnjem (pogonskom) točku.

6.1 Pogonski točak

Na slici 8. su prikazane sile na pogonskom točku prilikom pokretanja TEVa.



Slika 8. Pogonski točak prilikom pokretanja

Prema slici 8., za pogonski točak se mogu postaviti slijedeći izrazi:

$$m \cdot \ddot{x} = F_t - F_p \quad (6.5)$$

$$I_o \cdot \varepsilon = M_p - F_t \cdot d - N_t \cdot e \quad (6.6)$$

gdje su:

F_t – sila trenja klizanja,

I_o – polarni moment inercije točka,

ε – ugaono ubrzanje,

M_p – pokretni momenat,
 $d = 0,3 \text{ m}$ – poluprečnik pogonskog točka,
 $G_t = N_t = 2000 \text{ N}$ – opterećenje na pogonskom točku i
 $e = 0,035 \text{ m}$ – krak trenja kotrljanja.

Masa i polarni momenat inercije točka se zanemaruju, pa se prethodni izrazi (6.5) i (6.6) mogu napisati kako slijedi:

$$F_t = F_p = 600 \text{ N}$$

$$M_p = F_t \cdot d + N_t \cdot e = 600 \cdot 0,3 + 2000 \cdot 0,035 = 250 \text{ Nm}$$

Kako je raspoloživi momenat veći od proračunatog, može se zaključiti da će vozilo uspjeti ostvariti traženo ubrzanje od 1 m/s^2 .

Provjera proklizavanja, za koju je potreban koeficijent trenja μ , realizuje se prema izrazu:

$$F_t = N \cdot \mu \quad (6.6)$$

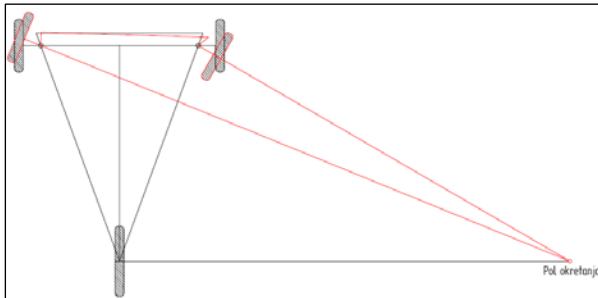
odakle slijedi:

$$\mu = \frac{F_t}{N} = \frac{600}{200} = 0,3$$

Prema preporukama, usvaja se koeficijent trenja klizanja između gume i asfalta $\mu = 0,8$, iz čega slijedi da je izračunati koeficijent trenja zadovoljavajući, što znači da neće doći do proklizavanja.

7. Mehanizam upravljanja

Posebnu pažnju treba posvetiti geometriji elemenata koji čine mehanizam upravljanja, jer pojava proklizavanja guma izaziva značajan gubitak energije i usporenje. Za rješavanje ovog problema primijenjen je Ackermannov princip.



Slika 9. Ackermannov princip upravljanja



Slika 10. 3D model mehanizma za upravljanje

Po Ackermannovom principu, u svrhu izbjegavanja proklizavanja tokom zakretanja prednjih točkova, neophodno je obezbijediti takav mehanizam upravljanja kod kojeg će se pol rotacije nalaziti na osi zadnje osovine. Kao što se može uočiti na slici 9, da bi zadovoljili Ackermannov princip, uglovi zakretanja prednjih točkova moraju se razlikovati. Ugao zakretanja unutrašnjeg točka nešto je veći od ugla zakretanja vanjskog. Ipak, i uz najbolju realizaciju Ackermannovog principa, doći će do određenog proklizavanja, zbog dinamičkog efekta (npr. vozilo teži da se kreće pravolinijski) pa usljed toga dolazi do „podupravljanja“. Ackermannov princip se postiže pomoću trapeza koji je obično okrenut prema vozilu.

Za realizaciju mehanizma upravljanja koristili su se dijelovi automobila Zastava 101 - volan letva i nosač volana.

8. 3D model TEVa

Koristeći se softverom Solid Edge v19, modelirano je 50 posebnih 3D elemenata koji su sastavljeni u sklop TEVa. Neki od karakterističnih dijelova dati su na slici 11.

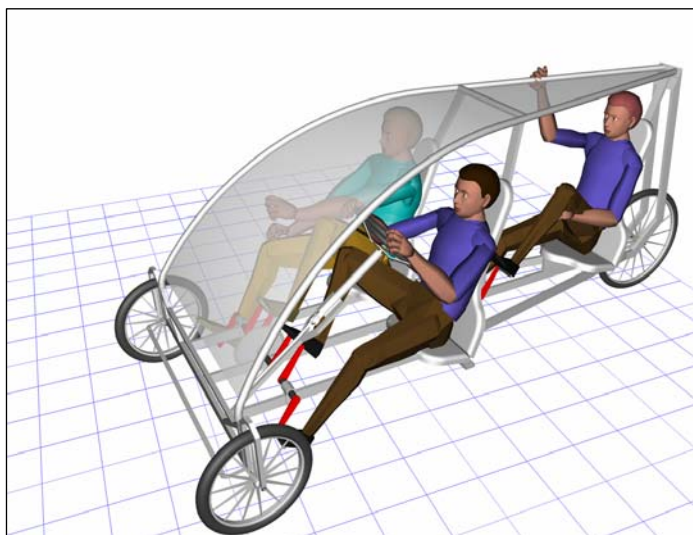


Slika 11. Neki od 3D modela koji čine sklop TEVa



Slika 12. 3D model TEVa

9. Ergonomska analiza



Na osnovu antropometrijskih zakonitosti i statističkog algoritma, kreirani su detaljni humanoidni 3D modeli koristeći se softverom Jack v5.1. Ovi modeli dovedeni su u interakciju (precizno su pozicionirani na predviđene položaje) sa 3D modelom TEVa. Na ovaj način je potvrđena ispravnost testnog modela i izvršene su potrebne korekcije visine rama.

Slika 13. Ergonomska analiza TEVa

Zaključak

Koristeći se metodikom konstruiranja i računarom podržanim metodama za 3D modeliranje, numeričke proračune na bazi metode konačnih elemenata i ergonomske analizu, razvijeno je originalno vozilo, pogonjeno pedalama za tri osobe.

Predloženo rješenje predviđeno je za primjenu u turističke svrhe, za rekreaciju, ili kao reklamno vozilo.

Analiza isplativosti proizvodnje pomenutog vozila, pokazala je da je izrada jednog vozila moguća uz troškove manje od 1000 KM.

Literatura

- [1] J. Bird and C. Ross, *Mechanical Engineering Principles*, Newnes 2002.
- [2] S. Hansen, *Applied Solid Edge*, Industrial Press, 2007.
- [3] *Jack User Manual*, UNIGRAPHIS, 2006.
- [4] D. Knudson, *Fundamentals of Biomechanics*, Springer, 2007.
- [5] B. J. Mac Donald, *Practical Stress Analysis with Finite Elements*, Glasnevil Publishing, 2007.
- [6] R. L. Norton, *Machine Design-An Integrated Approach*, Pearson Prentice Hall, 2006.
- [7] Z. Petković and D. Ostrić, *Metalne konstrukcije u mašinstvu*, Institut za mehanizaciju, Mašinski fakultet u Beogradu, Beograd, 1995.
- [8] D. Vukojević, *Dinamika*, Mašinski fakultet u Zenici, 2003.

BAKAR I NJEGOVE LEGURE BRONZE

Piljug Edin, student
Nađija Haračić, prof.Dr
Univerzitet u Zenici
Mašinski fakultet

SAŽETAK

U ovom radu je dat pregled fizičkih, hemijskih i mehaničkih osobina legura bakra- bronzi. Bakar se nalazi u grupi savremenih metalnih materijala upravo iz razloga što je našao veliku primjenu u elektrotehnici. Takođe se koriste u znatnoj mjeri i njegove legure, koje posjeduju dobre mehaničke osobine. Bakar se malo upotrebljava kao čist element ali kao legirani element veoma se koristi u savremenoj proizvodnji.

KLJUČNE RIJEČI: **bakar, legure, bronza**

ABSTRACT

Rewiew of the physical, chemical and mechanical characteristic of copper is given in this paper. The copper is in group of contemporary metallic materials because of its large usage in electrotechnic. Copper alloys used in grate quantity because of its good mechanical characteristics, also.

KEY WORDS: **copper, alloys, bronze**

UVOD

Bakar spada u teške metale. Njegova specifična težina je oko $8,93 \text{ kg/cm}^3$, a temperatura topljenja 1083°C . Bakar nema svojstva alotropskih modifikacija. Mehanička svojstva bakra su jako zavisna od stanja odnosno eventualne prethodne mehaničke ili termičke obrade. Na primjer zatezna čvrstoća u livenom odnosno žarenom stanju je oko 200 do 250 N/mm^2 . Tvrdća HB=45 do 60, a izduženje 56 do 60%. Međutim, u deformisanom stanju čvrstoća se može popeti na 400 do 500 N/mm^2 , tvrdća HB=90 do 110 a izduženje može opasti na 2 do 6 %. Bakar je veoma plastičan materijal koji se može obrađivati deformacijom, kako u hladnom tako i u toplom stanju.

Za zavarivanje bakar nije najpogodniji, jer stvara teškoće kod potrebnog brzog odvođenja toplote. Pri plinskom zavarivanju, usljed velike sklonosti upijanja plinova, može se pojaviti povećana poroznost i krtost. Bakar nije pogodan za obradu livenjem, kako zbog sklonosti za upijanje plinova, tako i zbog nedovoljne livkosti. Prema atmosferskoj koroziji i koroziji u vodi, bakar je otporan. Bakar ima izuzetno dobru električnu i toplotnu provodljivost. Oblici bakarnih polufabrikata mogu biti različiti: trake, limovi, cijevi, poluge itd.

1. OSNOVNE ODLIKE BAKRA

- a) crvenkaste boje,
- b) relativno velike zapreminske mase $\rho = 8,9 \text{ g/cm}^3$,
- c) topi se na 1083°C .
- d) odličan je provodnik električne struje, najbolji među neplemenitim metalima, ali mu primjese znatno smanjuju provodljivost,

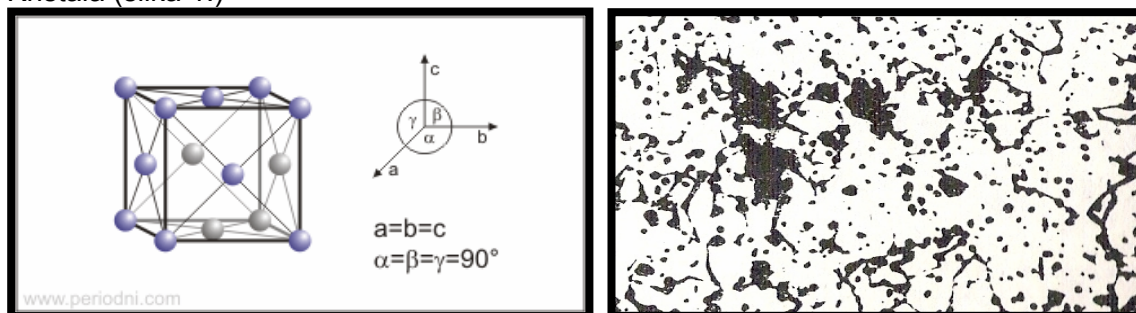
- e) dobar je toplotni provodnik,
 - f) Koroziono je otporan na vazduhu
 - g) Bakar je materijal slabe zatezne čvrstoće i veoma je istegljiv.
- Legure bakra imaju mnogo bolju zateznu čvrstoću nego čisti bakar, ali su toliko slabi provodnici toplote da su više toplotni izolatori.

1.1. Hemijska svojstva

- a) oksidira na čistom, vlažnom ili slanom zraku. Uz CO_2 nastaje patina, koja se širi do propadanja,
- b) nagrizga ga morska i obična voda, ali ne destilirana,
- c) razara ga amonijak i sumpor, pa se ne smije izravno na njega postavljati gumena izolacija,
- d) otapa se u dušičnoj i sumpornoj kiselini

1.2. Mikrostrukturne osobine bakra

Bakar ima kubnu površinski centriranu rešetku i strukturu oblika poliedarskih Kristala (slika 1.)



Slika 1. Mikrostruktura bakra u žarenom stanju[3]

Povećanje mehaničkih svojstava bakra moguće je samo putem hladne plastične deformacije. Sa povećanjem stepena hladne deformacije dolazi do znatnog porasta svojstva čvrstoće, a plastičnost se smanjuje. Čist bakar se loše lije, jer rastvara gasove sa kojim dolazi u dodir, kao što su kiseonik, ugljen-dioksid i dr. Pri očvršćavanju on ispušta te gasove i na mjestu gdje je bio gasni mjehur ostaje pora. Tako se odlivku slabe mehanička svojstva. Zato mu se dodaje fosfor za dezoksidaciju, čime mu se sposobnost livenja znatno poboljšava. Odlično se lemi. Dobro se legira sa mnogim metalima, i to: cinkom, aluminijumom, silicijumom, olovom i dr.; zbog čega ima veliki broj legura. U odnosu na čisti metal, legure imaju mnogo bolja mehanička svojstva, mnogo manju električnu provodljivost, mnogo se bolje lije i pogodnije su za obradu rezanjem.

Razlikuju se dvije glavne vrste čistog bakra: rafinirani i elektroitički. Pod rafiniranim bakrom podrazumijeva se bakar dobijen rafinacijom (pirometalurškim ili elektrometalurškim putem), koji sadrži najmanje 99,70 % bakra. Osim kiseonika i ostataka od dezoksidacije (fosfor, litijum), bakar sadrži samo dozvoljene nečistoće, koje nisu uklonjene postupkom rafinacije. Upotrebljava se za valjanje limova i traka i za izradu šipki, profila i cijevi izvlačenjem. Elektroitički bakar sadrži najmanje 99,9 % bakra i koristi se u elektrotehnici.

2. LEGURE BAKRA

2.1. Legure bakra bez cinka — bronzе

Legure bakra bez cinka — bronzе su dvo, tro i složene Cu-legure:

- Kalajna bronza — legure Cu-Sn
- Aluminijum bronza — legure Cu-Al
- Niklova bronza — legure Cu-Ni
- Olovna i olovnokalajna bronza — legure Cu-Pb i Cu-Sn-Pb

- Silicijum bronza — legure Cu-Si
- Berilijum bronza
- Manganova bronza.

2.2. Ležišne legure

Pri izboru materijala za klizne ležaje obično nisu od presudnog značaja njegove mehaničke osobine, već je mnogo značajnije ponašanje materijala pod uticajem trenja. Pri tome se ima u vidu kako opća otpornost prema habanju, tako i ponašanje u uslovima nedovoljnog podmazivanja do kojeg povremeno dolazi u eksploataciji. Mada postoji veći broj različitih antifrikcionih legura, sve one treba da odgovaraju slijedećim osnovnim zahtjevima:

- mali koeficijent trenja,
- otpornost prema habanju, kao i svojstvo da ne izazivaju veliko habanje drugog kliznog elementa,
- sposobnost podnošenja velikih specifičnih pritisaka (kako na normalnim tako i na povišenim temperaturama),
- relativno dobra plastičnost (meka metalna osnova) kako bi se moglo izvršiti potrebno prilagođavanje površini rukavca (odnosno izravnale mikro i makro neravnine i površinske greške) i time obezbjedio što ravnomjerniji raspored opterećenja po površini ležista,
- sposobnost osnove da primi pohabane tvrde djelice i sačuva rukavac od većeg habanja,
- sposobnost zadržavanja maziva,
- sposobnost dobrog odvođenja toplote,
- otpornost prema koroziji, a naročito u odnosu na mazivo.

2.4. Bronza

Pod bronzom se podrazumijeva legura bakra i kalaja. Međutim, šire posmatrano, to ne mora biti dvojna legura niti kalaj mora biti legirajući element (pa zbog toga pored kalajne postoji i aluminijaska, olovna, manganska i druge bronzе. To je dvojna ili trojna slitina s najmanje 60 % bakra, a bez cinka kao glavnog dodatnog elementa. Bronce ime dobivaju prema glavnom dodatnom elementu.

2.4.1. Kalajna bronza



Slika.2. Proizvodi od bronzе

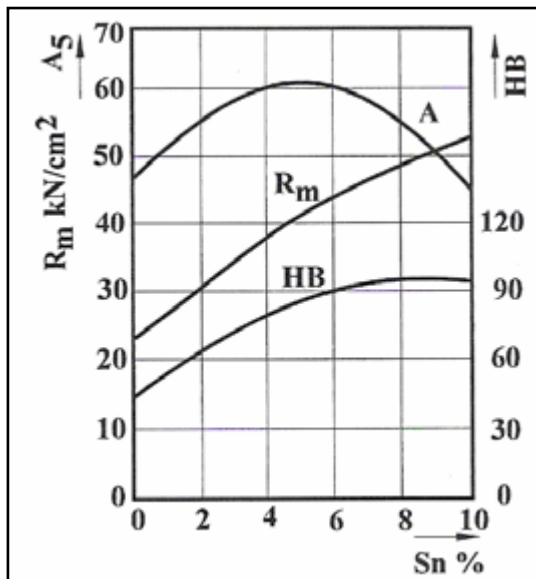
U kalajnim bronzama najveći sadržaj kalaja ne ide preko 20%. Prisustvo kalaja u leguri utiče na povećanje njene čvrstoće i istovremeno opadanje plastičnosti. Ovo opadanje plastičnosti nije posebno veliko do sadržaja kalaja do 5%, ali je poslije toga znatno brže.

Zbog toga je kod bronzе za livenje sadržaj kalaja veći nego kod bronzе za obradu deformacijom. Čvrstoća raste sve do 15% kalaja, a zatim počinje da opada, kao što je prikazano na slici 3.

Kalajne bronzе se s obzirom na osnovnu tehnološku namjenu dijele na bronzе za obradu deformacijom i bronzе za

livenje. Mehanička svojstva kalajnih bronzе za gnječenje zavise kako od njenog sastava tako i

od stanja odnosno stepena prethodne plastične deformacije u hladnom stanju. U tom smislu se kod bronzi za gnječenje razlikuju stanja: meko, žareno, polutvrdo, tvrdo i opružno tvrdo.



Slika 3. Mehanička svojstva bronze u zavisnosti od sadržaja kalaja [3]

Bronze za livenje imaju svojstvo dobrog ispunjavanja kalupa, ali su ujedno veoma otporne prema habanju i koroziji što ih čini posebno pogodnim za izradu kliznih ležišta, pužnih prenosnika, dijelova pumpi i slično. Uopće se može reći da je kod kalajne bronze ostvarena pogodna kombinacija dobre korozivne otpornosti, obradivosti i mehaničkih svojstava. Ovome treba dodati i dobru obradivost rezanjem. Rastvorljivost kalaja u bakru zavisi od temperature legure. Tako najveća rastvorljivost iznosi 15,8% na temperaturi od 520°C. Povećanjem temperature opada rastvorljivost na 13,5% Sn na temperaturi 790°C,

a snižavanjem temperature rastvorljivost opada na 1,3% Sn na temperaturi 200°C.

Struktura livenih bakar-kalajnih legura značajno odstupa od ravnotežne strukture jer se u legurama već pri sadržaju 6% Sn javlja pored nejednorodnog α -čvrstog rastvora bogatog olovom i eutektik $\alpha+\delta$. Nastanak veoma krte δ faze u strukturi kalajne bronze onemogućava plastičnu preradu zbog čega se bronze sa sadržajima Sn većim od 5-6% koriste isključivo kao legure za livenje. Kalajna bronza se odlikuje dobrom livkošću i malim skupljanjem koje iznosi <1%, što je u odnosu na liveno gvožđe i čelični liv znatno manje. Najveća zatezna čvrstoća je za kalajnu bronzu sa oko 12% kalaja, a pri nešto većem sadržaju javlja se nagli pad sposobnosti deformacije usljed pojave δ -faze.

Prema tehnološkoj namjeni kalajne bronze mogu se podijeliti na: legure za gnječenje i legure za livenje.

2.4.1.1. Legure bakra sa kalajem-kalajne bronze za gnječenje

Kalajne bronze za gnječenje u svom sastavu imaju 3-10% kalaja i dodatak malih količina fosfora. Kalajna bronza tipa CuSn5 primjenjuje se za kablovske spojnice, papuče, opruge koje provode električnu struju. Kalajna bronza tipa CuSn7 primjenjuje se za opruge svih vrsta za elektroindustriju, savitljive cijevi manometara, mreže za sita, klizajuća tijela i slično.

Kalajna bronza tipa CuSn9 koristi se isto kao kod tipa CuSn7 ali u slučajevima kada je potrebna još veća otpornost na habanje, a i veća koroziona postojanost. Na svojstva čvrstoće kalajne bronze utiče primijenjeni stepen hladne deformacije. Tako sa porastom procenta deformacije raste tvrdoća, zatezna čvrstoća i granica tečenja.

Posljednjih godina, s obzirom na cijenu kalaja, primjenjuju se bronze u kojima se kalaj zamjenjuje cinkom. Radi poboljšanja obradivosti rezanjem ovim legurama se dodaje olovo, a radi povećanja zatezne čvrstoće legurama se dodaje nikl ili mangan.

2.4.1.2. Legure bakra sa kalajem-kalajna bronza za livenje

Kalajne bronze za livenje imaju u svom sastavu 9-15% kalaja sa dodatkom fosfora koji igra ulogu dezoksidansa radi odstranjivanja vrlo krutih uključaka oblika oksida kalaja SnO. Kalajna bronza ima veoma malo skupljanje, ispod 1 %, zbog čega se ona može primijeniti i za umjetnički liv. Međutim, ima slabu žitkost zbog čega se u cjelokupnoj zapremini javljaju sitne pore koje umanjuju hermetičnost. Kalajna bronza tipa P.CuSn12 je jedna od najčešće primijenjenih bronzi ovog tipa, a koristi se za izradu kliznih ležišta i kliznih ploča.

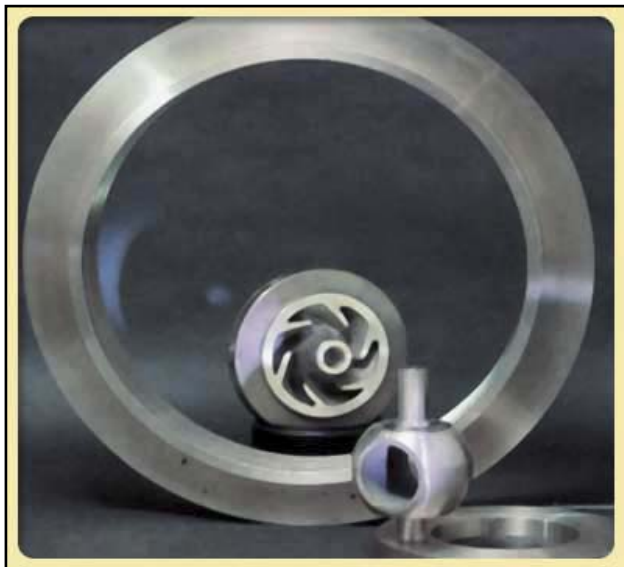
Kalajne bronzе tipа P.CuSn10 i N.CuSn10 su veoma otporne na habanje i primjenjuju se za armature, pužne točkove, klizna ležišta i slično.

Kalajne bronzе se radi poboljšanja svojstava termički obrađuju putem homogenizacionog žarenja, rekristalizacionog i žarenja radi otklanjanja unutrašnjih napona. Žarenje radi otklanjanja unutrašnjih napona izvodi se zagrijavanjem na 200°C poslije izvedenih tehnoloških procesa kao što su livenje i topla plastična obrada. S obzirom na navedena svojstva kalajne bronzе se najčešće koriste za mašinske dijelove koji su izloženi jakim trenju, pritisku, dinamičkom opterećenju i korozionim uticajima. U tabelama 1 i 2 dat je pregled legura bakra za livenje sa naznakom primjene. Tabele 3 i 4 daju pregled i primjenu legura bakra koje se koriste za gnječenje.

Od livenih kalajnih bronzі izrađuju se klizna ležišta, pužni prenosnici, dijelovi pumpi, različita armatura. Kalajne bronzе za gnječenje služe za izradu opruga, zavrtnjeva, žičanog pletiva, kondenzatorskih cijevi. Legure bakra, koje kao osnovni dodatak sadrže kalaj, čine bazni tip bronzі. Te legure imaju visok nivo čvrstoćnih karakteristika, otporne su na habanje i koroziono su postojane. Na slici 4. dat je binarni sistem Cu-Sn. Sa gledišta sadržaja kalaja u bronzama moguće ih je podijeliti na četiri osnovna tipa:

- Legure, sa sadržajem Sn do 8 %, predviđene za izradu limova i žica. Ove su legure plastične i deformabilne na hladno.
- Legure, sa sadržajem Sn 8-12 %, koriste se za izradu mašinskih elemenata, visoko opterećene težaje, otporne na koroziju, npr. u morskoj vodi.
- Legure, sa sadržajem Sn 12-20 %, široko se koriste za težajeve.
- Legure, koje sadrže 20-25 %Sn, koriste se za izradu crkvenih zvona. Ove legure su veoma tvrde i relativno krte, pa se koriste u livenom stanju. Ipak je samo mali broj tehnički korištenih bronzі sastoji samo od bakra i kalaja. Naime obično su tehničke varijante bronzі kompleksnije legirane, da bi se dostigao viši nivo traženih mehaničko-metalurških osobina.

2.5. Aluminijumska bronza



Legure bakra sa aluminijumom i drugim pratećim elementima (mangan, nikl, željezo i dr.) u praksi se nazivaju aluminijumske bronzе i usvom sastavu imaju najviše do 11,5% aluminijuma.

Rastvorljivost aluminijuma u bakru iznosi 9,4% i ona se ne mijenja pri zagrijavanju do temperature 565°C, a daljim zagrijavanjem ta rastvorljivost opada do sadržaja 7,5%. Povećanjem sadržaja aluminijuma preko 9,4%Al pored α -faze javlja se β -faza koja se pri naglom hlađenju-kaljenju na temperaturi 850-900°C raspada na dvije faze, odnosno u α -fazu i β -fazu.

Povećanjem sadržaja aluminijuma u leguri sistema Cu-Al raste zatezna čvrstoća, dok sposobnost deformacije sa povećanjem sadržaja aluminijuma opada do 2%Al, a zatim raste i postiže svoj maksimum pri 8%Al. U praksi se u legure bakra i aluminijuma dodaje: željezo koje utiče na sitnozrnost strukture što utiče na povećanje čvrstoće, tvrdoće i otpornosti na habanje, zatim nikal koji utiče na povećanje toplotne i električne provodljivosti, a povećava i gustinu odlivka i mangan koji utiče na povećanje svojstava čvrstoće i smanjenje plastičnosti uz povećanje otpornosti prema koroziji, posebno prema morskoj vodi. Pored spomenutih elemenata u aluminijumskim bronzama se javlja arsen, antimon, olovo, cink, silicijum i drugi.

2.5.1. Aluminijumska bronza za gnječenje

Aluminijumske bronzе se odlikuju dobrim kliznim svojstvima i čvrstoćom, koja se približava vrijednostima čvrstoće ugljičnih čelika, zbog čega u potpunosti zamjenjuju kalajne bronzе, što je zbog deficitarnosti kalaja veoma značajno. Aluminijumske bronzе za gnječenje koriste se u hemijskoj i prehrambenoj industriji radi: visoke čvrstoće pri povišenim temperaturama, visoke dinamičke čvrstoće, visoke otpornosti prema koroziji, otpornosti prema vodi a posebno prema morskoj vodi, dobre vatrootpornosti i dobre postojanosti prema eroziji.

Aluminijumska bronza tipa CuAl5 se primjenjuje u hemijskoj industriji i rudarskim postrojenjima.

Aluminijumska bronza tipa CuAl8 je veoma otporna prema sumpornoj i sirćetnoj kiselini i morskoj vodi.

Aluminijumska bronza tipa CuAl8Fe3 primjenjuje se u hemijskoj industriji za vatrootporne predmete.

Aluminijumske bronzе se radi poboljšanja svojstava termički obrađuju putem rekristalizacionog žarenja, kaljenja i otpuštanja i žarenja radi otklanjanja unutrašnjih napona. Kaljenje i otpuštanje aluminijumskih bronzi koristi se kod tipova bronzi koje u svom sastavu imaju iznad 9,5%Al. Operacija kaljenja sastoji se iz zagrijavanja na temperaturi 850-900°C i naglog hlađenja u vodi. Zagrijavanjem iznad temperature 850°C u strukturi se javlja samo β faza, koja pri hlađenju nekom brzinom većom od kritične brzine hlađenja, se transformiše putem bezdifuzionog procesa (kao i kod kaljenja čelika) u igličastu strukturu meta-stabilnu fazu koja se odlikuje znatno većom tvrdoćom. Poslije kaljenja aluminijumskih bronzi u vodi vrši se otpuštanje na temperaturama 300-565°C. Tako npr. otpuštanjem na temperaturi 300°C dobija se tvrdoća 185HB, a na temperaturi od 450°C, tvrdoća 160HB. Žarenje radi otklanjanja unutrašnjih napona izvodi se zagrijavanjem na temperaturi 150-220°C u toku nekoliko časova.

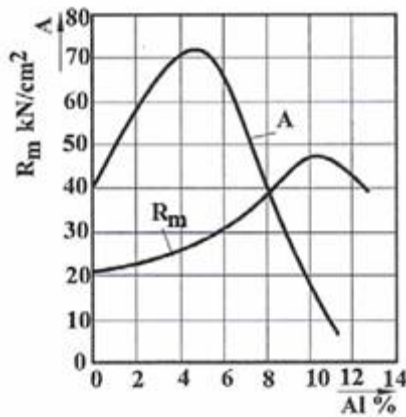
2.5.2. Aluminijumska bronza za livenje

Aluminijumske bronzе za livenje sklone su nastajanju krupnozrnaste strukture radi čega se često odlivci brzo hlade, npr. poslije livenja u kokilama na vazduhu, a ponekad i u vodi. Pored toga legure sistema Cu-Al imaju uski interval kristalizacije zbog čega im je odlična livkost, ali je kod njih zato prisutna pojava kontrakcije – šupljine-lunkera.

Aluminijumska bronza tipa p.CuAl10Fe3 i K.CuAl10Fe3 zbog dodatka željeza ima znatno veću čvrstoću radi čega se koriste za armature oblika odlivaka, za hemijsku i prehrambenu industriju od kojih se zahtijeva otpornost prema kiselinama i visoka čvrstoća.

Aluminijumska bronza tipa P.CuAl11Fe6Ni5 koristi se za veoma opterećene pužne prenosnike, klizna ležišta i slično.

U aluminijumskim bronzama sadržaj aluminija iznosi najčešće do 13%, a najbolja čvrstoća se postiže pri sadržaju aluminija oko 10%. Ovim bronzama se zbog poboljšanja mehaničkih svojstava dodaju često manje količine željeza, mangana i nikla. Pored dobre čvrstoće, aluminijumske bronzе se odlikuju i velikom otpornošću prema koroziji zbog čega se mnogo upotrebljavaju u hemijskoj industriji. Na mehaničke osobine aluminijumske bronzе utiče hemijski sastav i prethodna mehanička i termička obrada (sl.5.).



Slika 5. Zavisnost zatezne čvrstoće i izduženja aluminijске bronzе od sadržaja aluminija[3]

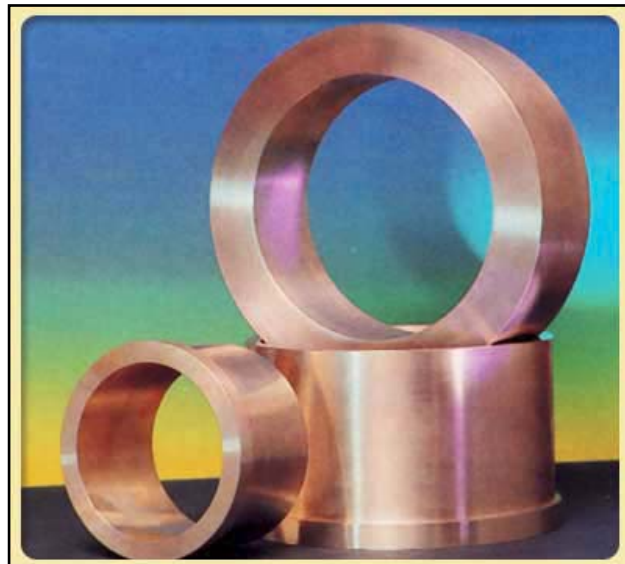
2.5.3. Kalajna i olovno kalajna bronza

Legure bakra sa olovom i legure bakra sa olovom i kalajem, koje se u praksi nazivaju olovno i olovno kalajna bronza, imaju najširu primjenu kao antifrikcioni materijal.

Olovna bronza tipa P.CuPb25 koristi se za jako napregnuta klizna ležišta sa čeličnim školjkama, npr. kod klipnjača za motore sa unutrašnjim sagorijevanjem.

Olovno kalajna bronza tipa P.CuPb5Sn10 ima srednju čvrstoću, veoma dobru otpornost prema habanju i veoma je postojana prema sumpornoj i hlorovodičnoj kiselini. Primjenjuje se za klizna ležišta sa većim specifičnim pritiscima.

Olovno-kalajna bronza tipa P.CuPb10Sn10 odlikuje se veoma dobrom otpornošću prema koroziji i dobrim kliznim svojstvima. Primjenjuje se za klizna ležišta sa velikim specifičnim pritiscima, npr. kod ležišta na vozilima.



Slika 6. Proizvodi od bronzе

Olovno kalajna bronza tipa CuPb15Sn8 koristi se za veoma velike specifične pritiske kakvi su kod ležišta valjaoničkih stanova kao i najopterećenija ležišta sa čeličnom školjkom. Veoma je otporna prema sumpornoj kiselini.

Olovno kalajna bronza tipa CuSn5Pb22 je veoma meka legura odličnih kliznih svojstava. Veoma je otporna prema sumpornoj kiselini. Podesna je za ležišta koja se slabo

podmazuju. Primjenjuje se takođe za izradu kliznih ležišta valjaoničkih stanova, mlinskih mašina, pumpi, stanova za hladno valjane limove. Postoje poteškoće u tehnologiji livenja što se otklanja posebnim tehnološkim mjerama. Sadržaj olova u olovnim bronzama može biti vrlo različit i kreće se od 4 do 35%. Pored olova one mogu da sadrže još kalaja (11%), nikla i cinka (3 do 4 %).

2.5.4. Manganske bronzе

Manganske bronzе sadrže u sebi najčešće 5-6%Mn i one se mogu plastično obrađivati na hladno usljed čega ojačavaju. Vrlo često manganske bronzе u sebi sadrže i druge elemente kao npr.: nikal, aluminijum i silicijum.

Manganske bronzе mogu u svom sastavu imati i 12-15%Mn i drugih legirajućih elemenata, ali se ova vrta bronzа može samo plastično obrađivati na toplo.

U praksi je poznato više vrsta manganskih bronzа ali one nisu predviđene našim standardima radi čega se posebno i ne analiziraju.

2.5.5. Silicijumska bronzа

Silicijumske bronzе u svom sastavu imaju 3-4%silicijuma koji veoma povoljno djeluje na poboljšanje livkosti i ispunjavanje kalupa i veoma lijepu i čistu površinu. Silicijumske bronzе koje se primjenjuju u praksi u svom sastavu pored bakra i silicijuma imaju i mangana, željeza, fosfora, antimona, bizmuta i dr. Međutim one, našim standardima nisu predviđene.

2.5.6. Berilijumska bronzа

Berilijumske bronzе u svom sastavu imaju 1,9-2,6% berilijuma ali i drugih legirajućih elemenata kao što su nikal, kobalt, cink i dr. ali one nisu predviđene našim standardima.

Osnovne odlike berilijumskih bronzа su veoma dobra mehanička svojstva, visoka tvrdoća i elastičnost, a koriste se u elektrotehnici za elemente od kojih se u radu javljaju iskre, npr.membrane, opruge i slično. Veoma su otporne na koroziju, zavarljive su, a dobro se obrađuju rezanjem.

2.5.7. Fosforna bronzа

U legurama bakra sa kalajem - kalajnoj bronzі sadržaj fosfora se kreće najviše do 0,4%. Međutim, taj se sadržaj povećā čak i do 1% fosfora kada govorimo o fosfornoj bronzі koja nije predviđena našim standardima. Učešće fosfora u leguri povećā tvrdoću i čvrstoću, poboljšā livkost, a takođe otpornost prema koroziji u atmosferskoj i morskoj vodi. Međutim, učešće fosfora preko 0,2% u leguri stvara vrlo krto hemijsko jedinjenje Cu_3P koje gradi eutektikum koji se javlja u prostoru između dendritnih kristala. Isto tako fosfor izaziva sklonost legure ka segregaciji elemenata i nepovoljno utiče na jednorodnost strukture. Fosforna bronzа se primjenjuje za izradu kliznih ležaja opterećenih dinamičkim opterećenjima u koroziono aktivnim sredinama.

2.5.8. Kadmijeva bronzа

Kadmijeva bronzа sadrži do 1% Cd, nema Sn, a pokazuje 85% vodljivosti Cu. Istovremeno ima 50% veću čvrstoću od bakra. Upotrebljā se za kablove, za elektrode za tačkasto zavarivanje, za vodove za velike udaljenosti, itd.

2.5.8. Berilijeva bronzа

Berilijeva bronzа sadrži do 2,5% Be. Ima prekidnu čvrstoću 5x veću od bakra, vrlo je elastična i ne oksidira. Upotrebljā se za membrane i elektrode za varenje.

3. ZAKLJUČAK

Bakar nalazi upotrebu u svim privrednim djelatnostima u savremenoj proizvodnji. Najviše se koristi u elektrotehnici, hemijskoj i prehrambenoj industriji, zrakoplovnoj industriji i automobilske industriji. Za razliku od čistog bakra bronza se odlikuje visokom tvrdoćom, otpornošću prema habanju, visokim čvrstoćama pri povišenim temperaturama, visokom dinamičkom čvrstoćom, visokom otpornosti prema koroziji, otpornosti prema vodi, a posebno prema morskoj vodi, dobroj vatrootpornosti itd.

Bronza se koristi za izradu kliznih ležaja opterećenih dinamičkim opterećenjima u korozivnim sredinama, za veoma opterećene pužne prenosnike, klizna ležišta, koriste se za izradu mašinskih elemenata i slično.

4. LITERATURA

- [1.] Haračić N.: Materijali I –Predavanja, Mašinski fakultet Zenica, 2007/08.
- [2] Hađžipašić A. : Materijali u Mašinstvu, Zenica 2000.god.
- [3] Đukić V.: Metalni materijal, Beograd 1989.god.
- [4] Mamuzić I.: Teorija plastične deformacije metala, Sisak 2000.god.
- [5] Oruč M., Sunulahpašić N.: Savremeni metalni materijali, Metalurški fakultet, Zenica
- [6] Internet-baze podataka

DINAMIČKO ISPITIVANJE MATERIJALA

Kemal Gutlić, student
Dr Nađija Haračić, prof.
Univerzitet u Zenici
Mašinski fakultet

Abstrakt

Značaj ispitivanja metala za razvoj tehnike te današnja dostignuća na polju gradnje automobila, željeznica svemirskih letjelica, brodova, turbina, itd. je izvanredno veliki. Veoma rasprostranjena primjena metala kao građevinskih materijala pripisuje se prvenstveno njihovim veoma podesnim mehaničkim osobinama koje se ispituju jednim od mehaničkih postupaka ispitivanja.

Ispitivanja materijala se vrše ne samo radi utvrđivanja osobina prilikom proizvodnje ili prijema već i u svrhu utvrđivanja načina upotrebe i odgovornosti ali i u cilju poboljšanja osobina kako bi se dobili materijali za nove proizvode, odnosno nova područja primjene. Svakodnevni tehnički razvoj prati izvođenje novih i usvršavanje postojećih metoda i postupaka ispitivanja. Ovaj rad je napisan po nazivima i označavanjima mehaničkih osobina, koje su usklađene sa EN i ISO standardima.

Keywords : NDT– Nil Ductility Transition , Plane Strain Fracture Toughness, Stress - Number curve ,Fracture Mechanics

UVOD

1.1. Temeljni zadaci ispitivanja materijala

Temeljni zadaci ispitivanja materijala su:

- Određivanje pogodnih veličina za karakterizaciju svojstava materijala i njihovo kvantitativno izdržavanje u obliku upotrebljivih karakteristika
- Kontinuirana i široka automatizirana kontrola promjena svojstava materijala, koje nastaju kod proizvodnje, prerade i obrade materijala s otkrivanjem mogućih grešaka materijala
- Periodična kontrola stanja materijala nakon određenog vremena eksploatacije
- Istraživanje slučajeva raznih oštećenja i uzroka lomova mašinskih dijelova u eksploataciji
- Razvoj novih materijala.

1.2. Opšta podjela svojstava materijala

Opšta podjela svojstava materijala koji se primjenjuju u tehnici je na: mehanička, tehnološka, hemijska, fizička, eksploataciona.

Temeljna svojstva materijala su mehanička: čvrstoća, napon tečenja, modul elastičnosti, izduženje, žilavost, tvrdoća, dinamička izdržljivost. Karakteristika materijala predstavlja mjerljivu veličinu materijala, koje se može brojčano odrediti pomoću standardizovanih metoda ispitivanja, npr. čvrstoća nekog čelika.

Tehnološka svojstva materijala pokazuju njegovu sposobnost za obradu različitim postupcima.

Hemijska svojstva su hemijski sastav materijala i otpornost na koroziju.

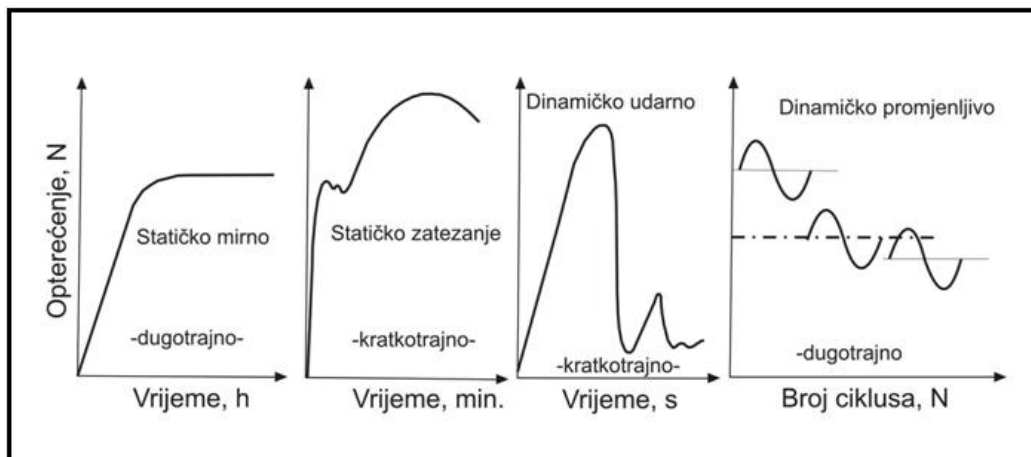
Eksplotaciona svojstva pokazuju otpornost materijala u upotrebi.

2. MEHANIČKA ISPITIVANJA

2.1. Opšta podjela mehaničkih svojstava :

Opšta podjela mehaničkih svojstava i uslova ispitivanja su sljedeća :

1. Prema načinu djelovanja opterećenja na : zatezanje, pritisak, savijanje, uvijanje, smicanje, te kombinacije kao zatezanje i pritisak itd.
2. Prema brzini djelovanja opterećenja na : statičko i dinamičko
3. Prema temperaturi ispitivanja na : sobnoj, povišenoj i na sniženoj temperaturi
4. Prema trajanju djelovanja opterećenja na : kratkotrajna i dugotrajna opterećenja

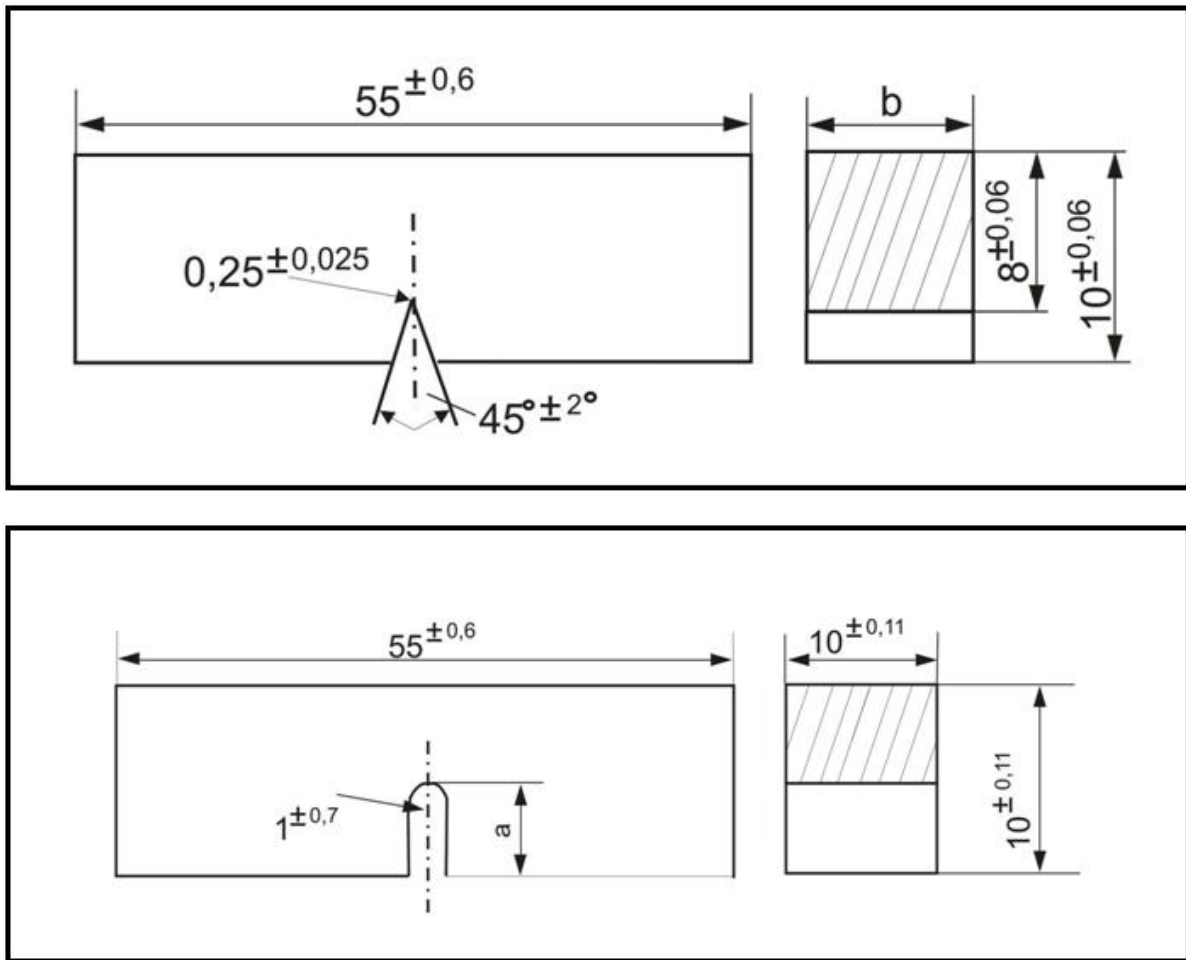


Slika 1. Uporedni pogled statičkih i dinamičkih opterećenja [1]

3. DINAMIČKE METODE ISPITIVANJA

3.1 Ispitivanje udarne radnje loma

Ispitivanje udarne radnje loma zarezane epruvete po Charpyju je jedno od najstarijih mehaničkih metoda ispitivanja materijala u eksploatacionim uslovima, a služi za utvrđivanje njegove otpornosti prema krutom lomu. Na Charpyjevu klatnu ispituje se jednim udarcem s brzinom obično 5 do 5,5 m/s zarezane epruvete (s U-zarezom ili V-zarezom - slika 2.). Radnja (energija) utrošena za lom epruvete (izražena u džulima J) je mjera žilavosti materijala, a zahtjeva se i kod razvoja novih materijala, kod provjere gotovih materijala, te kod analize loma usljed raznih kvarova u praksi.



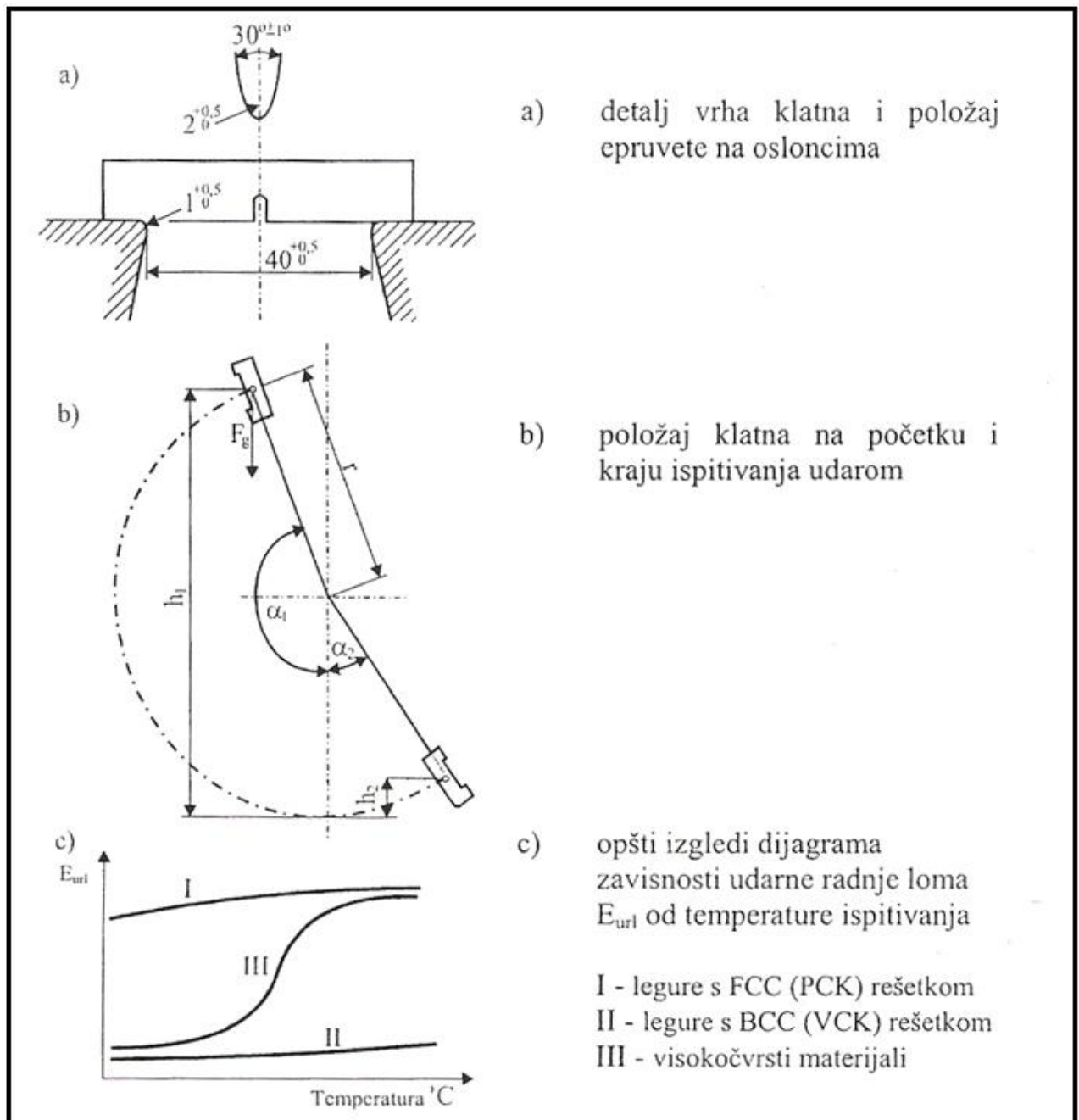
Slika 2. Izgled epruvta sa V-zarezom odnosno U-zarezom [1]

Pri ispitivanju epruveta se postavlja centrično na oslonac sa razmakom od 40 [mm] (slika 3.), a klatno slobodnim padom udara tačno u njezinu sredinu sa suprotne strane od zareza i lomi je jednim udarcem. U početnom položaju potencijalna eanergija Carpyjevog klatna obično iznosi 300, 150, ili 100 [J]. Nakon puštanja klatna njgova potencijalna enargija pretvara se u kinetičku. Dio te energije utrošen na lom epruvete naziva se udarna radnja loma. Udarna radnja loma metalnih materijala se ispituje normiranim (standardiziranim) epruvetama kvadratnog ili pravougaonog poprečnog presjeka sa zatezom u obliku slova U (oznaka KU) ili slova V (oznaka KV), slika 2.

Formule za izračinavanje potencijalne energije i udarne radnje loma glase :

$$E_{\text{pot}} = F_g \cdot h_1, \quad [\text{J}]$$

$$E_{\text{url}} = F_g \cdot (h_1 - h_2), \quad [\text{J}]$$



Slika 3. Ispitivanje udarom po Charpy-ju [1]

Za utvrđivanje važnog svojstva žilavosti materijala ispituju se tri iste epruvete na propisanoj temperaturi, pri čemu nesmiye biti veće rasipanje vrijednosti od 30% u odnosu na minimalnu propisanu vrijednost (samo jedna od njih može imati nižu vrijednost). U standardima za prijem i isporuku metalnih materijala propisane su minimalne srednje vrijednosti udarne ranje loma. Sljedeća formula se odnosi na izračunavanje žilavosti K :

$$K = KV \text{ (ili } KU \text{)} / S$$

3.2 UTICAJNI FAKTORI NA ŽILAVOST MATERIJALA

Tabela 1. Ostale epruvete žilavosti za metalne materijale [1]

Naziv epruvete	Oznaka	Dimenzije, mm	Površina lomnog presjeka, cm ²
Epruveta njemačkog udruženja za ispitivanje materijala	DVM (3 U)	10*10*55	1(1-0,30) = 0,70
Pravougaona epruveta njemačkog udruženja	DVMF (4U)	8*10*55	0,8(1-0,40) = 0,48
Messenger epruveta	Mes (2U)	10*10*55	1(1-0,20) = 0,80
Mala epruveta njemačkog udruženja	DVMK	6*6*44	0,60(0,60-0,20) = 0,24
Epruveta udruženja švicarske mašingradnje	VSM (2,5 U)	10*10*55	1(1-0,25) = 0,75

Epruvete s V-zarezom obavezno se koriste za određivanje udarne radnje loma opštih konstrukcionih čelika (npr. Č. 0561), a epruvete sa U-zarezom kod ispitivanja svojstava kvalitetnijih čelika (npr. Čelici za poboljšanje kao Č.1531, Č. 4732 i sl.).

Na žilavost materijala utiče niz faktora kao što su :

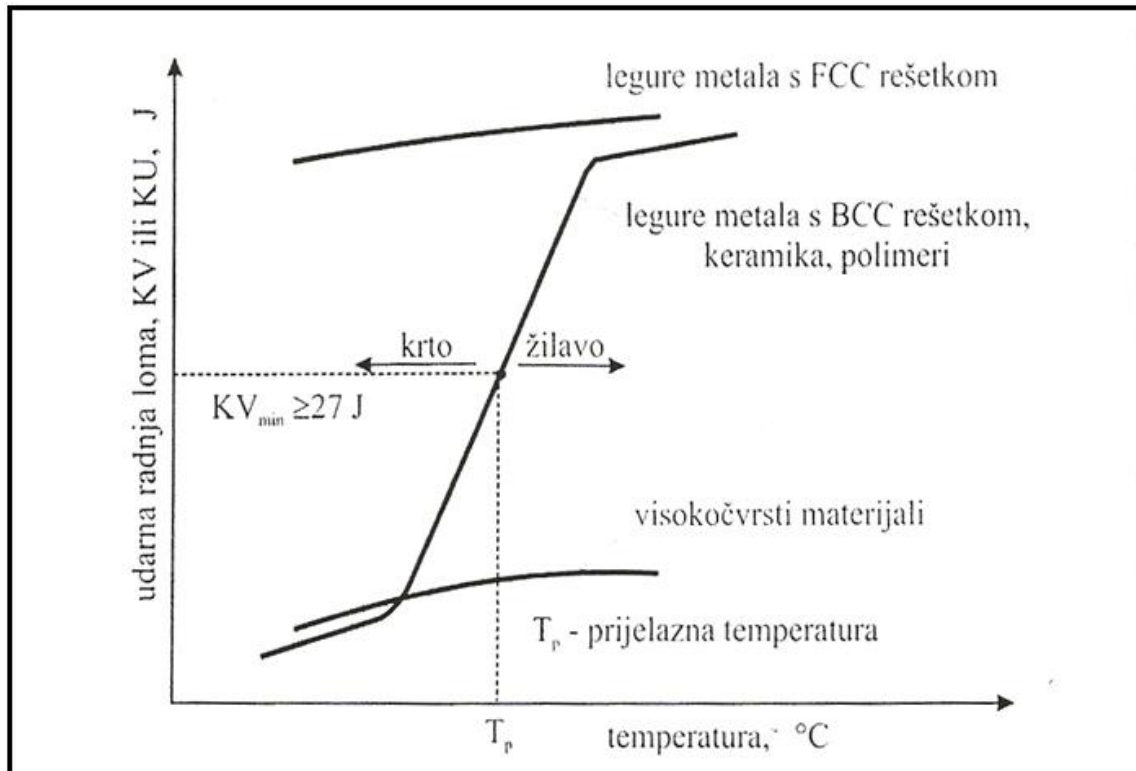
Temperatura ispitivanja
Mikrostruktura (osobito veličina zrna)
Oblik i dimenzije zareza
Dimenzije epruvete
Brzina udara

3.1.1. TEMPERATURA ISPITIVANJA

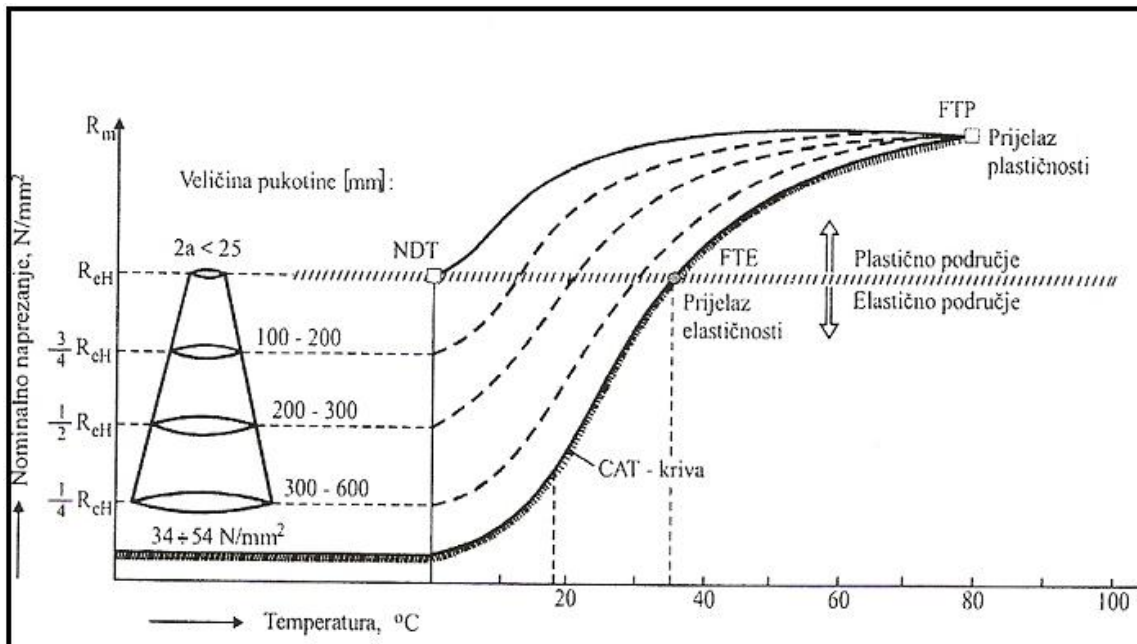
Temperatura ispitivanja ima najveći uticaj na žilavost, odnosno na udarnu radnju loma. Žilavost materijala općenito opada sa snižavanjem temperature ispitivanja. To je općenito zbog toga što se snižavanjem temperature snižava i plastičnost, odnosno deformabilnost materijala.

Temperatura nulte duktilnosti ili NDT-temperatura (NDT– Nil Ductility Transition) je također mjera žilavosti. To je najviša temperatura pri kojoj pukotina prodire kroz čitav presjek epruvete, tj. na njoj se gube svojstva plastičnosti kod čelika. Ispod NDT-temperature očekuje se krto ponašanje materijala iako je veličina nominalnog naprezanja niža od napona tečenja, (slika 4.).

MIKROSTRUKTURA - ima također veliki uticaj na žilavosti materijala. Naručito povoljno utiče na žilavost smanjivanjem veličine zrna. Tako smanjivanje veličine zrna za jedan stepen po ASTM –skali snižava prijelaznu temperaturu za 15 °C. Veću žilavost, odnosno nižu prijelaznu temperaturu ima i deformisani materijal zbog anizotropne strukture, naručito u uzdužnom pravcu.



Slika 4. Dijagram udarna radnja loma-temperatura [1]

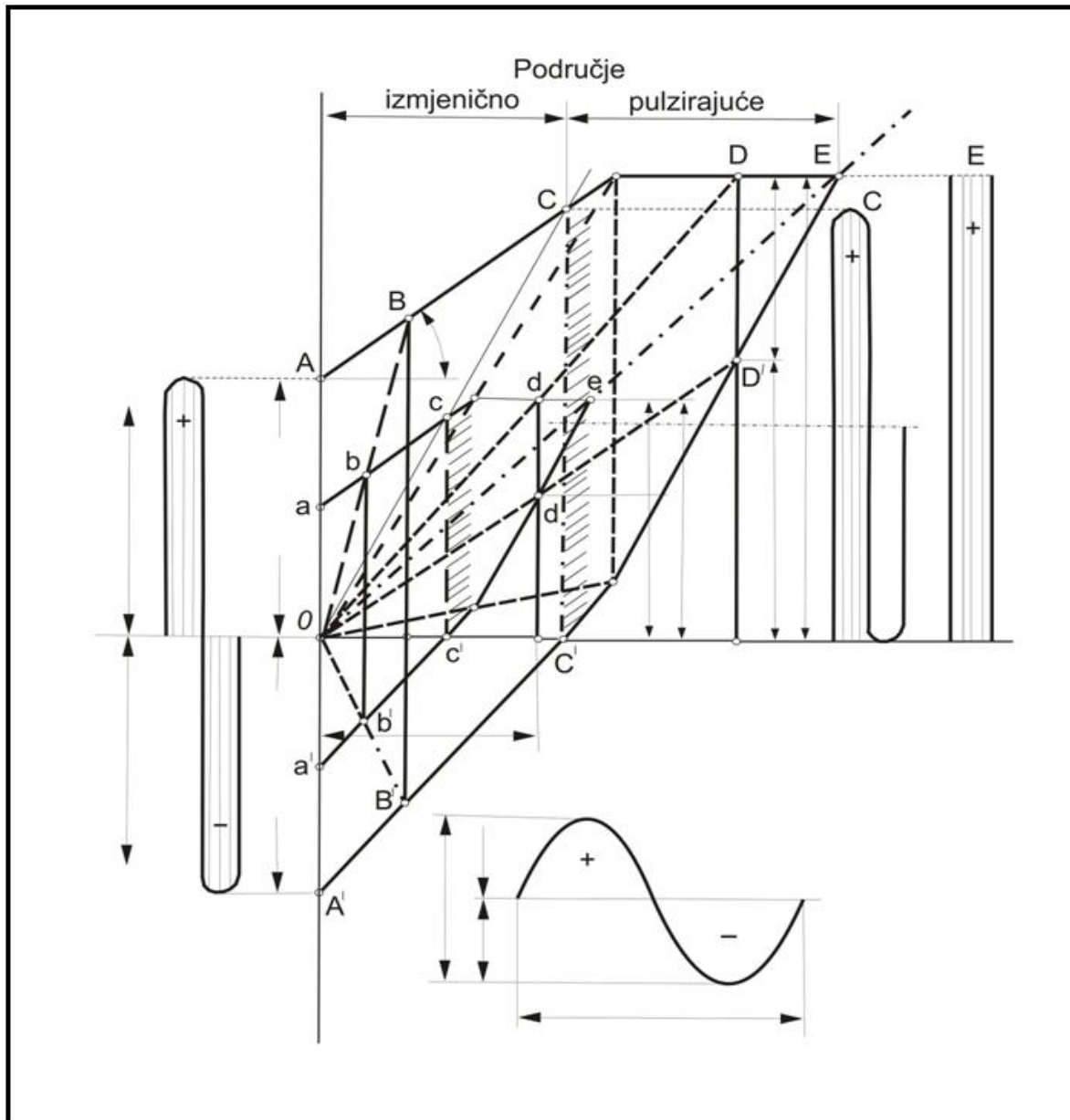


Slika 5. Dijagram analize loma po Pelliniju [1]

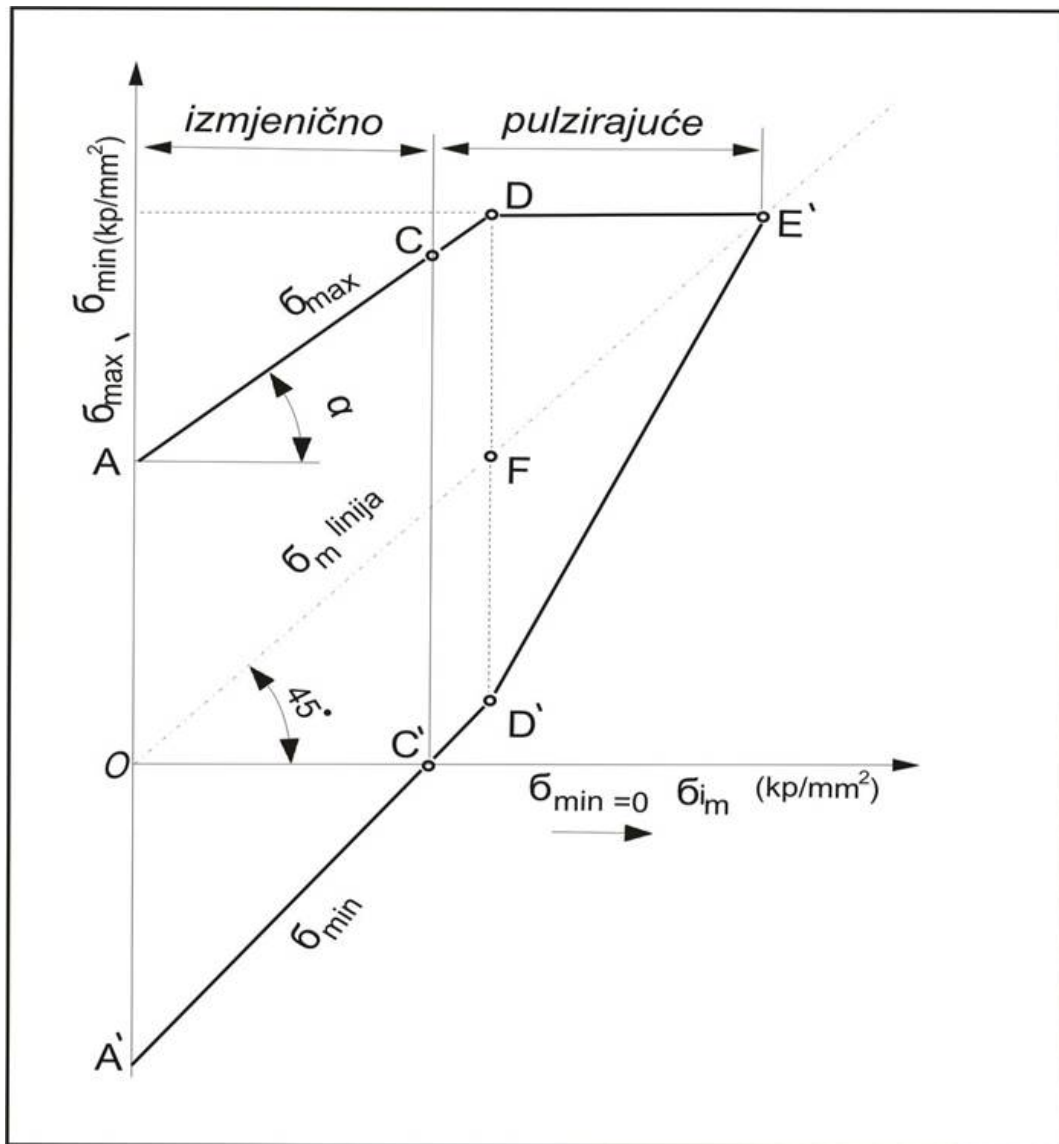
3.1.3. OBLIK I DIMENZIJE ZAREZA - također znatno utiču na žilavost. Zarezi izazivaju koncentraciju približno trodimenzionalnih naprežanja, normalna naprežanja djeluju pri tome na zatezanje dok tangencijalna izazivaju klizanje.

3.1.4. DIMENZIJE EPRUVETE - različito utiči na žilavost materijala. Najmanje utiče dužina epruvete, dok širina i debljina utiču slično na smanjivanje žilavosti. Pri tome najvažniji odnos je odnos dubine zarez prema debljini epruvete, koji treba biti manji od 0,3 ako se želi smanjivanje žilavosti.

3.1.5. BRZINA UDARA Charpyjevog klatna nema znatnijeg uticaja na žilavost materijala ako je u rasponu 3 do 7 m/s, dok znatno veće brzine (20-50 m/s) smanjuju žilavost zbog smanjenog udjela plastične deformacije.



Slika 6. Smithov dijagram za pozitivne vrijednosti srednjeg naprežanja [1]



Slika 7. Smitov dijagram[1]

4. DRUGE METODE ISPITIVANJA UDAROM

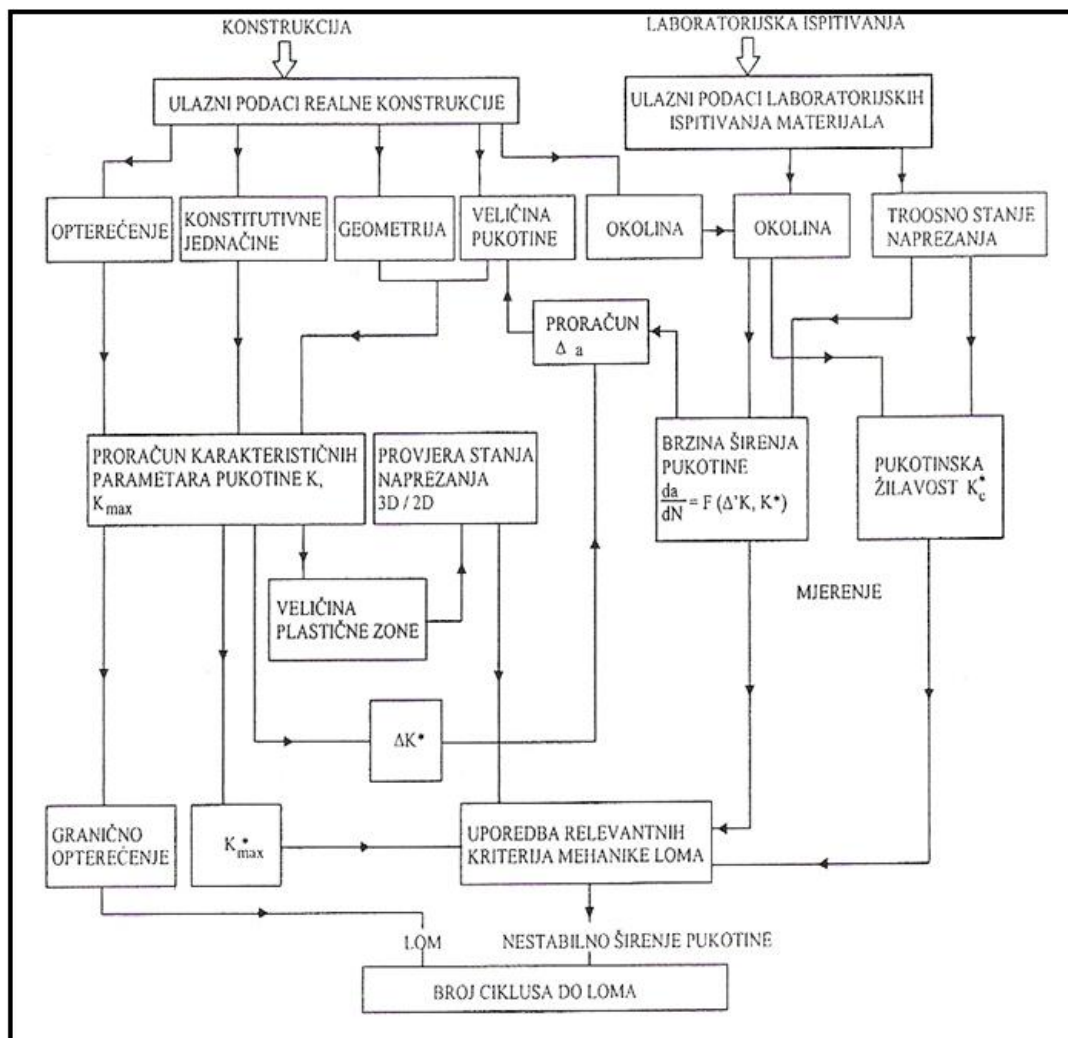
Pored ispitivanja po Charpyju koriste se u nekim državama i druge standardne ili nestandardne metode ispitivanja udarom. To su :

1. Pelindijeva metoda
2. Metoda po Izodu
3. Bruggerova metoda
4. Tehnološko ispitivanje

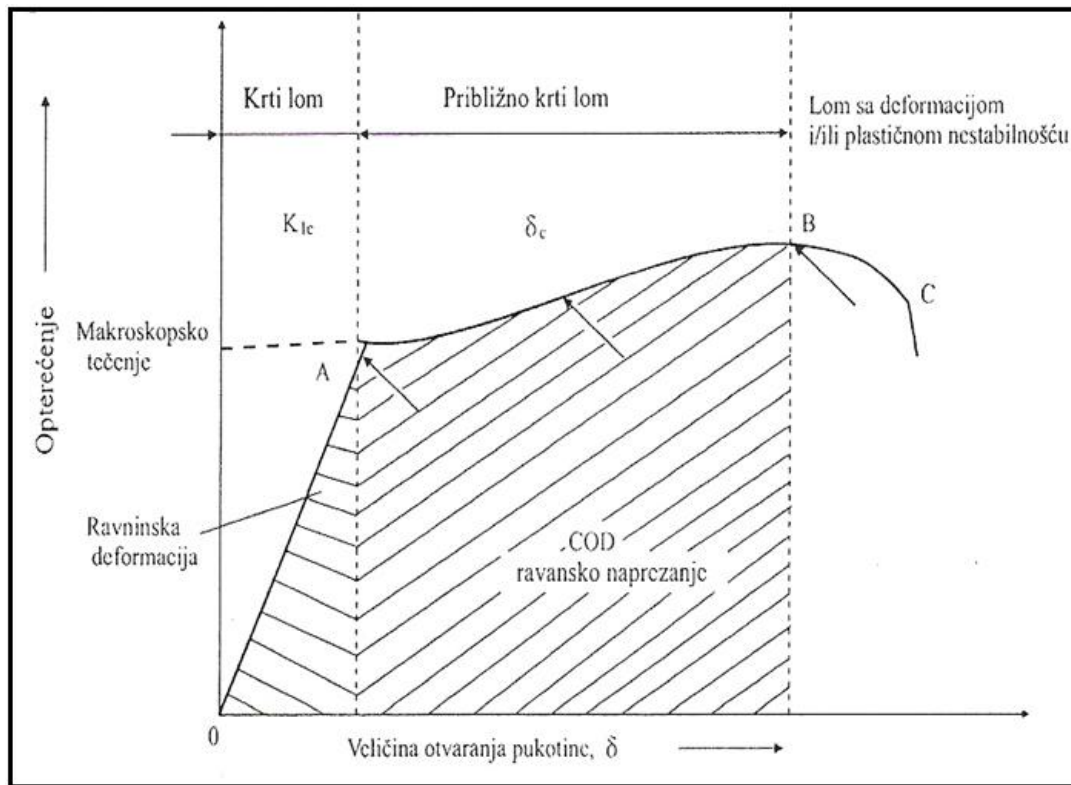
5. ISPITIVANJE LOMNE ŽILAVOSTI

Lomna ili pukotinska žilavost **K_{1c}** (**Plane Strain Fracture Toughness**) je novije važno važno mehaničko svojstvo materijala, koje najbolje definiše njegovu otpornost prema nestabilnom rastu pukotine u njemu pod precizno određenim uslovima. Drugačije rečeno lomna žilavost je kritična vrijednost koncentracije naprezanja na vrhu pukotine pri kojoj nastupa nestabilni rast pukotine pod uslovima stanja ravanske deformacije.

Uslove zavisnosti rasta pukotine između njene dužine i naprezanja propisuje linearno elastična mehanika loma (LEML). Mehanika loma (Fracture Mechanics) proučava nastajanje, širenje i razvoj pukotine u materijalu sve do nastanka pukotine. Polazna tačka mehanike loma je činjenica da nema idealnih materijala, tj. materijala bez grešaka, već da u njima postoje greške tipa pukotine. Smisao mehanike loma najbolje ilustruje izreka poznatog njemačkog znanstvenika Alberta Kochendorfera: ***“Filozofija loma znači živjeti sa greškama, ali s njima treba tako ovladati da ne dovedu do katastrofa”***.



Slika 8. Postupak provjere elemenata konstrukcije s pukotinom [1]



Slika 9. Područja primjene mehanike loma [1]

5.1 Trougao povezanih zavisnosti mehanike loma :

1. Parametri mehanike loma koji se određuju pri mehaničkom ispitivanju materijala
2. Veličine, položaj i oblik grešaka koje se određuju ispitivanjem materijala bez razaranja (ultra zvuk i sl.)
3. Analiza naprezanja proučavanjem parametara oko vrha pukotine u materijalu

5.2 Pomoću navedene tri zavisnosti moguće je definisati ciljeva ispitivanja mehanike loma kako slijedi :

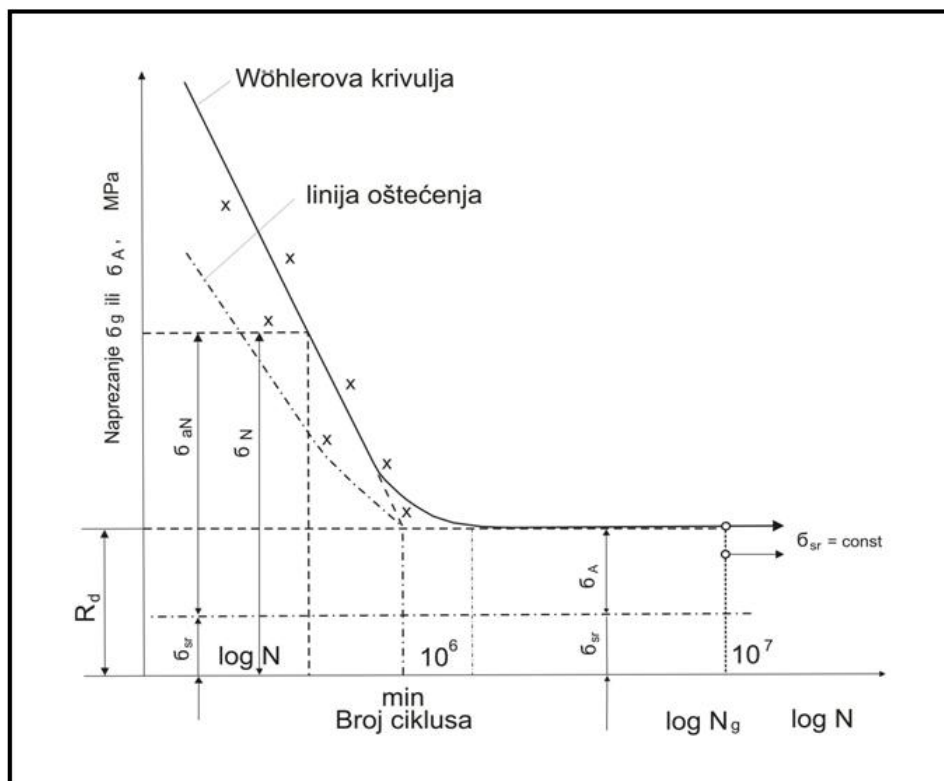
1. Sigurnost od loma
2. Preostali vijek konstrukcije sa pukotinom ili greškom
3. Razvoj i optimiranje materijala
4. Osiguranje kvaliteta
5. Tehnička dijagnostika
6. Analiza različitih slučajeva složenih oštećenja konstrukcija

6. ISPITIVANJE ZAMARANJEM

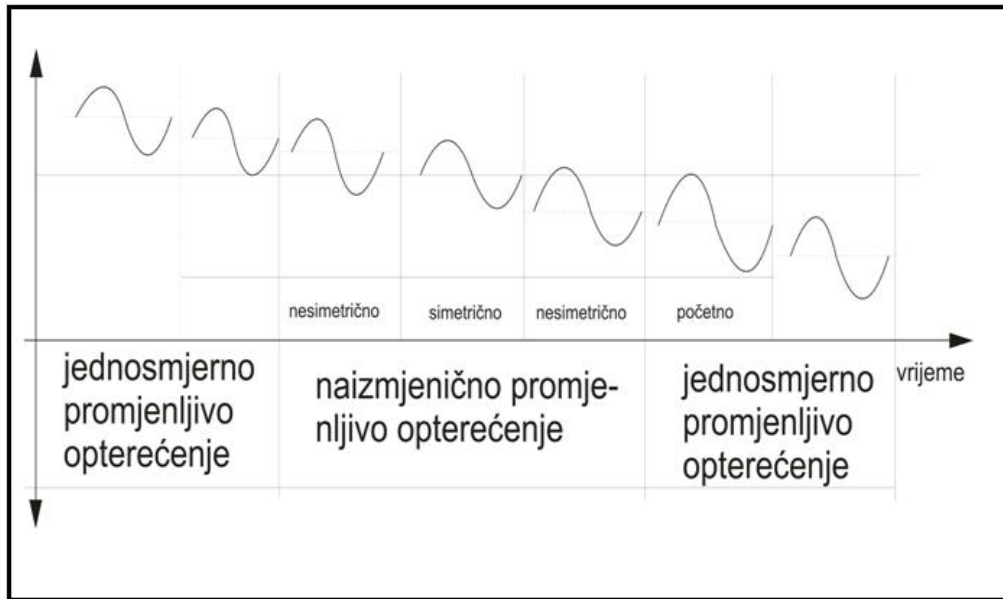
Zamarenje je pojava postepenog oštećivanja materijala usljed dugotrajnog djelovanja periodičnih promjenljivih oštećenja odnosno napreznja. Ponašanje materijala pri zamaranju najlakše se izučava ispitivanjem na posebnim uređajima - zamaralicama. Na serijama od desetak poliranih epruveta ili pak konstrukcionih djelova provodi se sinusna promjena amplituda napreznja oko nepromjenljivog srednjeg napreznja. Epruvete od metalnih materijala ispituju se frkvencijama od 10 do 400 Hz, a za granični broj ciklusa N_g uzima se obično 10 miliona ciklusa (raspon vrijednosti N_g kod visokocikličnog zamora je uglavnom između 2 i 100 miliona ciklusa). Krivulja koja pokazuje zavisnost broja izdržanih ciklusa od promjenjenog napreznja pri ispitivanju naziva se **Wohler-ova ili S-N krivulja** (Stress - Number curve). Napreznja mogu biti savojna, zatezno-pritisna i torziona. Prema definiciji razlikuju se naizmjenična dinamička izdržljivost, i istosmjerna dinamička izdržljivost. Dinamička izdržljivost ili dinamička čvrstoća, po definiciji je ono najveće primjenjeno napreznje pod kojim ispitivana epruveta izdrži propisani ili beskonačni broj ciklusa bez pojave loma ili nekog drugog propisanog učinka.

Pojavi zamaranja izložen je ogroman broj dijelova i/ili mašinskih konstrukcija i transportnih sredstava. Zato čak 80 do 90% svih lomova kod mašinskih dijelova imaju karakter usljed zamaranja materijala.

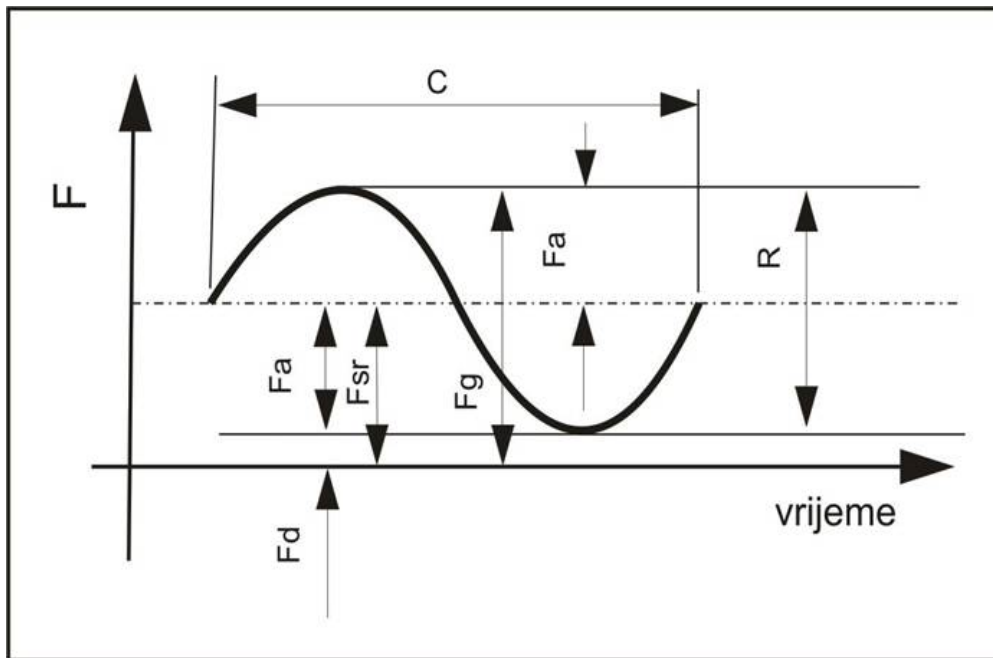
Lom usljed zamaranja materijala počinje sa mjesta gdje je najveća koncentracija napreznja zbog bilo kakvog površinskog opterećenja iz tzv. žarišta ili inicijalnog mjesta ili pak unutrašnjeg opterećenja.



Slika 10. Wohlerova kriva [1]



Slika 11. Sedam karakterističnih ciklusa promjenljivih napreznja [1]



Slika 12. Detaljniji izgled ciklusa [1]

LITERATURA

- [1.] Vitez I. Oruč M. Sunulahpašić R. :Ispitivanje materijala, Metalurški fakultet, Zenica
- [2.] Terzić P. : Ispitivanje materijala
- [3.] *** STANDARDI::
 - ASTM E 399-83 (prednacr bio ASTM E-24/69.)
 - BAS EN ISO 12737/05
 - ESIS P2
 - ASTM E24. 01-82
 - ASM-85
 - DVM Merkblatt 0001, Entwurf 3.85
 - ASTM E 813-81

Effect of thermal cycling at the gluing stage on an assembly of materials used for silicon wafering

Mirnes Alic¹, master degree student

Prof.Dr sci. Mladen Jecminca²,

¹Høgskolen i Telemark, Porsgrunn, Norway

²Høgskolen i Telemark, Porsgrunn, Norway

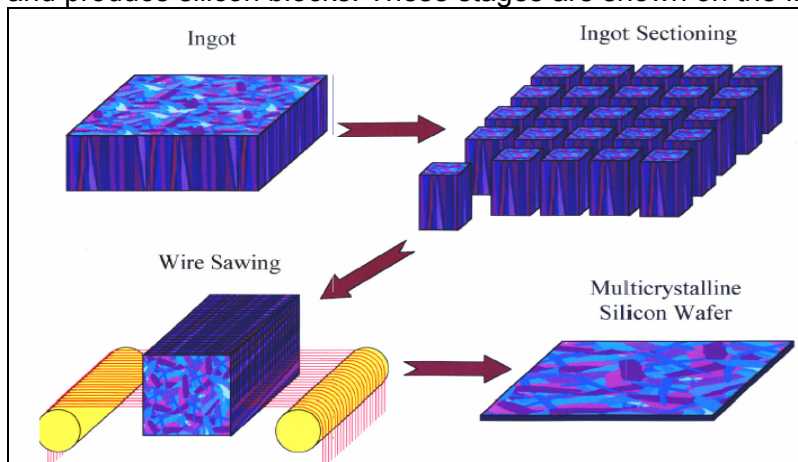
Abstract

Technology of the silicon wafers production nowadays is still considered expensive regarding the material costs. In the race for the increased efficiency of the process and better material usage, the thickness of the silicon wafers used for solar cells is reducing continuously. With the reduction of the thickness issue such as wafer strength becomes more and more important. Each of the stages in the production line becomes important and more subjected to quality control. This paper investigates the gluing stage in the production line in which the silicon ingots are heated to a certain temperature required by the adhesive and cooled down to the surroundings temperature. Silicon blocks are resting on the surroundings temperature exposed to the free stream of the air. Stresses in the silicon block arise from different thermal expansion coefficients of materials in contact. In the study different materials for the plate and for the holder are varied in order to investigate the behaviour of the magnitude and the distribution of stresses. The effects of different geometry of the plate were investigated. The cases were studied using the finite element method of the COSMOSworks. One quarter symmetry model was adopted to reduce the calculation time. The distribution and the magnitude of the stresses were obtained for the most realistic conditions on the gluing centre. The results showed that the certain combinations of the materials can affect the stress values. Sensitivity analysis showed that the offset of the plate has an effect.

Keywords: Thermal stresses modelling; Silicon ingots production; Gluing stage

Introduction: From ingot to wafer

Transformation of silicon crude into a thin silicon wafer which will be used to produce solar cell which converts sun light into electric current, consists of several stages. The first stage is to obtain silicon ingots by melting the silicon crude and letting it cooled down and solidify in highly controlled process. The second stage is to machine the ingot on the sawing centre and produce silicon blocks. These stages are shown on the figure below.

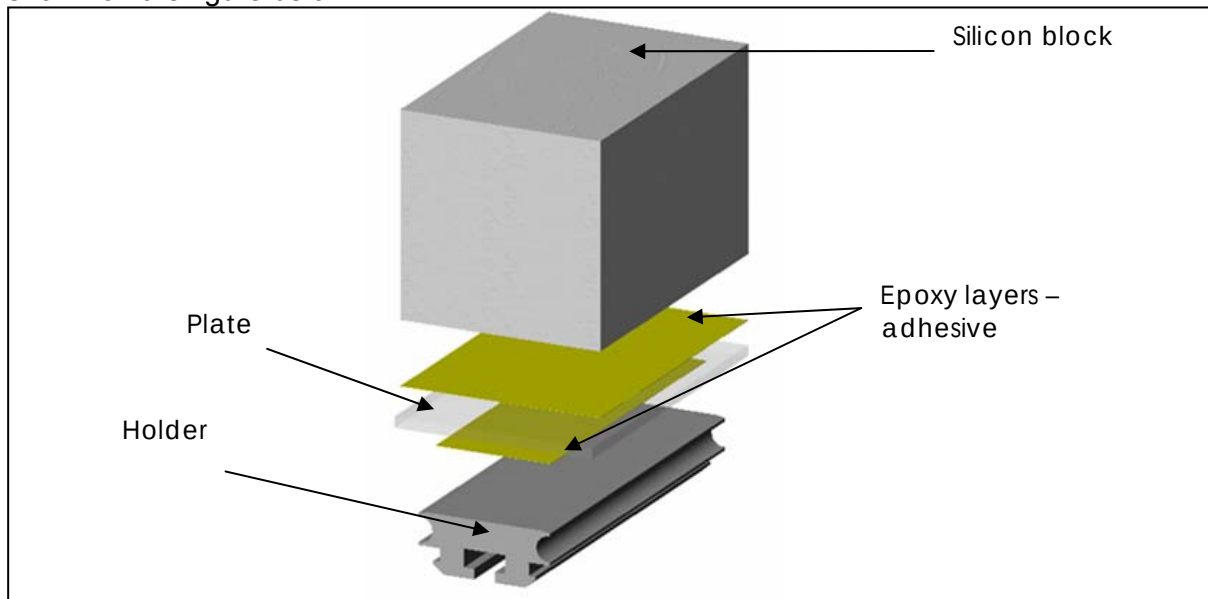


0.1 Stages of wafer production

For silicon ingots pre-processing stage follows in order to increase the surface quality. Grinding and polishing removes the highest picks on the sides of the blocks. The outcome of these stages in a certain way governs the final quality of the wafers.

Assembly

Upon completion of the surface treatment procedure silicon blocks are ready to be glued to a holder. This is required by the wire saw cutting technique used for slicing the blocks into wafers. The holder consists of a holder, plate and epoxy layers in between. The epoxy layers bind one side of the plate to the holder and the other side of the plate to silicon block as shown on the figure below.



0.1 Assembly of the components

After the parts have been joined into a structure acceptable for the sawing centre they are left to cool down on a surroundings temperature for a certain time required by the gluing technology.

Thermal conditions

Heat transfer from the block to the surroundings is governed by the empirical equations defined below. Heat transfer by radiation has been neglected due to fact that the emissivity of the silicon is very low on the temperatures close to the room temperature.

$$Q = hA(T_s - T_\infty)$$

$$q = h(T_s - T_\infty)$$

Q - heat transfer rate from the surface to the fluid [W]

q - heat flux [W/m²]

h - convection heat transfer coefficient [W/(m²K)]

A - contact surface area [m²]

T_s - surface temperature [K]

T_∞ - temperature of the bulk fluid [K]

δ_t - thermal boundary layer [m]

In order to use the finite element analysis it is necessary to define convection coefficients for all the modes of free convection. Convection coefficients will be defined with their average values since the height of the silicon block is small for a significant temperature gradient to develop.

$$\overline{Nu}_L = \frac{\bar{h}L}{k_f} \Rightarrow \bar{h} = \frac{k \overline{Nu}_L}{L}$$

$\bar{h}$ - the average convection heat transfer coefficient [W/(m²K)]

L - the characteristic length [m]

k_f - thermal conductivity of the fluid [W/(mK)]

$\overline{Nu}_L$ - the average Nusselt number [-]

The empirical side of the average Nusselt number for the free convection flow is related to another dimensionless number called the Rayleigh number and the general correlation is:

$$\overline{Nu}_L = C Ra_L^n$$

Ra_L - the Rayleigh number [-]

C - the empirical constant (different for different types of free convection modes)

n - typically 1/4 or 1/3 for turbulent or laminar flow respectively

$$Ra_L = Gr_L Pr = \frac{g \beta (T_s - T_\infty) L^3}{\nu \alpha}$$

Gr_L - the Grashof number [-]

Pr - the Prandtl number [-]

β - volumetric thermal expansion coefficient [1/K]

α - thermal diffusivity [m²/s]

ν - kinematic viscosity [m²/s]

♣ Horizontal surface free convection heat transfer – upwards

$$\overline{Nu}_L = 0.15 Ra_L^{1/3} \quad (10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11})$$

♣ Horizontal surface free convection heat transfer – downwards

$$\overline{Nu}_L = 0.27 Ra_L^{1/4} \quad (10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10})$$

♣ Vertical surface free convection heat transfer

$$\overline{Nu}_L = 0.68 + \frac{0.670 Ra_L^{1/4}}{[1 + (0.492 / Pr)^{9/16}]^{4/9}} \quad Ra_L \leq 10^9$$

Heat flow within the block is governed by thermal conduction coefficients of each of the components.

$$q_{cond} = -k \frac{dT}{dx} = -k \frac{T_2 - T_1}{L} = k \frac{\Delta T}{L}$$

ΔT - temperature difference [K]

k - thermal conductivity [W/m²K]

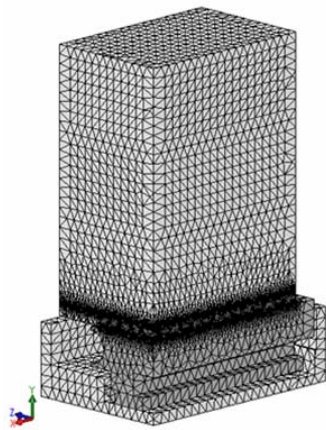
L - wall thickness [m]

Estimated convection coefficients were taken as independent of temperature, otherwise duration of the cooling (when the block reaches the surroundings temperature) would extend unnecessary long.

Finite element analysis

The analysis has been done with the one quarter model (Figure 4.1). It is assumed that the geometry of the assembly is symmetric.

0.1 Final mesh of one quarter model



The effect of the asymmetry is also investigated. The results showed that if the plate has an offset from the silicon block edge it results in different stresses picture on the block's front face.

The mechanism of thermal energy flow is possible to follow by observing the change of thermal picture of the assembly over the time. The largest heat movement is happening from the warmest part of the silicon block in the direction of the support by increasing the temperature of the parts that stand in the way. The heat also flows towards colder parts of silicon block. The other mechanisms of heat transfer such as free convection and radiation from the sides of the block are smaller comparing to the internal heat transport by conduction through the layers of different materials. They serve to describe overall heat dissipation from the assembly to the surroundings and they are

the key component in defining the actual duration of cooling. Analyzed studies are based on different types of materials and material properties.

Conclusion

Von Mises stresses were taken as the critical stresses in most of the cases. The results of studies showed that the geometry and types of materials have an effect. All the material cases were simulated with the reference case geometry and compared with the reference case stress situation.

EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA AEROPROFILA NACA 4406

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE AIRFOIL NACA 4406

Ervina Merić, Medina Poturak, Ensar Džafić, Leo Katz,
Zoran Lemajić, Boris Mijanović, Edin Turkušić

Mašinski fakultet Univerziteta u Sarajevu
Vilsonovo šetalište 9, 71000 Sarajevo, BiH
e-mail: edin.turkusic@gmail.com

SAŽETAK

U radu su prezentirani rezultati eksperimentalnih ispitivanja aeroprofila NACA 4406 provedenih u aerodinamičkom tunelu na Mašinskom fakultetu u Sarajevu, a inspiriran je sličnim radovima koje provode kolege studenti na sličnim fakultetima u svijetu. Osnovni cilj rada je želja autora da se u okviru studentskog rada izradi i ispita jedan aeroprofil, te da na taj način steknu određena praktična iskustva iz ove oblasti. U tu svrhu odabran je aeroprofil NACA 4406 koji se koristi na jedrilicama. Za razliku od ostalih sličnih ispitivanja gdje se analizira strujanja samo oko aeroprofila, ovim radom je analizirano opstrujavanje oko aeroprofila pri otklonu zakrilca i zračne kočnice.

Rad može poslužiti kao osnova za nastavak daljnjih studentskih istraživanja na ovom polju, a posebna doprinos je da se opstrujavanje oko makete krila s usvojenim aeroprofilom može koristiti i kao laboratorijska vježba iz predmeta Mehanika fluida, Mehanika leta, Mjerenja u mašinstvu i njima srodnih predmeta.

Ključne riječi: aeroprofil, opstrujavanje, raspodjela pritisaka, aerodinamički tunel.

ABSTRACT

This project presents the results of experimental research that was carried out in aerodynamic tunnel at Mechanical Engineering Faculty of University of Sarajevo. The project was inspired by the similar projects which were conducted by the students from other universities worldwide. The main objective of the project is the wish of the authors to make an airfoil and do basic research about it through student's projects, as well as the way to get many practical experiences about solving problems in field of aerodynamics. For this purpose the airfoil NACA 4406 was chosen as an airfoil that is used on gliders. The similar projects are presenting the results of researching of airflow only around an airfoil. However, this project deals with the results in case of airflow both around an airfoil, wing flap and airbrake. In the same time, this project can be used as a basis for future student's research as well as for laboratory exercises in many subjects on Mechanical Engineering Faculty, University of Sarajevo such as Fluid Mechanics, Flight Mechanics, Engineering Measurements and many other relative subjects.

Key words: airfoil, airflow, pressure distribution, aerodynamic tunnel.

1. UVOD

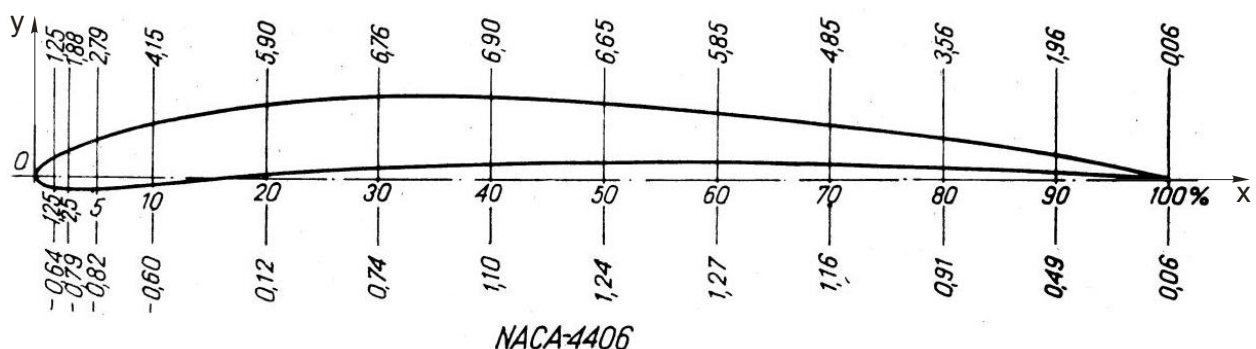
Od prvih koraka razvoja vazduhoplovstva jedan od osnovnih zadataka konstruktora je bio razvoj optimalnog aeroprofila za određenu namjenu na vazduhoplovu. Pojam optimalnog aeroprofila podrazumijeva stvaranje aerodinamičke sile uzgona pri svim karakterističnim uslovima leta kao što su poletanje, vertikalni let, propinjanje, poniranje, ali i neki od kritičnih faza leta [2]. U tu svrhu je neophodno poznavati opstrujavanje zraka oko krila, tačnije aeroprofila, odnosno raspodjelu pritiska s gornje i donje strane.

Privilegija poznavanja raspodjele pritiska s gornje i donje strane aeroprofila, odnosno krila, uglavnom je bila dodijeljena velikim istraživačkim centrima od kojih je najpoznatija NASA (NACA). U posljednjih nekoliko godina, u edukativnim ustanovama u SAD su provedena određena ispitivanja [6 i 7] koja omogućavaju kvalitetniju edukaciju budućih inženjera u ovoj oblasti. Međutim, sva prikazana ispitivanja su se odnosila za definisanje raspodjele pritiska oko aeroprofila kao nepokretne konture krila. Iz tog razloga, odlučili smo se da na Mašinskom fakultetu u Sarajevu iskoristimo postojanje aerodinamičkog tunela koji omogućava formiranje uniformne zračne struje brzine do 150 km/h i ispitamo vlastito napravljeno krilo s mogućnošću aktiviranja zakrilca i zračne kočnice za različite uglove otklona.

2. OPISI ELEMENATA KORIŠTENIH U ISPITIVANJIMA

2.1. Opis aeroprofila NACA 4406

Imajući u vidu tehničke mogućnosti aerodinamičkog tunela odlučili smo se da naše testno krilo bude namijenjeno za jedrilicu. U tu svrhu izabran je aeroprofil NACA 4406, koji sam po sebi definira osnovne dimenzije aeroprofila. Naime broj 4406 se može posmatrati kao grupa od tri broja sa značenjima. Prvi broj (4), označava relativnu maksimalnu krivinu srednje linije profila u postocima. Ova veličina predstavljena je kao odnos c/l , gdje je c stvarna zakrivljenost profila. Ako je npr. $c=4$ mm, a $l=100$ mm tada je $c/l = 4/100 = 4\%$. Drugi broj (40) označava relativni položaj maksimalne krivine srednje linije profila i označava se kao $(x/l)c$. Treći broj (6) označava maksimalnu debljinu profila predstavljenu sa odnosom d/l . Na slici 1. prikazan je način konstruisanja aeroprofila 4406, koji je detaljno objašnjen u [1].



Slika 1. Aeroprofil NACA 4406.

Za izradu krila usvojena je dužina profila $l=1000$ mm, tako da su sve ostale geometrijske veličine aeroprofila dobivene na osnovu relativnih odnosa prikazanih na slici 1. Poseban problem pri izradi krila predstavljao je izbor odgovarajućih materijala za aeroprofil, jer su se nametala određena ograničenja o kojima je trebalo voditi računa:

1. Profil je morao biti, zbog uslova transporta, napravljen od što lakših komponenti.
2. Zbog veličine mlaznice od 500 mm, moralo se voditi računa da sekcija u kojoj se vrše ispitivanja bude providna, tako da je moguće voditi računa o pozicijama mjernih cjevčica.
3. Konstrukcija krila mora omogućiti postizanje različitih nagiba u odnosu na struju zraka.
4. Mjerne sonde (cjevčice) moraju biti ukomponovane u konstrukciju oplata krila kako bi se spriječila greška pri mjerenju.
5. Debljina oplata ne može biti manja od 2 mm zbog priključenja mjernih sondi (cjevčica).

U svrhu ispunjavanja postavljenih uslova izrada makete krila predstavljao je kombinaciju korištenja optimalnih različitih materijala. Za pojedine elemente korišteni su:

- za konstrukciju krila, drvene ploče debljine 1200x100x20 mm i drvene šipke dimenzija 35x10x1000 mm i 10x20x1000 mm.
- za oplatu krila, pleksiglas debljine 2mm
- za napadnu ivicu i zakrilce, poliester platno, poliester smola i dvokomponentni kit
- za površinsku zaštitu (osim na ispitivanim sekcijama), PVC tapeta
- za pito sondu, aluminijska cijev
- za osovinu zakrilca, navojna šipka M8 - 1000 mm
- za sonde, obrađene pop nitne dimenzija 4/2 mm.
- za ispitne cjevčice, PVC crijevo $D/d = \varnothing 6/4$ mm.

Izgled krila pripremljenog za ispitivanje na aerodinamičkom tunelu prikazan je na slici 2.



Slika 2. Testno krilo tokom ispitivanja.

2.2. Aerodinamički tunel

Za provedena ispitivanja korišten je poseban model otvorenog aerodinamičkog tunela, tzv. ispušni (blower) tunel. detaljan opis aerodinamičkog tunela prikazan je u [5].

2.3. Mikromanometar

Za mjerenje pritiska duž gornje i donje strane aeroprofila korišteni su mikromanometri sa alkoholnim stubom. Mikromanometar ima mogućnost mjerenja i potpritiska i nadpritiska. Za pretvaranje rezultata prikazanih u mm alkoholnog stuba u paskale, koristi se sljedeći izraz:

$$p = \rho_{alk} \cdot g \cdot L \cdot 0,001 \cdot R$$

...(1)

gdje su:

ρ_{alk} – specifična gustina alkohola (793,9 kg/m³),

g – gravitaciono ubrzanje (9,806 m/s²),

L – očitana dužina alkoholnog stuba (u mm, za pretvaranje u m množi se sa 0,001),

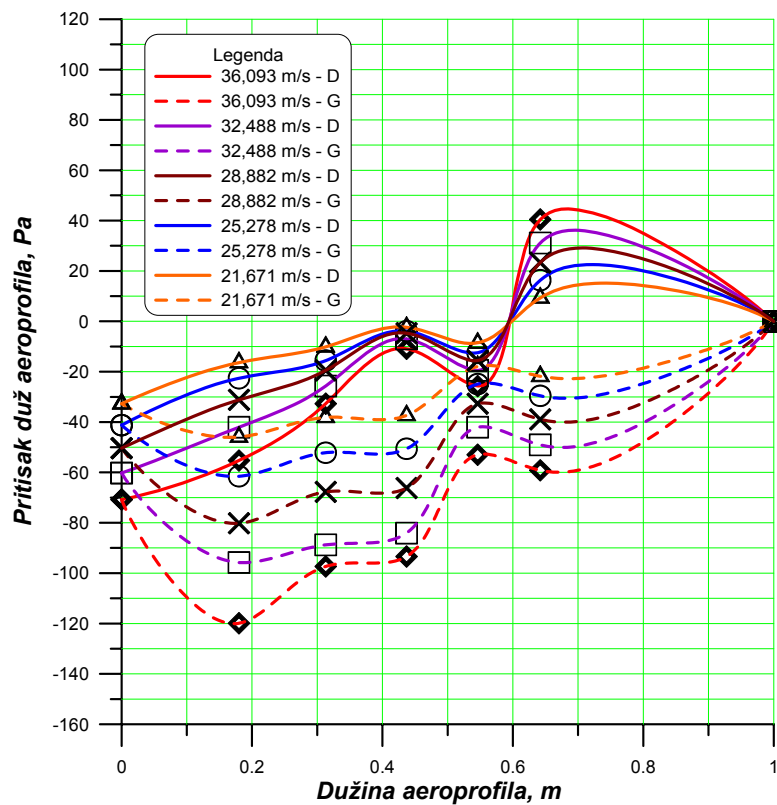
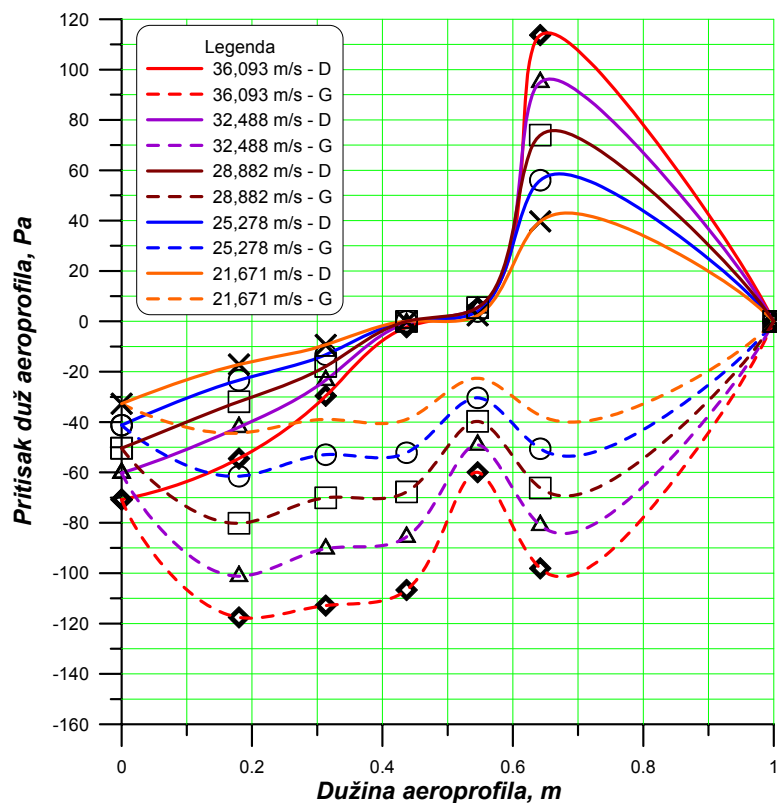
R – razmjera pri kojoj je mjereno mikromanometrom.

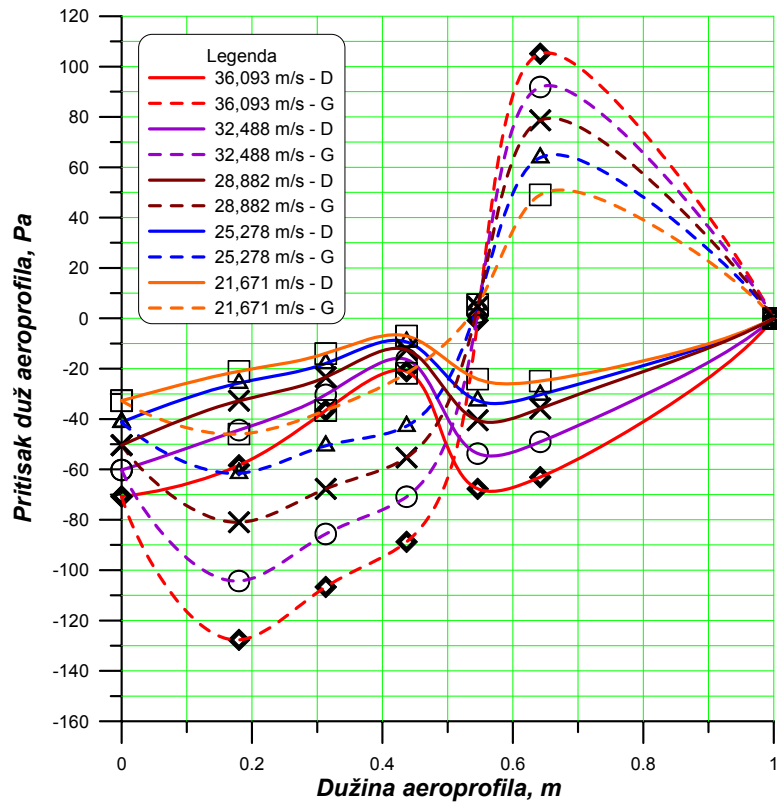
3. REZULTATI ISPITIVANJA

3.1. Pritisci duž aeroprofila

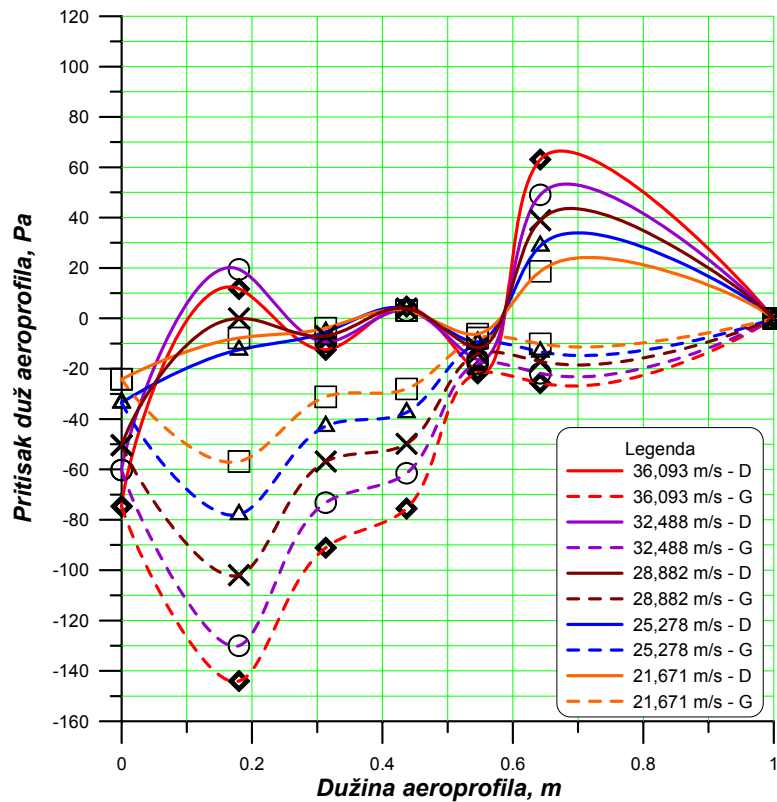
Tokom ispitivanja mijenjani su, pored brzine zračne struje, ugao nagiba aeroprofila u odnosu na zračnu struju i ugao zakrilca u odnosu na osu profila. U slučaju koordinatnog sistema prikazanog na slici 1, promjena ugla nagiba aeroprofila (α) podrazumijeva promjenu ugla koji x–osa zaklapa sa normalom na centar mlaznice aerodinamičkog tunela. S druge strane, kada se govori o uglu zakrilca (β), posmatra se ugao koji osa zakrilca zaklapa sa x – osom aeroprofila.

Na slikama od 3 do 7, predstavljeni su rezultati mjerenja za različite vrijednosti uglova α i β . Svi prikazani rezultati sadrže oznake G i D, koje podrazumijevaju da se pomenuti rezultat odnosi na gornju, odnosno donju stranu aeroprofila. Analizom rezultata prikazanih na navedenim slikama može se uočiti da je raspodjela pritiska s gornje i donje strane aeroprofila uvijek takva da se obezbjeđuje aerodinamička sila uzgona. S povećanjem zakrivljenosti aeroprofila, ugao zakrilca $\beta = -14,5^\circ$ dolazi do postizanja veće razlike pritisaka što omogućava postizanje veće aerodinamičke sile uzgona, slika 4. U slučaju podizanja zakrilca na gore i aktiviranje zračne kočnice, ugao zakrilca $\beta = 34^\circ$, simulira se kretanje krila pri sletanju čime je smanjena aerodinamička sila uzgona što se jasno vidi na slici 5. Na slici 6 su prikazani rezultati raspodjele pritiska na aeroprofilu u slučaju propinjanja jedrilice za ugao $\alpha = 11,5^\circ$. Postavljanjem krila pod ovim napadnim uglom može se uočiti postizanje veće razlike pritisaka s gornje i donje strane aeroprofila što omogućava i postizanje veće aerodinamičke sile uzgona nego u slučaju kad je ugao nagiba $\alpha = 0^\circ$, kao što je prikazano na slici 3. Na slici 7. uočava se ostvarivanje aerodinamičke sile uzgona i u slučaju poniranja pri nagibu krila $\alpha = -15^\circ$.

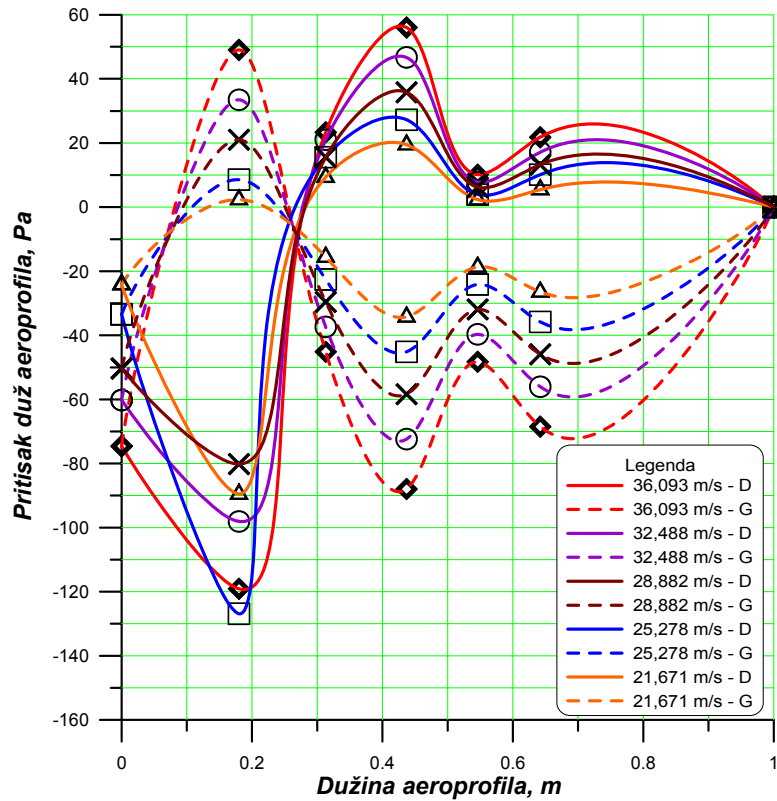
Slika 3. Dijagram p_{st} za gornju i donju površinu aeroprofila za $\alpha = 0^\circ$ i $\beta = 0^\circ$.Slika 4. Dijagram p_{st} za gornju i donju površinu aeroprofila za $\alpha = 0^\circ$ i $\beta = -14,5^\circ$.



Slika 5. Dijagram p_{st} za gornju i donju površinu aeroprofila za $\alpha = 0^\circ$ i $\beta = 34^\circ$.



Slika 6. Dijagram p_{st} za gornju i donju površinu aeroprofila za $\alpha = 11,5^\circ$ i $\beta = 0^\circ$.



Slika 7. Dijagram p_{st} za gornju i donju površinu aeroprofila za $\alpha = -15^\circ$ i $\beta = 0^\circ$.

3.2. Pritisci na nosu aeroprofila

Od posebnog interesa pri izučavanju raspodjele pritisaka oko aeroprofila je zaustavna točka na nosu krila na kojoj je pomoću pitot cijevi određena vrijednost statičkog, dinamičkog i ukupnog pritiska. Koristeći iste uslove kako iz prethodnog poglavlja, korištenjem izraza (1) vrši se preračunavanje vrijednost p_{tot} , a nakon toga se vrijednost p_{st} proračunava kao:

$$p_{st} = p_{tot} - \rho_{zrak} \cdot \frac{w^2}{2}$$

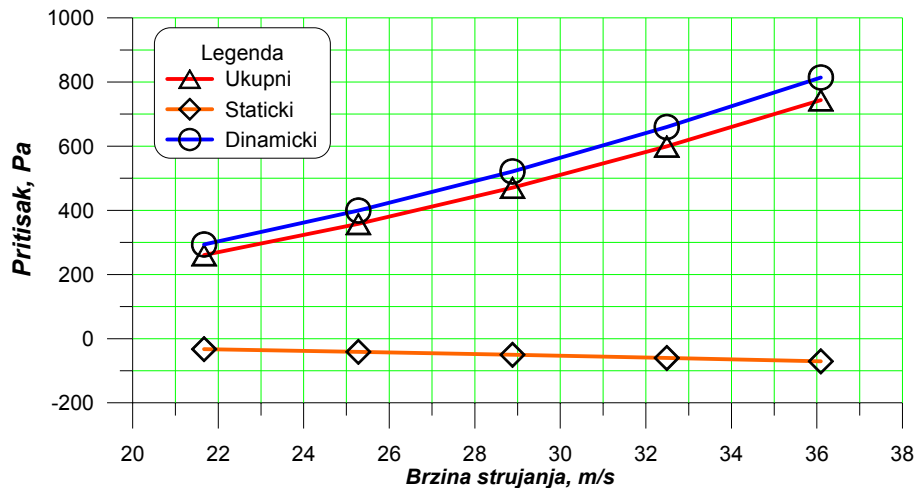
...(2)

gdje su:

ρ_{zrak} – specifična gustina zraka ($1,25 \text{ kg/m}^3$) i

w – brzina zračne struje.

Na slici 8 su prikazane vrijednosti statičkog, dinamičkog i ukupnog pritiska. Imajući u vidu dobivene rezultate uočeno je da odstupanja u navedenim pritiscima na nosu pri promjeni ugla gotovo i nema.



Slika 8. Dijagram statičkog, dinamičkog i ukupnog pritiska za različite brzine zračne struje

4. ZAKLJUČAK

Rad je pred sebe postavio tri cilja. Prvi je bio da se aeroprofil NACA 4406 samostalno konstruira i izradi koristeći dostupne materijale. Cjelokupan proces konstruisanja i izrade aeroprofila proveden je na Mašinskom fakultetu u Sarajevu. Drugi cilj je bio provođenje mjerenja pritiska duž aeroprofila i uočavanje određenih pojava i zavisnosti pri različitim brzinama zračne struje i različitim uglovima nastrojavanja. Treći cilj je da rad bude prije svega osnova za nove studentske radove. Za razliku od sličnih istraživanja provedenih na sličnim obrazovnim institucijama u svijetu, po prvi put je izvršeno istraživanje opstrujavanja zračne struje oko aeroprofila u slučaju aktiviranja zakrilca i zračne kočnice. Analizirajući rezultate prikazane na dijagramima mogu se uočiti jasne razlike u definisanju slike opstrujavanja koje se postižu aktiviranjem zakrilca i zračne kočnice.

5. LITERATURA

- [1] Stojadinović V.: Slobodno leteći modeli, NIRO Tehnička knjiga, Beograd, 1980.
- [2] Zečević B.: Mehanika leta – predavanja na IV god na Mašinskom fakultetu u Sarajevu, 2008.
- [3] Bašić H.: Mjerenja u mašinstvu, Mašinski fakultet Sarajevo, 2006.
- [4] Vojna enciklopedija, Vojno izdavački zavod Beograd, 1985.
- [5] Merić E, Džafić E, Katz L, Lemajić Z, Mijanović B, Turkušić E, Eksperimentalno određivanje koeficijenta c_x aksijalne sile otpora, Mašinijada, Neum, 2007.
- [6] Measurement of Pressure Distribution and Lift for an Airfoil, prezentacija
- [7] Aerodynamic Characteristics of a NACA 4412 Airfoil, Presented By: David Heffley, Mentor:
Dr. Van Treuren, 2007.
- [8] <http://www.nasa.gov>

ALUMINIJ

Perić Magdalena
Dr. Nađija Haračić
Univerzitet u Zenici
Mašinski fakultet

ABSTRAKT

U ovom radu predstavljen je pregled podataka o aluminiju, osobinama aluminijuma, njegovom dobijanju, uticaju pratećih elemenata kao i njegovih legura za gnječenje i livenje. Pored navedenog dati su i diagrami stanja i tabelarni prikaz standarda.

Ključne riječi: legiranje, aluminijum, legure aluminijuma, mehanička svojstva

UVOD

Aluminij je poslije željeza drugi po redu metal koji se koristi u savremenoj mašinskoj tehnici. Upotrebljava se kao čist metal u elektrotehnici, metalnojprerađivačkoj, prehrambenoj i hemijskoj industriji, ali mu je mnogo značajnija primjena u vidu različitih više komponentnih legura koje se široko upotrebljavaju u mašinskoj idustriji.

1. ALUMINIJ

1.1. Osobine aluminija

Aluminij je element koji pripada trećoj grupi periodnog sistema sa atomskim brojem 13 i atomskom masom 27. Gustina čistog aluminijuma iznosi 2,7 g/cm³, što znači da je za istu veličinu zapremine aluminij skoro tri puta lakši od željeza. Kristališe se po površinski centriranoj kubnoj rešetci. Aluminij se odlikuje velikom elektro provodljivošću, koja 57%el.provodljivosti koristi bakar (Cu) koji se u tehnici koristi kao etalon. Temperatura topljenja čistog aluminijuma je 660 °C. Mehanička svojstva aluminijuma su veoma niska; Rm u zavisnosti od prerade se kreće od 90-180 Mpa, a tvrdoća od 20-40 HB, a plastičnost je veoma visoka što omogućava valjanje aluminijuma do veoma malih debljina (folije-nalaze svoju primjenu u predhrambenoj industriji). Veoma se teško obrađuje rezanjem, ima dobru otpornost prema koroziji, a u atmosferskim uslovima tokom vremena obrazuje se na površini zaštitna prevlaka oksida aluminija (Al₂O₃).

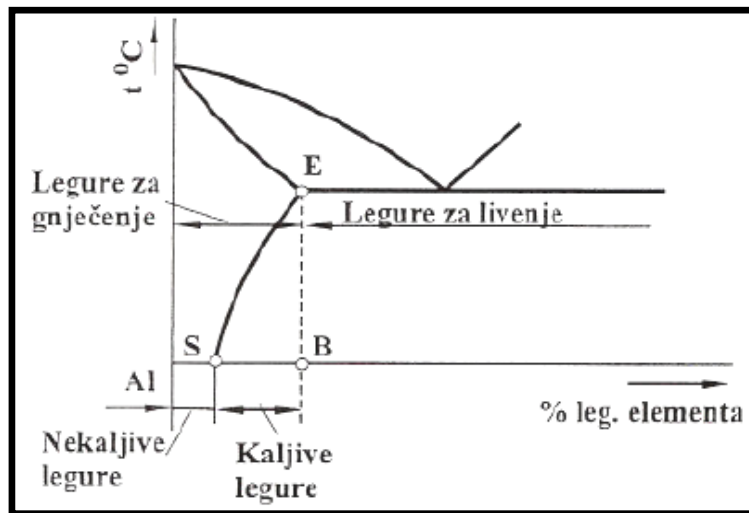
1.2. Uticaj pratećih elemenata

Osobine tehnički čistog aluminija, a posebno fizička svojstva zavise od njegove čistoće. Najčešće primjese prisutne u tehnički čistom aluminijumu su Ti, V, Cr i Mn čiji ukupni sadržaj ne smije da bude veći od 0,03%, a osim njih prisutni su u tragovima Si, Fe, Ca, Co, Cu i Zn.

2. LEGURE ALUMINIJA

Najvažniji legirajući elementi koji značajno povećavaju osobine čistog aluminijuma su; Cu, Mg, Mn, Si, Zn i Li.

Legure aluminijuma se dijele na legure za gnječenje (deformabilne) i legure za livenje. Legure za gnječenje se dalje dijele na one koje se termički ne obrađuju i one koje se termički obrađuju.



Slika 1. Opća šema dijagrama stanja legura

2.1. Označavanje legura aluminija

Prema bivšem jugoslovenskom standardu (JUSu) legure aluminija se označavaju slovnim i brojčanim simbolima u osnovnoj oznaci i brojčanim simbolima koji slijede osnovnu oznaku i od nje su odvojeni tačkom. Prva slovena oznaka u osnovnoj oznaci pripada hemiskom simbolu Al, kao osnovnom metalu, poslije koje se u nizu nalaze hemiski simboli legirajućih elemenata po uticajnosti i brojčane oznake koje pokazuju njihov procentualni sadržaj. Brojčani simboli koji se nalaze iza osnovne oznake su dvocifreni i označavaju stanje legura Al. Klasifikacija legura Al prema glavnim legirajućim elementima:

Al-Mn legure za gnječenje; sadrže do 28% Mn
 Al-Mg legure za gnječenje i livenje; sadrže do 7% Mg
 Al-Si legure za livenje; sadrže do 21 % Si
 Al-Si-Mg kaljive legure za gnječenje i livenje; sadrže do 5 % Si i 2,5% Mg
 Al-Cu kaljive legure za gnječenje i livenje; sadrže do 12 % Cu
 Al-Cu-Mg kaljive legure za livenje; sadrže do 8 % Cu i do 10 % Mg
 Al-Zn-Mg kaljive legure za gnječenje i livenje; sadrže do 8 % Zn i do 4 % Mn.

3. LEGURE ALUMINIJUMA ZA LIVENJE

Tabela 1. Legure aluminija za livenje prema JUS C.C2.300

Oznaka	Napon tečenja daN/mm ²	Zatezna čvrstoća daN/mm ²	Proc. Izduž. %	Tvrdoća HB	Smjernice za primjenu	Objašnjenje oznaka
P.Al Si 12 K.Al Si 12 T.Al Si 12	7-9 9-11 9-12	14-20 15-20 18-26	8-3 9-4 4-1	60-80 70-90 60-90	Za srednje opterećene tanke zidne odlivke za opće svrhe: hemijska otpornost dobra.	P-legura za pješčani liv, K-legura za kokilni liv, T-legura za tlačni liv, Brojčane oznake iza hemijskih znakova glavnih dodatnih eleme- nata koji ulaze u sastav legure predstavljaju njihov procentu- alni sadržaj. Sadržaj alumini- ja posebno se ne označava. Sadržaj sporednih dodatnih eleme- nata označava se samo izuzetno Ostale mehanič- ke karakteris- tike $\rho=2,6-3 \text{ kg/dm}^3$ $E=(0,765-0,85) \cdot 10^6 \text{ daN/cm}^2$ $\mu=0,3$ $G=0,27 \cdot 10^6 \text{ daN/cm}^2$ $\alpha=23 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ Skuplj. pri hlad. ~ 1-1,7 %
P.Al Si 12 Cu K.Al Si 12 Cu	8-10 9-12	15-22 16-26	4-1 4-1	50-65 55-75	Najviše napregnuti odlivci i tankozidni odlivci nepropusni za tečnost.	
P.Al Si 12 Mg K.Al Si 12 Mg	18-25 20-26	24-30 25-30	8-2 8-2	75-90 75-95	Za motore i vozila; legura otporna na udarna opterećenja.	
P.Al Si 10 MgCu K.Al Si 10 MgCu	17-26 18-25	20-26 22-28	4-0,5 3-0,5	75-110 80-115	Jako napregnuti i tankozidni odlivci otporni na vibracije.	
K.Al Si 12 Ni 20 Mg	18-20	18-22	0,5-0,3	80-110	Klipovi motora.	
K.Al Si 8 Cu 3 T.Al Si 8 Cu 3	12-18 12-18	18-24 18-26	3-1 3-1	70-100 80-90	Odlivci veće čvrstoće.	
T.Al Si 8	12-16	17-24	3-1	55-85	Hemijski postojani komplikov. odlivci.	
P.Al Si 5 Cu 3 K.Al Si 5 Cu 3	- -	13-18 17-22	-1,5 2-1	-80 90	Za opće svrhe.	
T.Al Mg 8 K.Al Mg 7 P.Al Mg 4	12-14 11-14 7-9	16-24 24-28 15-17	3-1 10-7 8-5	60-80 65-75 45-55	Za dijelove izložene koroziji.	
P.Al Cu 10Mg K.Al Cu 10 Mg	14-15 14-16	17-20 18-20	-1 -1	85-95 85-100	Klipovi motora.	
P.Al Cu 5 Mg Ti	-	30-35	2-1	100-120	Za odlivke velike čvrstoće.	
P.Al Cu 4 Mg 1 Ni 2 K.Al Cu 4 Mg 1 Ni 2	15-18 16-30	18-25 19-39	-1 -1	80-100 80-115	Za dijelove izložene povišenim temperat.	
P.Al Zn 5 Mg 1 Cr K.Al Zn 5 Mn 1 Cr	13-16 14-17	18-22 22-21	6-3 8-4	60-70 70-80	Samozakaljive legure dobre hem. otpornosti.	

Tabela 2. Legure aluminija za livenje prema JUS C.C2.300

	JUS	DIN	GOST
Aluminijske legure za livenje	P.Al Si 12 K.Al Si 12 T.Al Si 12	G.Al Si (Silumin)	
	P.Al Si 12 Cu K.Al Si 12 Cu	G.Al Si(Cu)	
	P.Al Si 12 Mg K.Al Si 12 Mg	G.Al Si Mg	(Al4)
	P.Al Si 10 Mg Cu K.Al Si 10 Mg Cu	G.Al Si Mg (Cu)	Al4
	K.Al Si 12 Ni 2 Cu Mg	-	(Al2)
	K.Al Si 8 Cu 3 T.Al Si 8 Cu 3	-	(Al6)
	T.Al Si 8	-	
	P.Al Si 5 Cu 3 K.Al Si 5 Cu 3	-	Al6
	T.Al Mg 8	-	
	K.Al Mg 7 P.Al Mg 4	-	
	P.Al Cu 10 Mg K.Al Cu 10 Mg	-	
	P.Al Cu 5 Mg Ti	-	
	P.Al Cu 4 Mg 1 Ni 2 K.Al Cu 4 Mg 1 Ni 2	-	Al1
	P.Al Zn 5 Mn 1 Cr K.Al Zn 5 Mg 1 Cr	-	

Ove legure sadrže veće količine legirajućih elemenata koji grade lakotopljiv eutektikum, što im daje dobra svojstva livkosti. Međutim ove legure imaju slabije mehaničke osobine legura za gnječenje (manju čvrstoću, plastičnost i žilavost). Kod jedne određene legure čvrstoća opada sa povećanjem debljine zidova odlivka. Legure aluminija za livenje mogu se podijeliti u tri glavne grupe;

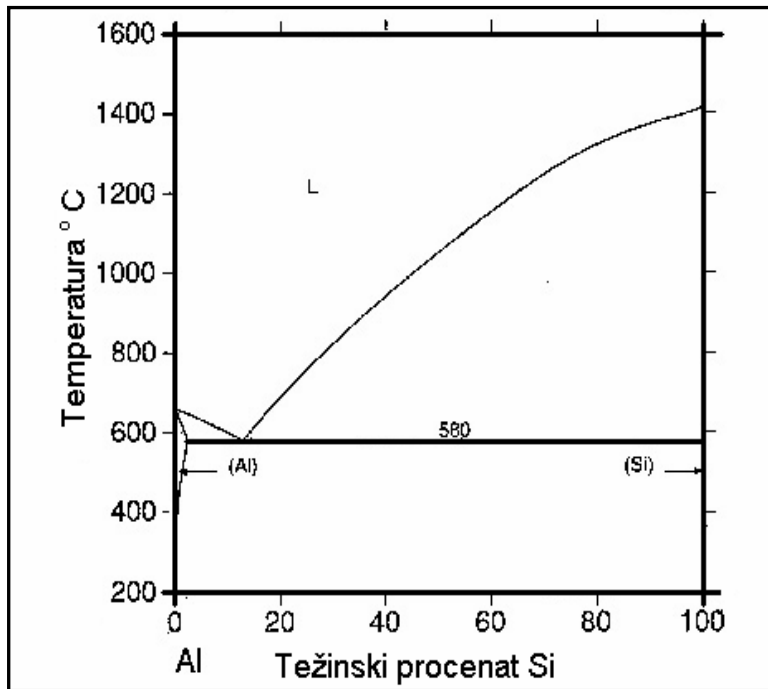
- legure sistema aluminij silicij (silumini),
- legure sistema aluminij-bakar (AlCu),
- legure sistema aluminij-mangana (AlMg)

3.1. Aluminij-silicij (silumini)

Ovo je najpoznatija legura aluminija za livenje. Sadržaj silicija kao glavnog legirajućeg elementa, gdje od 6-13% i oko 0,2-0,5% magnezija. Silumini nemaju veliku čvrstoću jer se u njima poslije livenja obrazuje relativno gruba lamelasta struktura sa uključcima silici 2.

Tabela 3. Rastvorljivost Si u Al

Temperatura °C	% Si
577	1,65
500	0,8
400	0,3
300	0,1
250	0,05



Sl.2. Dijagram stanja Al-Si

Na slici prikazan je diagram stanja Al-Si. Porast tvdoće i čistoće koji se postiže termičkim taloženjem je vrlo mali tako da nije našao praktičnu primjenu. Ove legure se odlikuju izvanrednim livačkim osobinama, one ne propustaju tečnosti niti gasove. Dobro se autogeno zavaruju i imaju zadovoljavajuća mehanička svojstva. Ova legura ima poboljšanu otpornost prema koroziji od čistog aluminija jer se stvara zaštitni sloj $\text{SiO}_2 \times \text{H}_2\text{O}$. Prisustvo silicija utiče i na smanjenje koeficijenta toplotnog širenja što je u nekim slučajevima veoma značajno npr. za izradu klipova motora. Nedostatak silumina je njegova izrazita sklonost ka upijanju plinova, uslijed čega odlivci mogu postati porozni. Također se nedostatkom može smatrati primjetno opadanje čvrstoće sa porastom temperature, preporučuje se da radna temperature ne smije da prelazi 300 °C.

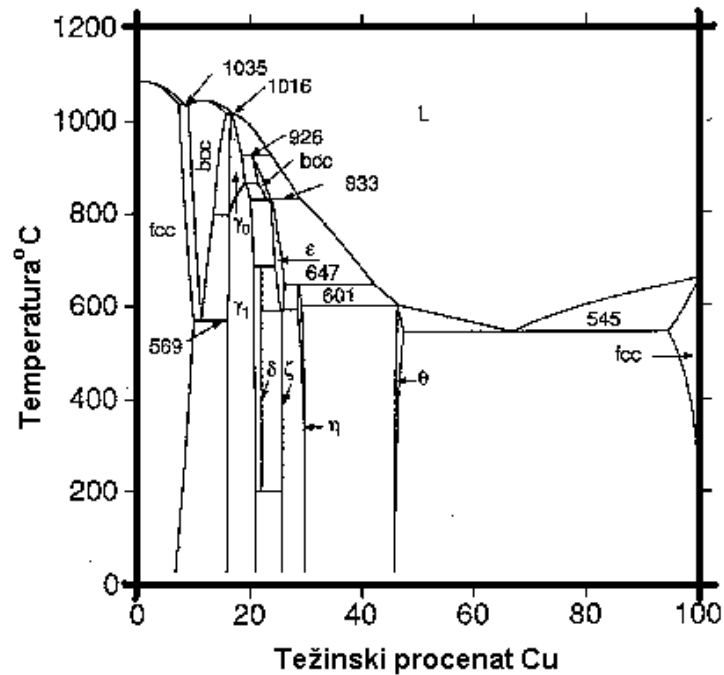
3.2. Aluminij-bakar Al-Cu

Aluminij gradi sa intermetalnim jedinjenjem Al_2Cu eutektički sistem. Eutektička koncentracija iznosi 33% Cu, a temperature 548 °C. Rastvorivost bakra u aluminiju data je u sljedećoj tabeli;

Tabela 4. rastvorivost Cu u Al

Temperatura °C	% Si
577	1,65
500	0,8
400	0,3
300	0,1
250	0,05

U strukturi livene legure aluminija sa 5% Cu javljaju se nehomogeni dendritni kristali čvrstog rastvora eutektikuma. U pod eutektičkim legurama sa 5,7-33% Cu, primarni dendrite nalaze se u eutektikumu. Pri većim sadržajima Cu izdvajaju se primarni i tvrdi Al_2Cu kristali. Dodatkom od 1% Cu, zatezna čvrstoća se povećava na 210 N/mm². Legure sa većim sadržajem bakra se mogu poslije kaljenja na 550° C ojačavati termičkim taloženjem.



Sl.3. Dijagram stanja aluminij bakar Al-Cu

3.3. Aluminij-Magnezij Al-Mg

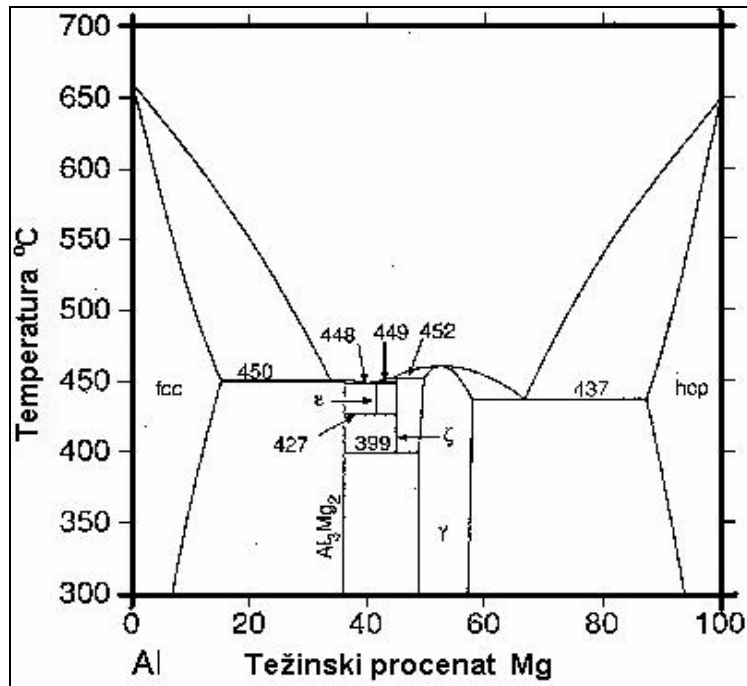
Ove legure najčešće sadrže 9.5 do 11.5 % Mg i odlikuju se dobrim mehaničkim svojstvima kao i dobrom otpornošću prema koroziji, a naročito prema morskoj vodi i slabim alkalnim rastvorima. Sa povećanjem sadržaja magnezija a naročito preko 10% opadaju njegove plastičnosti i zavarljivost. Ove legure se primjenjuju za srednje opterećenje djelove u općem mašinstvu, hemijskoj, predrambenoj industriji, arhitekturi itd. Legure ovog sistema legiranja koriste se kao i za livenje tako i za gnječenje. Praktično su pogodne za termičko taloženje, ali posjeduju visoku čvrstoću i tvrdoću koja ne opada njegovim zagrijavanjem. Legure aluminij-mangana u pijesku imaju granicu tečenja 100 N/mm², zateznu čvrstoću 180 N/mm² i izduženje 20%.

Tabela 5. Rastvorljivost Mg u Al

Temperatura °C	% Mg
451	15,35
400	11,5
300	6,5
200	3,5
100	2,95

Pri neodgovarajućoj termičkoj obradi legure Al-Mg postoji opasnost od naponske korozije. Da bi se spriječila interkristalna korozija, legura se mora termički obraditi posebnim postupkom. Ovaj postupak se sastoji od toga da se ova legura žari na 530 °C i tada kupa u vodi. Na taj način se najveći dio taloga pretvori u rastvor i nastaju presićeni kristali čvrstog rastvora. Zatim se kaljena legura odgrijava na 80 °C. Jedan dio u Mg u višku se izdvaja kao Al₃Mg₂ u obliku diskontinualne mreže na granicama zrna. Legura Al-Mg u kojoj je Al₃Mg₂ izdvojena na ovaj način postojana je prema koroziji jer se između pojedinih Al₃Mg₂ ponovo nalazi hemijski vrlo postojana faza čvrstog rastvora, tako da se napad korozije prekida. Ako je temperatura odgrijavanja u kojem slučaju veća od 80 °C, otpornost prema koroziji je umanjena.

Pri neodgovarajućoj termičkoj obradi legure Al-Mg postoji opasnost od naponske korozije. Da bi se spriječila interkristalna korozija, legura se mora termički obraditi posebnim postupkom.



Sl.4. Dijagram stanja aluminij-magnezijum Al-Mg

Ovaj postupak se sastoji od toga da se ova legura žari na 530 °C i tada kvari u vodi. Na taj način se najveći dio taloga pretvori u rastvor i nastaju presićeni kristali čvrstog rastvora. Zatim se kaljena legura odgrijava na 80 °C. Jedan dio u Mg u višku se izdvaja kao Al₃Mg₂ u obliku diskontinualne mreže na granicama zrna. Legura Al-Mg u kojoj je Al₃Mg₂ izvodjena na ovaj način postojana je prema koroziji jer se između pojedinih Al₃Mg₂ ponovo nalazi hemijski vrlo postojana faza čvrstog rastvora, tako da se napad korozije prekida. Ako je temperatura odgrijavanja u kojem slučaju veća od 80 °C, otpornost prema koroziji je umanjena.

4. ALUMINIJEVE LEGURE ZA GNJEČENJE

Legure za gnječenje su dvo ili više komponentne legure aluminijuma, dobivene pretapanjem aluminijuma sa odgovarajućim elementima koji će obezbjediti sposobnost materijala da se dobro plastično obrađuje.

Legure namijenjene plastičnoj obradi na toplo ili hladno su najčešće više komponentne legure a legirajući elementi su mangan, magnezijum, bakar, silicij i cink i drugi elementi u zavisnosti od potrebe.

Prema tehnološkoj namjeni legure možemo podijeliti na:

- Legure za obradu deformacijom (gnječenjem),
- Legure za livenje.

Ovdje će biti tema o legurama za obradu deformacijom (legure za gnječenje).

Možemo ih podijeliti u dva osnovna tipa:

- Legure ojačane termičkom obradom (kaljive),
- Legure koje se termički ne obrađuju (nekaljive).

4.1. Legure ojačane termičkom obradom

4.1.1. Duraluminijum (dural)

Njemački naučnik Alfred Vilm je pripremio leguru sa;

95,5% Al,

4% Cu,

0,5% Mg, pa je tu leguru zakalio.

Poslije kaljenja više puta je izmjerio tvrdoću legure i dobio različite rezultate, pa je posumnjao u ispravnost aparature, ali kasnija istraživanja su pokazala da se čvrstoća i tvrdoća legure u toku vremena povećava. Tako je otkriven fenomen "starenja" i mada Alfred Vilm nije teoretski objasnio ovu pojavu, on je eksperimentalnim putem odabrao optimalni sastav legure i režim termičke obrade i svoj patent prodao pod nazivom duraluminijum.

Postupak dobijanja legure duraluminijuma;

- Zona minimalne otpornosti dobija se zagrijavanjem na temperaturu od 350°C, što predstavlja praktični interes za tehnološku obradu, jer tada materijal postaje pogodan za obradu za plastičnom deformacijom,

- Poslije završetka obrade sa ovako omekšanim materijalom gotovi dijelovi se podvrgavaju kaljenju,

- Čvrstoća i tvrdoća durala se ne povećava odmah poslije kaljenja, kao što je slučaj kod čelika, već postepeno sa vremenom od nekoliko dana,

- Kaljenje se izvodi na taj način što se legura potapa u kadu sa zagrijanim rastvorom soli natrijuma i kalijuma na temperaturi oko 500°C, pa se zatim brzo hladi u vodi,

- Hlađenje pri kaljenju se vrši u vodi na sobnoj temperaturi, a zatim se predmet pere u toploj vodi radi uklanjanja soli koje su jako korozivne, potom se odlaže u skladište gdje na vazduhu odpočinje proces "prirodnog starenja".

- Proces starenja se može ubrzati ukoliko se predmet poslije zagrijavanja hladi u vodi, a zatim suši u struji toplog vazduha-vjestačkog starenje.

Ukoliko se odmah poslije kaljenja dijelovi čuvaju na niskim temperaturama, proces starenja se naglo produžava ili se čak uopšte i ne pojavljuje, što se koristi za čuvanje legura namjenjenih plastičnoj obradi.

Do danas je razvijeno više legura koje se donekle razlikuju po sastavu, načinu termičke obrade i oznakama, ali se svi zovu istim imenom- **durali**.

Legure duraluminijuma dijele se u dva osnovna tipa :

Prvi tip legure sadrži - **Al; 3,8-4,8 %Cu; 0,5%Mg; 0,5%Mn; 7%Si;**

Drugi tip legure sadrži - **Al; 3,8-4,5%Cu; 1,2-1,8%Mg; 0,5%Mn; 5%Si.**

Legure durala se koriste za izradu konstrukcionih dijelova srednje i povišene čvrstoće, kada se traže dobre zamorne karakteristike i zadovoljavajuća postojanost prema koroziji.

Dural od 93,5% Al, 4,4% Cu, 1,5% Mn i 0,6% Mg je jedan od najviše primjenjivanih materijala za izradu vazduhoplova. Legura koja se koristi za izradu spoljnje oplata aviona, za izradu krila aviona za završni deo trupa AlCu4Mg1

Kada se aluminijumu dodaje cink u kombinaciji sa magnezijumom, dobija se veoma čvrsta legura koja ima oznaku AlZn5Mg3 koja se koristi za jako napregnute konstrukcije u avijaciji.

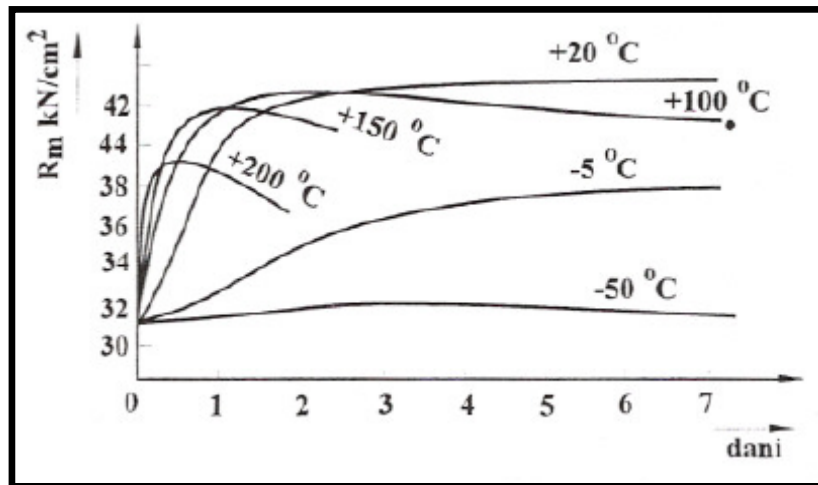
Duraluminijum u korodirajućoj slanoj sredini vrlo brzo korodira i propadne pa je bilo neophodno pronaći tehniku da se zaštiti od korozije. Tako je stvoren materijal koji se naziva **Al-klad** (Al-clad). Dobija se postupkom koji se u engleskom jeziku naziva **cladding**. Ideja je bila da se po površini duraluminijuma nanese tanak sloj čistog aluminijuma koji vrlo brzo oksidira i stvara zaštitni sloj oksida (Al₂O₃) koji štiti od dalje korozije.

Kaljenje duraluminijuma sastoji se u zagrijavanju do 500 ± 10 °C sa hlađenjem u vodi sobne temperature. Određene temperature kaljenja treba se pridržavati radi uspješnog zakaljivanja jer zagrijavanje niže od 490°C dovodi do nepotpunog kaljenja, a zagrijavanjem više od 510°C izaziva forsirani porast zrna što dovodi do povećanja krutosti.

Specifičnost duraluminijuma je ta što se nakon kaljenja ne postiže odmah čvrstoća i tvrdoća, kao kod čelika već tek u toku 5-6 dana, a najveći prirast čvrstoće i tvrdoće je u toku prvih 12 sati. Ovaj proces postepenog očvršćavanja naziva se starenje. Starenje pri sobnoj temperaturi u vremenu od 5-6 dana naziva se prirodnim starenjem. Starenje nakon kaljenja može biti ubrzano zagrijavanjem do 100-150 °C i traje 3-4 sata. Ovako starenje naziva se vještačko starenje.

Promjena čvrstoće duraluminijuma u toku starenja na različitim temperaturama vidi se iz dijagrama na (slici 5.)

Žarenje se primjenjuje prije obrade duralumnijuma savijanjem , presovanjem , razvrtanjem, itd. Bezopasna obrada na hladnom moguća je tek nakon predhodnog žarenja duraluminijuma. Žarenje duraluminijuma sastoji se u zagrijavanju na $350 \pm 10^\circ \text{C}$ na neznatnom držanju na toj temperaturi i zatim hlađenjem. Žarenjem se smanjuje tvrdoća i čvrstoća duraluminijuma.

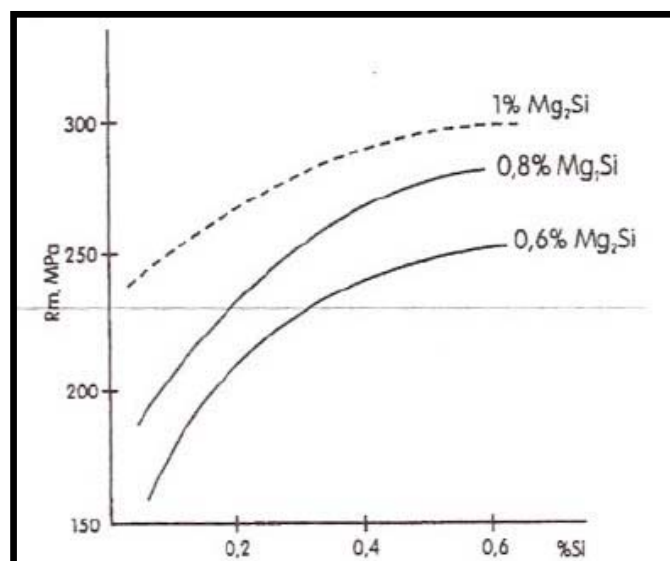


SI.5. Promjena čvrstoće duraluminijuma u toku starenja na različitim temperaturama

Žarenje se primjenjuje prije obrade duralumnijuma savijanjem , presovanjem , razvrtanjem, itd. Bezopasna obrada na hladnom moguća je tek nakon predhodnog žarenja duraluminijuma. Žarenje duraluminijuma sastoji se u zagrijavanju na $350 \pm 10^\circ \text{C}$ na neznatnom držanju na toj temperaturi i zatim hlađenjem. Žarenjem se smanjuje tvrdoća i čvrstoća duraluminijuma.

4.2. Avijali

Kod ovog tipa legure, sadržaj Cu u odnosu na dural je znatno snižen, dok je sadržaj Si relativno visok takođe sadrži i Mg. Ima niži nivo čvrstoćnih karakteristika ali bolje duktilne osobine u odnosu na dural. Zavarivi su i imaju korozivnu postojanost. Njihova prednost je i dobra otpornost prema lomu usljed zamora. Ojačanje u avijalima je rezultat djelovanja intermetalne faze Mg_2Si . Uticaj dodatka silicija (Mg_2Si) na čvrstoću kod legure Al-Mg-Si



SI.6. Uticaj dodatka silicija (Mg_2Si) na čvrstoću kod legure Al-Mg-Si

Legura avijal se kali sa temperature 515°C do 525°C u vodi , a ojačavanje bilo prirodnim bilo vještačkim starenjem na temperaturi 160 °C traje 12 sati. Vještačko starenje treba realizirati odmah nakon kaljenja , u protivnom se dostiže niži novom čvrstoćnih osobina. Iz legura tipa avijal izrađuju se limovi, profili, cijevi i sl. Ova legura se obično koristi za konstrukcione dijelove koji nisu izloženi naročitim opterećenjima, ali uglavnom gdje se traži visoka plastičnost na normalnim i povišenim temperaturama.

4.3. “ Visokočvrste“ legure aluminijuma

Samostalnu skupinu termički obrađenih legura čine tzv. visokočvrste legure. Nivo čvrstoće im je 500 do 600 Mpa, uz nižu plastičnost u odnosu na duralu. Ove legure su pored bakra i magnezija obično legirane i sa cinkom (5-8 %). U svojstvu ojačavajućih intermetalnih faza javljaju se :

-MgZn₂; Al₂Mg₃ (T faza)

-Al₂CuMg (S faza)

Sa povišenim sadržajem cinka i magnezija povećava se čvrstoća navedenih legura ali se i djelom snižava nivo duktilnih osobina, kao i korozione postojanosti. Dodatkom kroma i mangana dolazi do povišenja korozione postojanosti. Visokočvrste legure aluminijuma se obično kale na temperaturama od 456°C do 480°C hlađenjem u hladnij ili zagrijanoj vodi a zatim se podvrgavaju starenju na temperaturama od 120 °C do 145°C u trajanju od 8 do 16 sati.

4.4. Legure aluminijuma za kovanje i presovanje

Legure aluminijuma namjenjene preradi kovanjem i presovanjem karakteristične su po izvanrednim osobinama plastičnosti na temperaturi obrade od 380°C do 470°C.

Navedeni tipovi legura se obično legiraju sa bakrom i magnezijem te dodatno sa manganom. Radi se o legurama slijedećeg sastava:

-(1,8-12,6)%Cu ; (0,4-0,8)%Mg ; (0,4-0,8)%Mn ; (0,7-1,2)%Si

-(3,9-4,2) %Cu ; (0,4-1) %Mg ; (0,4-1) %Mn ; (0,5-1) %Si.

Ova posljednja legura svojim sastavom je veoma slična duralu. Dostiže se čvrstoća od 430 do 480 Mpa uz izduženje od 10 do 13%, pri čemu se ovaj drugi tip legure (sa više bakra) koristi za jače opterećene kovane elemente. Kaljenje ovih legura se vrši sa temperature od

Tabela 6. Smjernice za upotrebu legura za gnječenje

Oznaka	Oblici polufabrikata	Smjernice za primjenu	Primjedbe o stanju materijala	
Al 99,8	Šipke, profili cijevi, žice, limovi, trake, folije, presovani komadi.	Za hemijsku industriju sa naročito velikim zahtijevima.	meko četvrttvrd polutvrdo tvrd opružno tvrdo	
Al 99,7		Za hemijsku industriju i brodogradnju.		
Al 99,5		Za robu široke potrošnje.		
Al 99,3		Za opće svrhe.		
Al 99				
Al Mn 1	Šipke, profili, cijevi, žice, limovi i trake.	Za dijelove izložene jakoj koroziji, za arhitekturu, građevinarstvo i hemijsku industriju, za anodnu oksidaciju i za zavarivanje.	meko polutvrdo tvrd	
Al Mg 2		Legure odlične hemijske postojanosti, za dijelove konstrukcija, za brodogradnju, arhitekturu, hemijsku i prehrambenu industriju, za anodnu oksidaciju, za zavarivanje, za zakovice.		
Al Mg 3			četvrttvrd	
Al Mg 4				meko, polutvrdo, tvrdo
Al Mg 5				
Al Mg 1 Si 1	Šipke, profili, žice, limovi i trake	Legura dobre hemijske postojanosti za srednje napregnute dijelove konstrukcija, za dekorativne svrhe za zakovice.	meko kaljeno	
Al Mg 1 SiCu	Šipke, profili, cijevi	Legure srednje vrijednosti, za dekorativne svrhe, građevinski okovi, namještaj i sl.		
Al Cu 3 Mg	Žice	Za zakovice, za dijelove od legura AlCuMg koje se zakivaju u termički očvršćenom stanju	kaljeno	
Al Cu 5 Mg 1	Šipke, profili, cijevi, limovi i trake	Za jako napregnute konstrukcije	kaljeno	
Al Cu 5 Mg 2				
Al Cu 6 Pb	Šipke	Legura velike čvrstoće za obradu na automatima		
Al Zn 5 Mg 3	Šipke, profili, cijevi, limovi i trake	Za jako napregnute konstrukcije, za avijaciju, građevinarstvo i sl.	vještački staren	
Al Zn 5 Mg 3 Cu 2	Šipke, profili, limovi i trake		meko vještački staren	
Objašnjenje oznaka	AL...--- Čist aluminij: brojka označava procentualni sadržaj čistog aluminija. Kod aluminijevskih legura, brojne oznake iza hemijskih znakova dodatnih elemenata predstavljaju procentualni sadržaj glavnih dodatnih elemenata koji ulaze u sastav legure. Sadržaj aluminija posebno se ne označava kao i ni sadržaj sporednih dodatnih elemenata.			

490°C do 515 °C zatim se hlade u vodi , zatim se podvrgava starenju na temperaturi 150°C do 165°C u trajanju od 6 do 15 sati.

4.5. Legure aluminijuma nenamijenjene termičkoj obradi

Osnovni tip ovih legura su legure sa dodacima magnezija i mangana. Kod legure aluminijum-magnezijum sadržaj magnezija ne ide preko 5,5% jer pri većem sadržaju dolazi do jače interkristalne korozije. Odlikuju se velikom antikorozijskom otpornošću naročito prema

morskoj vodi. Glavni izvor ojačanja je povišena čvrstoća osnovnog čvrstog rastvora, dok izlučene faze samo minorno doprinose ukupnom nivou dostignute čvrstoće. Legure Al-Mg se dodatno legiraju manganom, što omogućava precipitaciju čestica Al₆Mn koje imaju dvojako dejstvo (ojačavaju matricu i profinjuju zrno).

Ove legure se primjenjuju u žarenom stanju ili u stanju nakon plastične deformacije. Žarenje se obično vrši na temperaturama 310°C do 410°C sa naknadnim hlađenjem na zraku. Navedene legure se dobro oblikuju, zavaruju i dostižu dobar nivo korozione postojanosti. Obrada rezanjem naročito u žarenom stanju prilično je otežana. Ove legure se mogu uspješno koristiti za dijelove konstrukcija od kojih se traži visoka koroziona postojanost kod nižih nivoa mehaničkih opterećenja. Uopšteno se može reći da se ove legure odlikuju velikom plastičnošću, korozionom otpornošću i sposobnošću zavarivanja ali im čvrstoća nije naročito velika. U tabeli 6. dat je pregled legura za gnječenje prema JUS standardu.

5. ZAKLJUČAK

U mašinstvu aluminij kao i njegove legure ima veoma veliku primjenu. Ovo je material koji je načinio revoluciju u metalurgiji, ali i u drugim oblastima. Danas je nemoguće zamisliti automobilsku industriju, avio industriju, građevinarstvo bez aluminija. Ovo je material koji je napravio revoluciju u ovim oblastima. Nedavno sprovedena studija dokazala je da upotreba aluminijuma u konstrukciji automobila u Evropi pokazuje stabilan rast, a isti je posebno izražen u posljednje dvije decenije. Tokom 1990. godine automobili su u prosjeku imali oko 50 kg ovog lakog metala. Do 2005. godine ova brojka je narasla na 132 kg, a očekuje se dodatni rast od 25 kg do 2010. godine. Aluminijum je dosta lakši od konvencionalnog čelika, a omogućava smanjenje težine vozila i poboljšanje njegove ekonomičnosti. Jedini problem jeste cijena ovog metala. Studiju je sproveo *Knibb, Gomerzano & Partners* sa *Evropskom asocijacijom za aluminijum*, a studija je bazirana na 15 miliona automobila proizvedenih u Evropi tokom 2006. godine. Aluminijum se može koristiti za proizvodnju brojnih komponenti automobila, uključujući dijelove motora, karoserije, pa čak i enterijera. Automobili poput Jaguara XJ intenzivno koriste aluminijum za konstrukciju karoserije, omogućavajući smanjenje težine u odnosu na automobile sličnih dimenzija. Sa snižavanjem troškova proizvodnje aluminijuma sigurno je da će njegova primjena u konstrukciji automobila biti sve češća. Takođe svoju primjenu je našao i u predrambenoj industriji, ali ne samo da je našao nego još uvijek pronalazi.

6. LITERATURA

- [1.] Haračić N.: Inženjerski metalni i nemetalni materijali, Mašinski fakultet u Zenici, 2005.
- [2.] Hadžipašić A.: Materijali u mašinstvu, Dom štampe Zenica, 2002.
- [3.] Harper Charles A.: Handbook of materials for products design, McGRAW-HILL 2001.
- [4.]*** Standardi za aluminij i njegove legure
- [5.]*** Razne Internet adrese

ANALIZA TRANSPORTA MATERIJALA U INDUSTRIJI PLASTIČNIH DIJELOVA

Armin Nurkić,
Mašinski fakultet u Tuzli,
Univerzitetska 4, Tuzla

Rezime:

Ovaj rad obuhvata osnovne odlike industrije plastičnih dijelova, osnovnu podjelu kao i analizu samog proizvodnog procesa. Posmatrani proizvodni proces je na osnovu analize optimiran u pogledu unutrašnjeg transporta materijala. Optimizacija je izvršena prema ekonomskom kriteriju i kriteriju minimalnog transporta materijala.

Ključne riječi: *proizvodni sistem, transportni sistem, transportna sredstva, mašine za brizganje materijala, mjerno-kontrola analiza.*

ANALYSIS OF TRANSPORT MATERIAL IN INDUSTRY OF PLASTIC PARTS

Armin Nurkic,
Faculty of Mechanical engineering,
Univerzitetska 4, Tuzla

Summary:

This paper covers basics characteristic industry of plastic part, basic division, and manufacture process analysis. Observed manufacturing process is optimized by internal material transport. Process of optimization is exquisitely by economic criterion and criterion of minimal material transport.

Key words: *manufacturing process, transport system, trasport resources, molding machines, control-measurement analysis.*

1. UVOD

Analizom proizvodnih kapaciteta industije plastičnih masa dolazi se do podataka koji nam govore nešto više o samom toku materijala unutar proizvodnog procesa.

Analiza je izvršena pomoću real-time praćenja samog procesa. Ovakav način praćenja procesa proizvodnje daje nam stvarne podatke sa kojima je moguće vršiti proračune u pogledu optimizacije proizvodnog procesa.

Optimizacija svakog procesa donosi smanjenje troškova, fiksnih i varijabilnih, a podiže radnu sposobost i gotovost samog procesa.

Otpimizacija transportnih tokova vršena je prema dva kriterija, ekonomskom kriteriju i kriteriju minimalnih transportnih tokova materijala. Posmatrani proces je moguće optimizirati i prema više kriterija, ali ova dva kriterija su dovoljna da opravdanost implemntacije novog sistema transporta, odnosno novih transportnih sredstava u posmatrani proces.

2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE INDUSTRIJE PLASTIČNIH DIJELOVA

Proizvodni procesi mogu se posmatrati u više segmenata, ali današnja podjela proizvodnog procesa obuhvata i tržište kao izvor i ponor proizvoda, odnosno mjesto na kome proizvod nastaje i na kome proizvod završava.

Ove karakteristike predmet većine podijela i kao takve mogu se i definirati na više načina. Najzastupljenija podjela tokova u ovoj industriji je predstavljena kao :

- primo-predajno skladište,
- skladište sirovina,
- skladište gotovih proizvoda,
- proizvodnja.

Pored ovih osnovnih dijelova, postoji još i segment mjerenja i kontrole. Ovaj segment proizvodnog procesa je sve više postaje zastupljen u ovoj industrijskoj grani zbog strožiji i preciznih zahtjeva tržišta.

Pored ovih podjela ovu industrija oslikava i neprekidan, ustaljen, unaprijed definisan proizvodni proces i proizvodni program.



Slika 1. Tok materijala u industriji plastičnih dijelova.

Svaki segment ove industije zaslužuje posebnu pažnju pri razmatranju zbog važnosti svakog pojedinačno u sveukupnom funkcioniranju.

Primo-predajno skladište predstavlja protočno skladište materijala, a kao takvo predstavlja prvi korak u ovoj industiji. Ovo mjesto nije usko grlo jer kao takvo nikada se ne koristi istovremeno za primanje i predaju materijala.

Skladište sirovine u osnovi moraju odgovarati projektovanom tehnološkom proces, odnosno projektovanim zahtjevima koji bi obezbjedili kontinuiran proces.

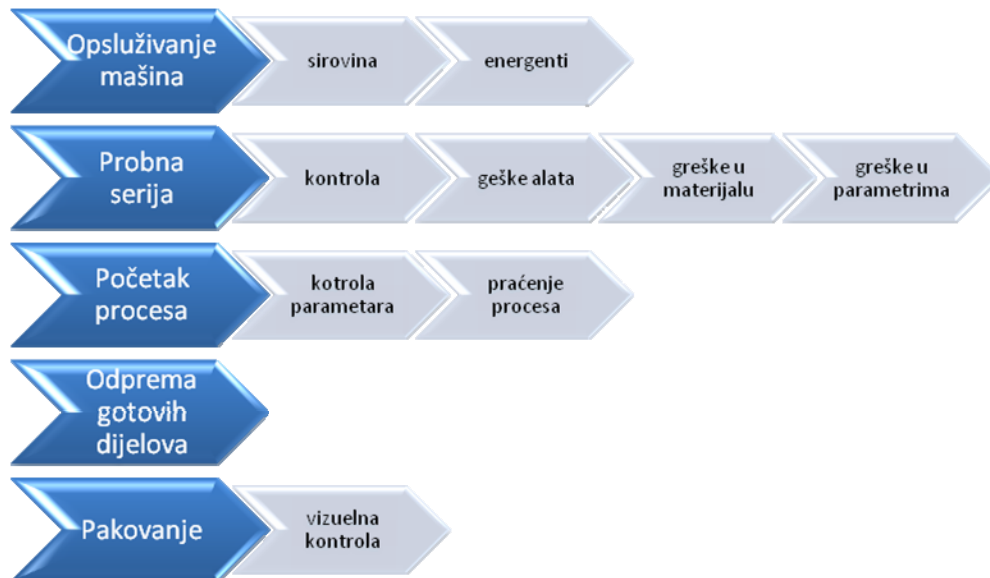
Proizvodnja u ovoj industiji sastoji se od sljedeći koraka:

- opsluživanje mašina,
- probna serija,
- kontrola,
- početak procesa,
- odprema gotovi dijelova,
- kontola,
- pakovanje.

Skladište gotovih dijelova je prostor koji je usko povezan sa primo-predajnim skladištem jer proizvodnja ovog tipa je veoma blizu proizvodnje prema potrebama kupaca ili na zahtjev kupca – just in time.

3. OSNOVNE KARAKTERISTIKE PROIZVODNOG PROCESA U INDUSTRIJI PLASTIČNIH DIJELOVA

Prema već napravljenoj podijeli samog proizvodnog procesa koji je prikazan slikom 2, možemo zaključiti da je proces na očigled jednostavan, dok on to u stvarnosti nije. Razlog tome je i velik broj parametara koji se prate u toku odvijanja samog procesa.



Slika 2. Tok procesa proizvodnje.

Sve ove dijelove procesa proizvodnje moguće je još povezati na nekoliko načina i povezati ih preko različiti veza. To se može vidjeti najbolje kroz prikaz radnih mjesta, načina rasporeda, bitnosti pojedinih segmenata i edukovanosti radnika na tim poslovima.

Prekid kontinuiranog procesa proizvodnje može da se prekine zbog sljedećih elemenata:

- nedostatak energenata,
- nedostatak sirovine,
- loša kontrola parametara.

Međutim svaki proces je određen uslovima pa tako je i ovaj proces određen uslovima koji moraju biti ispunjeni da bi došlo do optimalnog procesa.

Uslovi su sljedeći:

- pritisak ubrizgavanja,
- temperatura ubrizgavanja,
- brzina ubrizgavanja,
- brzina plastifikacije,
- protupritisak,
- naknadni pritisak,
- vrijeme trajanja naknadnog pritiska,
- vrijeme hlađenja,
- vrijeme stajanja,
- ulivni sistemi i kanali,
- put toka mase,
- debljina stijenke.

Da bi poboljšali kvalitet samog proizvoda u ovom procesu imamo parametre materijala, a oni kao takvi su osnova za daljnu analizu. Za takvu jednu analizu potrebno je poznavati:

- *reološke karakteristike* (viskoznost, smična čvrstoća taline i njihova ovisnost o temperaturi),

- *termičke karakteristike* (gustoća, toplotna vodljivost, specifična toplota i parametri koji prikazuju granične vrijednosti),
- *karakteristike za skupljanje u kalupu i zatezanje*; iz termodinamičkih odnosa polimernih materijala, koji se prikazuju pvT-dijagramima, da se izračunati zapreminsko skupljanje. Skupljanje je ovisno o reološkim, termičkim i mehaničkim odnosima naročito u fazi naknadnog pritiska i hlađenja. Zbog anizotropnosti skupljanja izvođenje linearnog skupljanja iz zapreminskog nije moguće.

Karakter svakog proizvodnog procesa u industriji plastičnih dijelova je obilan broj parametara koji se prate, ali kao takav ne predstavlja kompleksan proces zbog softverskih paketa koji se ugrađuju u ovakve procese.

4. OSNOVNE KARAKTERISTIKE TRANSPORTA UNUTAR PROIZVODNOG PROCESA

Transportni sistem kao skup elemenata koji sačinjavaju podsistem možemo klasificirati kao skup:

- transportnih sredstava,
- transportnih saobraćajnica sa potrebnom pripadajućom opremom,
- opreme i sredstava za rukovanje materijalom koji se transportira,
- opreme za upravljanje – upravljači sistemi,
- pomoćne opreme – signalni uređaji, sigurnosni uređaji, mjerni uređaji, itd.,
- operatera – ljudskog kapaciteta.

Svaki transportni sistem u principu može biti neautomatizovan, poluautomatizovan ili u potpunosti automatizovan.

Transport u samom proizvodnom procesu predstavlja značajan segment jer kao takav direktno utiče na :

- vrijeme trajanja proizvodnog procesa,
- iskorištenje proizvodnih kapaciteta,
- iskorištenje ljudskih kapaciteta,
- produktivnost rada,
- iskorištenje radnog i skladišnog prostora,
- proizvodne troškove.

Transport kao karika sistem u svakom proizvodnom procesu predstavlja je neizbježan ali kao takav ima karakter izvora troškova. Ovo se temelji na činjenici da se transportom ne povećava vrijednost proizvoda nego se njime stvaraju neizbježni troškovi, a koje možemo podijeliti u dvije osnovne grupe, i to na stalne i varijabilne.

Ova podjela ovisi o samom karakteru procesa, rasporedu sredstava za rad, sirovine, i drugih elemenata koji učestvuju u procesu proizvodnje.

U industriji plastičnih dijelova imamo serijsku proizvodnju a ona karakteriše kontinuiranost procesa, unaprijed određen tok materijala i definisane ključne i reperne tačke, kao i niz drugi podataka o samom procesu proizvodnje.

5. INSTALIRANI I OPTIMIRANI TRANSPORT UNUTAR PROIZVODNOG PROCESA

Pošto industrija plastičnih dijelova ima karakter maloserijske, serijske i velikoserijske industrije, u ovisnosti o iskorištenju proizvodnog kapaciteta u odnosu na potrebe tržišta, ona kao takva zahtjeva transportni sistem koji će opsluživati sve segmente proizvodnog procesa. Svaki transportni sistem kroz transportna sredstva tog sistema daje određene karakteristike.

Neke od karakteristika sredstava su:

- organizovano i unaprijed određena svaka transportna operacija,
- mogućnost kombinovanja transportnih sredstava i uređaja,
- mogućnost racionalizacije vremenskih tokova transportnih sredstava,
- mogućnost automatizovanja,
- mogućnost optimizacije,
- pogodnosti za održavanje.

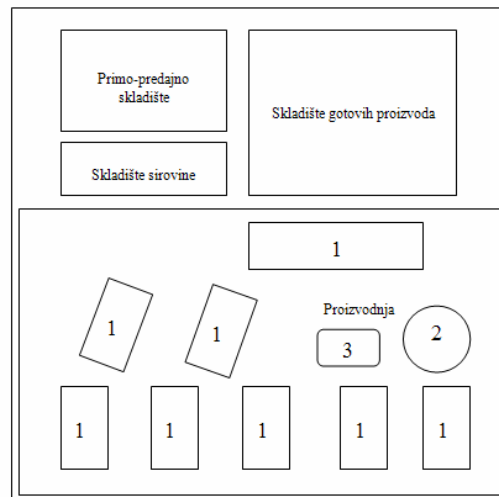
Naime, pošto se radi o serijskoj proizvodnji koja definiše i sam način transporta, moraju biti ispunjeni i neki od preduslova, a to su:

- da su sva sredstva i uređaji kontinuiranog tipa,
- potreban visok stepen automatizacije,
- potreban visok stepen pouzdanosti,
- potreban visok stepen funkcionalne gotovosti,
- potreban visok stepen raspoloživosti,
- nizak procenat udjela ljudskog rada,
- niska zauzetosti raspoložive radne površine,
- visok stepen iskorištenja transportnog sredstva,
- kratke i sigurne tokove materijala.

Ovo su samo neki od zahtjeva koji su postavljeni prije samog projektovanja transportnog sistema, ali kao takvi daju jasne ulazne informacije kako i na koji način se odrediti pri projektovanju. Karakteristika ovog transportnog sistema je to što je isti predviđen za transport komadnog materijala, i to pojedinačnog komadnog materijala bez dodatnih elemenata kao što su ambalaža, palete, kontejneri i slično.

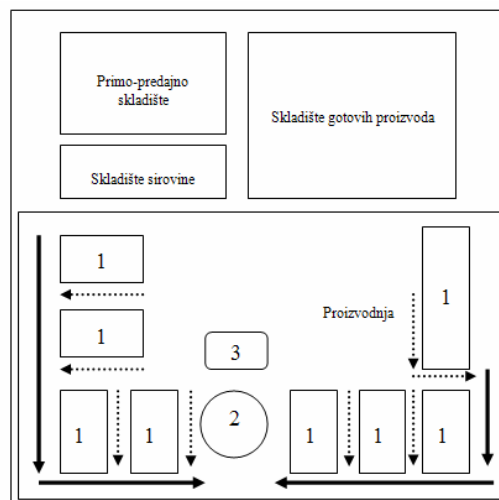
Na slici 3 prikazan je posmatrani raspored proizvodnih sistema. Pozicijama 1 označene mašine za brizganje, pozicijom 2 predstavljeno je mjesto za kontrolu i pakovanje i pozicijom 3 je označeno kontrolno mjesto.

Trenutni raspored mašina ne daje mogućnost implementacije idejnog projektovanog transportnog sistema, pa se prije svega prostupa razmještanju mašina i uređaja potrebnih za ispunjenje preduslova koji su pometi. Pristup rasporedu mašina napravljen je zadovoljenjem uslovom minimalne površine i minimalne transportne udaljenosti od primo-predajnog skladišta.



Slika 3. Posmatrani proizvodni sistem.

Trenutni instalirani transportni sistem se ogleda u tome da iz mašina za brizganje putem kosog trakastog transportera vrši punjenje sanduka na paletama, koji se nakon toga pomoću viljuškara odprema prema mjestu za vizuelnu kontrolu i pakovanje. Ovakav sistem proizvodnje i transporta zahtjeva u trobrigadnom sistemu rada sedam osoba za rad. Raspodjela rada se vrši na način da dvije osobe rade na mjestu za vizuelnu kontrolu i pakovanja, dvije osobe za unutarnji transport i na opsluživanju mašina sirovinom, a po jedna osoba na kontrolnom mjestu, skladišnom prostoru i jedna osoba za primo-predajno skladište.



Slika 4. Projektovani proizvodni i transportni sistem.

Slika 4 pokazuje novi raspored mašina i tokove materijala od mašina za brizganje preko transportnog sredstva do mjesta za pakovanje i vizuelnu kontrolu.

Prema proračunu za transportna sredstva odabrani su viljuškar i transporter. Karakteristike proračunatog i odabranog trakastog transportera su sljedeće:

- ravno vođena traka za komadni materijal,
- traka za horizontalni pravolinijski transport,
- pokretna prekidna konstrukcija,
- jednosmjerni konvejer sa mekanom trakom.

Projektovani transportni sistem sastoji se sada od osam opslužujućih trakastih transportera za kosi transport (korišteni od predhodnog sistema) i četiri horizontalna trakasta transportera. Kontrola i upravljanje ovim transportnim sredstvima je djelimično automatizovana, ali osobina fleksibilnosti i pogodnosti za održavanje je dosta visoka.

Optimizacija ovakvog procesa transporta unutar proizvodnog procesa ogleda se u nekoliko stavki:

- dužina transportnih staza – saobraćajnica,
- načinu transportovanja,
- rasporedu osnovnih sredstava proizvodnog procesa,
- smanjenju troškova usljed nemara ljuskog,
- smanjenju troškova prema cijeni rada,
- smanjenju pokrivenosti proizvodne površine.

Nakon što je izvršeno projektovanje i optimizacija, ovakav proizvodni proces mogu u potpunosti opsluživati pet osoba i to na sljedećim radnim mjestima sa pripadajućim radnim zadacima:

- dvije osobe za pakovanje i vizuelnu kontrolu,
- jedna osoba za opsluživanje mašina sirovinama i unutrašnji transport
- jedna osoba za mjerno-kontrolno mjesto
- jedna osoba za skaldišni i primo-predajni prostor.

6. ZAKLJUČAK

Analiza transporta materijala u industriji plastičnih dijelova je složen i dugotrajan proces, koji kao takav zahtjeva i ozbiljniju analizu na temelju znanstvenih i iskustvenih spoznaja. Nivo automatizacije svakog procesa, pa i procesa toka materijala treba težiti ka povećanju, ali isto tako treba voditi računa o fleksibilnosti proizvodnog procesa prema zahtjevima tržišta.

Posmatrani pokazatelji su dali osnovu za pristup projektovanju, odnosno optimizaciji proizvodnog procesa u pogledu transportnog sistema – transportnih sredstava. U pogledu tehnološkog aspekta, svaki ručni transport treba mehanizovati gdje god je to moguće. Ovakav način je temeljen na ekonomskim osnovama, udjelu troškova proizvodnog procesa u jediničnoj cijeni gotovog proizvoda, i samoj humanizaciji rada.

Za same transportna sredstva odabrani su najjednostavniji uređaji koji osiguravaju minimum projektovanih zahtjeva.

Svaki proizvodni proces koji u sebi sadrži trenutni transportni sistem potrebno je podvrgnuti analizi u cilju njegove optimizacije.

7. LITERATURA

- [1] Jurković M., Tufekčić Dž.: Tehnološki procesi – projektiranje i modeliranje. Univerzitet u Tuzli, Tuzla 2000.,
- [2] Zelenović D., Projektovanje proizvodnih sistema. Univerzitet u Novom Sadu, Naučna knjiga, Beograd 1987.,
- [3] Šelo R., Tufekčić Dž.: Fleksibilni transport. Univerzitet u Tuzli, Tuzla 2002.,
- [4] Tošić S.: Proračun mašina neprekidnog transporta i dizaličnih uređaja, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd 2001.,
- [5] Šelendić B., Vertikalni, kosi i horizontalni transport, Delta pres, Beograd 1973.,

EFFECT OF REHEAT TEMPERATURE ON CHARPY NOTCH TOUGHNESS OF MARTENSITE AND LOWER BAINITE

Gorazd Kosec^{1,2}

¹University of Ljubljana, Faculty of Natural Science and Engineering, Aškerčeva
12,1000 Ljubljana, Slovenia

²ACRONI d.o.o., B. Kidriča 44, 4270 Jesenice, Slovenia

ABSTRACT

In high yield stress structural steels the carbon content is generally low. By lower content of hardenability increasing alloying elements, in the heat affected zone (HAZ) layer with the must coarsened grains the product of austenite transformation is a microstructure consisting of a significant share of lower bainite, while in higher carbon steel mostly martensite is formed.

The Charpy notch toughness was determined in a wide range of temperature for the same steel with a microstructure consisting of martensite and lower bainite and for both constituents after a reheat simulating the deposition of the next welding pass. The notch toughness was much greater for lower bainite than for martensite, however, after reheat the toughness is diminished much more for lower bainite, than for martensite.

1. Introduction

The content of carbon is lowered in modern structural steels to prevent the formation of martensite in the coarse grained layer of the welds heat affected zone.

For such steels, the preheat before the welding is not necessary to decrease the cooling rate below that enabling the transformation of austenite to martensite and the transformation occurs by a process related to the diffusion of carbon.



Figure 1. Gasoline tank in Sermin near Koper, Slovenia made from the steel Niomol 490 K.

Earlier investigations have shown that the toughness in the heat affected zone of the steel Niomol 490 K is higher, if transformation to martensite is prevented, however, after reheat the toughness is decreased less in this case.

2. Investigation work

The investigations reported were performed on a steel Niomol 490 K with the following chemical composition: 0.11 % C, 0.34 % Mn, 0.014 % Ti, 0.032 % Nb and 0.54 % Cr, and a microstructure of fine grains of ferrite and pearlite (Figure 2), with a high Charpy toughness in upper shelf range and the transition temperature of about -70°C .

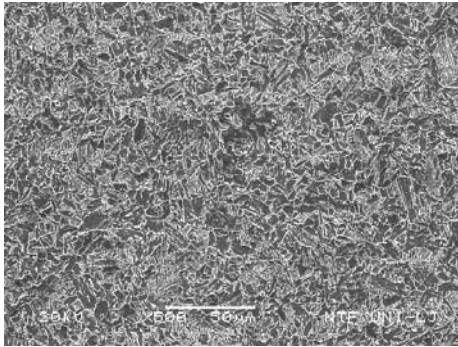


Figure 2. Microstructure of the steel Niomol 490 K in the as delivered state (SEM).

From 12 mm plates unnotched Charpy specimens were prepared, heated for 5 minutes at 1250°C and then quenched in hot water (Figure 3) or in a lead bath at the temperature of 400°C (Figure 4).

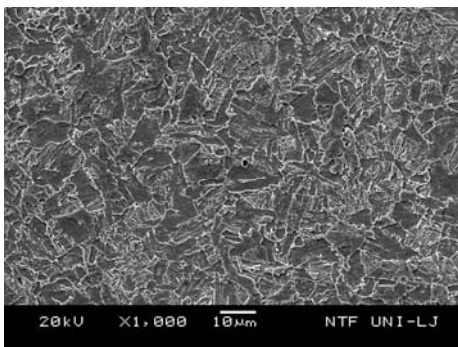


Figure 3. Microstructure of the steel Niomol 490 K after heating 5 minutes at 1250°C and then quenched in hot water (SEM).

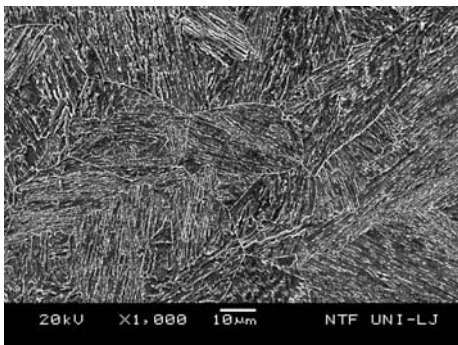


Figure 4. Microstructure of the steel Niomol 490 K after heating 5 minutes at 1250°C and then quenched in a lead bath at the temperature of 400°C (SEM).

In this way, a microstructure of martensite and lower bainite were obtained, the first was formed by the non diffusional transformation, and the second by the diffusional transformation of austenite. Half of the specimens were then submitted to reheat of 5 seconds at 750 °C and air cooling (Figure 5).

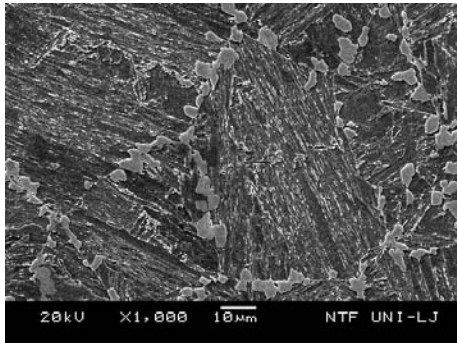


Figure 5. Microstructure of the steel (see Figure 3) after heating 5 minutes at 1250 °C, then cooling in the water and reheated 5 seconds at 750 °C (SEM).

The reheat microstructure is very different from that after quenching, in spite of the short annealing low in the two phases $\alpha + \gamma$ range. The Charpy notch was on both kinds of specimens prepared after thermal treatment.

The dependence of Charpy notch toughness versus testing temperature is shown for all specimens (Figures 6 and 7). The toughness of martensite is low, of only about 45 J at 0 °C and it is lower after reheat. The toughness of lower bainite is much higher, of 185 J at 0 °C. After reheat the toughness is low, between 10 J and 20 J, for both microstructures.

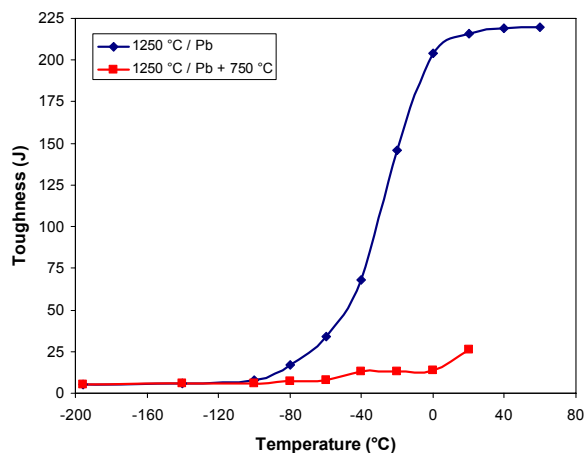


Figure 6. The dependence of Charpy notch toughness versus testing temperature for steel quenched to the martensite and for the same steel reheated 5 seconds at 750 °C.

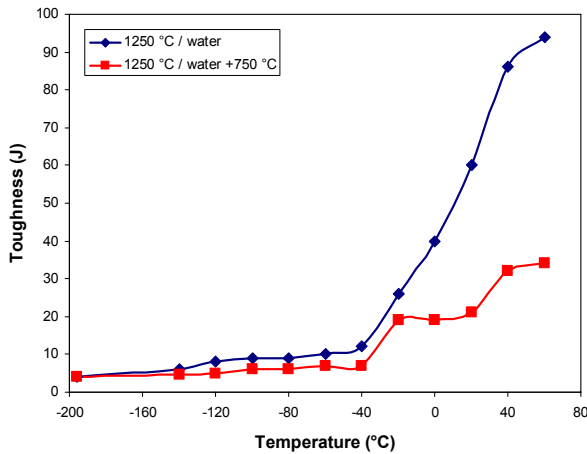


Figure 7. The dependence of Charpy notch toughness versus testing temperature for steel quenched to the bainite and for the same steel reheated 5 seconds at 750 °C.

3. Conclusions

It was experimentally confirmed that for a low carbon microalloyed steel and by equal austenite grain size, the Charpy notch toughness of lower bainite is at 0 °C much higher than the toughness of martensite.

After reheat for 5 seconds at 750 °C intended to simulate the changes of microstructure at the deposition of the next welding pass, the toughness is lower and similar for both microstructures.

However, after reheat the initial toughness of bainite is decreased by more than ten times, while the toughness of martensite only for approximately four times.

The investigations are continued with the aim to explain the mechanism of the toughness lowering for both microstructures.

Acknowledgement

Author thanks very much to his supervisors: prof.dr. A. Smolej, prof.dr. F. Vodopivec and prof.dr. J.V. Tuma for their support at scientific, investigation and engineering work, and Ministry of High Education, Science and Technology of Republic Slovenia for the financial support.

4. References

- VODOPIVEC, Franc, KOSEC, Ladislav, BRESKVAR, Bojan. Properties and fracture of structural steels in transition temperature range. *Metallurgy*, 2000, vol. 39, no. 3, pp. 139-146.
- VODOPIVEC, Franc, KOSEC, Gorazd, GRBIĆ, Stanko, KMETIČ, Dimitrij. On the austenite transformation during the cooling of steel Niomol 490 K welds. *Materials and Technologies*, 2004, vol. 38, no. 3/4, pp. 149-153.
- KOSEC, Gorazd, SMOLEJ, Anton, VODOPIVEC, Franc, VOJVODIČ-TUMA, Jelena. Austenite transformation of Niomol 490 k steel. *Metallurgy*, 2006, vol. 45, no. 3, p. 200.
- KOSEC, Gorazd, VOJVODIČ-TUMA, Jelena, VODOPIVEC, Franc, SMOLEJ, Anton. Influence of secondary thermal treatment on toughness and transition toughness temperature. 15th Conference on Materials and Technology, Portorož, 2007, p. 109.
- KOSEC, Borut, BREZIGAR, Matjaž, KOSEC, Gorazd, BERNETIČ, Jure, BIZJAK, Milan. Heat treatment of cold formed steel forgings for the automotive industry. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2007, vol. 22, no. 2, pp. 87-90.
- VOJVODIČ-TUMA, Jelena, KOSEC, Gorazd. Effect of microstructure on the accelerated creep of 20CrMoV12-1 and P 91 steels. *Steel Research International*, 2007, vol. 78, no. 8, pp. 643-647.