

ZBORNIK RADOVA

PROCEEDINGS

14. SKUP O PRIRODNOM PLINU, TOPLINI I VODI
14th NATURAL GAS, HEAT AND WATER CONFERENCE

7. MEĐUNARODNI SKUP O PRIRODNOM PLINU, TOPLINI I VODI
7th INTERNATIONAL NATURAL GAS, HEAT AND WATER CONFERENCE

HEP-Group
HEP-Plin Ltd.
HR-31000 Osijek, Cara Hadrijana 7

J. J. Strossmayer University of Osijek
Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod
HR-35000 Slavonski Brod, Trg I. B. Mažuranić 2

University of Pécs
Faculty of Engineering and Information Technology
H-7624 Pécs, Boszorkány u. 2



Suorganizatori
Co-organizers



Uz potporu
Supported by
Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta Republike Hrvatske
Ministry of Science, Education and Sports of the Republic of Croatia

Osijek, 28.- 30.09.2016.



PLIN 2016

ZBRONIK RADOVA 7. MEĐUNARODNOG SKUPA O PRIRODNOM PLINU, TOPLINI I VODI

PROCEEDINGS OF 7th INTERNATIONAL NATURAL GAS, HEAT AND WATER CONFERENCE

Izdavač / Publisher: Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu

Email: plin@sfsb.hr

URL: <http://konferencija-plin.sfsb.hr>

Urednici / Editors:

Pero RAOS, glavni urednik
Tomislav GALETA
Dražan KOZAK
Marija RAOS
Josip STOJŠIĆ
Zlatko TONKOVIĆ

PLIN 2016 Organizacijski odbor / PLIN 2016 Organization committee:

Marija RAOS, Hrvatska, predsjednica organizacijskog odbora
Tomislav GALETA, Hrvatska
Miroslav DUSPARA, Hrvatska
Renata ĐEKIĆ, Hrvatska
Nada FLANJAK, Hrvatska
Ismeta HASANBEGOVIĆ, BiH
Miroslav MAZUREK, Hrvatska
Ana RADONIĆ, Hrvatska
Pero RAOS, Hrvatska
Josip STOJŠIĆ, Hrvatska
Zlatko TONKOVIĆ, Hrvatska

Strukovna potpora / Professional support:



Hrvatska komora
inženjera strojarstva



Hrvatska komora
inženjera elektrotehnike



Hrvatska komora
inženjera građevinarstva



Sponzori / Sponsors



PLIN 2016 Počasni odbor / PLIN 2016 Honor committee:

Ivan SAMARDŽIĆ, predsjednik, Hrvatska
Bálint BACHMANN, Mađarska
Zvonko ERCEGOVAC, Hrvatska
Perica JUKIĆ, Hrvatska
Tomislav JUREKOVIĆ, Hrvatska
Damir PEĆUŠAK, Hrvatska
Božo UDOVIČIĆ, Hrvatska

PLIN 2016 Znanstveni odbor / PLIN 2016 Scientific committee:

Dražan KOZAK, predsjednik, Hrvatska
Antun STOIĆ zamjenik pred., Hrvatska
Darko BAJIĆ, Crna Gora
Károly BELINA, Mađarska
Ivan BOŠNJAK, Hrvatska
Aida BUČO-SMAJIĆ, BiH
Zlatan CAR, Hrvatska
Robert ČEP, Češka
Majda ČOHODAR, BiH
Ejub DŽAFEROVIĆ, BiH
Tomislav GALETA, Hrvatska
Antun GALOVIĆ, Hrvatska
Nenad GUBELJAK, Slovenija
Sergej HLOCH, Slovačka
Nedim HODŽIĆ, BiH
Željko IVANDIĆ, Hrvatska
Željka JURKOVIĆ, Hrvatska
Ivica KLADARIĆ, Hrvatska
Milan KLJAJIN, Hrvatska
Janez KOPAČ, Slovenija
Grzegors KROLCZYK, Poljska
Stanislaw LEGUTKO, Poljska
Leon MAGLIĆ, Hrvatska
Damir MILJAČKI, Hrvatska
Ferenc ORBÁN, Mađarska
Branimir PAVKOVIĆ, Hrvatska
Denis PELIN, Hrvatska
Miroslav PLANČAK, Srbija
Marijan RAJSMAN, Hrvatska
Marko RAKIN, Srbija
Miomir RAOS, Srbija
Pero RAOS, Hrvatska
Alessandro RUGGIERO, Italija
Aleksandar SEDMAK, Srbija
Marinko STOJKOV, Hrvatska
Igor SUTLOVIĆ, Hrvatska
Tomislav ŠARIĆ, Hrvatska
Mladen ŠERCER, Hrvatska
Damir ŠLJIVAC, Hrvatska

Vedran ŠPEHAR, Hrvatska
Zlatko TONKOVIĆ, Hrvatska
Zdravko VIRAG, Hrvatska
Nikola VIŠTICA, Hrvatska
Jurica VRDOLJAK, Hrvatska
Marija ŽIVIĆ, Hrvatska

Sadržaj

APLIKATIVNI SUSTAV ZA UPRAVLJANJE PRIRODNIM PLINOM UNUTAR HEP GRUPE	1
P. Franković, P. Čulina, H. Čevapović, D. Zvonarić, Z. Frlan, G. Krstičević, L. Kolembus	
REKONSTRUKCIJA KUĆIŠTA TROKRAKE KUGLASTE SLAVINE	16
B. Hrsak, A. Čikić, E. Kozić	
DIJAGNOZA KVARA U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI POMOĆU UZROČNOG STABLA.....	26
S. Kaluđer	
UTISKIVANJE BIOGASA U GASNU MREŽU / AKTIVNOSTI DVGW U PODRUČJU BIOGASA	36
A. Bučo-Smajić	
DVGW TSM SISTEM UPRAVLJANJA TEHNIČKOM SIGURNOSTI ISKUSTVO KJKP SARAJEVOGAS	44
A. Bučo-Smajić, N. Glamoč	
SIGURNA OPSKRBA ENERGIJOM	53
S. Franjić	
PLINSKO-TURBINSKA ELEKTRANA OSIJEK U SUSTAVU HEP D.D.....	59
H. Glavaš, I. Petrović, M. Ivanović	
TEHNOLOGIJA BUŠENJA TLA U CILJU KORIŠTENJA GEOTERMALNE ENERGIJE.....	71
M. Duspura, D. Matjačić, D. Marić, M. Stoić, A. Pranić, I. Samardžić, A. Stoić	
SIMULACIJA BRZOG PRAŽNJENJA PLINSKE BOCE	86
Z. Virag, A. Galović, M. Živić	
ANALIZA EKONOMSKE ISPLATIVOSTI HEP OSIJEK 1 FN ELEKTRANE OD 30 kWp.....	94
M. Opačak	
RAZVOJ PLINOFIKACIJE NA DISTRIBUTIVNOM PODRUČJU TVRTKE BROD-PLIN D.O.O. SLAVONSKI BROD	106
D. Bukvić, M. Stojkov, K. Hornung, A. Čikić, Z. Živić	
PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA TEKSTILNE INDUSTRIJE UPORABOM FILTRA OD KATIONIZIRANE CELULOZE.....	121
A. Tarbuk, B. Vojnović, A. Sutlović	
RFID U INDUSTRIJI NAFTE I PLINA.....	127
M. Čičak, G. Zeba	
ANALIZA RADA NADNAPONSKE ZAŠTITE U POLJU KOMPENZACIJE NA DISTRIBUCIJSKOM PODRUČJU ELEKTROSLAVONIJE	137
S. Kaluđer	
VRSTE NEURONSKIH MREŽA ZA DIJAGNOZU KVARA U ELEKTROENERGETSKOM SUSTAVU.....	146
S. Kaluđer	

POLOŽAJ REPUBLIKE HRVATSKE U OKVIRU FLEKSIBILNIH MEHANIZAMA KYOTO PROTOKOLA.....	156
D. Tumara, I. Sutlović, P. Raos	
SKRIPTA NAČIN RADA DC IZVORA FOTONAPONSKOG EMULATORA.....	166
D. Pelin, M. Opačak	
RAZVOJ PLINOFIKACIJE U VUKOVARSKO-SRIJEMSKOJ ŽUPANIJI.....	177
M. Ivanović, K. Hornung	
FRICTION IN METAL FORMING – THE COEFFICIENT OF FRICTION μ AND THE FACTOR OF FRICTION m.....	189
B. Grizelj, B. Bandić	
PRIMJENA CIRKULARNE EKONOMIJE.....	199
To. Grizelj, J. Hrnjica Bajramović, Ti. Grizelj	
EKOLOŠKI, ENERGETSKI I EKONOMSKI ASPEKTI U TRETMANU MULJA KAO OBNOVLJIVI IZVOR ENERGIJE.....	205
J. Hrnjica Bajramović, To. Grizelj, Te. Grizelj	
ENERGETSKA UČINKOVITOST U RADU RECIRKULACIJSKIH FONTANA.....	215
Ti. Grizelj, To. Grizelj, Te. Grizelj, H. Šahinović	
UTJECAJ KLIME, SUNČEVOG ZRAČENJA I EKONOMSKE SITUACIJE NA POTROŠNJU PRIRODNOG PLINA.....	223
K. Hornung, M. Stojkov, M. Hornung, A. Čikić	
40 GODINA HEP-PLINA D.O.O. OSIJEK.....	232
Z. Tonković, M. Ivanović	
MOGUĆNOSTI PRIMJENE SUVREMENIH STRATEGIJA ODRŽAVANJA ZA SLOŽENE TEHNIČKE SUSTAVE.....	243
D. Vidaković, H. Glavaš, K. Pavelić	
UTJECAJ SPREMNIKA TOPLINE NA UČINKOVITOST I EKONOMIČNOST TOPLIFIKACIJSKOG SUSTAVA NISKOAKUMULATIVNIH OBJEKATA.....	254
A. Čikić, M. Stojkov, Z. Janković, R. Končić	
KOROZIJSKA POSTOJANOST KOMPENZATORA U CJEVOVODU.....	264
S. Aračić, T. Šolić, I. Tomljenović	
ORGANIZACIJA VISOKO-DISTRIBUIRANE DBMS BAZE PODATAKA OPERATORA PLINSKOG SUSTAVA U CLOUD OKRUŽENJU I INTEGRACIJA U SUSTAV KOMPANIJA ENERGETSKOG SEKTORA.....	273
J. Dizdarević	
PARTICIONIRANJE TRANSAKCIJSKE DBMS CLOUD BAZE PODATAKA OPERATORA PLINSKOG SUSTAVA KORIŠTENJEM NAPREDNIH TEHNIKA I ALGORITAMA.....	284
J. Dizdarević	

Mogućnosti primjene suvremenih strategija održavanja za složene tehničke sustave

Application possibilities of contemporary maintenance strategies for complex technical systems

D. Vidaković^{1*}, H. Glavaš², K. Pavelić¹

¹Građevinski fakultet, Sveučilište J.J. Strossmayera, Osijek, Hrvatska

²Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, S.J.J.S., Osijek, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: dvidak@gfos.hr

Sažetak

Održavanje je izuzetno važno zbog velikog utjecaja na rizike (tj. sigurnost) i ukupne troškove funkcioniranja tehničkih sustava. U radu su pojašnjeni ciljevi održavanja i dane su glavne karakteristike novijih strategija održavanja, pogodnih za velike, složene tehničke sustave (kao što su postrojenja za proizvodnju, prijenos i distribuciju el. energije, plina, vode i dr.), te preporuke za njihovu praktičnu implementaciju. Navedeni su kriteriji koje treba zadovoljavati metodologija održavanja i predložen je algoritam koji se može koristiti kod izbora optimalne metodologije za konkretni sustav.

Abstract

Maintenance is very important because it has a large impact on risk (ie. safety) and total cost of technical systems functionality. The paper explained the objectives of maintaining and main characteristics of new maintenance strategy. New strategy is suitable for large, complex technical systems (such as plants for the production, transmission and distribution of electricity, gas, water, etc.). Furthermore recommendations for practical implementation is given. Specified criteria put in front of maintenance methodology and selection of algorithm for the specific system is proposed.

Keywords: maintenance, technical systems, the effectiveness, risks, costs

1. Uvod - zahtjevi za održavanje tehničkih sustava

Tržište je u EU sve otvorenije, a kupci traže što veći kvalitet proizvoda i usluga i što niže cijene. To od tvrtki zahtjeva maksimalnu konkurentnost koja se postiže efikasnošću u svim oblastima poslovanja. Izborom i provođenjem optimalne strategije održavanja može se povećati kvalitet poslovanja i pouzdanost, te smanjiti ukupne troškove kroz maksimalno iskorištenje raspoloživih resursa. No, da bi se postiglo visoku efikasnost postrojenja i osiguralo prihvatljivu razinu rizika potreban je pristup koji se razlikuje od tradicionalnog koncepta održavanja [1].

Ekonomsku efektivnost čini efektivnost sustava i svi troškovi njegovog ciklusa. Općenito, efektivnost tehničkog sustava proizlazi iz njegove pouzdanosti (koliko može da radi u određenim uvjetima okoline), tj. vjerojatnosti rada bez otkaza (kako je predviđeno) tijekom projektiranog vremena, raspoloživosti ili gotovosti (obrnuto proporcionalne od vremena potrebnog za aktivno održavanje i vremena čekanja, najčešće za rezervne dijelove), tj. vjerojatnosti da će u bilo kojem trenutku biti u stanju da obavlja svoje funkcije ili da se uključi u rad i funkcionalne pogodnosti, tj. stupnja zadovoljavanja funkcionalnih zahtjeva. Funkcionalna pogodnost je određena projektiranjem i konstrukcijom sustava, dok su pouzdanost i raspoloživost slučajne funkcije na koje utječe održavanje. U pravilu tvrtke na otvorenom tržištu daju prednost pouzdanosti u odnosu na raspoloživost [2]. Pouzdanost sustava proizlazi iz njihove strukture i pouzdanosti njegovih elemenata koja najviše ovisi o aktivnostima održavanja. Vjerojatnost otkaza smanjuje se češćim aktivnostima preventivnog održavanja, ali tako rastu direktni troškovi održavanja. Vremenski intervali održavanja često su preporučeni u specifikacijama proizvođača i definirani internim pravilnicima, a negdje čak zadani zakonskim propisima. Nekada intervali ovise i o zahtjevima koji nisu direktno u svezi održavanja, kao što su rad hijerarhijski nadređenog sustava, osiguranje proizvodnje u željenom razdoblju, izbjegavanje remonta tijekom određenog vremenskog razdoblja itd. [3]. U nekim slučajevima aktivnosti održavanja obavljaju se i češće nego je propisano, kao npr. kada radnici koriste situaciju da je neki dio sustava već iz drugih razloga isključen iz rada ili se već nalaze na nekoj izdvojenoj lokaciji sustava zbog drugih zadataka. Međutim, treba voditi računa da pojačana frekvencija aktivnosti preventivnog održavanja ne dovede do nepotrebnih troškova koji ne odgovaraju povećanju pouzdanosti samih elemenata i sustava u cjelini [4].

Obzirom na veliki značaj održavanja za troškove funkcioniranja sustava tijekom cijelog uporabnog vijeka, kao i na samo trajanje vijeka uporabe, način održavanja i njegove troškova treba definirati već prilikom projektiranja tehničkog sustava, kada je moguć najveći utjecaj na njegove cjeloživotne troškove. Pogodnost održavanja su svojstva tehničkog sustava koja se odnose na obavljanje svih potrebnih aktivnosti održavanja (npr. standardizacija, unifikacija, modularnost, alati i oprema, manipulativnost, dijagnostika i dr.) i predstavlja vjerojatnost da će se potrebne aktivnosti održavanja u određenim uvjetima obaviti do određenog vremena. Da bi se aktivnosti preventivnog održavanja provodile na odgovarajući način neophodno je planiranje ugraditi u funkcioniranje tehničkog sustava.

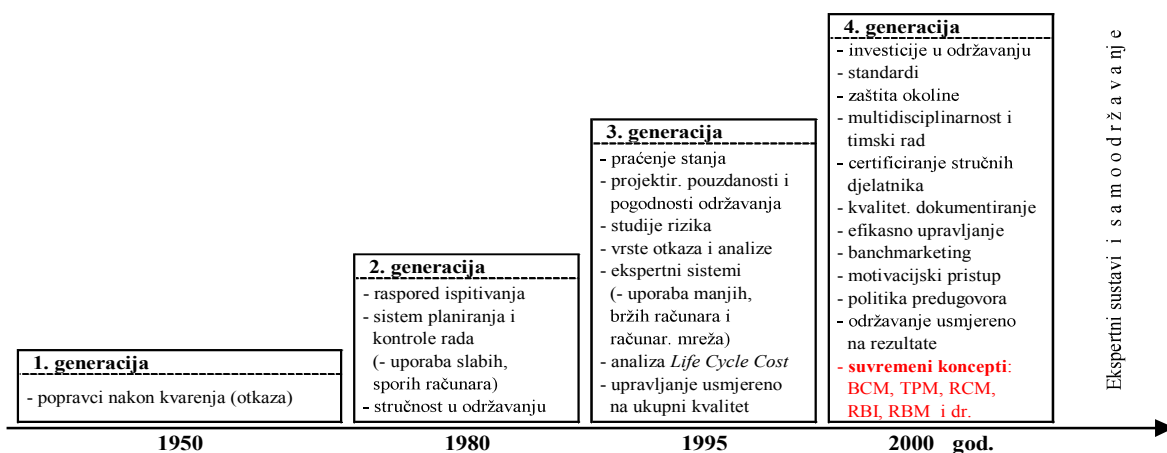
2. Tradicionalno i suvremeno održavanje

2.1. Razvoj koncepta održavanja

Održavanje određenog tehničkog sustava uvijek se može realizirati na više, u osnovi, različitih načina (prema koncepciji, organizaciji i tehnologiji) i s više varijantnih rješenja koja se razlikuju u nizu detalja. Pod strategijom ili koncepcijom sustava održavanja podrazumijeva se princip donošenja odluka o vremenu u kome treba da se provode aktivnosti održavanja. Tehnološki aspekt se odnosi na vrstu i način izvođenja aktivnosti održavanja, a organizacija određuje strukturu sustava održavanja, nadležnosti, odnose i koordinaciju između pojedinih razina na kojima se provode aktivnosti održavanje [5].

Dugo vremena održavanje je bilo isključivo korektivno. Tradicionalno održavanje je u najvećoj mjeri reaktivno, tj. aktivnosti su mu diktirane kvarovima koji su se dogodili za vrijeme rada sustava (*Breakdown Maintenance*). Tradicionalnim se smatra i preventivno djelovanje ako je primarno usmjereno na neposredne i kratkoročne ciljeve. Zbog toga dolazi do dugotrajnijih, neplaniranih zastoja (čekanja) i prekomjernog oštećivanja, pa je ukupni trošak održavanja velik, a pouzdanost niska. U tradicionalnim tvrtkama na održavanje se gleda kao na trošak koji se lako može reducirati u pogledu ukupnog poslovanja, naročito kratkoročno [5]. Kada se nakon Drugog svjetskog rata održavanje u tvrtkama formiralo kao pomoćna služba (na niskoj organizacijskoj razini i većinom bez visokoobrazovanih djelatnika) na održavanje se još gledalo kao na "privjesak" proizvodnje. Od 50-tih godina 20. st. razvija se znanstveni pristup održavanju, što je rezultiralo uvođenjem prvih velikih programa preventivnog održavanja. Preventivno održavanje može biti prema definiranom vremenskom planu ili na osnovu subjektivno (osjetilima) ili objektivno (mjerenjem) utvrđenog stanja elemenata sustava.

Suvremeni pristupi održavanju usmjereni su na pouzdanost i unaprjeđenje sustava. Podrazumjevaju holistički pristup, dugoročno predviđanje, planiranje i definiranje potrebnih aktivnosti održavanja kako bi se otklonili uzroci kvarova. Zato je, u pravilu, kod složenih tehničkih sustava kod kojih su primjenjeni odgovarajući suvremeni koncepti održavanja broj otkaza znatno manji, efikasnost poslovanja, pouzdanost i kvaliteteta proizvoda/usluga veća, uporabni vijek duži, a troškovi manji od onih koji su održavani na tradicionalni način. Novije strategije održavanja, tzv. 4. generacija, nastale su na osnovu prethodnih, ali se bitno razlikuju odnosom prema ukupnim troškovima, pouzdanosti i riziku, te pretpostavljaju veću povezanost između projektiranja i funkcioniranja opreme, te puno više koriste informatičke tehnologije. Grubi prikaz razvoja održavanja po generacijama prikazuje sl. 1.



Slika 1. Razvoj pristupa održavanju tehničkih sustava tijekom vremena (prema [6] i [7])

Budući razvoj održavanja vezan je uz tehnološki napredak (npr. 3D printera, dronova, mikroelektronike, informatike), pa se uskoro predviđaju inteligentni tehnološki sustavi s autodijagnostikom i samoodržavanjem. Samoodržavanje je najviša razina održavanja, a

može se odvijati u potpuno automatiziranim sustavima gdje je to planirano u fazi njihovog projektiranja. U principu koristi se više ekspertnih sustava koji daju naloge robotiziranoj tehnološkoj liniji sastavljenoj od lako zamjenjivih modula. Oni rade prema određenim pravilima, postavljajući pitanja i dajući odgovore na osnovu analize rezultata dijagnostičkih mjerenja, uz pomoć Računalom podržanog upravljanja održavanja (*Computerized Maintenance Management Systems – CMMS*), i s vremenom se dograđuju i usavršavaju.

2.2. Karakteristike suvremenih strategija održavanja

Prema recentnoj literaturi s područja održavanja sastavljena je tablica 1 s osnovnim karakteristikama i praktičnom primjenom suvremenih strategija održavanja.

Tablica 1. Osnovne karakteristike i područje primjene suvremenih strategija održavanja (prema [3], [5], [6] [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14])

Osnovne karakteristike	Prednosti i nedostaci	Primjena
Održavanje prema stvarnom stanju (<i>Condition Based Maintenance – CBM</i>)		
Stanje elemenata sustava prati se i analizira kroz učestale ili kontinuirane preglede i dijagnostička ispitivanja, tj. sustav monitoringa (može biti bez prekida rada, tj. <i>on-line</i> ili uz prekid rada, tj. <i>off-line</i>). Tako se raspolaže s podacima u stvarnom vremenu i problemi se detektiraju prije nego dođe do otkaza. Kada podaci mjerenja (npr. vibracija, temperature ili dr.) pokažu da se stanje promijenilo i da je prijeđena propisana granica (stanje je kritično), poduzimaju se mjere da se element vrati u prihvatljivo pogonsko stanje.	Povećava se raspoloživost i pouzdanost i smanjuju se troškovi održavanja. Manje je aktivnosti održavanja i manja je mogućnost ljudske greške. Potreban je odgovarajući sustav upravljanja i dostupni podatci. Povećane su aktivnosti na analizi podataka, ali ne postoji metodologija ocjene povećanih aktivnosti. Veliki su troškovi ugradbe komponenti za monitoring, a i taj sustav treba provjeravati i održavati. Zbog postupaka koji se obavljaju samo kad se za to ukaže potreba ne mogu se planirati troškovi održavanja te su oni neravnomjerno raspoređeni.	Primjenjuje se za značajne komponente sustava (motore, pumpe, generatore, kompresore itd.) i za značajne sustave kod kojih je ovakvo održavanje isplativo. Pogodno je npr. za energetsko-procesnu industriju.
Održavanje fokusirano na ponašanje (<i>Performance Focused Maintenance – PFM</i>)		
Sveobuhvatna strategija koja integrira poslovni i tehnološki pristup održavanju. Aktivnosti održavanja su u skladu sa stvarnim stanjem. Obavlja se monitoring stanja, dijagnostička ispitivanja, korektivno i preventivno održavanje, prediktivne aktivnosti, predviđanje, te pronalaženje skrivenih kvarova. Ima intervale optimalizacije.	Postiže se povećana pouzdanost i raspoloživost opreme i sustava, te su smanjeni troškovi tijekom uporabe. Neophodno je kvalitetno prikupljanje i čuvanje podataka. Zahtjeva razumjevanje procesa starenja i mehanizma nastanka kvarova.	Primjenjuje se za značajne sustave kod kojih je ovakvo održavanje isplativo. (npr. za elektroenergetske sustave)
Održavanje u skladu s		
Upravljanjem kontinuitetom poslovanja (<i>Business Continuity Management – BCM</i>)		
Obuhvaća širok spektar postupaka za osiguranje kontinuiteta poslovanja, s čime se jača otpornost tvrtke. Za to je važna procjena postojećih rizika od neželjenih događaja (kvarova na proizvod. strojevima i informac. opremi, ali i prekida napajanja el. energ, krađa, požara, prirodne sile i dr.) i analiza njihovih posljedica (računaju se	Procedure su efikasne, logične i realtivno jednostavne.	Može se primjeniti u organizacijama svih veličina. Danas je često vezano za postizanje informacijske

potencijalni financijski gubici). Potrebno je prepoznavanje procesa ključnih za poslovanje koji se ne smiju prekinuti ili se barem moraju nastaviti u prihvatljivom roku nakon otkaza u radu.		sigurnosti i primjenjuje se tamo gdje je ona jako važna za poslovanje (banke, zračne luke, telekomunikacije, elektroprivreda itd.) U nekim državama je za određena područja BCM zakonom propisan
Integrirano produktivno održavanje (Total Productive Maintenance – TPM)		
Održavanje je decentrelizirano – uključeni su svi zaposleni (u prvom redu rukovatelji opremom) i nužna je suradnja svih razina uprave. Autonomno održavanje odvija se kroz svakodnevne aktivnosti i elimiraju se neučinkovite aktivnosti. Primjenjuje se preventivno, prediktivno i održavanje prema stanju. Održavanje je produktivno jer se maksimalizira iskorištenje tehn. sustava uklanjanjem raznih direktnih i indirektnih gubitaka. Teži se stalnom unaprjeđenju.	Prvi efekti primjene primjetni su već nakon 6 mjeseci. Zastoji se skraćuju 20 - 30%, pa i preko 50%. Investicije u TPM se vraćaju za najmanje 3 puta. (Prema nekim praćenjima najveća poboljšanja su u prve 3 god. implementacije, nakon čega uspješnost sporije raste.) Potrebna je veća spoznaja o prirodi kvarova. Neophodna je cjeloživotna obuka svih zaposlenika i promjena načina razmišljanja na svim razinama . Za potpunu primjenu treba više godina.	Pogodno za složene, heterogene sustave. Koriste ga najveće svjetske kompanije u proizvodnoj industriji (gdje su velike serije), ali i druge djelatnosti.
Održavanje orijentirano na pouzdanost (Reliability Centered Maintenance – RCM)		
Potrebno je detaljno proučavanje stanja sustava u radu i pri otkazu na osnovu čega se usklađuju aktivnosti održavanja sa stvarnim potrebama. Tijekom vremena stalno se prema pokazateljima pouzdanosti predviđa pojava otkaza i rade prognoze budućih stanja sustava. Na osnovu toga odlučuje se o aktivnostima održavanja radi sprječavanja otkaza, odnosno neplaniranih zastoja, dodatnih troškova i havarija. Kombinira se korektivno i preventivno održavanje i održavanje prema stanju. Postepeno (ciklično) se dolazi do optimalnog načina održavanja.	U raznim slučajevima dovodi kod održavanja do smanjenja radnih sati 20 - 30%, materijala do 64% i povećanja raspoloživosti opreme do 15%. Investicije u RCM se vraćaju za 3 - 6 mj. Procedure za primjenu su relativno komplicirane, neophodna je informatička podrška i implementacija traje 3 - 6 god. Nema postavljenih vremenskih intervala održavanja i nema dnevnog rasporeda zadataka. Ograničene su mogućnosti za primjenu kod sustava u uporabi, a puno je pogodnije za one kod kojih se planira ovakvo održavanje već pri projektiranju.	Najpogodnije za složene tehničke sustave s visokom tehnološkom razinom (gdje je indikacija kvarova u pravilu s instrumentima ugrađenim u sustav, pogotovo ako nemaju dominantni način otkaza). Ima smisla za sustave gdje troškovi RCM-a ne prelaze troškove periodičnog preventivnog održavanja. Primjenjuje se u aviondustriji, mornarici, proizvodnji, prijenosu i distribuciji el. energije, raznim industrijama, ali npr. i u zdravstvu. U nekim državama je primjena definirana zakonskim propisima i direktivama.
Inspekcijski pregledi prema riziku (Risk Based Inspection – RBI) i održavanje u skladu s Upravljanjem prema riziku (Risk Based Maintenance – RBM), RIMAP (Risk Based Inspection and Maintenance Procedures) i srodne metodologije		

Multidisciplinarn pristup kojim se dolazi do optimalnog rješenja za održavanje. Inspekcijski pregledi i druge aktivnosti održavanja obavljaju se razmjerno riziku od kvara na pojedinim elementima. Mišljenje je da se kvantitativnim, a ne kvalitativnim pristupom postiže kompleksniji opis rizika koji postoji na postrojenju. Prave se scenariji razvoja udesa i posljedica, te se analizira kakva mogu biti negativna djelovanja. Izrađuje se lista prioriteta za aktivnosti održavanja koje se biraju prema poziciji u matrici rizika (rizik se određuje kao umnožak vjerojatnosti i težine posljedica kvara). Rizici se s vremenom mijenjaju, pa se s tim mijenjaju i prioriteti za održavanje.	Dovodi do ušteda, jer u većini tehničkih sustava postoji relativno mali broj elemenata s velikim i jako velikim rizikom koji zahtijevaju skupo održavanje. Povećava se pouzdanost funkcioniranja sustava i sigurnost ljudi i okoline. Zahtjeva suradnju eksperata za različita područja i zahtjeva odgovarajući informatičku podršku.	Primjenjuje se na pojedinim element. ili podsustavima, u pravilu najskupljim i najvažnijim (npr. turbinama, reaktorima, tankovima, posudama pod tlakom, cjevovodima i drugim komponentama koje imaju curenje kao dominantan način otkaza), npr. kod petrokemijske industrije, nuklearnih elektrana, nekih procesnih postrojenja i dr. Može se primjeniti i kod nekih građevina (luka, sustava vododbrane, čelič. konstrukcija itd.)
---	--	--

Kao odgovor na probleme primjene suvremenih strategija održavanja (prvenstveno RCM) razvijene su i različite "ubrzane startegije" kao varijante poznatih metodologija (npr. *Streamlined Reliability Centered Maintenance*), s manjim zahtjevima za ulazne podatke i vrijeme implementacije. Izmjenjene metode u pravilu koriste generičku analizu koja podrazumjeva slično (isto) održavanje za slične (iste) strojeve i unificiranje naziva za radnje [14]. Tako primjerice, europski projekt MACRO (*Maintenance Cost Risk Optimization*) predlaže rješenje koje se može primjeniti u energetskom sektoru, željeznici, crnoj metalurgiji i drugdje.

3. Izbor najpogodnije strategije održavanja

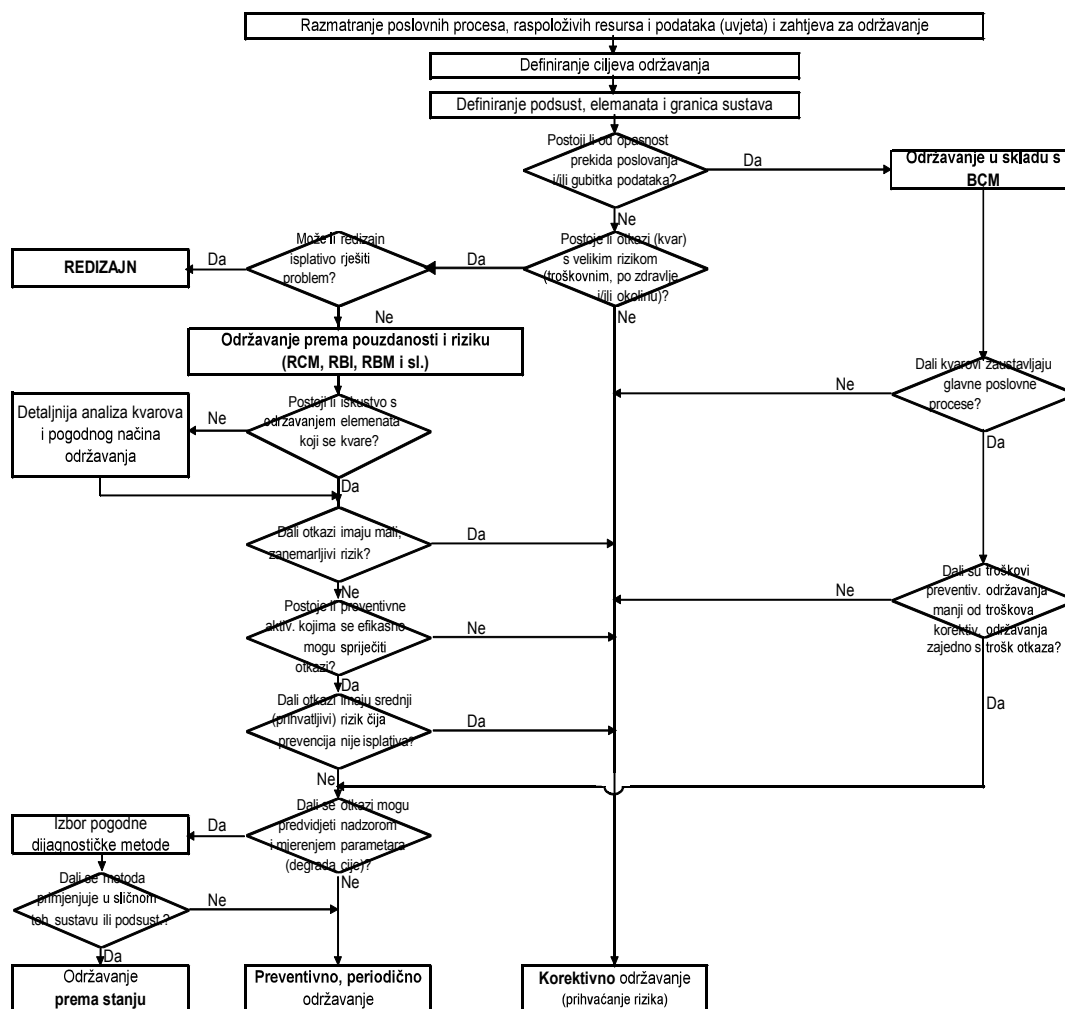
Posljednih godina sve više se teži svjetskoj klasi proizvodnje i svjetskoj klasi upravljanja održavanjem (*World Class Maintenance Management*). Zato se traže novi pristupi održavanju, ali u težnji da se izbjegnu početni neuspjesi i promašaji, koji uvijek prate značajne preokrete, nastoji se iznaći strateški okvir koji će obuhvatiti i objediniti novonastala unapređenja i usavršavanja u skladnu cjelinu, kako bi se na taj način pažljivo razmotrilo i primijenilo one koje će za tvrtke biti najbolji [5]. Svaki složeni tehnički sustav trebalo bi posebno analizirati da se odredi koja mu je optimalna strategija održavanja. Potrebno razmatranje iziskuje logično zaključivanje, s uzimanjem u obzir predviđenih primarnih i sekundarnih funkcija sustava, zahtjeva za kvalitetu proizvoda/usluga, konstruktivnih i radnih ograničenja, postojećih mjera zaštite, degradacije, sigurnosnih opasnosti i ekonomskih aspekata pojedinih metodologija održavanja [7].

Prije izbora startegije održavanja potrebno je definirati željene ciljeve koji moraju biti SMART (*Simple* – jednostavni, *Measurable* – mjerljivi, *Achievable* – dostižni, *Reliable* – pouzdani i *Time specific* – vremenski određeni). Glavni cilj održavanja uobičajno je maksimalna raspoloživost sredstava za rad uz što niže troškove, a podciljevi mogu biti: sprječavanje otkaza, otklanjanje slabih mjesta, skraćivanje vremena za popravke, produženje uporabnog vijeka, smanjivanje troškova i materijala i inovacije u održavanju. Pri određivanju ciljeva održavanja treba imati u vidu propise, zahtjeve za pouzdanost i raspoloživost opreme,

važnost pojedine opreme, uzroke oštećenja i otkaza, te posljedice njihovog nastupanja, raspoložive ljudske resurse i financijska sredstva. Veličina troškova održavanja gotovo redovito je kriterij s najvećom težinom za izbor metodologije održavanja.

Izabrani način održavanja treba biti prilagođen tehničkom sustavu i tvrtki obzirom na uvjete postojećeg stanja (resurse, postojeća iskustva, lokaciju, kakarakteristike rada, zahtjeve proizvodnje, plasman proizvoda i usluga itd.) i u skladu s dugoročnim ciljevima i politikom tvrtke. Treba uzeti u obzir specifične zahtjeve koje pojedine djelatnosti stavljaju pred održavanje, kao što je minimaliziranje gubitaka u prijenosu i što manje neplaniranih isključenja kod sustava za opskrbu el. energijom, plinom, toplinom i vodom ili snižavanje rizika od zagađenja i drugih loših djelovanja na okolinu i ljude npr. kod naftne industrije ili nuklearnih elektrana i termoelektrana.

Uzimajući u obzir prednosti i nedostatke strategija održavanja i njihovu primjenjivost na konkretni tehnički sustav, optimalna metodologija može se dobiti i kombiniranjem više njih [3]. Na slici 2 je predložen algoritam za orijentacijski izbor odgovarajućeg načina održavanja.



Slika 2. Algoritam izbora primjerenog načina održavanja tehničkih sustava

4. Provođenje nove strategije održavanja

Nakon izbora strategije mora se definirati sve tehnološke procese održavanja. Problem može biti što dostupna literatura dobro opisuje osnovne ideje pojedinih koncepcija održavanja, ali same procedure uglavnom nisu detaljnije obrađene ili su prilagođene uvjetima i ograničenjima određenog sustava.

Za uvođenje nove strategije održavanja, osim neophodnog vremena, podataka i financijskih sredstava (što je povezano), uvijek treba stvoriti organizacijsku klimu koja će mobilizirati sve ključne ljudske resurse. Strategija mora biti shvaćena i podržana od najvišeg rukovodstva, ali i od drugih učesnika održavanja. Za prijelaz od reaktivnog na proaktivan način razmišljanja i potrebne promjene tradicionalne organizacijske kulture u tvrtki (motivacijski mehanizmi, karakteristike ponašanja, sustav vrijednosti zaposlenih, administrativne procedure, prijenos i obrada informacija itd.) mora se računati da je potrebno 5 do 8 godina [12]. Zapravo kvalitet obavljenih aktivnosti održavanja više ovisi o promjeni ponašanja za to zaduženih djelatnika nego o materijalnim ulaganjima [12].

Računalni sustav za upravljanje održavanjem nije posebna strategija, ali je neophodan za provođenje suvremenih strategija održavanja. Za planiranje, pripremu, praćenje i analizu uspješnosti procesa održavanja, kako bi se osigurala bolja raspoloživost i protok informacija te veća razina automatizacije, potreban je odgovarajući informacijski sustav (IS). Sustavi koji se najčešće koriste za podršku s upravljanjem održavanjem složenih tehničkih sustava, tj. fizičkom imovinom, poznati su pod nazivom *Enterprise Asset Management*. Kvalitetan IS za operativno upravljanje održavanjem mora omogućavati formiranje evidencije objekata održavanja, evidenciju stanja održavanih tehničkih sustava/podsustava s klasifikacijom kritičnosti objekata i opreme za odvijanje poslovnih procesa, evidenciju i analizu kvarova (s razlogom nastanka), planiranje, evidenciju i praćenje izvršenja aktivnosti održavanja i za to potrebnog budžeta, generiranje radnih naloga (osnovnih dokumenata u djelatnosti održavanja), upravljanje radnicima, materijalima, alatima i drugom opremom za održavanje, definiranje potrebnih mjera zaštite na radu kod provođenja određenih aktivnosti održavanja, kreiranje, ažuriranje i arhiviranje sve dokumentacije održavanja u e-obliku, izvještavanje i analizu ključnih pokazatelja učinkovitosti sustava održavanja, te korištenje IS na mobilnim uređajima [15].

Pravilnim korištenjem softverskih rješenja prilagođenih strategijama održavanja mogu se postići unaprjeđenja u organizaciji i upravljanju te tako ostvariti uštede, naročito glede raspoloživosti opreme i racionalizacije zaliha i nabave roba, usluga i radova. Primjena IS za održavanje u svijetu raste već dugi niz godina, a korist je najizraženija u djelatnostima kod kojih je održavanje ključno za poslovne procese i gdje je raspoloživost tehničkih sustava presudna za odvijanje proizvodnje i pružanje usluga (npr. u proizvodnji, preradi, transportu i distribuciji nafte i plina, proizvodnji, prijenosu i distribuciji el. i toplinske energije, vodoopskrbi, odvodnji, priklupljanju i odvozu otpada i drugim komunalnim djelatnostima, telekomunikacijama i dr.) [15].

Kako je za potpunu implementaciju složenih metodologija održavanja u tvrtke potrebno više godina (ovisi o njihovom stupnju razvoja), sustav održavanja se u pravilu usavršava kroz nekoliko faza, a osnovicu daje CMMS [12].

Svaku primijenjenu metodologiju održavanja treba provjeriti prema postignutim rezultatima. Uobičajeni pokazatelji uspješnosti održavanja, koji se ocjenjuju na skali od 1 do 10, su: ne smije biti više od 25% neplaniranih troškova, planske aktivnosti bi trebale biti do 95 %, plansko angažiranje treba biti oko 70 % raspoloživih resursa, dnevno raspoloživi kapaciteti moraju biti angažirani 100 %, obrt zaliha rezervnih dijelova treba biti 3,0 do 3,5; postotak traženih zahtjeva za rezervne dijelove prema trenutno zadovoljenim trebao bi biti 97 %, organizacijska cjelina koja se bavi upravljanjem i planiranjem ne treba biti vezana za izvršni dio organizacije, planiranje se obavlja prije raspoređivanja poslova (na one koji ih mogu izvršiti), postoji algoritam za određivanje prioriteta aktivnosti, planirane aktivnosti se izvršavaju na vrijeme, postoji preventivno održavanje koje se provodi kada je jeftinije od korektivnog i većinom bez zaustavljanja rada strojeva i sustava, preventivne aktivnosti održavanja izvršavaju se 100 %, baza tehničkih podataka je 95 % ažurna i točna, korisnici učestvuju u provedbi radnji koje omogućavaju stvaranje osnovnih uvjeta za rad opreme (postoji "njega opreme"), postoji posebna organizacijska cjelina koja se bavi s RCM, TPM, metodama analize rizika, optimalizacijom i drugim naprednim tehnikama i koja je direktno odgovorna glavnom menadžeru [3], [12], [16]. (U kompanijama na Zapadu prosječna ocjena je između 4 i 5, a rijetke imaju ocjenu 7 [16].) Osim ovih, moguće je ocjenjivanje i na osnovu drugih pokazatelja, koji obvezno trebaju biti prilagođeni sustavu koji se održava, kao i druge metode ocjenjivanja (npr. kroz izračun ukupne efikasnosti opreme – *Overall Equipment Effectiveness* [9], [17]).

5. Zaključak

Strategija održavanja ključni je čimbenik koji utječe na efikasnost sustava održavanja i raspoloživost opreme [12]. Kod složenih tehničkih sustava svakako treba uzeti u razmatranje poznate suvremene koncepte održavanja, kao i njihove kombinacije. Odluka o izboru strategije održavanja ima dugoročni značaj, jer će se primjenjivati dugi niz godina, uz eventualne, potrebne prilagodbe i usavršavanja. Zbog primjenjivosti to treba biti u što ranijoj fazi razvoja sustava (kada se projektira).

Kako su promjene stanja tehničkih sustava zavisna od uvjeta uporabe i slučajnog karaktera, za razmatranje sustava održavanja potreban je sustavni pristup. Da bi strategija održavanja omogućila maksimalnu efikasnost postrojenja mora uzeti u obzir cjelokupni sustav, zajedno sa zaposlenicima i okruženjem, te kontinuirano primjenjivati mjere za otklanjanje svih gubitaka, čime se proces održavanja stalno poboljšava.

Za donošenje pravilnih i pravovremenih odluka u procesima održavanja bitno je primijeniti IS koji odgovara specifičnim zahtjevima djelatnosti sustava, tj. tvrtke, i zahtjevima strategije održavanja.

6. Literatura

- [1] Milosavljević, Pedja; Rall, Klaus. Six Sigma Concept in the Maintenance Process of Technical Systems // *Mechanical Engineering*, 3(2005), 1, s. 93-108. (ISSN 0354-2025)
- [2] Komazec, Stefan; Todorović, Ivan; Jaško, Ondrej. Model za planiranje preventivnog održavanja elemenata sistema za prenos električne energije // *Zbornik radova XV naučno stručnog skupa Održavanje mašina i opreme 2015* / Vasić, Branko (ur.). (ISBN 978-86-84231-39-2). Beograd-Budva : Institut za istraživanja i projektovanja u privredi, 18-26.06.2015. s. 409-419.
- [3] Papić, Ljubiša; Milovanović, Zdravko. Održavanje i pouzdanost tehničkih sistema. Prijedor: Istraživački centar za upravljanje kvalitetom i pouzdanošću - DQM, 2007. (ISBN 978-86-86355-03-4)
- [4] Lapa, Celso Marcelo; Pereira, Claudio Marcelo; de Barros, Marcio Paes. A model for preventive maintenance planning by genetic algorithms based in cost and reliability / *Reliability Engineering & System Safety*, 91(2006), 2, s. 233-240. (ISSN 0951-8320)
- [5] Milekić, Mile. Pristupi koji doprinose poboljšanju održavanja nastali u proizvodnji transportnih sredstava, // *Zbornik radova 3. Konferencije "Održavanje 2014"* Zenica s. 91-96., www.odrzavanje.unze.ba/zbornici/2014/012-O14-049.pdf, Pristup 15.06.2016.
- [6] Study of existing RCM approaches in different industries – Technical Report. Paris/Madrid : Universidad Politecnica, Madrid, 2000.
- [7] Vidaković, Držislav. Koncepti održavanja tehničkih sustava temeljeni na analizi rizika od otkaza // *Zbornik radova 25. Međunarodnog znanstveno stručnog skupa Organizacija i tehnologija održavanja* / Lacković, Zlatko (ur.). (ISBN 978-953-7973-13-1). Osijek : Društvo održavatelja Osijek i Albert naklada Osijek, 22.04.2016. s. 111-122.
- [8] Siddiqui, Atiq, Waliullah; Ben-Daya, Mohamed. Handbook of Maintenance Management and Engineering, Chapter 16 – Reliability Centered Maintenance. London: Springer-Verlag, 2009. (ISBN 978-1-84882-471-3)
- [9] Ahuja, P. S. Handbook of Maintenance Management and Engineering, Chapter 17 – Total Productive Maintenance. London: Springer-Verlag, 2009. (ISBN 978-1-84882-471-3)
- [10] Epler, Igor, J. Models of Technical System Maintenance management // *Military Technical Courier*, LXI(2013), 1; s. 178-195. (ISSN 1330-3651)
- [11] Klarin, Milivoj; Misita, Mirjana; Spasojević-Brkić, Vesna. Actual Maintenance Management Tendencies – Risk Based Maintenance // *Tehnička dijagnostika* (2008)3, s. 17-22. (ISSN 1451-1975)
- [12] Tomas, Vinko; Šegulja, Ivica; Čišić, Dragan. Mogućnosti i problemi primjene suvremenih strategija održavanja u pomorstvu // *Pomorstvo*, 19(2005); s. 29-41. (ISSN 1332-0718)
- [13] Selvik, Jon, Tommeras.; Scarf, Philip; Aven, Terje. An Extended Methodology for Risk Based Inspection Planning // *RT&A*, 20(2011), 2, s. 115-126.
- [14] Aleksić, Marinko. Standardizacija i razvoj RCM metodologije // *Zbornik radova XXXI naučno stručnog skupa Održavanje mašina i opreme 2006* / Vasić, Branko (ur.). (ISBN 86-84231-10-4). Beograd i Budva : Institut za istraživanja i projektovanja u privredi, 15-16.06.2006. i 20-23.06.2006. s. 25-36.

-
- [15] Brckan, Krešimir; Ivanček, Tomislav. Upravljanje održavanjem uz podršku suvremenog Asset Management informacijskog sustava // *Održavanje i eksploatacija*, 16 (2016), 1. s. 11-13. (ISSN 1330-6197)
- [16] Idhammar, Christer. What constitutes world-class reliability and maintenance, Idcon Inc., www.idcon.com/resource-library/articles/best-practices/571-world-class-1.html, Pristup 15.06.2016.
- [17] Vujović, Lazo; Šćepanović, Spasoje; Vujović, Jakša. Analiza efikasnosti modela razvojnog održavanja termoelektričnih objekata // *Zbornik radova XV naučno stručnog skupa Održavanje mašina i opreme 2015* / Vasić, Branko (ur.). (ISBN 978-86-84231-39-2). Beograd-Budva : Institut za istraživanja i projektovanja u privredi, 18-26.06.2015. s. 204-210.