

ISTRAŽIVANJE SUSTAVA ODRŽAVANJA GRAĐEVINSKIH STROJEVA

RESEARCH OF THE MAINTENANCE SYSTEM OF CONSTRUCTION MACHINES

Dinko Mikulić¹, Draško Mück²

¹Veleučilište Velika Gorica

²DOK-ING d.o.o. Zagreb

SAŽETAK

Izvođenje građevinskih radova nezamislivo je bez građevinskih strojeva. U praksi postoje problemi njihove pouzdanosti i raspoloživosti. Istraživanje sustava održavanja temelji se na održavanju reprezentativnih građevinskih strojeva za zemljane radove te održavanju transportnih sredstava. Predložili smo sustav održavanja koji uključuje koncepciju, organizaciju i tehnologiju održavanja. Izveden je model terenske organizacije sustava održavanja koji definira osnovno, tekuće i periodično održavanje. Utvrdili smo da je sustav održavanja strojeva značajan čimbenik koji utječe na njihovu nabavu i uporabu. Vlasništvo ili najam strojeva čine razliku između korisnika što utječe na poslovanje.

Ključne riječi: *građevinski strojevi, sustav održavanja, pouzdanost, raspoloživost, koncept održavanja, organizacija održavanja, tehnologija održavanja, upravljanje održavanjem*

ABSTRACT

Carrying out construction works is unthinkable without construction machines. In practice, there are difficulties with their reliability and availability. The research is based on the maintenance of typical construction machines for earthworks and transport vehicles. We proposed a maintenance system that includes conception, organization and maintenance technology. A model of the field organization of the maintenance system was developed, which defines basic, current and periodic maintenance. We found that

the machine maintenance system is a significant factor affecting their purchase and use. Owning or renting machines makes a difference between users which affects the business.

Keywords: *construction machines, maintenance system, reliability, availability, maintenance concept, maintenance organization, maintenance technology, maintenance management*

1. PROBLEMI I RJEŠENJA

1. PROBLEMS AND SOLUTIONS

U radu prikazujemo relevantna istraživanja problema održavanja građevinskih strojeva s gledišta problematike povećanja pouzdanosti i smanjenja troškova popravaka kao doprinos povećanju njihove raspoloživosti. Sustav održavanja građevinskih strojeva treba otkloniti zastoje u operativi. Istraživanje se temelji na sustavu održavanja reprezentativnih građevinskih strojeva za zemljane radove i transportnih sredstava. [1]

Građevinski su strojevi teški i skupi, a oblik strojeva i njihovih dijelova proizlazi iz njihove funkcije. U Hrvatskoj je građevinskoj operativi prisutan velik broj različitih strojeva. Za pružanje usluga održavanja i tehničke ispravnosti odgovorni su najprije njihovi korisnici i primijenjeni sustav održavanja. U praksi prisutan je problem korektivnog održavanja, kako zbog intenziteta otkaza tako i zbog nepravilne uporabe strojeva. S obzirom na veliki godišnji intenzitet eksploatacije broja radnih sati i radni vijek strojeva, građevinski strojevi brzo zastarijevaju.

Posljedice su toga problemi održavanja – veliki intenzitet otkaza, vrijeme nerasploživosti, uloženi rad na održavanje, vijek trajanja strojeva do srednjeg remonta, troškovi održavanja kao i troškovi zastoja. Vrijeme nerasploživosti strojeva najviše ovisi o vremenu čekanja na rezervne dijelove, kao i o složenosti popravaka.

U radovima [2, 3] prikazani su rezultati opsežnih istraživanja pogodnosti održavanja i pouzdanosti koja su relevantna za ovo istraživanje. Primjerice, raspodjela otkaza strojeva za zemljane radove – utovarivača na kotačima, od ukupnog broja otkaza, neispravnosti te otkaza na radnom uređaju iznosi 25%. Učestalost otkaza u strukturi radnog uređaja iznosi: hidraulične komponente 30%, metalna konstrukcija 45%, izvršni alat 25%. Ovi podaci važni su za održavanje te za realokaciju pouzdanosti i trajnosti stroja u fazi razvoja strojeva.

Značaj politike i tehnologije u sustavu održavanja otkrivaju elementi logističkog inženjerstva. [4] U radu [5] autori se bave organizacijom servisa, dajući stručne odgovore na pitanja organizacije i tehnologije te upravljanja održavanjem.

Ovom istraživanju podvrgnuti su sustavi održavanja kod nekoliko zastupnika prodaje strojeva i servisa te korisnika [6, 7, 8], na temelju uporabe reprezentativnih građevinskih strojeva – buldožera, utovarivača, rovokopača, vibrovaljaka, autodizalica, telehendlera i kamiona. Kroz razgovore s predstavnicima održavanja poznatih marki uočeni su problemi održavanja i raspravljena su moderna rješenja sustava održavanja.

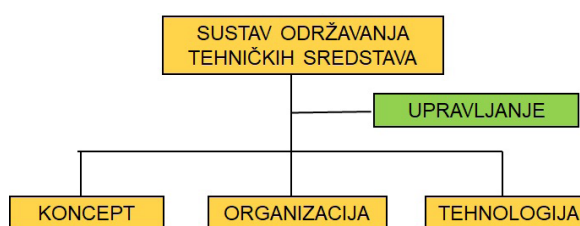
Prema navedenom, mnoštvo čimbenika u sustavu utječe na kvalitetno održavanje strojeva. Održavanje građevinskih strojeva složeni je organizacijsko-tehnološki sustav. Svaki element sustava ima vlastite karakteristike i parametre stanja. Elementi sustava međusobno su povezani i međusobno su ovisni, definirani su ograničenjima od kojih su najvažniji troškovi održavanja i troškovi nastali uslijed nerasploživosti ili zastoja.

Korisnik građevinskih strojeva može se osloniti na vanjsku uslugu održavanja pomoću ovlaštenih zastupnika i servisa. Ponekad je cijeli sustav održavanja razvijen kod korisnika strojeva. Međutim, praksa pokazuje stvarnu opciju, tj.

na kombinaciju ovih dvaju pravnih subjekata – vlastitog korisničkog održavanja (održavanje niže složenosti) i vanjskog održavanja od strane ovlaštenog servisera.

Zastupnici prodaje i servisiranja poduzetnicima nude strojeve i opremu kao sastavni dio procesa gradnje, te prihvaćaju plaćanje najma i servisa na temelju broja radnih sati ili opsega posla. Strojevi u vlasništvu koji se malo koriste obično su skupi strojevi. Primjerice, smatra se da je za korištenje stroja ispod 1000 radnih sati godišnje bolje unajmiti stroj nego ga kupiti. Zato se strojevi uzimaju u najam jer tada nema troškova kupovine, kamata, osiguranja, troškova održavanja. Očekuje se da će u budućnosti najam strojeva postati jedna od boljih investicijskih odluka.

Prodajno-servisne organizacije i korisnici strojeva (građevinske tvrtke, poduzetnici) međusobno surađuju kod nabave, uporabe i održavanja strojeva kako bi postigli poslovne rezultate. Osiguranje raspoloživosti strojeva pomoću sustava održavanja i nabave strojeva omogućava konkurentnost poslovanja. Suvremeni sustav održavanja građevinskih strojeva treba osigurati njihovu pouzdanost i raspoloživost u životnom vijeku. Obilježja suvremenog sustava održavanja građevinskih strojeva kao tehničkih sredstava čine koncept, organizacija i tehnologija održavanja te način upravljanja održavanjem (Slika 1).



Slika 1 Sustav održavanja tehničkih sredstava

Figure 1 Maintenance system of technical means

Koncept je vrlo važno obilježje sustava održavanja koje utječe na njegovu kvalitetu. Definira se odluka o vremenu i načinu provođenja aktivnosti održavanja. Održavanje građevinskih strojeva obuhvaća tri koncepta: preventivno, korektivno i kombinirano održavanje, o čemu će u ovom poglavlju biti najviše teksta.

Organizacija službe održavanja temelji se na specijaliziranim odjelima održavanja i terenskim

ekipama. Redovne su aktivnosti službe održavanja organizacija procesa održavanja, praćenje stanja strojeva, priprema i provedba tehnološkog procesa održavanja, organizacija transporta i potpora osiguranju zaliha rezervnih dijelova.

Tehnologija održavanja definira postupak održavanja. Postupak treba obaviti i za svaku razinu održavanja – definirati alat i opremu, redoslijed, vrijeme te stručno osoblje. Primjena određene tehnologije najviše ovisi o konstrukcijskoj složenosti strojeva, opremljenosti radionice i osposobljenosti djelatnika.

Upravljanje osigurava nadzor provedbe procesa održavanja. Organizacijske službe odgovorne su za odvijanje poslovanja iz njihovih stručnih područja, kao što su: služba za financije i administraciju, služba prodaje i marketinga, služba servisa na terenu i radionici, služba za korisnike, služba za nabavu, prodaju i zalihu rezervnih dijelova. Za analitiku i upravljanje treba koristiti suvremenu informacijsku tehnologiju koja pomaže donošenju učinkovitih odluka.

2. POUZDANOST I RASPOLOŽIVOST 2. RELIABILITY AND AVAILABILITY

Svaka neispravnost stroja ne znači i njegov otkaz. Stroj može sa nekom dopuštenom razinom neispravnosti obavljati svoju namjensku funkciju. Tehnička sredstva posjeduju aktivne dijagnostičke sustave koji upozoravaju na neispravnost i predviđaju mogućnost daljnje uporabe stroja do određene granice ili obvezu intervencije. Za točnu lokalizaciju otkaza potrebno je dobro poznavanje i logičkih shema stroja.

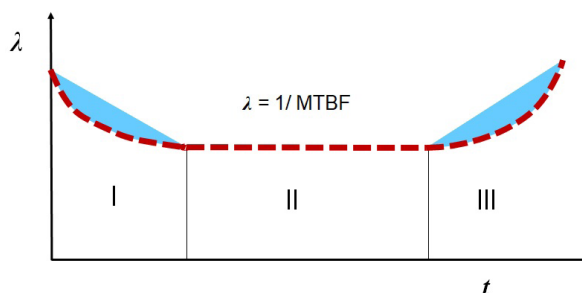
Neispravnost može biti tehnička i funkcionalna. Tehnička neispravnost stanje je stroja koje uz određena ograničenja ili u cijelosti još pruža sposobnost uporabe. Funkcionalna je neispravnost otkaz stroja. Nastaje kada sredstvo nije više sigurno za uporabu i kada daljnje korištenje može uzrokovati vrlo skupi otkaz i dugi zastoj.

2.1. POUZDANOST STROJEVA

Radni vijek tehničkih sredstava sastoji se od triju razdoblja u kojima se razlikuje vrijednost

intenziteta otkaza, a prema tome i pouzdanost (Slika 2).

Pouzdanost je vjerojatnost da će stroj raditi bez funkcionalnog otkaza na očekivani način u predviđenim radnim uvjetima i određenom vremenu, uz minimalne prekinde za održavanje. Osnovni je parametar pouzdanosti intenzitet otkaza (λ), odnosno srednje vrijeme između otkaza (engl. *mean time between failure*, MTBF).



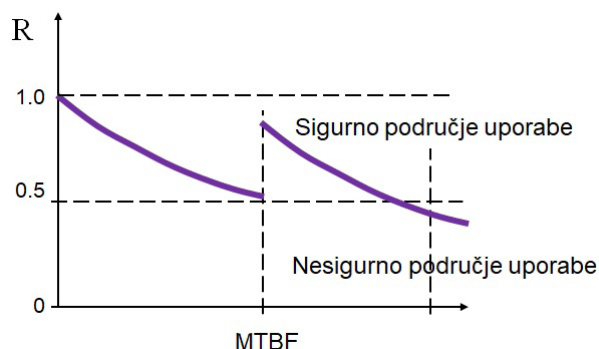
Slika 2 Krivulja intenziteta otkaza u životnom vijeku stroja

Figure 2 The curve of failure intensity during the lifetime of the machine

Prvo razdoblje (I.) krivulje intenziteta otkaza karakteriziraju „dječje bolesti“, odnosno uhadavanje stroja u kojem obično vrijedi i njegovo jamstvo. U drugom razdoblju (II.) radnog vijeka nastaju slučajni otkazi stroja koji se pripisuju unutarnjim čimbenicima. Obično traje dvije trećine radnog vijeka stroja. U tom razdoblju intenzitet otkaza stroja približno je stalan ($\lambda = \text{const}$). Može se pratiti učestalost takvih otkaza i pouzdanost stroja. U trećem razdoblju (III.) radnog vijeka pojavljuju se učestali otkazi zbog starosti, istrošenosti, korozije, zamora i slično, pa je potrebno intenzivno preventivno održavanje.

Intenzitet otkaza λ u II. razdoblju neovisan je o vremenu i obično se izražava u broju otkaza po jedinici vremena, primjerice na radni sat (1/h), $\lambda = 1/MTBF$. Srednje (prosječno) vrijeme između otkaza iznosi $MTBF = 1/\lambda$. Pouzdanost stroja za određeno vrijeme može se postaviti kao eksponencijalna funkcija vjerojatnosti: $R = e^{-\lambda t}$.

Održavanje stroja u referentnim stanjima MTBF-a pretpostavka je ostvarivanja cikličke funkcije pouzdanosti u životnom vijeku stroja, a prema tome i njegove operativne raspoloživosti za rad (Slika 3).



Slika 3 Ciklička funkcija eksponencijalne raspodjele pouzdanosti stroja

Figure 3 Cyclic function of the exponential distribution of machine reliability

Napomena: Eksponencijalna raspodjela vjerojatnosti prikladnija je za elektroničke sustave, a normalna raspodjela za mehaničke sustave. Weibullova raspodjela može, uz promjenu određenih parametara, poslužiti za opis raspodjela otkaza u sva tri razdoblja životnog vijeka.

2.2. RASPOLOŽIVOST STROJEVA

Raspoloživost se u teoriji održavanja izražava također kao vjerojatnost da će stroj u budućnosti raditi zadovoljavajuće uz određene uvjete, održavanja, popravke i administraciju. U praksi, stvarna raspoloživost strojeva razlikuje se raspoloživosti koju je deklarirao proizvođač. Stoga se može razmatrati omjer stvarne i deklarirane raspoloživosti. Koriste se sljedeći parametri izračuna raspoloživosti strojeva: tehnička, dostignuta i operativna raspoloživost.

Tehnička (inherentna) raspoloživost:

$$A_i = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR}) \quad (\%)$$

MTBF – srednje vrijeme između otkaza, parametar pouzdanosti

MTTR – srednje aktivno vrijeme popravka, parametar pogodnosti korektivnog održavanja

Dostignuta raspoloživost:

$$A_a = \text{MTBM} / (\text{MTBM} + M) \quad (\%)$$

MTBM – srednje vrijeme između održavanja

M – srednje aktivno vrijeme preventivnog i korektivnog održavanja

Operativna raspoloživost vjerojatnost je da će

stroj biti spreman za rad kada zatreba:

$$A_o = \text{MTBM} / (\text{MTBM} + \text{MDT}) \quad (\%)$$

MTBM – srednje vrijeme između svih akcija održavanja (preventivno, korektivno) parametar je pogodnosti za održavanje stroja koji najviše utječe na njegovu raspoloživost

MDT – srednje vrijeme zastoja zbog održavanja (vrijeme popravka, čekanje r/d, gubici ...)

2.3. RADNI VIJEK STROJA

Radni vijek stroja ograničen je troškovima popravka ili niskom razinom pouzdanosti i raspoloživosti. Tako se sprječavaju beskrajni i ekonomski neopravdani remont. Ukupne troškove tehničkog sredstva u životnom vijeku mogu se prikazati i analizirati prema formi „ledenog brijega“.

Neka je pretpostavka da radni vijek stroja treba biti jednak vremenu uporabe u kojem troškovi popravaka ne nadmašuju cijenu samog stroja u trenutku otkaza. Model radnog vijeka definira se tako da se pomoću MTBF-a ključnih sklopova stroja i njihove cijene odredi radni vijek do srednjeg remonta pomoću matematičkog očekivanja:

$$M(t) = \sum \text{MTBF}_i \quad g_i = \sum (1/\lambda) g_i$$

MTBF_i – srednje (prosječno) vrijeme između otkaza ključnih dijelova i sklopova

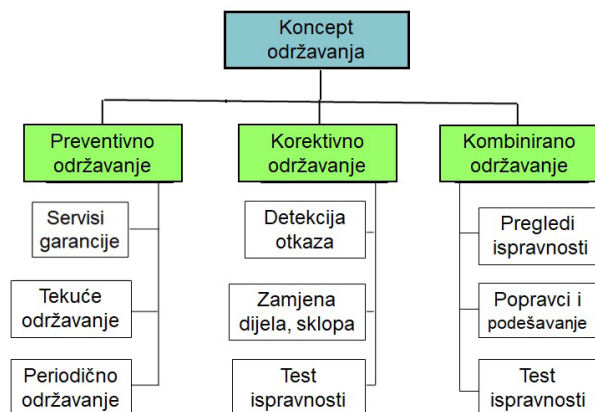
g_i – cijene popravka ključnih sklopova,
 $g_i = C_{ki} / C; \quad \sum g_i = 1$

Kod slučajeva kada su strojevi iz nekog razloga neispravni duže vrijeme, potrebno je izvršiti procjenu isplativosti popravka. Na osnovi toga može se donijeti odluka o investicijskom popravku (generalni remont). Umjesto nabave novog stroja, investicijski popravak pruža ekonomičniju opciju iskoristivosti stroja. Građevinski strojevi u praksi remontiraju se uglavnom zaključno sa srednjim i generalnim remontom motora i pojedinih sklopova. Smatra se da je prosječno očekivani radni vijek građevinskog stroja 10 000 radnih sati (približno 10 godina). Međutim, u praksi generalni remont stroja često se preporučuje na 20 000 radnih sati, ovisno o modelu stroja.

3. KONCEPT ODRŽAVANJA

3. MAINTENANCE CONCEPT

Koncept održavanja pretpostavlja politike održavanja: preventivno, korektivno i kombinirano održavanje (Slika 4).



Slika 4 Elementi koncepta održavanja

Figure 4 Elements of the maintenance concept

Značajke koncepta preventivnog, korektivnog i kombiniranog održavanja su:

1. Preventivno održavanje način je održavanja po unaprijed određenim intervalima održavanja. Aktivnosti uključuju redovito provođenje servisnih aktivnosti, dijagnostike, zamjenu dijelova prema preporučenim vremenima ili radnim satima, podmazivanje i čišćenje opreme. Drugi je način preventivnog održavanja održavanje po stanju gdje nema unaprijed definiranog intervala održavanja već se mijenja dok dostigne određene parametre (primjerice, pločice i diskovi kočnica). Ovo je čest koncept preventivnog održavanja. Intenzivnije preventivno održavanje potrebno je kod starijih strojeva s većim brojem radnih sati kako bi se izbjeglo skupe popravke i povećalo raspoloživost.
2. Korektivno održavanje način je održavanja nakon pojave otkaza. Kada se dogodi otkaz, provode se popravci, zamjene dijelova ili sklopova te remont da bi se ponovno uspostavila funkcionalnost stroja. Korektivno održavanje često zahtijeva hitne intervencije u svrhu smanjenja gubitka vremena i mogućnosti dodatnih otkaza. Glavni postupci kod korektivnog održavanja su: otkrivanje otkaza,

dijagnoza stanja, korektivna akcija (popravak), ispitivanje stanja nakon popravka i prije predaje stroja korisniku.

3. Kombinirano održavanje praktički je stvarni način održavanja koji objedinjuje prethodne aktivnosti preventivnog i korektivnog održavanja. Primjerice, nakon otkaza i popravka stroja provode se i preventivne aktivnosti održavanja, kao što su dijagnostika i konfiguriranje. Također, kod preventivnog održavanja može se uočiti dodatni otkaz koji zahtjeva popravak ili zamjenu dijelova što rezultira kombiniranim postupcima održavanja.

Prema složenosti održavanja mogu se razlikovati sljedeće razine takvog održavanja:

I. razina održavanja obuhvaća korisničko održavanje, opsluživanje, čišćenje i podmazivanje te zamjenu pojedinih dijelova u terenskim uvjetima ili servisne preglede kod korisnika na terenu (niža razina složenosti preventivnog održavanja).

II. razina održavanja obavlja se kod korisnika na terenu ili u radionicama. Provode ga certificirani mehaničari, s certificiranim alatima i rezervnim dijelovima nakon radnog resursa (kombinirano održavanje, složeni popravci, kombinacija korisničkog i ovlaštenog servisa).

III. razina održavanja obavlja se u organizaciji korisnika, ovlaštenog servisa ili proizvođača (srednji ili generalni remont, u svom opsegu radova).

Ovaj koncept održavanja građevinskih strojeva u praksi planira se, organizira i provodi kroz osnovno (tjedno), tekuće (mjesečno) i povremeno održavanje. Renomirani proizvođači građevinskih strojeva ovaj koncept svrstavaju u svoje modele servisiranja (*Basic*, *Standard* i *Premium*) kao učinkovit način održavanja mehanizacije.

Korisnici građevinske mehanizacije mogu neprekidno pratiti stanje strojeva na daljinu. *Telematika praćenja stanja* konstatira stanje ispravnosti stroja na gradilištima na temelju stanja njegovih ključnih funkcija. Ova tehnologija i preventiva proizašle su iz jednostavne GPS tehnologije lociranja. Osim položaja stroja, vremena rada, potrošnje goriva, nepravilne



Slika 5 Terensko održavanje strojeva (Liebherr, Caterpillar)

Figure 5 Field maintenance of machines (Liebherr, Caterpillar)

upotrebe i zaštite stroja, telematika održavanja nudi praćenje stanja i njihove daljinske dijagnostike stroja, posebice u razdoblju jamstva. Primjerice, integrirana telematska oprema na motoru omogućuje daljinsko rješavanje problema koje može pokrenuti dijagnostičko ispitivanje i odrediti potencijalne probleme dok stroj radi. Ako je potreban popravak, korisnik se upozorava na problem i dolazak ekipe za intervenciju.

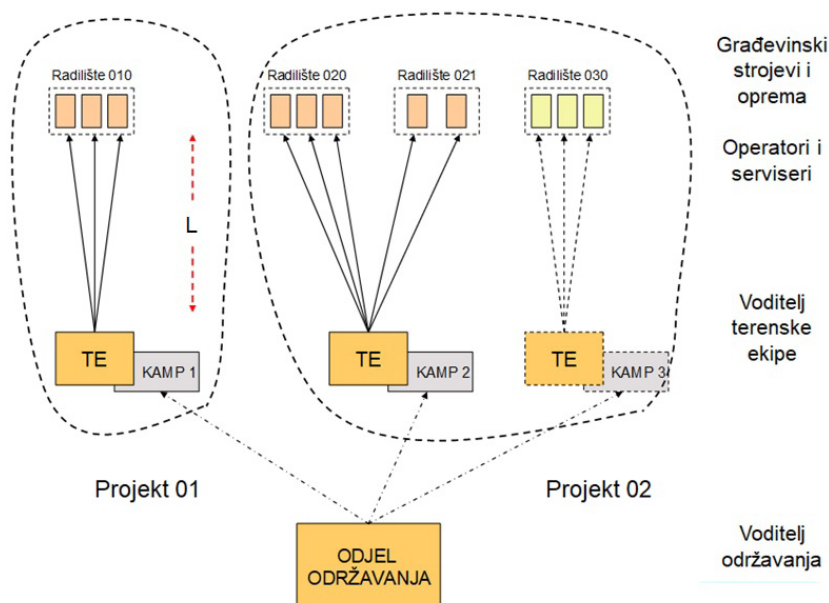
4. ORGANIZACIJA ODRŽAVANJA 4. ORGANIZATION OF MAINTENANCE

Građevinski strojevi prije svega su teški i skupi, slabo pokretljivi, na relativno velikoj udaljenosti od cesta i servisnog centra. Stoga se servisi održavanja strojeva obavljaju uglavnom na terenu, na mjestu gradilišta (oko 90%, Slika 5). Opsežniji radovi koje nije moguće obaviti na terenu izvode se u servisnoj radionici ovlaštenog ili korisničkog

servisa. Odluka o mjestu izvršenja servisa donosi se za svaki pojedinačni slučaj u dogovoru s korisnikom stroja.

Neke karakteristike servisiranja građevinskih strojeva:

- Servisna služba oprema se pokretnim radionicama. To su najčešće kombi vozila koja sadrže potrebne alate i opremu za izvršenje servisa i popravaka; mehaničkih, hidrauličkih, elektroničkih komponenti.
- Između servisa za održavanje građevinskih strojeva ne postoji ozbiljna konkurencija budući da je svaka od njih specijalizirana za svoju marku te ne konkurira na području druge marke.
- U održavanju strojeva ne stvara se velika količina zaliha rezervnih dijelova na skladištu, ali postoji raspoloživa nabava pojedinih dijelova unutar 24 sata.
- Servisi imaju uspostavljen sustav upravljanja kvalitetom ISO 9001.



Slika 6 Model terenske organizacija održavanja

Figure 6 Model of field maintenance organization

Terenska organizacija održavanja strojeva kod više građevinskih projekata može se prikazati pomoću modela na Slici 6. Svaka skupina strojeva na tim lokacijama (Projekt 01 i Projekt 02) pod nadzorom je terenske ekipe (TE) na relativno prihvatljivoj udaljenosti od kampa (L). Organizacija odjela može se smatrati dovoljnom organizacijom za vođenje procesa održavanja skupine različitih strojeva.

4.1. STRUKTURA ORGANIZACIJE ODRŽAVANJA

Organizacija održavanja uključuje primjenu koncepcije održavanja, kroz osnovno, tekuće i periodično održavanje kao što prikazuje Tablica 1.

Osnovno održavanje čine pregledi i čišćenje pri kojima se tijekom korištenja stroja i na tjednoj bazi provjeravaju njegova ispravnost i ugođenost, te upozorava na eventualne moguće neispravnosti i otkaze.

Tekuće održavanje obuhvaća preventivno i korektivno održavanje u terenskim uvjetima. Prema planu održavanja, nakon određenog broja radnih sati obavlja se zamjena istrošenih dijelova i popravak slučajnih otkaza. Prema složenosti tehnologije održavanja tekuće održavanje pripada I. i II. razini održavanja kod korisnika strojeva. Iznimno je važno preventivno održavanje glavnih hidrauličnih sklopova i pogonskih agregata na većem resursu radnih sati (koje uglavnom nisu propisane od strane proizvođača), a može uzrokovati velike zastoje strojeva.

Periodično održavanje provodi se prema stanju u cilju pripreme za predstojeći građevinski projekt. Karakterizira ga veći opseg defektacijskih radova, analiza kvalitete tekućina i veća

složenost održavanja. Može se svrstati u II. i dijelom III. razinu održavanja uz primjenu kombiniranog održavanja. Nakon približno godinu dana, odnosno svakih 1000 radnih sati i temeljem poduzetog periodičnog održavanja smatra se da je podignuta razina pouzdanosti i raspoloživosti strojeva.

4.2. PRIMJER ORGANIZACIJE ODRŽAVANJA

Zastupnici poznatih proizvođača građevinskih strojeva nude korisnicima strojeva različite vrste servisnih ugovora. Primjerice, zastupnici strojeva Caterpillar (Cat) nude korisnicima strojeva nekoliko CVA servisnih ugovora (engl. *customer value agreements*). Oni obuhvaćaju navedeno osnovno, tekuće i periodično održavanje svrstano na tri modela suvremenog servisa: *basic*, *standard* i *premium*. Smatra se da servisni ugovori predstavljaju učinkovit način organizacije, logistike i osiguranja raspoloživosti strojeva i smanjenja troškova održavanja. Suvremeni prodajno-servisni centar nudi svu potrebnu logistiku i upravljanje održavanjem građevinskim strojevima (Slika 7). Pokrivanje satelitskom ili mobilnom mrežom omogućava sveobuhvatno i fleksibilno daljinsko nadgledanje, praćenje uporabe i upravljanje održavanjem.

Opcija *basic* nudi se vlasnicima koji sami održavaju svoje strojeve, sljedeću potporu prema planu održavanja:

- Komplet CAT dijelova i maziva za preventivno održavanje koji je usklađen s terminima redovnog održavanja.
- Dostavu dijelova i tekućine za redovno održavanje na adresu korisnika.

| | | |
|----------------------------------|---|--|
| Osnovno održavanje | 1. Preventivni pregledi, tjedni ili mjesečni pregled kod korisnika | Provjera ispravnosti i konfiguracije stroja. I. razina |
| Tekuće održavanje | 1. Zamjena istrošenih dijelova i otklanjanje uočenih neispravnosti 2. Popravak iznenadnih otkaza | Preventivno i korektivno održavanje na terenu ili u radionici, nakon određenog broja radnih sati. II. razina. |
| Periodično (ciklično) održavanje | 1. Održavanje prema stanju i popravci 2. Zamjena istrošenih dijelova i sklopova, konfiguriranje | Preventivno održavanje, svakih 10.00 radnih sati uz korištenje izvornik maziva, kada strojevi ne rade. II. razina. Kombinirano održavanje. |

Tablica 1.
Struktura aktivnosti održavanja

- Posjet stručnjaka po dogovoru za provjeru ključnih komponenti i sustava, procjenu ispravnosti i načina rješenja.

Opcija *standard* nudi održavanje koje osigurava sljedeću potporu:

- Programe za preventivno održavanje koji su usklađeni s terminima redovnog održavanja svakog stroja.
- Obučene servisere koji osiguravaju kvalitetu održavanja i raspoloživosti stroja.
- Savjetovanje o upravljanju i radu sa strojevima radi povećanja konkurentnosti.
- Pristup podacima, radne sate, lokaciju, potrošnju goriva i dijagnostičke kodove grešaka.
- Godišnji servis stručnjaka za provjeru ključnih komponente i sustava stroja prema detaljnom kontrolnom popisu.
- Utvrđivanje znakova habanja ili neispravnosti i prijedlog rješenja.
- SOS analizu uzoraka tekućina.



Slika 7 Servisni centar za održavanje građevinskih strojeva, Teknoxgroup Hrvatska – servis Caterpillar strojeva

Figure 7 Service centre for maintenance of construction machinery, Teknoxgroup Croatia - service provider of Caterpillar machines

Opcija *premium* nudi održavanje novih strojeva uz trogodišnje jamstvo (do 6000 radnih sati). Opcija uključuje podatke naprednog praćenja stanja stroja, izvješća i stručno savjetovanje korisnika strojeva. Uza sve pogodnosti opcije *standard*, opcija *premium* pruža i sveobuhvatnu zaštitu stroja koja uključuje tekućine i analizu tekućina. Analizom uzoraka tekućina dobivaju se vrijedne informacije, važne za upravljanje strojevima i smanjenje troškova rada (analiza stupnja habanja, analiza stanja i čistoće ulja, kontaminacija

ulja...). Ovo proaktivno održavanje koristi se za dijagnostiku stanja, prognoziranje i popravak prije otkaza. Važno je otkriti probleme u ranoj fazi te izbjeći nepotrebno vrijeme stajanja stroja kroz otklanjanje manjih neispravnosti prije nego oni postanu kritični. Primjerice, bolje je zamijeniti ležajeve ili brtve ili ulje u planirano vrijeme nego čekati otkaz stroja.

5. TEHNOLOGIJA ODRŽAVANJA

5. MAINTENANCE TECHNOLOGY

Tehnologija održavanja postupak je izvođenja radova održavanja na siguran način, uz primjenu znanja, vještina, alata i materijala. Ovlašteni zastupnici građevinskih strojeva nude korisnicima strojeva primjenu tehnologije servisiranja. Na primjeru bagera s teleskopskom rukom (tzv. *telehndlera*) – stroja za premještanje tereta, slijedi postupak primjene tehnologije redovitog održavanja.

Osnovno održavanje *telehndlera* obavlja se prema resursu radnih sati. Održavanje svakih 50 sati smatra se tjednim održavanjem, nakon 500 radnih sati tekućim (mjesečno održavanje) te svakih 1000 radnih sati godišnjim održavanjem. Plan održavanja prikazuje se najčešće u tabličnim pregledima.

Pomoć u održavanju stroja pruža dijagnostički uređaj *service master* (Slika 8). Koristi se za očitavanje grešaka, praćenje rada dijelova stroja u stvarnom vremenu i mijenjanje postavki programa u središnjim jedinicama motora, mjenjača, itd.



Slika 8 Dijagnostički uređaj *service master*

Figure 8 Service Master diagnostic device

Primjerice, *service master* koristi se za dijagnostiku i praćenje rada motora, mjenjača i konfiguriranje sustava zaštite od prevrtanja. Sastoji se od prijenosnog računala (A) i programa koji dolazi na CD-u (B), pretvarača (C) i kablova za spajanje (D). Uspostavljanje veze sa središnjim jedinicama stroja postiže preko utičnice na stroju i spaja sa sustavom CAN.

Kod praćenja rada motora u stvarnom vremenu podaci se prikazuju na ekranu. Nakon pokretanja motora mogu se pratiti sati rada motora, tlak u turbopunjaču, temperatura zraka, tlak goriva u visokotlačnoj cijevi, tlak ulja motora, razina ulja motora, broj okretaja motora, temperaturu motora i temperatura goriva. Prikaz na ekranu ujedno je i električna shema tako da prilikom traženja neispravnosti nije potrebno gubiti vrijeme na traženje odgovarajuće sheme. Očitavanje mogućih grešaka vrši se pokretanjem odgovarajuće ikone. Uz grešku se prikazuje i broj ponavljanja grešaka (*crna kutija*) te mogući uzroci i savjeti za otklanjanje otkaza.

Indikator opterećenja kao dio sustava za zaštitu od prevrtanja može otkazati. Nakon njegove zamjene važno je izvršiti baždarenje kako bi sustav zaštite od prevrtanja ispravno radio. Sustav se baždari preko uređaja za dijagnostiku *service master*. Prilikom traženja i otklanjanja neispravnosti hidrauličnog sustava koristi se uređaj koji mjeri i tlak i protok ulja (tlakomjer, protokomjer).

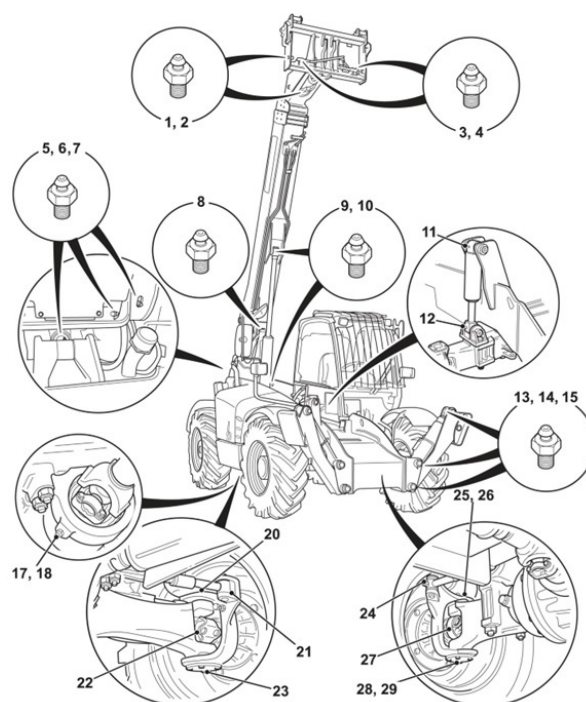
5.1. HIDRAULIČNO ULJE I MAZIVA ZA PODMAZIVANJE

Hidraulična instalacija dominantna je struktura funkcije građevinskog stroja. Brzina kojom izvršne komponente rade određena je brzinom protoka hidrauličnog ulja, dok hidraulični tlak određuje silu koja djeluje na radni uređaj. Jedan od glavnih uzroka otkaza hidraulike onečišćenje je hidraulične instalacije. Smatra se da se 75% neispravnosti dogodi zbog kontaminirane ili stare hidraulične tekućine. Oštećenje jedne komponente može uzrokovati štetu drugih komponenti. Primjerice, najčešći su razlog pregrijavanja prljavi hladnjaci čije održavanje spada u domenu operatora. Klase hidrauličnog ulja su: ISO VG 10-320 (ISO 3448). Preporučuju se ulja viskoznosti VG 46, VG 68.

Shema podmazivanja stroja pokazuje sve točke i

mjesta za osnovno i tekuće održavanje. Zglobovi se podmazuju preko mazalica univerzalnom litijevom mašću, otpornom na vlagu, vodu i temperaturu. Ključna su mjesta za podmazivanje valjni i klizni ležajevi, kako komponenti podvozja tako i polužnog mehanizma. Osim ručnog podmazivanja ležajeva postoji i automatski sustav središnjeg podmazivanja. Oni povećavaju vijek trajanja ležajeva, smanjuje generalne troškove održavanja i energetske gubitke.

Na Slici 9 prikazan je položaj mazalica, odnosno sastavnih dijelova stroja koje je potrebno podmazivati svakih 50 sati rada (tjedno).



Slika 9 Shema podmazivanja telehendlera (JCB 540-170)

Figure 9 Telehandler lubrication scheme (JCB 540-170)

1, 2 svornjaci cilindara za nagib vilica, 3 i 4 brza spojka, 5, 6 i 7 hvatište teleskopa, 8, 9 i 10 cilindar za podizanje teleskopa, 11 i 12 cilindar za nagib stroja, 13, 14 i 15 cilindar i ogibljenja stabilizatora, 17 i 18 nosač zglobnog vratila, 20, 21, 22 i 23 oslonci upravljanja na stražnjem mostu, 24, 25, 26, 27, 28 i 29 oslonci upravljanja na prednjem mostu

Za podmazivanje ležaja koristi se litijeva maziva mast LIS EP1, LIS EP2 i LIS EP3. Za podmazivanje svih izvedbi valjnih i kliznih ležaja koji su izloženi velikim i udarnim opterećenjima, kao što su građevinska i poljoprivredna mehanizacija, preporučuje se LIS EP 3.

Podmazivanje teleskopske grane odnosno dijelova teleskopa koji kližu po klizačima, podmazuje se svakih 500 radnih sati. Teleskopska se grana izvuče u razini tla sasvim do kraja, zatim se područje podmazuje mašću koja je vrlo rijetka i može se nanijeti špricanjem (sprej). Svojstvo ove masti je da se prljavština na nju manje lijepi, što smanjuje trošenje klizača kрана.

6. UPRAVLJANJE ODRŽAVANJEM

6. MAINTENANCE MANAGEMENT

Uprava za održavanje ovlaštenog servisa postavlja ciljeve i utvrđuje poslovnu politiku tvrtke. Zadaci su uprave vođenje poslovanja, planiranje i organizacija poslovanja, kao i nadzor svih područja poslovanja, od financijskih i tehničkih do ekoloških i marketinških. Organizacijske službe ili odjeli odgovorne su za odvijanje poslovanja iz njihovih stručnih područja. Primjerice, služba za financije i administraciju vodi poslove vezane za financijsko, knjigovodstveno i drugo poslovanje, praćenje pravnih normi i propisa, planiranje osoblja, posebno provođenje planova postavljenih od uprave. Služba prodaje obavlja marketinške poslove i prodaju strojeva i opreme. Služba servisa provodi tehnologiju održavanja ispravnosti strojeva na terenu i radionici. Služba za korisnike vodi poslove savjetovanja korisnika oko održavanja, obavlja poslove vezane za jamstva koje daje proizvođač strojeva ili ovlaštenu servis. Služba za nabavu i prodaju rezervnih dijelova vodi poslove nabave i prodaje, tekućina, maziva, pneumatika i potrebnog materijala za poslovanje, posebno poslova zaliha rezervnih dijelova.

Vođenje poslovanja povezano je s informatičkim potporom. Korištenje informacijskih računalnih programa za upravljanje održavanjem pomaže donošenju učinkovitih poslovnih odluka. Zato je potrebno prikupljanje točnih i pravovremenih informacija te njihova kvalitativna analiza. Mogu se grupirati sljedeće informacije:

- za upravljanje (konceptija održavanja)
- za planiranje (raspoloživost kapaciteta za preventivno /korektivno održavanje)
- za nadzor (kvaliteta održavanja, troškovi, izvršitelji)
- za usavršavanje (organizacije i tehnologije održavanja).

Procjena stanja strojnog parka pomoću informacijske potpore pruža temeljne informacije za donošenje odluka o održavanju strojeva, optimizaciju resursa, smanjenje rizika od neispravnosti, otkaza i produženje životnog vijeka strojeva.

Elementi procjene stanja su: struktura strojeva, starost, radionički kapaciteti, struktura stručne snage, ispravnost strojeva, neispravnosti i otkazi, ostvareni resursi (broj radnih sati, kilometraža), kvaliteta strojeva i usluga, pouzdanost, pogodnost za održavanje, zadovoljstvo stranke, troškovi, rezervni dijelovi, gorivo, ulje, maziva, energija. Potrebe za održavanjem mogu se klasificirati prema prioritetima i važnosti kako bi se uspostavio plan održavanja koji uključuje raspored servisa, zamjenu dijelova, popravke i druge potrebne aktivnosti održavanja.

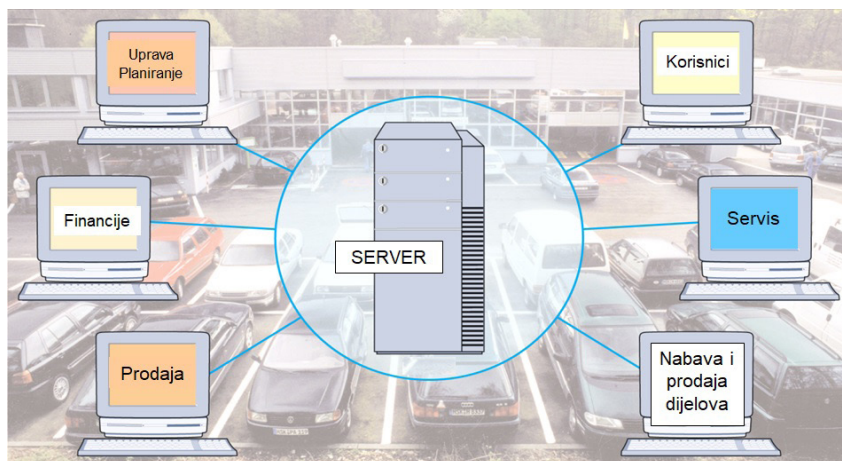
Upravljanje kvalitetom podrazumijeva uspostavljanje politike i ciljeva kvalitete te sustava osiguranja kvalitete. Svi postupci u sustavu održavanja usmjereni su prema korisniku, odnosno zadovoljavanju njegovih potreba.

6.1. KORIŠTENJE INFORMATIČKE POTPORE

Područja poslovanja podržana su korištenjem informatičke potpore koja koristi kvalitetne računalne programe kao i odgovarajuću informatičku opremu. Osim uobičajenih programa za vođenje komercijalnih i knjigovodstvenih poslova, koriste se i specifični programi. Pojedine poslovne jedinice servisa međusobno su umrežene (Slika 10).

Poslovi podržani informatičkom potporom:

- upravljanje i planiranje (analiza, kontrola, planiranje ...)
- nabava i prodaja dijelova, opreme, materijala
- služba za korisnike (baza podataka, izrada ponuda i radnih naloga ...)
- financije, administracija (knjigovodstvo, ljudski potencijali, transakcije ...)
- servis (vođenje tehničke dokumentacije, električne sheme, tehničke informacije, digitalna servisna knjižica, obrada jamstvenih naloga).



Slika 10 Umrežene poslovne jedinice informatičke potpore

Figure 10 Networked IT support business units

Radni nalog otvara se uz pomoć računalnog programa te sadrži najvažnije podatke o stroju, primjedbe korisnika, popis radova koje treba obaviti i dogovoreno vrijeme preuzimanja stroja. Na temelju radnog naloga izrađuje se popis zamjenskih dijelova i materijala na temelju kojeg ih služba rezervnih dijelova nabavlja.

Računalne programe koji se koriste za tehnički dio poslovanja servisa uglavnom su izradili proizvođači pojedine marke stroja. Koriste se uz pomoć interneta jer velika količina podataka i njihovo stalno ažuriranje dostupni su samo online, izravno na serveru proizvođača. Takvi programi pružaju uvid u tehničke sheme, upute za rad, uvid u standardna vremena, uvid u detaljne tehničke podatke stroja, tehničke informacije, kontrolne listove za pojedine servisne zahvate, postupke dijagnostike i mjerenja, čitanje i brisanje zapamćenih grešaka, uvid u servisne akcije ili opozive, programiranje računala, uvid u trenutne parametre rada pojedinih sustava stroja.

7. ZAKLJUČAK

7. CONCLUSION

Građevinski strojevi nisu samo sredstva radne operative nego i predmeta nabave i održavanja za radni vijek što je vrlo važno zbog raspoloživosti strojeva i troškova. U radu je istraživano i prikazano kako se korisnici i održavatelji nose s ovim izazovom. Osiguranje raspoloživosti strojeva pomoću pogodnog sustava održavanja omogućava prepoznatljivost konkurentnosti mehanizacije. Ovo istraživanje temelji se na sustavu održavanja reprezentativnih

građevinskih strojeva za zemljane radove i transportnih sredstava.

Istraživanje održavanja građevinskih strojeva pokazuje da je sustav održavanja značajan čimbenik kod nabave i uporabe strojeva. Činjenica je da su tehnički koncepti preventivnog, korektivnog i kombiniranog održavanja slični. Međutim, vlasništvo ili najam čine razliku između korisnika, o čemu ovisi održivost na tržištu.

Služba održavanja temelji se na specijaliziranim odjelima održavanja i terenskim ekipama. Organizacija održavanja uključuje primjenu koncepcije održavanja kroz osnovno, tekuće i periodično održavanje. Primjena određene tehnologije najviše ovisi o konstrukcijskoj složenosti strojeva, opremljenosti radionice i osposobljenosti djelatnika. Suvremeni strojevi posjeduju indikatore neispravnosti i aktivne dijagnostičke sustave koji upozoravaju na neispravnost i predviđaju mogućnost daljnje uporabe stroja do određene granice ili obvezu intervencije.

Korisnik građevinskih strojeva može se osloniti na vanjsku uslugu održavanja putem ovlaštenih zastupnika i servisa. Ponekad je cijeli sustav održavanja razvijen kod korisnika strojeva. Međutim, praksa pokazuje realnu opciju, odnosno kombinaciju ovih dvaju pravnih subjekata – vlastitog korisničkog održavanja (popravke niže složenosti) i vanjskog održavanja od strane ovlaštenog servisa. Zastupnici prodaje i servisiranja nude poduzetnicima strojeve i opremu kao sastavni dio procesa gradnje te prihvaćaju plaćanje najma i servisa na temelju broja radnih sati ili opsega posla.

Upravljanje održavanjem i vođenje poslovanja povezano je s korištenjem informacijske tehnologije koje pomaže donošenju učinkovitih poslovnih odluka.

8. REFERENCE

8. REFERENCES

- [1.] Mikulić D., Muck D.: Građevinski strojevi. Teorija i konstrukcija (skripta). Veleučilište Velika Gorica, 2023.
- [2.] Mikulić D.: Istraživanje pogodnosti održavanja dozera, CVVŠ, Mag. rad. Zagreb, 1985.
- [3.] Mikulić D.: Doprinos modeliranju pouzdanosti građevinskih strojeva, Disertacija. Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1992.
- [4.] Matijašćić Z.: Logističko inženjerstvo. Veleučiliste Velika Gorica, Velika Gorica, 2012.
- [5.] Čerlek S, Čerlek N.: Organizacija servisa motornih vozila, Veleučiliste Velika Gorica, Velika Gorica, 2016.
- [6.] www.liebherr.com/en/int/products/components/downloads/downloads.html
<https://www.lectura-specs.hr/hr/model/gradevinski-strojevi/buldozeri-liebherr/pr-734-l-1012745>, Liebherr PR 7341
- [7.] CVA Customer Value Agreement, Caterpillar, 2023. www.warrenecat.com/service/field-service/ www.teknoxgroup.com/fileadmin/user_upload/CVA_Teknoxgroup_CRO.pdf
- [8.] Technical Data Brochure JCB 540-170, www.coppard.co.uk/managed/assets/documents/JCB_Loadall_540-170_Specifications.pdf

AUTORI • AUTHORS



• **Dinko Mikulić** – Autor je znatnog broja znanstvenih i stručnih radova iz područja konstrukcije motornih vozila, građevinskih i specijalnih strojeva, objavljenih u domaćim i stranim časopisima (CROSBİ).

Autor je knjiga: *Motorna vozila, teorija kretanja i konstrukcija* (2020), *Aktivni sustavi sigurnosti motornih vozila* (2011), *Građevinski strojevi* (1998). Autor je knjige *Design of Demining Machines* (2013). Doktorirao je na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, gdje je držao nastavu iz predmeta *Specijalna vozila i Građevinski strojevi*. Na Veleučilištu Velika Gorica drži predavanja iz predmeta: *Motorna vozila i Građevinski strojevi*.

Korespondencija • Correspondence

dinko.mikulic@vvg.hr



• **Draško Mück** – Autor je znanstvenih i stručnih radova iz područja motornih vozila, objavljenih u domaćim i međunarodnim konferencijama. Diplomirao je na Fakultetu strojarstva i brodogradnje.

Zaposlen je u tvrtki DOK-ING d.o.o. u Zagrebu. Voditelj je grupe za konstrukcijska rješenja unutar odjela Razvoja. Na Veleučilištu Velika Gorica drži predavanja iz predmeta: *Mehanika i Čvrstoća konstrukcija*.

Korespondencija • Correspondence

drasko.muck@dok-ing.hr