

ALEKSANDAR RADOSAVLJEVIĆ\*

# UREĐAJI ZA PODMAZIVANJE DODIRA TOČAK-ŠINA NA PRUGAMA U SRBIJI

## WAYSIDE LUBRICATION SYSTEMS IN SERBIA

Datum prijema rada: 9.3.2018.

UDK: 656.2.629.4.625.1/.5

### REZIME

Podmazivanjem dodira venca točka i čeone glave šine smanjuje se habanje točka i šine i produžava njihov radni vek. Takođe, smanjuje se buka koja nastaje u njihovom dodiru i znatno se smanjuje opasnost od iskliznuća vozila iz šina. Kao posledica dobrog podmazivanja smanjuju se otpori kotrljanja i, na kraju, ukupni otpori kretanja voznih sredstava što dovodi do smanjene potrošnje energije/goriva za vuču vozova. U radu je prikazano stanje uređaja za podmazivanje na vučnim vozilima u Srbiji, kao i uređaji za podmazivanje dodira točak/šina koji su već instalirani na prugama u Srbiji. Dat je prikaz savremenih stacionarnih uređaja za podmazivanje. Posebna pažnja je ukazana na efekte podmazivanja dodira točak/šina, u zavisnosti od uslova eksploatacije, na ubrzano habanje točkova, potrošnju energije/goriva, radni vek točka i šine i uštede koje su ostvarene na mnogim železničkim prugama u svetu. Na kraju, date su i preporuke kakve uređaje treba ugrađivati na naše pruge kako uloženi novac u uređaje ne bi bio bespotrebno potrošen, planirani efekti realizovani samo na papiru, a ideja o korisnosti podmazivanja kompromitovana. Tek ispunjenjem navedenih zahteva, pri nabavci novih (savremenih) uređaja za podmazivanje pored pruge, mogu se očekivati pozitivni efekti instaliranja uređaja za podmazivanje dodira točak/šina pored pruga.

**Ključne reči:** železnica, podmazivanje, točak, šina, habanje

### SUMMARY

Lubrication of contact the wheel flange and the head of the track reduces the wear of wheel and rails and prolongs their service life. It also reduces the noise that occurs in their contact and significantly reduces the risk of derailment vehicle from rail. As a result of good lubrication, the rolling resistance decrease and, finally, the total running resistance of the rolling stock, which leads to reduce energy/fuel consumption for train traction. The paper presents condition of lubrication devices on the traction vehicles in Serbia, as well as way side lubrication systems for lubrication wheel/rail contact that have already been installed on railways in Serbia. An overview of modern way side lubrication devices is given. Special attention has been paid to the effects of accelerated wheel wear on lubrication, energy/fuel consumption, total wheel/rail life and savings that have been achieved on many railroads in the world, all depending on the conditions of operation. Finally, recommendations are given on what type of devices should be installed on the tracks in Serbia so that the money invested in the devices would not be wasted, planned effects realized only on paper, and idea of the utility of lubrication compromised. During purchasing new (modern) way side lubrication systems positive effects of installing the way side lubrication systems can be expected after completing the mentioned requirements.

**Key words:** railway, lubrication, wheel, rail, wear

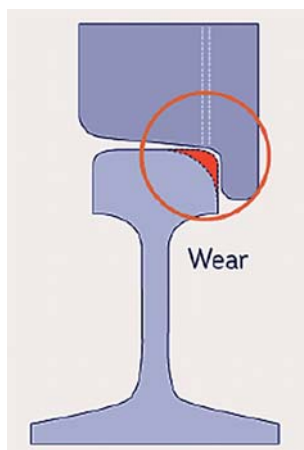
\* Dr Aleksandar Radosavljević, dipl. inž. maš, Saobraćajni institut CIP, Beograd, Nemanjina 6, radosavljevica@sicip.co.rs

## 1. UVOD

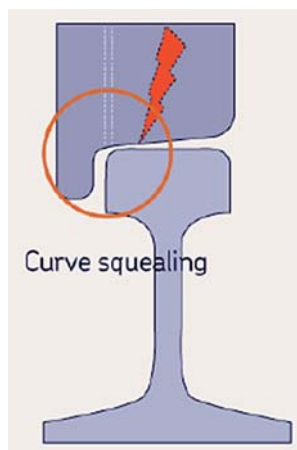
Kao što je poznato, pri kretanju voza na prugama sa mnogo „oštrih“ krivina (krivina sa poluprečnikom krivine  $R \leq 500\text{m}$ ) preovlađuje habanje venaca točkova za razliku od pruga sa malo krivina većeg radijusa, kod kojih se skoro isključivo javlja habanje površina kotrljanja točkova. Postojeće pruge u Srbiji su, globalno posmatrano, pruge sa mnogo „oštrih“ krivina, te se po tome mogu porediti sa prugama Austrije, Švajcarske ili Norveške.

Habanje šina je dugo godina predmet istraživanja u oblastima „oštrih“ krivina ili na veoma opterećenim prugama. Dodatno, pri suvom vremenu, dolazi do neželjene pojave škripanja tj. cviljenja. Razlozi za ovo su poznati:

- habanje koje nastaje između venca točka i spoljašnje šine u krivini prouzrokuje buku ukoliko kontakt nije podmazan (sl. 1)[1],
- buka nastaje kao rezultat tzv. „stick-slip“ efekta kada uzdužno i poprečno mikropomeranje točka na površini šine prouzrokuje da točak vibrira, što dovodi do škripanja visoke frekvencije; ovo se uglavnom dešava na unutrašnjoj šini u krivini (na donjoj šini) što dovodi do habanja unutrašnje šine (sl. 2).



Slika 1. Habanje spoljnje šine



Slika 2. Škripanje unutrašnje šine

Da bi se otklonili negativni efekti trenja dodira točak/šina razvijene su različite metode podmazivanja: pomoću uređaja instaliranih pored koloseka i/ili na voznim sredstvima i pomoću specijalnih vozila za podmazivanje dodira točak/šina.

Metoda podmazivanja pomoću uređaja smeštenih pored koloseka široko je primenjena u svetu, kao i metoda podmazivanja venca točka pomoću uređaja smeštenih na vučnim vozilima.

Metodom podmazivanja pomoću specijalnih vozila adaptiranih za ovu namenu (sa specijalnim rezervoarom i sistemom za podmazivanje) nanosi se podmazujući sloj sa strane glave šine tako da se obezbeđuje sigurno podmazivanje dodira točak/šina.

## 2. UREĐAJI ZA PODMAZIVANJE NA VOZIM SREDSTVIMA U SRBIJI

Od ukupno 129 električnih lokomotiva serija 441, 444 i 461; koje se nalaze u vlasništvu preduzeća „Srbija Voz“ i „Srbija Kargo“; 115 lokomotiva imaju uređaj za podmazivanje, a 14 nemaju.

U tabeli 1: prikazana je opremljenost uređajima za podmazivanje vodećih vučnih vozila u Srbiji, kao i tehnički podaci o vozilima koji su bitni za postavljanje stacionarnih uređaja za podmazivanje pored koloseka na pruzi.

Tabela 1. Uređaji za podmazivanje na voznim sredstvima u Srbiji

| Vozno sredstvo   | Dužina [m] | Broj osovina | Sa ili bez uređaja za podmazivanje [kom.] |    |
|------------------|------------|--------------|---|----|
| Teretna kola     |            |              |   |    |
| Hbis             | 14,00      | 2            |   |    |
| Gbs              | 14,00      | 2            | -   | -  |
| Rgs              | 20,74      | 2            |   |    |
| Teretna kola     |            |              |   |    |
| Gas              | 16,50      | 4            |   |    |
| Eanos            | 15,70      | 4            |   |    |
| Habis            | 21,70      | 4            | -   | -  |
| Sgn              | 19,74      | 4            |   |    |
| Tads             | 19,00      | 4            |   |    |
| El. lok. 441/444 | 15,50      | 4            | 62  | 14 |
| El. lok. 461     | 20,00      | 6            | 53  | -  |
| EMV 412/416      | 102,00     | 16           | 25  | -  |
| EMV 413/417      | 77,10      | 10           | 21  | -  |
| DMV 711          | 45,00      | 8            | 39  | -  |

Svi elektromotorni vozovi serije 412/416 opremljeni su uređajima za podmazivanje venca točkova. Nalaze se na obrtnim posteljima motornih kola i uređaj je proizvodnje „Secheron“ i MZT „Hepos“ – Skoplje.

Svi elektromotorni vozovi serije 413/417 opremljeni su uređajima za podmazivanje venaca točkova proizvođača BEKA. Uređaj je ugrađen u dva pogonska obrtna postolja krajnjih kola i njime upravlja upravljačka jedinica vozila. U intervalima i zavisno od brzine vozila; uređaj podmazuje vence točkova na odgovarajućoj vodećoj osovini mešavinom masti i vazduha kako bi se smanjilo trenje i habanje točka i šina, kao i stvaranje buke. U zavisnosti od stepena istrošenosti točka moguće je podesiti odstojanje mlaznice od točka.

Svi dizel-motorni vozovi serije 711 opremljeni su uređajima za podmazivanje venaca točkova. DELIMON uređaj ima namenu da nanosi mazivo na venac prvog, u pravcu kretanja, osovinskog sklopa pogonskih postolja kola DMV-a, u zavisnosti od pređenog puta i brzine kretanja da bi smanjio intenzitet habanja venaca točkova i unutrašnjih bočnih strana šina, kao i da smanji potrošnju energije na račun smanjenja sila otpora kretanja.

### 2.1. Sastav prosečnog teretnog voza

Teretni vozovi vuku se, na mreži pruga Srbije, uglavnom sa 441, 444 i 461 lokomotivama. Vozovi mogu biti i sa dvoosovinskim i sa četveroosovinskim kolima. U teretnim vozovima više su zastupljena četveroosovinska kola nego dvoosovinska kola, ali nema pravila u sastavljanju vozova (slučajna veličina). Na sl. 3 prikazan je jedan prosečan teretni voz, na mreži pruga Srbije, mase 1561 t, dužine 466m i ukupnog broja osovina  $n = 112$  sastavljen i od četveroosovinskih i od dvoosovinskih kola. Ovaj voz može služiti kao ilustrativan primer za postavljanje uređaja za podmazivanje točka i šine opremljenih sa brojačima osovina podešenih da se podmazivanje vrši tek nakon prolaska određenog broja osovina voza.

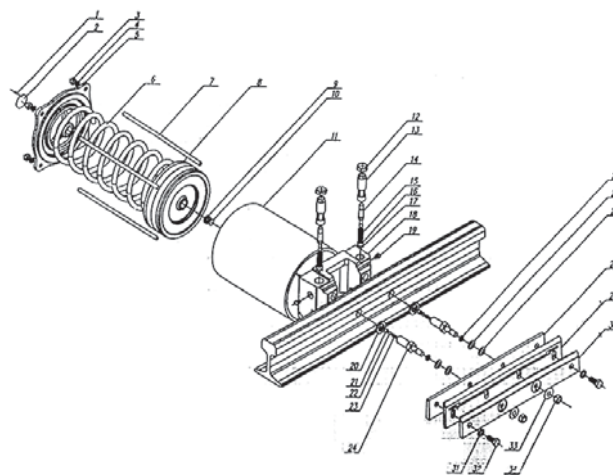


Slika 3. Prosečan teretni voz

## 3. STACIONARNI UREĐAJI ZA PODMAZIVANJE ŠINA

### 3.1. Stacionarni uređaji za podmazivanje šina instalirani u Srbiji

Pružnu mazalicu UPM-10 (sl. 4, tabela 2) proizvela je firma PRVI PARTIZAN iz Užica na osnovu baznog modela P&M Model C4 firme PORTEC[2].



Slika 4. Pružna mazalica UPM-10

Tabela 2. Tehnički podaci PM-10

|   |             |
|---|-------------|
| Ukupna masa pune mazalice [kg]  | 86          |
| Dimenzije [mm]  | 575x550x250 |
| Maksimalna količina masti u mazalici [l]  | 10          |
| Hod pritisknog klipa [mm]   | 0 – 8       |
| Količina masti koja se izbaci pri jednom pritiskivanju oba klipa [cm <sup>3</sup> ] | 0 – 1,47    |

Princip rada pružne mazalice je da prilikom prolaska voza točak nagazi pritiskne klipove koji potiskuju mast kroz razvodnik i kanale razvodne ploče, koja ostavlja mast sa unutrašnje strane spoljne šine, odakle je točak svojim vencem raznese duž cele krivine [3]. Mazalica se puni mašću pomoću specijalne pumpe i cevi za punjenje. Svakih šest meseci potrebno je mazalicu demontirati, temeljno očistiti razvodnike, ploče i sklop pritisknog klipa i otkloniti eventualne kvarove. U cilju održavanja povremeno je potrebno uraditi sledeće:

- ispustiti zaostali vazduh,
- izvršiti korekciju visine pritisknih klipova,
- izvršiti korekciju visine razdelne ploče.

Čim se količina masti u mazalici potroši do pola preporučuje se dopunjavanje mazalice. Kontrola punoće mazalice vrši se pri svakom obilasku pruge.

Prototip pružne mazalice PM-10 ugrađen je 1998. god. na tri lokacije Sekcije za održavanje pruga Užice i to u km: 156+450 između stanica Požega i Sevojno, 163+250 između stanica Užice Teretna i Užice Putnička i 171+220 između stanica Stapari i Sušica. U posmatranom periodu od oko godinu dana konstatovano je da se najbolji učinak mazanja postiže na daljini do 2 km.

Od 2001. do 2009. god. na teritoriji ŽTP „Beograd” ugrađeno je 117 pružnih mazalica i to: ZOP Zrenjanin 5 kom, TJ Vršac 7 kom, TJ Kikinda 9 kom, ZOP Novi Sad 33 kom, ZOP Subotica 5 kom, ZOP Požarevac 45 kom. i ZOP Valjevo 13 kom.

Institut Mihajlo Pupinje 2017. god. isporučio „Infrastrukturi železnica Srbije” 6 kompleta pružnih mazalica firme HY-POWER Produktions und Handels Austrija (sl. 5) i ugradio na pruzi Resnik-Valjevo između stanica Resnik – Bela Reka [4].

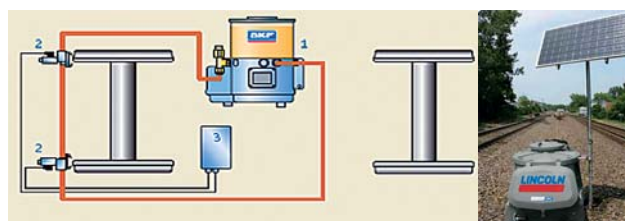


Slika 5. Pružna mazalica HY-POWER

Ova pružna mazalica je ugrađena i na području Željeznica Republike Srpske. Ukupno su ugrađena 43 kompleta najvećim delom na pruzi Doboj – Banja Luka. Napajanje mazalice se vrši preko solarnog panela i dva akumulatora smeštena u kućici, koji daju pogon pumpi za izbacivanje masti u dodiru točak/šina. Takođe, u uređaj je smešten i potencijometar kojim se određuje hoće li uređaj izbacivati mast nakon prolaska svakog ili svakog drugog, trećeg, ... voza. Potencijometrom se reguliše i količina masti koja se izbacuje u zavisnosti od spoljašnje temperature (vrši se podešavanje rada uređaja).

### 3.2. Pregled savremenih stacionarnih uređaja za podmazivanje šina

Savremeni uređaj za podmazivanje firme LINCOLN (električni) sastoji se od pumpne stanice, senzora točka (brojača osovina), uređaja za raspodelu masti sa četkom, solarnim panelom za napajanje električnom energijom i ormanom sa akumulatorima smeštenim na stubu (ili nekom drugom prikladnom mestu) pored pruge (sl. 6) [5].



Slika 6. Uređaj za podmazivanje LINCOLN

Prolaskom voza senzor, smešten u koloseku, broji osovine voza i kada se ostvari prolaz unapred zadatog broja osovina (električna komanda) uključuje se sistem i pumpa transportuje mast u uređaje sa četkom. Četka služi da bi se obezbedio bolji dodir između venca točka, glave šine i podmazujuće masti (minimizira potrošnju i zagađenje masti). Trajanje impulsa, koji određuje isporuku sredstva za podmazivanje, podešava se i zavisi od uslova eksploatacije. Prolaskom voza preko uređaja za raspodelu masti četkom se fino premazuju venci točkova. Ulaskom točka u krivinu nastaje proklizavanje točka i trenje između venca točka i glave šine. Mast smanjuje trenje i habanje između točka i šine. Na pravom delu pruge nema proklizavanja, nema trenja u dodiru točak/šina i dolazi do vrlo malog skidanja masti sa točka. Zadatak sistema za centralno podmazivanje je da precizno dozira potrebnu količinu masti.

U principu, treba vršiti podmazivanje što češće što manjom količinom masti tako da je precizno doziranje masti izuzetno značajno za efikasno podmazivanje. Važnu ulogu u doziranju masti ima progresivni razvodnik; koji obezbeđuje pouzdano i kontrolisano podmazivanje preko kontrole pritiska masti.

Uređaj za podmazivanje LINCOLN se primenjuje kako za redovnu eksploataciju na železnici, tako i za tramvaje, gradsku, prigradsku i podzemnu železnicu (metroje).

Francuske železnice (SNCF) su 2016. god. izvršile ispitivanje pružnih mazalica firme LINCOLN instaliranih na pruzi Lion – Marsej, preko Grenobla. Ustanovili su da se tragovi podmazivanja vide i do 3 km iza postavljene pružne mazalice [6].

Na sl. 7 i 8 prikazani su uređaji firme LINCOLN instalirani na austrijskim železnicama (ÖBB) u mestima Kledering (km 2+000) i Semmering (km 111+700).



Slika 7. LINCOLN uređaj u mestu Kledering



Slika 8. LINCOLN uređaj u mestu Semmering

PORTEC-M&S 761 Hydraulube (sl. 9) je efikasan (hidraulički) uređaj sa hidrauličkim motornim pogonom koji se aktivira prolaskom točka (sl. 10) preko aktuatora (mehanička komanda); koji pretvara energiju voza koji prolazi u impuls hidrauličnoj motornoj pumpi koja ubrizgava mast u dodiru točak/šina [7].



Slika 9. PORTEC-M&S 761 Hydraulube

Slika 10. Aktuator uređaja

### 3.3. Mazivo u uređajima za podmazivanje

Mazivo koje se isporučuje sa ili bez uređaja za podmazivanje točka/šine mora zadovoljavati uslove standarda [8]. Prilikom kupovine sistema, uređaj treba da se isporuči od strane proizvođača namiren mazivom i spreman za rad. Izuzetno je važan proces namirenja maziva kada se potroši mazivo u rezervoaru (proces mora biti operativno što jednostavniji, mora biti opisan u Tehničkom opisu sistema, a radnici u eksploataciji pravilno obučeni).

## 4. UTICAJ PODMAZIVANJA DODIRA TOČKA/ŠINE NA SMANJENJE OTPORA KOTRLJANJA, POTROŠNJU ENERGIJE I HABANJE

Primarna korist od podmazivanja dodira točak/šina ogleda se u smanjenju trošenja šine i venca točka i smanjenju potrošnje pogonske energije bez prouzrokovanja štetnih efekata u krivinama [9]. Energija voza je važna oblast gde podmazivanje točka i šine može dati značajne rezultate.

### 4.1. SAD – Ispitivanja pri dizel vuči vozova

Pod unapred određenim i kontrolisanim uslovima u postrojenju Facility for Accelerated Service Testing (FAST) smeštenom u centru Transportation Technology Center (TTC) u Pueblu (Kolorado, SAD) izvršena su merenja razlika potrošenog goriva između vožnje voza po suvim i podmazanim šinama. Ustanovljeno je prosečno smanjenje potrošnje energije od 32% [10].

Brojna demonstraciona ispitivanja sprovedenana železnicama sa dugim pravcima, „oštrim“ krivinama i nagibima pokazala su da se može postići rutinska ušteda goriva od 5 do 15% kada se koristi odgovarajuće sredstvo za podmazivanje. Ove uštede su, uopšteno gledano, zasnovane na upoređenju vuče voza po „suvim šinama“ i „potpuno podmazanim šinama“, iako su obe varijante vrlo retko u primeni za vreme normalne eksploatacije. Kapljanje ulja iz lokomotiva i ležajeva, zaostalo podmazivanje od strane uređaja za podmazivanje smeštenih pored koloseka, rđa i druga sredstva zagađivanja dovode do stanja šina koja odgovaraju „polusuvim“ uslovima za vreme osnovnih

ispitivanja sprovedenih na železnici Norfolk Southern Railroad (NS).

Za proračun uticaja podmazivanja na otpor kotrljanja korišćen je simulacioni model NUCARS [10]. Rezultati programa NUCARS su kao osnovni slučaj za upoređenje koristili slučaj suvih šina. Važno je napomenuti da su izvršena predviđanja samo za smanjenje dela otpora kotrljanja u ukupnom otporu voza, a neuključuju otpor nagiba pruge. Proračun ukupne energije potrebne da se pokrene voz mora uključiti otpor ležajeva, aerodinamički otpor, otpor nagiba, kao i energiju za ubrzanje. Korišćenjem podmazivanja smanjuje se otpor kotrljanja tj. trenja venca točka za 33%, a ukupni otpor kretanja za 13%. U ovom slučaju, smanjenje otpora kotrljanja zahvaljujući podmazivanju šina ima za posledicu smanjenje potrošnje energije voza za oko 13%.

Inteligentne tehnologije; koje služe da se smanji potrošnja energije, goriva i habanja materijala vozničkih sredstava; sve više se prihvataju u železničkom sektoru. Američko železničko udruženje (AAR) procenjuje da habanje i trenje; koje se pojavljuje u dodiru točak/šina zbog neefikasnog podmazivanja; košta železničke operatere Amerike više od 2 milijarde US \$ svake godine [1, 11]. Više od 10 milijardi US \$ potrošeno je 2004. godine na održavanje železničkih sistema zbog slabog podmazivanja [12].

#### 4.2. Rusija – Ispitivanja pri električnoj vuči vozova

Nanošenjem tankog sloja podmazujućeg sredstva na bočne strane glave šine; koje vodi do brzog smanjenja trošenja venca točka osovinskog sklopa i šina na deonicama pruga sa krivinama; takođe je praćeno smanjenjem otpora kretanja voza i smanjenim troškovima u električnoj energiji za vuču vozova [13].

Sveruski železnički institut (VNIIZhT) sproveo je ispitivanja čiji je cilj bio da se približno procene vrednosti smanjenja trošenja venca točka. Za ova ispitivanja korišćeni su teretni vozovi sa kritičnim masama na planinskim sekcijama Dalekoistočne železnice gde su nagibi do 28‰ i poluprečnici krivina do 200 m, kao i sa praznim vozovima na ravnim deonicama Zapadnosibirske železnice sa

nagibima do 4‰ i poluprečnicima krivina preko 1000 m. Ispitivanja su sprovedena uz pomoć mernih kola koja su bila opremljena složenim uređajima za automatsko merenje i izračunavanje zahvaljujući kontinuiranom registrovanju brzine voza i vučnih parametara električne lokomotive (napon i struja vučnih motora, snaga za vuču,...) u funkciji koordinata pruge.

Upoređeni su rezultati merenja i proračuna izvedenih na šinama bez i sa podmazivanjem. Za vreme ispitivanja specijalna pažnja je bila posvećena uporedivosti rezultata merenja. Da bi se uporedivost rezultata obezbedila, izvršene su ispitne vožnje na istoj deonici pruge sa istom električnom lokomotivom i istim mašinovođom; kao i pod istim vremenskim uslovima. Na Dalekoistočnoj železnici ispitivanja su izvršena vozom mase 4000 t; sastavljenog od 23 osmoosovinske cisterne i punim vozom mase 3400 t; sastavljenog od četvoroosovinskih kola vučenih sa dve lokomotive. Na ravnim deonicama Zapadnosibirske železnice sve vožnje su izvršene istim praznim vozom mase 2136 t. Na svim eksperimentalnim vožnjama pridržavalo se istog režima vožnje na celoj dužini deonice pruge. Ovakav pristup minimizirao je broj slučajnih faktora koji su mogli uticati na rezultate eksperimenta.

Režim podmazivanja šina posle ispitnih vožnji; izvršenih na šinama bez podmazivanja svake deonice pruge; bio je takođe identičan. Prvobitno je podmazujući sloj nanesen na delove pruge sa krivinama pomoću autonomnog pokretnog vozila za podmazivanje šina (projektovanog u VNIIZhT-u) u 5–7 dnevnih prolaza sa saobraćajem od oko 50 teretnih vozova na dan. Ispitivanja su sprovedena nakon što je podmazujući sloj preko osovina vozničkih sredstava prenesen sa krivina na ostatak deonice. Za vreme ispitivanja, jednom u dva dana, izvršeno je dodatno podmazivanje korišćenjem iste tehnologije (nanošenjem podmazujućeg sredstva na sekcije pruge sa krivinama).

Vreme zadržavanja podmazujućeg sredstva na šinama definisano je na način da se odredi željeni period podmazivanja. Ispitne vožnje su vršene sve dok se ne čuje tipična piska koja pokazuje da više nema sredstva za podmazivanje.

Na osnovu izveštaja iz depoa za održavanje lokomotiva; analizirana je promena potrošnje venaca točkova lokomotiva koje su vukle vozove pre i posle uvođenja podmazivanja. Potrošnja venaca točkova lokomotiva koje su saobraćale na najtežim deonicama pruge, prvenstveno sa vozovima kritičnih masa, smanjena je sa 4–5 mm/104 km na 0,5–0,7 mm/104 km (oko 10 puta), a prosečni mesečni broj obrada točkova električnih lokomotiva zbog trošenja venaca točkova smanjen je sa 220 na 10.

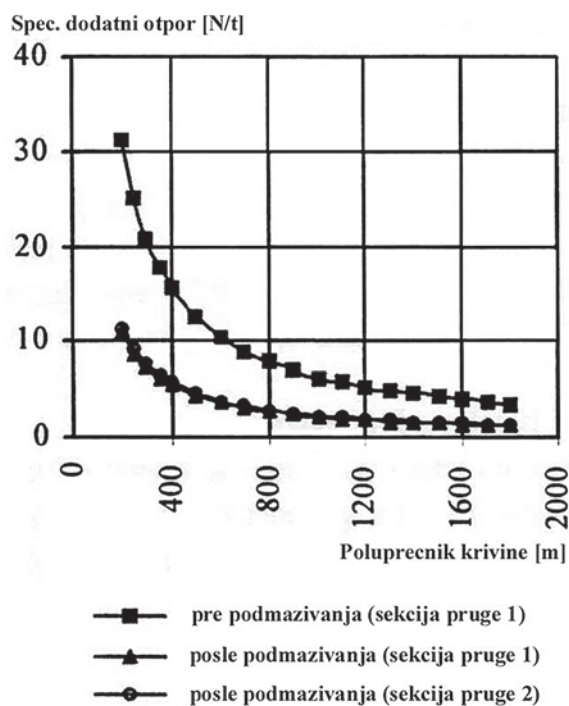
Prema teoriji vuče vozova, ukupni otpor kretanju voza sastoji se od otpora na pravim horizontalnim deonicama pruge, koji zavisi od tipa voznog sredstva, konstrukcije pruge i brzine, dodatnog otpora na nagibu i otpora krivina. Nanošenjem podmazujućeg sloja na bočnu stranu glave šine smanjiće se dodatni otpor u krivinama; kao i osnovni otpor kretanju voza pošto su ove dve komponente povezane međusobnom vezom venca točka i šine. Razdvajanjem ovih komponentata i praveći kvantitativnu analizu za serije ispitnih vožnji na deonicama pruge pre i posle primenjivanja podmazivanja, može se izvući zaključak u vezi sa stepenom uticaja podmazivanja na smanjenje otpora kretanja.

Pošto su u serijama ispitnih vožnji mase vozova, tip voznog sredstva, konstrukcija i stanje pruge i vremenski uslovi nepromenjeni, u nameri da se olakša komparativna analiza uticaja podmazujućeg sredstva na promenu otpora kretanja voza dovoljno je da se prihvati (uspostavi) kvantitativna zavisnost otpora kretanja u odnosu na sledeće odgovarajuće faktore: brzina, prosečan nagib i prosečan poluprečnik krivine pod vozom u datoj tački pruge.

Pošto se ukupan otpor kretanja može predstaviti kao zbir osnovnog i dodatnog otpora kretanja na nagibima i u krivinama, da bi se dobile vrednosti eksperimentalnih koeficijenata zavisnosti podeljene su deonice pruge, korišćene za ispitivanje, na odgovarajuće delove (obično dužine 1 km). Na ovim deonicama ukupan otpor kretanja, brzina, kao i konfiguracija pruge menja se beznačajno, što čini mogućim da se odredi svaki deo pruge sa srednjom vrednošću svakog od navedenih faktora, s obzirom da karakteristike nagiba i krivina pruge uzimaju u račun dužinu voza pri kretanju. Posle toga su vrednosti eksperimentalnih koeficijenata

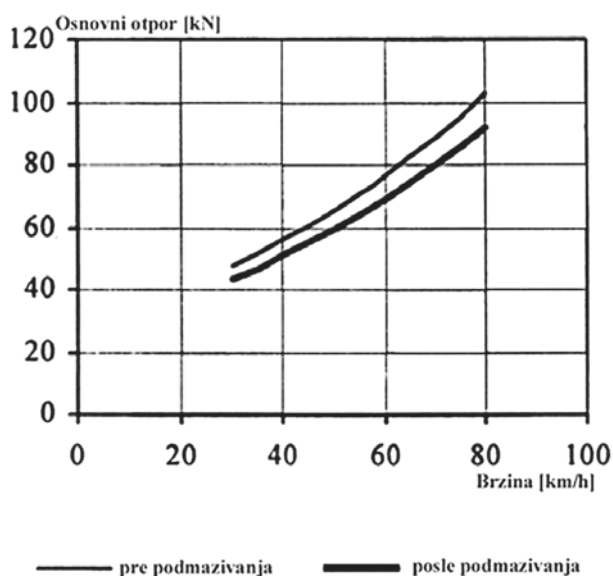
zavisnosti izračunate za svaku seriju ispitnih vožnji na odgovarajućim mestima.

Na slici 11 prikazane su eksperimentalne zavisnosti vrednosti specifičnog dodatnog optora u zavisnosti od poluprečnika krivina snimljenih pre i posle primene podmazivanja na Dalekostočnim železnicama sa nagibom od 10 do 12‰ i poluprečnikom krivina od 300m i više (sekcija pruge 1). Ista slika takođe prikazuje zavisnosti postignute pod uslovom primene podmazivanja na delove pruge iste železnice sa nagibima do 28‰ i poluprečnicima krivina iznad 200m (sekcija pruge 2). Zavisnosti su date specifično pošto se mase vozova na ovim delovima pruge značajno razlikuju. Upoređenja eksperimentalnih zavisnosti pokazuju da primena podmazivanja na bočnu stranu šine smanjuje komponentu ukupnog otpora kretanja za 2,8 puta.



Slika 11. Uticaj podmazivanja na dodatni otpor kretanja na krivinama

Na slici 12 predstavljeni su rezultati analize uticaja podmazivanja na promenu osnovnog otpora kretanja. Eksperimentalne zavisnosti dobijene na ravnim horizontalnim prugama Zapadnosibirske železnice pokazuju da se podmazivanjem šina dobija smanjenje osnovnog otpora kretanja od 10 do 12% u odnosu na stanje bez podmazivanja.



Slika 12. Uticaj podmazivanja na osnovni otpor kretanja

Dakle, analize rezultata ispitivanja pokazuju da se primenom podmazujućeg sloja na bočnu stranu šine saglasno VNIIZhT tehnologiji smanjuje dodatni otpor kretanja u krivinama 2,8 puta i osnovni otpor kretanja za 10–12%.

Za planinske delove pruge sa prevladavajućim nagibom pruge od 6 do 10‰ i poluprečnicima krivina od 400 do 1000 m, koji se nalaze na do 50% ukupne dužine deonice pruge, dobija se smanjenje ukupnog otpora kretanja za 7–9%. Na ravnim horizontalnim delovima pruga sa prevladavajućim nagibom od 0 do 4‰ i sa poluprečnicima krivina preko 1000 m dolazi do smanjenja ukupnog otpora kretanja za 8–11%.

Komparativne analize potrošnje električne energije po kilometru puta pokazuju da je opšti nivo potrošnje energije za vuču voza smanjen za 6–12% u uslovima kada su deonice pruge bile podmazane.

Rezultatima istraživanja dokazano je da su najbolji efekti podmazivanja prikazani pošto se podmazujući sloj raspodeli pomoću vozova duž cele deonice pruge. Takođe je utvrđeno da, s obzirom na primenjenu tehnologiju podmazivanja, praktično nema uticaja na adhezivne uslove na pruzi. Izvesno povećanje proklizavanja osovinskih sklopova i odgovarajuće povećanje potrošnje peska je primećeno samo kada voz ide neposredno iza vozila za podmazivanje šina. U ovom slučaju opšti eksponenti proklizavanja električnih lokomotiva

se nalaze unutar graničnih vrednosti proklizavanja koje su u klasifikaciji Instituta VNIIZhT označeni kao „intenzivno“ i „razumno“. Prema tome, nije bilo potrebno izvršiti korekciju normi kritičnih masa voza.

### 4.3. Efekti uslova eksploatacije (podmazivanja dodira točak/šina) na ubrzano habanje točkova

I u Srbiji su realizovana istraživanja uticaja zakrivljenosti koloseka na habanje venaca točkova [14, 15]. U okviru odgovarajućih ispitivanja analiziran je uticaj zakrivljenosti koloseka na habanje venaca točkova putničkih kola sa obrtnim postoljima MD52. Utvrđeno je da je brzina habanja, merena kao pređeni put između dva uzastopna reprofilisanja točkova, 3 puta veća na pruzi sa mnogo krivina (Beograd–Bar) nego na ravničarskoj pruzi (Beograd–Subotica).

U literaturi se relativno često ističe značajan uticaj podmazivanja na smanjenje habanja i točka i šine. Kao što se zna, podmazivanje se vrši uređajima na pruzi, koji se postavljaju u krivini na spoljnu šinu, i uređajima na vozilima, koji podmazuju vence vodećih točkova. Kombinacija oba načina podmazivanja daje najbolje rezultate. Prema podacima dobijenim na osnovu ORE istraživanja [16], indeks habanja vodećeg točka je, za iste ostale uslove kretanja, u krivini bez podmazivanja 2,7 puta veći od indeksa habanja u krivini u kojoj se podmazuje spoljnja šina, pa je na primer u krivini poluprečnika 250 m bez podmazivanja indeks habanja oko 570 J/m, a sa podmazivanjem oko 210 J/m. U Rusiji je u periodu od 1989. do 1997. godine vršeno sistematsko podmazivanje venaca točkova i šina na tri glavne pruge [17]. Rezultati tih dugotrajnih ispitivanja pokazali su da je vek trajanja točkova i šina na taj način povećan za 2 do 3 puta. Konkretni rezultati pokazuju da je:

- specifično habanje venaca lokomotivskih točkova po pređenom putu vozila smanjeno za 3 do 5 puta, a tamo gde je to habanje bilo izraženije i za 5 do 10 puta,
- vek trajanja monoblok točkova na većini lokomotiva primenom podmazivanja povećan na 600.000 km,
- broj teretnih kola, koja se izbacuju zbog opravke točkova (pohabani venci), smanjen je za 12 do 15%,



- dužina šina koje se zamenjuju zbog bočnog habanja smanjena je za 2,5 do 3,7 puta u zavisnosti od deonice pruge.

U tabeli 3 prikazani su snimljeni podaci o poboljšanju životnog veka točkova i godišnjim troškovima za točkove primenom podmazivanja u železničkom sistemu ERL Malezija [18].

Tabela 3. Životni vek točka ERL Malezija

| Stanje šina/vozila  | Životni vek točka [km] | Životni vek točka [nedelja] | Godišnji troškovi točkova [£] |
|---------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Bez podmazivanja    | 170.000                | 20                          | 1.600.000                     |
| Podmazivanje šine   | 300.000                | 35                          | 825.000                       |
| Podmazivanje vozila | 1.000.000              | 118                         | 250.000                       |
| Cilj                | 1.500.000              | 177                         | 170.000                       |

Očigledno je da se uvođenjem podmazivanja habanje venaca točkova može drastično smanjiti i da je to jedan od značajnijih uticajnih faktora na brzinu habanja točkova.

Uređaji za podmazivanje šine firme PORTECPW instalirani su u Engleskoj na liniji Eurostar brzih putničkih vozova koji polaze iz stanice Waterloo ka kanalu Lamanš. Maksimalna brzina na ovoj pruzi je 160 km/h, a maksimalni radijus krivine na kome su instalirani uređaji iznosi 1000 m. Ostvarene uštede su:

- interval obrade bandaža točkova je povećan sa 75.000 km na više od 400.000 km;
- troškovi održavanja, zbog potrošnje venca točka, smanjeni su oko 80%;
- predviđeni interval zamene točkova je povećan sa jedne na pet godina.

PORTECPW uređaji za podmazivanje šine instalirani su i na pruzi WestCoastMain Line od stanice Euston u Londonu do Glazgova. Na pruzi dugoj 186 km (maksimalne brzine 180 km/h) instalirano je preko 180 uređaja koje je instalirala, održava i dopunjuje firma GTRM (GT Railway Maintenance Limited).

Takođe, PORTECPW uređaji za podmazivanje šine odobreni su i za instalaciju na prugama firme Railtrack u Engleskoj maksimalne brzine 125 mph (201 km/h), kao i NetworkRail infrastrukture.

Ispitivanja, izvršena na mreži pruga North American Transit (Light Rail System), na krivinama poluprečnika manjih od 400 m i sa deonicama krivina dužine oko 800 m, pokazala su znatno smanjenje koeficijenta trenja u krivinama i smanjenje nivoa buke u redovnom saobraćaju [19].

U SAD je primenom podmazivanja venaca točka izmereno smanjenje otpora kotrljanja voza u krivinama do 50%, a na pravcu do 30% što je dovelo do uštede energije između 20% i 30% pod istim uslovima eksploatacije [20].

Železnička kompanija Spoornet (Južna Afrika) izvršila je ispitivanja na krivinama poluprečnika 200 m u uslovima bez podmazivanja i sa podmazivanjem venca točka. Ustanovljeno je da je pri podmazivanju potrošena energija manja za 48%. Takođe, izračunato je da se na prugama sa dobro podmazivanim šinama može povećati masa vučenog bruta za 10–20%.

Poluprečnik krivine ima najveći uticaj na intenzitet bočnog habanja šina. Intenzitet bočnog habanja šina je veličina habanja u mm posle svakih pređenih milion tona tereta preko određenog mesta na pruzi. Ako se poluprečnik krivine poveća sa 300 na 600 m intenzitet bočnog habanja šina se smanjuje od 2,1 do 3,2 puta, a ako se poveća sa 600 na 900 m intenzitet bočnog habanja šina se smanjuje od 1,6 do 1,9 puta [21].

Takođe, ustanovljeno je da širina koloseka ima važnu ulogu kod bočnog habanja šina. Za krivine sa poluprečnikom krivine 350 do 400 m širina koloseka ne bi smela biti manja od 1526 mm (odnosi se na koloseke standardne širine 1530 mm). Širina koloseka od 1530 umesto 1520 mm može smanjiti habanje dva puta [18].

Takođe, studije pokazuju da se može uštedeti do 8% u potrošnji goriva natovarenih vozova kada se koristi odgovarajuće podmazivanje i zaštita od habanja i „stick-slip” efekta [1].

## 5. ZAKONSKA REGULATIVA

Na osnovu Zakona [22] Direkcija za železnice Srbije donela je Pravilnik [23] kojim se regulišu tehnički uslovi i održavanje gornjeg stroja železničkih pruga.

Pravilnikom [23] propisani su tehnički uslovi koje mora ispunjavati gornji stroj železničkih pruga; kao

i industrijski koloseci. Tako je definisana i upotreba uređaja za podmazivanje šina (šinskih mazalica).

Radi umanjenja habanja šina ugrađenih u kolosek, kao i venaca bandaža točkova šinskih vozila, šine se podmazuju:

1. u krivinama poluprečnika  $R \leq 600$  m,
2. u ostalim krivinama, bez obzira na poluprečnik, ako je to potrebno.

Šine se, po pravilu, podmazuju stabilnim šinskim mazalicama ugrađenim u kolosek ili uređajima ugrađenim na vučno vozilo, a izuzetno i ručno. Podmazuje se spoljašnja šina krivine koloseka i to po unutrašnjoj ivici glave šine; koja je u dodiru sa vencem točka vozila.

Dužina efikasnog podmazivanja zavisi od broja i dužine krivina, kao i od podešenosti same mazalice. Svaka šinska mazalica maže samo istosmerne krivine, te je važno pri njihovom ugrađivanju voditi računa o mestu njihovog ugrađivanja. Šinska mazalica se ugrađuje na početku prelazne krivine; odnosno ispred mesta gde počinje bočno habanje glave šine na otvorenoj pruzi. Primenjuje se i na spuštalicama ranžirnih stanica gde dve šinske mazalice mogu uspešno podmazivati više grupa koloseka.

## 6. DOZVOLA ZA KORIŠĆENJE OPREME

Svaki uređaj za podmazivanje dodira točak/šina mora imati dozvolu za korišćenje opreme za železničku infrastrukturu na mreži pruga „Infrastruktura železnice Srbije a.d.“. Dozvolu izdaje Direkcija za železnice Srbije [24]. Za izdavanje dozvole proizvođač uređaja podnosi zahtev koji obavezno sadrži:

- naziv, adresu, sedište, PIB i matični broj podnosioca zahteva,
- naziv organa kome se zahtev podnosi,
- predmet zahteva-naziv, oznaku, tip, seriju sistema ili sredstva za koje se traži dozvola,
- naziv proizvođača proizvoda za železnicu za koji se izdaje dozvola.

Uz zahtev, podnosilac zahteva dostavlja sledeću dokumentaciju:

- izvod iz registra privrednih subjekata,
- deklaraciju isporučioaca o usaglašenosti, saglasno standardu JUS ISO/IEC 17050-1/2005, za proizvod za koji se izdaje dozvola,

- dokumentaciju podrške za proizvod, saglasno standardu JUS ISO/IEC 17050-/2005,
- dokumentaciju podrške korisnicima (uputstva za ugradnju, korišćenje, održavanje),
- ostala dokumentacija u skladu sa određenim važećim propisom iz oblasti železničkog saobraćaja.

Procedura za izdavanje dozvola definisana je Pravilnikom [25], a naknadna izdata dozvole Pravilnikom [26].

## 7. KORISTI PODMAZIVANJA

Ispravno podmazivanje dodira točak/šina smanjuje habanje i buku (sl. 13). Sa tribološke tačke gledišta želi se smanjenje trenja i habanja profila šine, kao i venca točka; te je stoga potrebno podmazivanje.



Slika 13. Ispravno podmazivanje dodira venca točka/šina

Otpor kretanja voza u krivinama može se drastično smanjiti podmazivanjem dodira venca točka/šina. Uspešno podmazivanje daje železničkoj industriji velike koristi dovođenjem trenja na željeni nivo, smanjenjem habanja šine i točka, produžavanjem životnog veka točkova i šina, uštedom energije, smanjenjem buke i troškova održavanja. Slika 14 prikazuje glavne koristi podmazivanja i upravljanja trenjem dodira venca točka i šine.



Slika 14. Efekti podmazivanja

U radu je pokazano da podmazivanje nudi značajne uštede u potrošenoj energiji za vuču voza, trošenju

šina i poboljšanju performansi upisivanja obrtnih postolja u krivine. Na raspoloženju su različiti sistemi i uređaji za podmazivanje svaki sa svojim jedinstvenim karakteristikama.

Prilikom izbora uređaja potrebno je voditi računa o njegovoj sinergiji sa uređajima za podmazivanje na vučnim vozilima i izbegavati dvostruko podmazivanje. Zbog toga prednost treba dati uređajima koji imaju brojače osovina sa senzorskim parovima (električni uređaji) koji broje osovine koje su ušle i osovine koje su napustile pružnu sekciju. Brojači osovina su mnogo podesniji za upravljanje eksploatacijom stacionarnih uređaja za podmazivanje od uređaja koji komandu za istiskivanje masti dobijaju mehaničkim putem ili pomoću vibracija.

Pored osnovne funkcije detektovanja prisustva ili dolaska železničkog točka, prednost treba dati senzorskom parukoji, takođe, omogućava detekciju smera i brzine šinskih vozila. Samo na ovakav način moguće je ispravno i potpuno upravljanje eksploatacijom stacionarnih uređaja za podmazivanje šina (šinskih mazalica).

Preko 90% električnih lokomotiva u Srbiji i skoro svi elektro i dizel-motorni vozovi imaju ugrađene uređaje za podmazivanje venaca točkova. Veoma je važno u eksploataciji održavati njihovu ispravnost; kako bi se postigli efekti zbog kojih su i uređaji ugrađeni na vučna vozila. Sve navedeno treba dopuniti u propisima za održavanje voznih sredstava.

Za određivanje mesta postavljanja uređaja za podmazivanje venca točka/šine važno je da li je pruga jednokolosečna ili dvokolosečna i da li se saobraćaj po njima odvija u jednom ili u oba smera. Ove činjenice diktiraju konkretna mesta postavljanja uređaja, a u skladu sa Pravilnikom [24]. Pri ovome, mora se voditi računa i o prosečnom teretnom vozu na određenoj pruzi i u skladu sa njim definisati rad uređaja za podmazivanje.

Pravilnikom [23] definisana je upotreba uređaja za podmazivanje šina. Samo izuzetno moguće je vršiti podmazivanje i ručno. U praksi se mora voditi računa da, u 21. veku, „izuzetno“ ne postane redovno.

Takođe, Pravilnik [23] definiše potrebu instaliranja uređaja za podmazivanje u krivinama poluprečnika  $R \leq 600$  m. Ovaj zahtev potrebno je ažurirati tako što će se izvršiti eksperimentalna merenja na

krivinama do npr. 1000 m i u skladu sa dobijenim rezultatima (i praksom na železničkim upravama u svetu) izmeniti Pravilnik.

Brzom analizom potrebnog broja stacionarnih uređaja za podmazivanje došlo se do podatka da je na prugama „Infrastrukture železnica Srbije“ potrebno nabaviti preko 100 uređaja, a na delu pruge Gostun – Bar u Crnoj Gori preko 40 uređaja. Određivanje tačnog broja biće moguće tek nakon izrade projekata rekonstrukcije svake postojeće pruge, tako da bi u svakom projektnom zadatku za rekonstrukciju ili izgradnju nove deonice pruge (sa  $R \leq 600$  m) trebao da stoji i zahtev za izradu projekta stacionarnih uređaja za podmazivanje.

Veliki efekti podmazivanja, u smislu smanjenja buke i vibracija vozova, mogu se ostvariti i u Beogradskom železničkom čvoru, u tunelima ispod gradskih stambenih zona, postavljanjem uređaja za podmazivanje na karakteristična mesta gde se generiše najveća buka. Uređaji za podmazivanje su vrlo efikasni i kod gradske i prigradske železnice, kao i metroa. Ispravnim podmazivanjem može se smanjiti buka od škripanja točkova u „oštrim“ krivinama za 5–20 (dBA)[27].

Takođe, posebnu pažnju treba obratiti na postavljanje stacionarnih uređaja za podmazivanje na ulasku u ranžirne. Ovo se navodi zato što su, neretko, poluprečnici krivina u ovakvim stanicama  $R = 200$  m, pa i manje, što dovodi do veoma zahtevnih uslova eksploatacije.

Da bi se obezbedile optimalne performanse podmazivanja veoma je važno da su stacionarni uređaji pozicionirani i podešeni na ispravan način. Za ovu namenu potrebno je izvršiti obuku radnika koji su određeni da se brinu o uređajima za podmazivanje (čišćenje mlaznica, redovno punjenje rezervoara mašću, stalna provera mesta raspršivanja mlaznica, podešavanje uređaja u skladu sa vremenskim uslovima, ...).

Uređaji, koji su instalirani na prugama u Srbiji, starije su konstrukcije, koja je i kod samih matičnih kompanija proizvođača napuštena i modifikovana prema zahtevima savremenog tržišta. Mali broj uređaja, koji su još u funkciji, ima zastarelu konstrukciju, nedostatak rezervnih delova, nepouzdan su u radu, neefikasni (nedokazani koristi podmazivanja u Srbiji) tako da je njihov doprinos

smanjenju habanja točkova i šina i smanjenju buke; koja nastaje u dodiru točak/šina; gotovo minoran. Sve navedeno ukazuje na činjenicu da je potrebna potpuna rekonstrukcija i modernizacija stacionarnih uređaja za podmazivanje u Srbiji da bi se ostvarili efekti slični navedenim u ovom radu, tim pre što su ulaganja u uređaje za podmazivanje vrlo mala u odnosu na ukupnu modernizaciju ili izgradnju nove pruge (manje od 0,5%, u zavisnosti od konstrukcije pruge, njenih parametara i uslova saobraćaja).

## 8. ZAKLJUČAK

Sprovedene studije su pokazale da železnički operateri mogu duplo povećati životni vek točka primenjujući odgovarajuće podmazivanje dodira točak/šina. Stacionarni uređaji za podmazivanje mogu smanjenjem habanja produžiti vek šine tri do šest puta [1]. Sve ovo rezultira smanjenjem eksploatacionih troškova i troškova održavanja.

Pri nabavci novih uređaja treba strogo voditi računa da mazivo u uređajima za podmazivanje odgovara zahtevima navedenih standarda (da bi se obezbedio nesmetan rad uređaja u celom temperaturnom radnom opsegu), kao i da se dosledno primenjuje postupak verifikacije strukturnog podsistema uređaja za podmazivanje pored pruga Direkcije za železnice Srbije kako se ne bi nabavljali uređaji koji nisu dokazani u praksi.

Po pravilu, treba nabavljati uređaje koji su se već dokazali u eksploataciji na prugama železničkih uprava u okruženju u sličnim vremenskim uslovima. Npr. austrijske železnice (ÖBB) imaju instalirano preko 600 stacionarnih uređaja za podmazivanje dodira točak/šina tako da njihovo iskustvo može biti, za nas, dragoceno. Ovoliki broj instaliranih uređaja pored pruge dobija još više na značaju ako se uzme činjenica da je održavanje i pruga i vozni sredstava na austrijskim železnicama znatno bolje nego kod nas.

Prilikom nabavke novih uređaja za podmazivanje dodira točka/šine treba voditi računa da ispunjavaju sledeće zahteve:

- visok nivo pouzdanosti u radu,
- da se punjenje mazalice obavlja bez zaustavljanja saobraćaja,
- potpunu bezbednost radnika pri punjenju mazalice,

- ekonomičan rad mazalice,
- jednostavna montaža i održavanje,
- smanjenje troškova radne snage,
- smanjenu (minimalnu) potrošnju maziva,
- smanjene neplanirane zastoje rada uređaja,
- eliminisanje ručnog podmazivanja na teško pristupačnim mestima na pruzi,
- eliminisanje prevelikog podmazivanja (predoziranja),
- raspoloživost rezervnih delova u životnom veku uređaja,
- raspoloživost masti za podmazivanje.

Tek ispunjenjem velike većine prethodno navedenih zahteva (koji treba da predstavljaju sastavni deo tenderske dokumentacije pri budućoj nabavci), prilikom nabavke novih (savremenih) stacionarnih uređaja za podmazivanje, mogu se očekivati pozitivni efekti instaliranja stacionarnih uređaja za podmazivanje dodira venac točka/šina. U suprotnom, sama ideja o korisnosti podmazivanja biće kompromitovana, uloženi novac bespotrebno potrošen, a planirani efekti realizovani samo na papiru.

## LITERATURA

- [1] SKF-LINCOLN: Managing friction successfully, 2014.
- [2] PORTEC: Sprava za podmazivanje šina P&M Model C4,Wales (UK).
- [3] PRVI PARTIZAN:Glavni projekat pružne mazalice PM-10 za šine tipa 45 i 49, Užice, 2001.
- [4] [www.hy-power.eu](http://www.hy-power.eu)
- [5] SKF-LINCOLN: Stationary rail lubrications systems for thema in line rail infrastructure, 2012.
- [6] SNCF: SNCF reportgraisseage 26 juillet 2016, 2016.
- [7] <http://www.portecrail.com>
- [8] SRPS EN 16028:2013 Primene na železnici - Podmazivanje venca točka - Maziva za uređaje na vozilima i na koloseku
- [9] Radosavljević A.:Matematičko modeliranje, simulacija, određivanje osnovnih otpora pri kretanju voza i optimizacija potrošnje pogonske energije železničkih vučnih vozila (Doktorska disertacija), Mašinski fakultet, Beograd, 2002.

- [10] Reiff R., Cregger D.: Systems Approach to Best Practices for Wheel/Rail Friction Control, Wheel/Rail Conference, Moscow, Russia, June 14–17, pp. 323–330, 1999.
- [11] Sid, D., Wolf, E.: TracGlide Top-of-Rail Lubrication System, Report from Department of Energy, Transportation for the 21st century, 2002.
- [12] Daniels, L.: Track main tenance costs on rail transit properties, Transit Co-operative Research Program, Transport Research Board, Fair Oaks, CA, 2008.
- [13] Rakhmaninov V.I., Andreyev A.V.: Practical Ways to Estimate Reduction of Resistance to Train Motion when Applying Lubricant on Lateral Sides of Rails, Wheel/Rail Conference (Vol. 2), Moscow, Russia, June 14–17, pp. 541–543, 1999.
- [14] SI CIP: Uzroci ubrzanog trošenja točkova šinskih vozila JP „ŽELEZNICE SRBIJE“ i mogućnosti poboljšanja stanja, Beograd, 2009.
- [15] Lučanin, V., Simić, G.: Istraživanje uzroka habanja venaca točkova putničkih kola, Železnice br. 8, Beograd, 1990.
- [16] ORE B176, Bogies a essieux orientables, RP1, Vol. 1,2,3, Etudes prealables et chaires des charges, Utrecht, 1989.
- [17] Barteneva, L. i dr.: Lubrication of Rails and Wheels on Russian Railways, IHHA, Moskva, 1999.
- [18] CRC for Rail Innovation: Rail curve lubrication best practice for Australian heavy haul lines, Annual report, Brisbane, 2011.
- [19] Santoro, M.: Effective Gauge Face/Wheel Flange Lubrication: A Solutions Based Approach, 22nd Annual Wheel Rail Interaction Conference, Las Vegas, 2016.
- [20] de Koker, J.J.: Rail lubrication on the Richards Bay coal line, 2004. <http://www.ipet.co.za/news/2004raillube1.htm>,
- [21] Povilaitiene, I., Podagelis, I.: Research into rail side wearing on curves, Transport, Vol. 18, pp. 124–129, 2003.
- [22] Zakon o bezbednosti i interoperabilnosti železnice, „Sl. gl. R. Srbije“, br. 104/2013, 66/2015 – dr. zakon i 92/2015.
- [23] Pravilnik o izmenama i dopunama Pravilnika o tehničkim uslovima i održavanju gornjeg stroja železničkih pruga, „Sl. gl. RS“, br. 74/16.
- [24] <http://www.raildir.gov.rs/dozvole.html>
- [25] Pravilnik o ocenjivanju usaglašenosti činilaca interoperabilnosti i elemenata strukturnih podsistema, verifikaciji strukturnih podsistema i izdavanju dozvola za korišćenje strukturnih podsistema, „Sl. gl. R. Srbije“, br. 5/16.
- [26] Pravilnik o visini takse za izdavanje sertifikata o verifikaciji podsistema ili njegovog dela, sertifikata o usaglašenosti elemenata podsistema i sertifikata o pogodnosti za upotrebu elemenata podsistema, „Sl. gl. RS“, br. 24/16.
- [27] UIC: Railway noise, Technical Measures Catalogue, July 2013.