

dr. sc. Andreas Schöbel, dipl. ing.  
Dženet Ljevo

# MOGUĆA UŠTEDA ENERGIJE U VUČI BRZOG GRADSKOG VLAKA

## Uvod

Linija S45 jest jedina linija brzoga gradskog vlaka koja vozi unutar grada Beča. Ona je duga 17 kilometara i obuhvaća deset stajališta (uključujući prvo i posljednje stajalište), a predstavlja tangencijalni spoj u sjeverozapadnome Beču. S obzirom na vremena zaustavljanja vlakova te na stajališta koja su propisana voznim redom, to u vremenu kada je promet rjeđi u gotovo svim kolodvorima bečkoga prigradskog brzog vlaka (linija S45) postoje rezerve vremena zaustavljanja. Prigodom vožnje na pravilan način te rezerve vremena mogu biti iskorištene za uštedu energije. U jednome projektu Tehničkog univerziteta u Beču izrađena je strategija koja nadmašuje do sada poznata istraživanja uštede energije. Ona u obzir uzima i rezerve vremena vožnje propisane UIC-om 451-1.

U načelu, ne mijenjaju se konstrukcija trase niti to što trase dodjeljuje mjerodavni upravitelj željezničke infrastrukture. Vrijeme polaska vlaka se ne mijenja, dok vrijeme dolaska vlaka varira, i to na temelju izračunate srednje vrijednosti zadržavanja vlakova na peronima u vremenu kada je promet rjeđi.

Za predstojeći proračun u obzir je uzeta i pretpostavka da neiskorišteno vrijeme zadržavanja vlakova na peronima može biti korisno prigodom smanjenja predviđene vozne brzine vlaka, koja je propisana planom vožnje. Zamjenska mogućnost jest ta da se za svaki dio trase izračuna početno mjesto bezpogonske vožnje vlaka u kolodvoru. U tome slučaju ta mjesta trebala bi biti označena. Da bi se to postiglo, mjerodavni upravitelj željezničke infrastrukture treba promijeniti signalne propise. Kada bi postojala mogućnost tehničkog prikaza informacija strojovođi u vučnome vozilu, bio bi moguć i prikaz početnog mjesta bezpogonske vožnje vlaka u kolodvoru.

U ovoj simulaciji istražena su tri modula vožnje, i to:

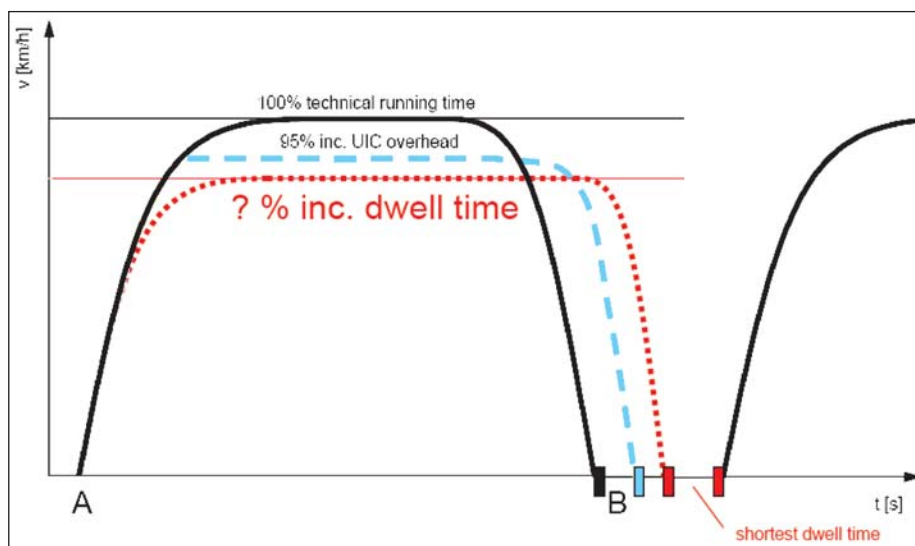
- apsolutni način vožnje (iskorištavanje najveće vozne brzine na trasi),
- uobičajeni način vožnje (održavanje voznog vremena iz konstrukcije trase) te
- način vožnje kojim se šteti energija i koji u obzir uzima i vrijeme zadržavanja koje je potrebno u vremenu kada je promet rjeđi.

Slika 1 na jednostavan način prikazuje usporedbu ta tri različita modula vožnje. Crna linija prikazuje tehničko vrijeme koje je brzome vlak, koji vozi najvećom voznom brzinom, potrebno između dva kolodvora. Plava linija označava drugi način vožnje, koji čini oko 95 posto tehničkog vremena i koristi rezerve vremena vožnje iz UIC-a 451-1. Treći način vožnje, koji je

- **varijanta stvarnog stanja** - na temelju godišnjeg plana vožnje linije S45 (uključujući i teretni prijevoz) s tadašnjim planskim vremenima vožnje i zadržavanja te
- **varijanta uštede energije** - iskorištavanje rezervi vremena zadržavanja za dodatnu uštedu energije.

### Moduli vožnje u DYNAMIS-u

Prigodom konstrukcije trase i izradbe njezina godišnjeg plana vožnje u svakome stajalištu bečke prigradske linije S45 uzima se 30 sekundi za zadržavanje vlaka u stajalištima, i to bez obzira na to o kojem je razdoblju dana riječ. Samo se u prvom i zadnjem kolodvoru te trase, tj. u kolodvorima Handelskai i Hütteldorf, zbog smjena strojovođa, te u kolodvoru Heiligenstadt, u kojemu je povećana frekventnost putnika, računa na dulja vremena zadržavanja.



Slika 1: Jednostavni prikaz usporedbe različitih modula vožnje

prikazan crvenom linijom, označava način vožnje kojim se šteti energija i koji u obzir uzima vremena zadržavanja koja su potrebna u vremenu kada je promet rjeđi.

Za svaki od ta tri modula vožnje izračunata je potrebna primarna vučna energija. Za računanje tih vrijednosti Austrijske savezne željeznice (ÖBB Traktion GmbH) koristile su računalne programe DYNAMIS odnosno EMAT koji se koriste za računanje vremena vožnje i količinu potrošene energije. Računanje vremena vožnje temelji se na numeričkom rješavanju jednadžbe kretanja ( $F=m \cdot a$ ), uzimajući u obzir i jednadžbu vučne sile (vučna sila > zbroj svih otpora). Istodobno su u programu SIMU izrađene dvije, u načelu, različite varijante, i to:

Uzimajući u obzir najkraća vremena zadržavanja vlaka (uključujući vrijeme koje je potrebno za otvaranje i zatvaranje vrata kao i za otpremanje vlaka), između pojedinih zaustavljanja u stajalištima na raspolaganju stoje dodatna vremena koja mogu biti iskorištena za dodatnu uštedu energije pri pravilnom načinu vožnje.

U praksi, na pojedinim dijelovima dionice to je rezultiralo smanjenjem vozne brzine za pet kilometara na sat, a to se postiže jednostavnim prilagođavanjem tempomata vozila (vučno vozilo ET 4024), čime se šteti energija. Na pojedinim dijelovima dionice vozna brzina može se smanjivati do određene granice odnosno sve dok sma-

njenje vozne brzine ne bi izazvalo kašnjenje vlaka u polasku iz kolodvora. To znači da prigodom korištenja tog novog načina uštede energije vremena polaska vlaka iz kolodvora ostaju nepromijenjena.

Slika 3 prikazuje izračunate module vožnje. Crvenom linijom označen je apsolutni način vožnje pri kojemu se koristi najveća vozna brzina trase. Plava isprekidana linija prikazuje danas uobičajeni način vožnje, koji u obzir uzima rezerve vremena, koje se u konstrukciji trase moraju planirati prema UIC-u 451-1. Svijetloplava linija označava usavršeni način vožnje koji dodatno šteti energiju uzimajući u obzir vrijeme potrebno za zadržavanje u vremenu kada je promet rjeđi. Na slici se može vidjeti to da postoje dijelovi dionice (preklapanje crvene i plave linije) na kojima nije moguće smanjiti vozne brzine, čak i ako je riječ o danas uobičajenom načinu vožnje. To se može opravdati činjenicom koja je vezana za konstrukciju trase i konstrukciju voznog reda u kojemu se sve vrijednosti vremena zaokružuju na pune minute. Zbog toga postoji samo nekoliko dijelova dionice na kojima se može primijeniti usavršeni način vožnje, tj. način vožnje pri kojemu se šteti energija. U vezi s tim postavlja se pitanje najmanje dozvoljene vozne brzine koju će tolerirati putnici. Može se pretpostaviti to da putnici neće biti zadovoljni vožnjom vlakova sporijom od 40 km/h te će se žaliti. U tome slučaju najmanja vozna brzina može se ograničiti ili se o sporijem vožnji putnici mogu obavještavati na razne načine kako bi lakše prihvatili manje vozne brzine.

Na temelju rezultata vremena vožnji iz programa DYNAMIS u programu EMAT

računaju se vrijednosti potrošnje energije na pojedinim dijelovima dionice.

### Višestruka simulacija u SIM-u

Da bi se funkcionalnost višestruke simulacije mogla koristiti, prvo treba provesti jednostavnu simulaciju koja će biti provedena bez ikakvih smetnji. Tom prigodom statički uzorak voznog reda dopunjuje se dinamički kroz pojedine simulacije. To znači da se proces ubrzanja i kočenja kao i nizovi pojedinih vlakova prikazuju kod svake vožnje.

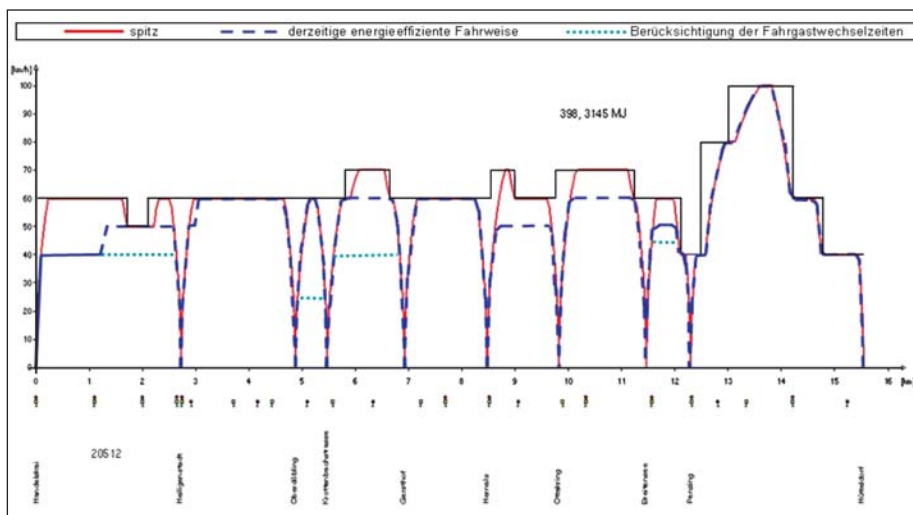
Za ispitivanje učinka promjene vozne strategije nudi se višestruka simulacija sa slučajno odabranim odstupanjima (produženje vremena zadržavanja) s više od stotinu ciklusa. Kod standardnih simulacije najčešće se koristi između 30 i 50 ciklusa. Budući da se u ovome slučaju raspolaze s profinjenom i detaljnom (visoka rezolucija) raspodjelom zadržavanja vlaka s razmacima u sekundama po stajalištu u jednome danu, to se broj ciklusa povećava na stotinu, a samim time povećava se i područje vrijednosti slučajnih brojeva.

Višestruka simulacija može se prikazati pojednostavljeno, i to tako da svaki vlak u svakome stajalištu svoje aktualno vrijeme zadržavanja za svaki ciklus i za svako mjesto zaustavljanja povlači iz zadanih raspodjela vremena zadržavanja. Tom prigodom ta vremena zadržavanja vlaka povlače se bez znanja već prije povučenih vrijednosti. Zbog toga je trebalo raspodijeliti vremena zadržavanja vlaka. To znači da se vrijeme kada je promet rjeđi i vrijeme najintenzivnijeg prometa promatraju odvojeno te se takvi koriste kao ulazni podatci za simulacije.

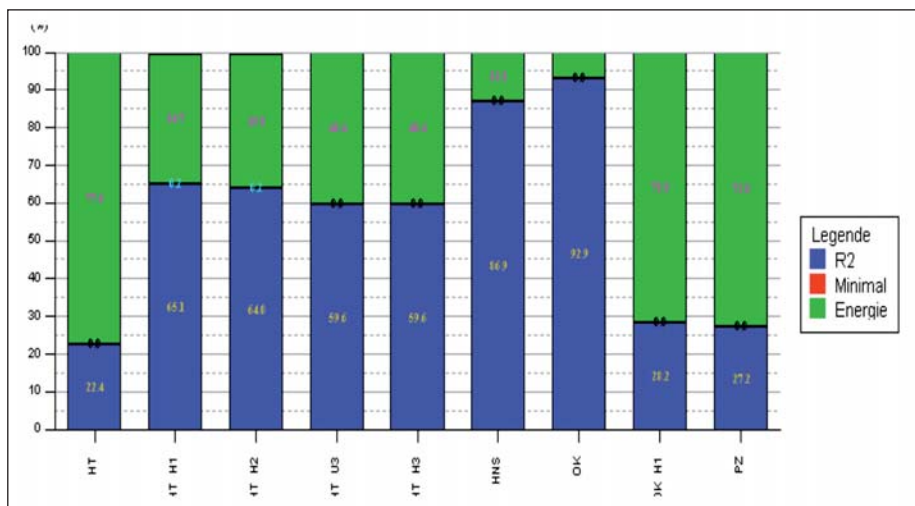
Kod višestruke simulacije dokumentiraju se različiti prikazi rezultata. U ovome projektu najvažnija je usporedba pojedinih dijelova dionice, izabranih modula vožnje. Sve dok vlak polazi na vrijeme, bira se način vožnje pri kojemu se šteti energije. Ako u jednome stajalištu vlak prekorači vrijeme zadržavanja jer je izabrana veća vrijednost, tada se, pod uvjetom da je vrijeme kašnjenja veće od 60 sekundi, bira apsolutni način vožnje, tj. vlakovi voze najvećom voznom brzinom. Naravno, taj slučaj se pokušava izbjeći jer se pri apsolutnom načinu vožnje troši i najviše energije. Smanji li se kašnjenje ponovno na manje od 30 sekundi, ponovno se bira uobičajeni način vožnje. Kada vlakovi više ne kasne, vlakovi ponovno voze na način kojim se šteti energija.

Na slici 3 i 4 različitim bojama prikazani su moduli vožnje po stajalištu. Zeleni dijelovi prikazuju način vožnje koji šteti energiju te u obzir uzima i rezerve vremena zadržavanja. Plavi dijelovi označavaju uobičajeni način vožnje. Dijelovi apsolutne (brze) vožnje su mali te su u skladu s time crveni dijelovi gotovo neprimjetni na slici. Temelj tog prikaza jest onih stotinu ciklusa, koji odgovaraju broju od stotinu prometnih sati. To znači da su u ovome prikazu obuhvaćene sve vožnje jednog dana, tj. vrijeme najintenzivnijeg prometa i vrijeme kada je promet rjeđi. U stvarnome stanju su svi vlakovi koji na putu voze uobičajenim načinom. To znači da u simulaciji ni jedan vlak ne kasni više od 60 sekundi. Međutim, u jutarnjim i večernjim satima najintenzivnijeg prometa neki vlakovi kasne i više od 60 sekundi. To odstupanje obrazlaže se neovisnim biranjem vremena zadržavanja u svakome stajalištu, koja se biraju neovisno o prethodnim vremenima zadržavanja na peronu. Na temelju postotno biranih načina vožnje ne može se utvrditi konačna količina uštede energije. Ona se tek treba izračunati na temelju podataka iz programa DYNAMIS.

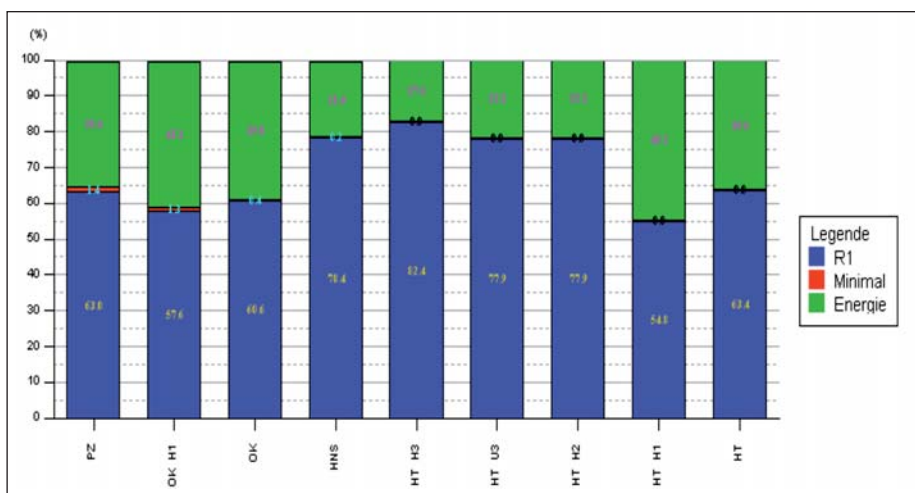
Prigodom interpretacije rezultata višestruke simulacije treba napomenuti to da se izabrane vozne brzine na pojedinim dijelovima dionice ne zaokružuju na pet kilometara na sat. U tome slučaju može doći do neznatnih odstupanja koja se izjednačavaju zbog odgovarajućeg visokog broja izabranih ciklusa. Ta metoda predstavlja približavanje stvarnosti, na temelju kojeg je dozvoljeno procjenjivati daljnji razvoj vožnje koja šteti energiju.



Slika 2: Dijagram vremena i puta za sva tri modula vožnje



Slika 3: Modul vožnje po dionicama, koji u obzir uzima način vožnje koji štedi energiju (smjer vožnje: Huettdorf)



Slika 4: Modul vožnje po dionicama, koji u obzir uzima način vožnje koji štedi energiju (smjer vožnje: Heiligenstadt)

### Interpretacija rezultata

Pojedinačni rezultati iz postavki programa DYNAMIS odnosno EMAT i SIMU povezuju se u tablici MS-Excel. Iz programa DYNAMIS poznate su vrijednosti potrošnje energije po dionicama i modulu vožnje, dok se u programu SIM računaju vrijednosti izabranog dijela vožnje.

Pomnože li se pojedinačne vrijednosti potrošnje energije izabranog načina vožnje s njihovim vjerojatnostima, dobiva se srednja vrijednost potrošnje energije po vožnji. Ako je na temelju plana vožnje poznat broj vožnji po dijelovima dionice, moguće je izračunati energiju koja se troši na tim dijelovima.

Zbrajanjem tih vrijednosti dobiva se ukupna potrošnja energije na čitavoj dionici. Dijeljenjem te vrijednosti s brojem

Vrijednosti potrošnje energije (KWh)	
	Ukupno
Apsolutni način vožnje (max. brzina)	180,783
Uobičajeni način vožnje	106,031
Način vožnje koji štedi energiju	101,65

Tablica 1: Vrijednosti potrošnje energije za različite načine vožnje u smjeru »Hütteldorf«

ciklusa dolazi se do ukupne potrošnje energije po radnome danu. Na temelju visokog broja izabranih ciklusa simulacije, može se zaključiti to da su rezultati reprezentativni i da su dobra podloga za donošenje odluka u daljnjem planiranju i u realnoj primjeni.

Vrijednosti potrošnje energije (KWh)	
	Ukupno
Apsolutni način vožnje (max.brzina)	78,653
Uobičajeni način vožnje	62,464
Način vožnje koji štedi energiju	57,35

Tablica 2: Vrijednosti potrošnje energije za različite načine vožnje u smjeru »Handelskai«

Ovisno o smjeru vožnje na izabranoj dionici, prigodom pojedinačne vožnje moguće je ostvariti uštedu energije od četiri do osam posto. U višestrukoj simulaciji te vrijednosti se smanjuju na od jedan do dva posto jer se vrijednosti vremena zadržavanja na peronu predstavljaju kao prividno slučajna kašnjenja, koja su dobivena na temelju izmjerenih vrijednosti.

### Literatura:

B. Rüger, J. Zajicek, M. Turk, A. Schöbel: "Energy efficiency by optimizing passenger-changeover in the station"; Poster: Third UIC Energy Efficiency Conference, Portoroz (eingeladen); 19.09.2007 - 21.09.2007; in: "Third UIC Energy Efficiency Conference", (2007).

A. Schöbel, J. Zajicek, M. Turk: "Development of a timetable sheet for energy saving driving mode in consideration of dwell time"; Vortrag: EURNEX - Zel 2008, Zilina; 04.06.2008 - 05.06.2008; in: "Towards more competitive European rail system", EDIS Zilina, 2 (2008), ISBN: 978-80-8070-853-5; S. 68 - 74.

J. Zajicek, A. Schöbel, M. Turk: "Energy Efficient Driving Strategies for Commuter Trains - Project PEFIS"; Vortrag: 8th World Congress on Railway Research 2008, Seoul; 18.05.2008 - 22.05.2008; in: "8th World Congress on Railway Research 2008, Proceedings", WCRR 2008 Congress Secretariat, 2008 Volume 2 (2008), Paper-Nr. A0686, 5 S.

UDK: 656.21; 621.33

Adresa autora:

dr. sc. Andreas Schöbel, dipl. ing.  
Institut für Eisenbahnwesen, Verkehrswirtschaft und Seilbahnen TU Wien  
Karlsplatz 13/232  
A-1040 Beč

Internetska adresa: [www.eiba.tuwien.ac.at](http://www.eiba.tuwien.ac.at)  
E-pošta: [andreas.schoebel@tuwien.ac.at](mailto:andreas.schoebel@tuwien.ac.at)

cand. ing. Dzenet Ljevo  
studentica Građevinskog fakulteta u Beču  
E-pošta: [e0326213@student.tuwien.ac.at](mailto:e0326213@student.tuwien.ac.at)

SAŽETAK

U gotovo svim stajalištima bečkoga prigradskog brzog vlaka (linija S45), koja su propisana voznim redom, u vremenu kada je promet rjeđi postoje rezerve vremena zaustavljanja. Te rezerve vremena mogu se iskoristiti za uštedu energije prigodom vožnje na pravilan način. U projektu Tehničkog univerziteta u Beču izrađena je strategija koja nadmašuje do sada poznata istraživanja uštede energije. Ona ujedno u obzir uzima i rezerve vremena vožnje koje su propisane u UIC-a 451-1. Za ispitivanje učinka promjene vozne strategije korištena je višestruka simulacija sa slučajno odabranim odstupanjima (produljenje vremena zadržavanja) s više od stotinu ciklusa.

SUMMARY

POSSIBLE ENERGY SAVINGS IN HIGH SPEED TRAIN TRACTION

At almost all stops of the Viennese urban fast train (line S45), which are prescribed by the timetable, during times when the traffic is less dense there are reserves of stopping times. These reserves may be used to save power during train movement in the correct way. In the project of the Technical University in Vienna a strategy has been elaborated which surpasses previous research into power savings. It also takes into consideration the reserves of time of train movement as prescribed in UIC-a 451-1. For testing the efficiency in changes to movement strategy, a multiple simulation was used with randomly chosen deviations (extended stopping times) with more than a hundred cycles.

ZUSAMMENFASSUNG

MÖGLICHE ENERGIEERSPARNISSE BEI TRAKTION DES D-ZUGES

Anfast allen durch den Fahrplan vorgeschriebenen Haltepunkten der Wiener Schnellbahn (Linie S45) während der Zeiten weniger dichten Verkehrs gibt es Reserven von Haltezeiten. Diese Zeitreserven können während einer ordnungsgemäßen Fahrt für Energieeinsparung benutzt werden. Im Projekt der Technischen Universität Wien wurde eine Strategie verfasst, die gesamte bisher bekannte Forschung über Energieeinsparungen übertrifft. Diese Strategie berücksichtigt zugleich die durch UIC 451-1 vorgeschriebenen Fahrzeitreserven. Zur Erforschung der Auswirkung von Fahrstrategieänderung wurde eine mehrfache Simulation mit stichprobenweise ausgewählten Abweichungen (Verlängerung der Aufenthaltzeit) mit mehr als ein Hundert Zyklen benutzt.

ing. Jurica Stanišić

# IZMJENA SUSTAVA NAPAJANJA SIGNALNO SIGURNOSNIH I TELEKOMUNIKACIJSKIH UREĐAJA NA PRUZI ZAGREB - DUGO SELO - NOVSKA

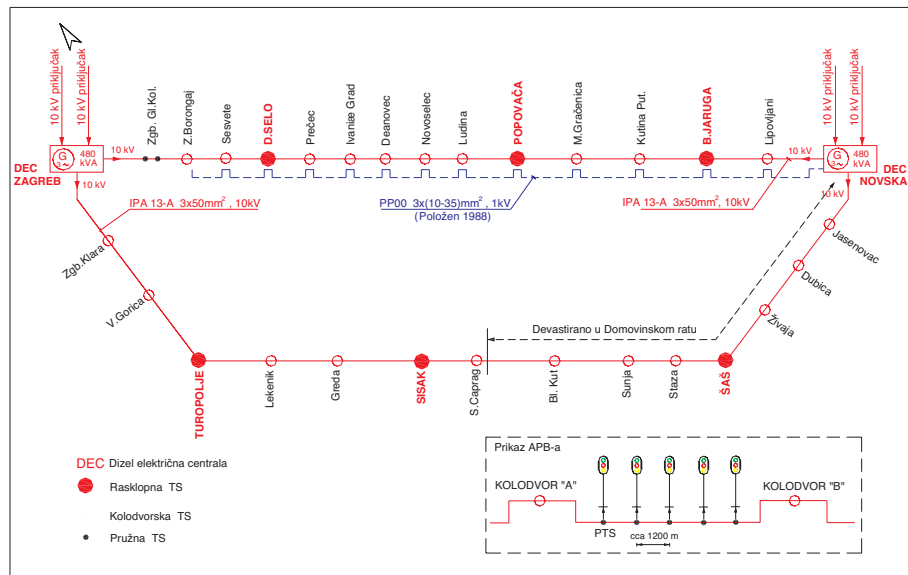
Da bi se lakše razumjela potreba izmjene sustava napajanja signalno-sigurnosnih (SS) i telekomunikacijskih (TK) uređaja na pruzi Zagreb - Dugo Selo - Novska prije svega treba obrazložiti razloge izmjene odnosno razloge zbog kojih postojeći sustav napajanja nije u mogućnosti zadovoljiti potrebe sigurnog i kvalitetnog te besprekidnog napajanja SS- i TK-uređaja na navedenoj pruzi.

## 1. Postojeće stanje

Postojeći elektroenergetski sustav napajanja uređaja na prugama Zagreb - Dugo Selo - Novska i Zagreb - Sisak - Novska sastoji se od dviju dizel-električnih centrala (DEC Zagreb i DEC Novska) s 10-kilovoltnim rasklopnim postrojenjima i 10-kilovoltnim kabelskim priključcima srednje naponske distributivne mreže u svakoj dizel-električnoj centrali. U svakoj dizel-električnoj centrali ugrađen je i stacionarni neautomatizirani dizel-električni

agregat kao rezervni izvora napajanja. Obje dizel-električne centrale povezane su 10-kilovoltnim energetskim kabelom u prstenu s postrojenjima pružnih, kolodvor-

380/220V te se tako napajaju kolodvorski SS- i TK-uređaji. Isto tako napon od 10kV prenosi se do svakog signala automatskoga pružnog bloka (APB), gdje se u pružnoj



Slika 1. Postojeći el. energetski sustav napaja SS uređaje na prugama Zagreb - Novska (Izgrađen 1963-1968)

skih i rasklopnih trafostanica duž pruga Zagreb - Dugo Selo - Novska i Zagreb - Sisak - Novska (sli. 1).

Održavanje svih tih elektroenergetskih postrojenja organizirano je kroz dvije organizacijske jedinice sa po desetak zaposlenika, i to jedne u Zagrebu i jedne u Novskoj, koje su u nadležnosti Sekcije za signalno-sigurnosne i telekomunikacijske uređaje Zagreb.

Sustav funkcionira tako što se napon od 10kV putem rasklopnog postrojenja u DEC-u prenosi 10-kilovoltnim kabelom do svakog kolodvora, gdje se u kolodvorskoj trafostanici taj napon transformira na

trafostanici transformira na 220V kako bi se napojili uređaji APB-a, željezničko-cestovni prijelazi u razini (ŽCPR) i uređaji radiodispečera (RD).

Na pruzi Zagreb - Dugo Selo - Novska u normalnom pogonskom stanju DEC Zagreb napaja uređaje do kolodvora Popovača, a DEC Novska s druge strane također do kolodvora Popovača.

Na pruzi Zagreb - Sisak - Novska granica napajanja bila je u Sisku, no budući da su u Domovinskome ratu od Sisak Capraga do Novske devastirana postrojenja tog sustava, to danas DEC Zagreb napaja kolodvorske i pružne uređaje do Sisak Capraga. Na tome dijelu pruge više nema