

UNIVERZITET U NIŠU
GRAĐEVINSKO-ARHITEKTONSKI FAKULTET

Enes B. Curić

**EKSPERIMENTALNO UTVRĐIVANJE KAPACITETA
NOSIVOSTI BETONSKOG ŽELEZNIČKOG PRAGA U
REALNIM AMBIJENTALNIM USLOVIMA EKSPLOATACIJE**

- doktorska disertacija -

Mentor: Prof. dr Zoran Grdić

Niš, 2014.

ZAHVALNICA

Retki pojedinci su sposobni za činjenje velikih dela, važnih za čovečanstvo. Veliki je broj nas koji činimo stvari koje su male za čovečanstvo ali su velike za nas i ljude koji nas okružuju.

Nije se svakako lako odlučiti na tako važan i veliki korak u životu svakog pojedinca kakav je sticanje zvanja doktora nauka. Čovek koji je verovao u mene i moj rad, čovek koji me je ubedio da taj korak mogu iskoračiti je čovek kome sam izuzetno zahvalan zbog svega što je učinio za moj profesionalni razvoj i moju profesionalnu karijeru. Radi se o izuzetnom čoveku i pedagogu, prof. dr Drenić Dragoljubu, redovnom profesoru i načelniku odeljenja za ispitivanje konstrukcija Instituta za građevinarstvo i arhitekturu Građevinsko-arhitektonskog fakulteta u Nišu. Profesor dr Drenić mi je uvek bio na raspolaganju kada su u pitanju bili problemi naučno-istraživačke ali i motivacione prirode. Njegova stručnost, znanje i puna i bezrezervna podrška su od najveće važnosti za kvalitet ove teze jer sam uvek mogao računati na dobru stručnu pomoć i pravi savet pri tumačenju rezultata. Profesoru Dreniću se svakako moram zahvaliti i na usmerenju ka aktuelnoj temi prednapregnutih betonskih železničkih pragova i na pomoći u ostvarivanju neophodnih kontakata kako bih eksperimente neophodne za izradu doktorske disertacije mogao uspešno realizovati.

Posebnu zahvalnost dugujem svom mentoru prof. dr Grdić Zoranu, redovnom profesoru i načelniku odeljenja za građevinske materijale Instituta za građevinarstvo i arhitekturu Građevinsko-arhitektonskog fakulteta u Nišu, na svesrdnoj pomoći i razumevanju pri izradi disertacije. Prof. dr Grdiću se zahvaljujem na svim korisnim savetima i sugestijama u vezi osmišljavanja programa i metodologije istraživanja kao i na stručnim uputstvima po pitanju tehnologije betona. Njegova stručnost, znanje i bezrezervna podrška su umnogome doprineli kvalitetu ove disertacije.

Zahvaljujem se i Draganu Antiću, dipl.inž.el. na svesrdnoj pomoći pri realizaciji eksperimenata, od pripreme mernih instrumenata i opreme do snimanja parametara potrebnih za izradu kvalitetnih grafikona.

Direktoru betonjerke u Stalaću Dragoljubu Đorđeviću, dipl.inž.građ. se zahvaljujem na nesebičnoj pomoći pri realizaciji celog projekta, od faze projektovanja, proizvodnje i ugradnje u kolosek reprezentativnih pragova za potrebna "in situ" ispitivanja kao i na punoj logističkoj podršci.

Veliku zahvalnost dugujem svim svojim prijateljima za razumevanje zbog moje česte odsutnosti sa prijateljskih okupljanja u poslednjih nekoliko godina.

Ogromnu zahvalnost dugujem svojim roditeljima i sestri na stalnoj i bezrezervnoj podršci i bodrenju u toku izrade ove disertacije.

Na kraju, posebno se zahvaljujem svojoj supruzi i sinovima zbog spremnosti na mnoga odricanja zbog moje zauzetosti. Njihova svakodnevna podrška mi je umnogome pomogla da uspešno okončam rad na izradi doktorske disertacije.

SADRŽAJ DOKTORSKE DISERTACIJE

I	Uvod (Razvoj željeznice u Srbiji i svetu)	3
II	Istorijski razvoj željezničkih pragova	11
	1. Drveni željeznički pragovi	11
	2. Betonski i prednapregnuti betonski željeznički pragovi	14
	3. Čelični željeznički pragovi	18
	4. Kompozitni plastični željeznički pragovi	19
III	Dosadašnja iskustva i uporedna analiza drvenih i prednapregnutih betonskih pragova (prednosti i mane)	21
IV	Analiza savremenih standarda i zakonske regulative na temu željezničkih pragova	22
V	Osnove za proračun prednapregnutih betonskih željezničkih pragova	24
VI	Prikaz proračuna prednapregnutog betonskog željezničkog praga tipa B70	29
	1. Projektni zadatak	29
	2. Statička analiza konstrukcije željezničkog praga B70	30
	3. Zaključak	51
VII	Prikaz proračuna prednapregnutog betonskog skretničkog željezničkog praga	52
	1. Iz tehničkog opisa	52
	2. Proračun pritiska šina na betonske pragove	53
	3. Analiza opterećenja skretničkog praga	60
	4. Proračun početne sile prednaprezanja	62
	5. Računska kontrola napona za fazu ispitivanja pragova	72
	6. MKE model skretničkog praga	80
	7. Kontrola napona za normalnu eksploataciju praga	83
	8. Kontrola glavnih napona zatezanja	84
	9. Kontrola napona u tlu	86
VIII	Uticaj krutosti podloge na distribuciju naponskog stanja kod prednapregnutog betonskog željezničkog praga tipa B70	87
IX	Vrste obaveznih ispitivanja željezničkih pragova (statičko, dinamičko, zamorno, eksploataciono)	91
	1. Opšti uslovi ispitivanja prednapregnutih betonskih željezničkih pragova	92
	2. Izbor mernih instrumenata za realizaciju ispitivanja	95
	1. Elektrootporne merne trake (ekstenzometrijska metoda)	95
	2. Deformetri (dilatometri)	97
	3. Ultrazvučni aparat TICO PROCEQ	97
	4. Manometri za praćenje sila opterećenja	98
	3. Baždarenje i ugradnja specijalnih mernih traka za ugradnju u beton, trajnih dilatometara i teledeformetara	98
	4. Merne stanice i oprema za praćenje snimljenih parametara u funkciji vremena	99
	5. Metodologija ispitivanja	100
	6. Program ispitivanja prednapregnutih betonskih pragova	104
	7. Izrada modela i razmera modela	104
X	Laboratorijsko ispitivanje prednapregnutog betonskog praga B70 na uticaj statičkog, dinamičkog i zamornog opterećenja sa eksploatacionim ispitivanjem praga	105
	1. Ispitivanje prednapregnutog betonskog praga B70 na statičko opterećenje	105
	2. Ispitivanje prednapregnutog betonskog praga B70 na dinamičko opterećenje	112
	3. Ispitivanje prednapregnutog betonskog praga B70 na zamorno opterećenje	115
	4. Ispitivanje željezničkog praga B70 nakon izlaganja dejstvu opterećenja u realnim ambijentalnim uslovima eksploatacije (eksploataciono ispitivanje)	119

XI	Eksperimentalno utvrđivanje kapaciteta nosivosti prednapregnutog betonskog železničkog praga B70 u realnim ambijentalnim "in-situ" uslovima eksploatacije (Ispitivanje prednapregnutog betonskog železničkog praga B70 u trenutku dejstva eksploatacionog opterećenja)	123
1.	Označavanje mernih mesta i njihovo osiguranje u f-ciji vremena sa ispitivanjem prednapregnutog betonskog praga B70, L=260 cm u ambijentalnim uslovima eksploatacije	123
1.	Pozicioniranje i postavljanje mernih traka za "in-situ" ispitivanje u toku dejstva eksploatacionog opterećenja, prag B70, L=260 cm	123
2.	Ispitivanje praga B70, L=260 cm	129
3.	Uporedna analiza grafikona dobijenih na osnovu izmerenih dilatacija u pragu L=260cm pri realnom opterećenju u ambijentalnim letnjim i zimskim uslovima eksploatacije	149
4.	Kontrola dobijenih napona u pragu L=260 cm pri realnom opterećenju u ambijentalnim uslovima eksploatacije	153
5.	Zaključak o stanju ugrađenog prednapregnutog betonskog praga B70, L=260cm	154
2.	Označavanje mernih mesta i njihovo osiguranje u f-ciji vremena sa ispitivanjem prednapregnutog betonskog praga B70, L=240 cm u ambijentalnim uslovima eksploatacije	155
1.	Pozicioniranje i postavljanje mernih traka za "in-situ" ispitivanje u toku dejstva eksploatacionog opterećenja, prag B70, L=240 cm	155
2.	Ispitivanje praga B70, L=240 cm	160
3.	Uporedna analiza grafikona dobijenih na osnovu izmerenih dilatacija u pragu L=240cm pri realnom opterećenju u ambijentalnim letnjim i zimskim uslovima eksploatacije	178
4.	Kontrola dobijenih napona u pragu L=240 cm pri realnom opterećenju u ambijentalnim uslovima eksploatacije	182
5.	Zaključak o stanju ugrađenog prednapregnutog betonskog praga B70, L=240cm	183
XII	Uporedna analiza rezultata ambijentalnog ispitivanja i rezultata laboratorijskog zamornog i eksploatacionog ispitivanja prednapregnutih betonskih železničkih pragova	184
XIII	Ispitivanje prednapregnutih betonskih skretničkih pragova na uticaj statičkog i dinamičkog opterećenja do loma - opciono ispitivanje	185
1.	Ispitivanje prednapregnutih betonskih skretničkih pragova na uticaj statičkog opterećenja	185
2.	Ispitivanje prednapregnutih betonskih skretničkih pragova na uticaj dinamičkog opterećenja do loma- opciono ispitivanje	186
3.	Tabelarni prikaz rezultata merenja	206
4.	Analiza rezultata dobijenih ispitivanjem skretničkih i pragova B70 - Bauschingerov efekat	210
XIV	Ispitivanje kolosečnog pričvrsnog pribora	211
1.	Ispitivanje otpornosti pričvrsnog pribora Vossloh i Pandrol na uticaj vertikalne sile čupanja i sile kočenja prema EN13481-1 i EN13416-7	211
2.	Ispitivanje longitudinalne sile otpora pričvrsnog pribora i betonskog praga prema EN 13416-1	215
3.	Ispitivanje otpora pričvrsnog pribora i betonskog praga prema kosoj sili na vrhu šine u skladu sa EN13481-1 I EN13416-3,4	218
XV	Zaključci	221
XVI	Literatura	227
	Prilozi	230

I UVOD

Železnički saobraćaj ima veoma važnu ulogu u transportnom sistemu i zavisi pre svega od privredne razvijenosti i rasta trgovine, privrede i industrije. U poređenju sa drugim vidovima transporta, železnički je najpouzdaniji oblik prevoza kabaste robe i putnika. Ako problem transporta posmatramo sa aspekta potrošnje energije, sigurnosti, nosivosti, socijalne i ekonomske koristi, železnički saobraćaj je svakako primarni izbor. Iz tog razloga, stalno je i značajno povećanje udela ove vrste transporta.

Železnički prag predstavlja jedan od najznačajnijih elemenata konstrukcije pruge pa je kao takav, u centru pažnje kada se vrši analiza troškova proizvodnje, montaže, održavanja, inspeksijskog nadzora i trajnosti istog. Iz tog razloga, neophodno je vršenje stalnih istraživanja različitih vrsta železničkih pragova. U savremeno doba, primat imaju prednapregnuti betonski pragovi jer imaju najbolje performanse i ispunjavaju sve postavljene zahteve, od pojednostavljenog procesa proizvodnje do veće trajnosti.

Inspeksijski nadzor i održavanje pragova je potrebno kako bi se osiguralo da prag, a samim tim i cela konstrukcija koloseka, ostanu u dobrom stanju. Dobro stanje pragova podrazumeva:

- da su pragovi na stalnom odstojanju i na projektovanom nagibu,
- da se preko praga opterećenje ravnomerno raspodeljuje i prenosi sa šina do posteljice odnosno armirano-betonske podloge,
- da je prag adekvatne nosivosti, kako u vertikalnom, tako i u horizontalnom pravcu,
- da su pragovi elektrootporni i da obezbeđuju elektroizolovanost jedne šine od druge,
- da amortizuju vibracije šina i smanjuju uticaj zvučnih talasa i uticaja na životnu sredinu.

U nekim državama (Švedska), inspekcija pragova se vrši samo vizuelno, iako su pragovi dugo u upotrebi. Inspeksijskim nadzorom se utvrđuje stanje i donosi sud o stanju pragova, koji je uglavnom zasnovan na ljudskoj intuiciji[24]. Iskustvo je pokazalo da samo osnovni vizuelni pregled nije dovoljan već da se moraju redovno sprovoditi pouzdane i precizne eksperimentalne i numeričke analize ponašanja pragova pod statičkim, dinamičkim i zamornim opterećenjem od faze projektovanja, proizvodnje, atestiranja a na kraju i eksperimentalno utvrđivanje kapaciteta nosivosti železničkih pragova posle perioda eksploatacije i ispitivanje pragova u realnim ambijentalnim uslovima eksploatacije[22].

Istorijski razvoj železnice u Srbiji [23]

Godina 1854. bitna je za istoriju Jugoslovenskih železnica odn. Železnica Srbije. Naime, 20. avgusta 1854. godine puštena je u saobraćaj pruga Lisava–Oravica–Bazijaš s konjskom, a novembra 1856. godine i s parnom vučom. Posle Prvog svetskog rata na našoj teritoriji ostao je deo ove pruge u dužini od 27 km, od državne granice kod Jama, preko Jasenova i Bele Crkve do državne granice između Vračevog Gaja i Bazijaša. S vremenom su pojedini delovi pruge demontirani i danas je u eksploataciji samo deo pruge između Jasenova i Bele Crkve. Sve kasnije izgrađene glavne pruge u Vojvodini položene su u smeru ka Pešti [23].



Slika 1. Gradnja pruge kod Vršca, 1856. godine [23]

U okviru tadašnje Otomanske imperije, 1874. godine je puštena u saobraćaj pruga od Skoplja do Kosovske Mitrovice.

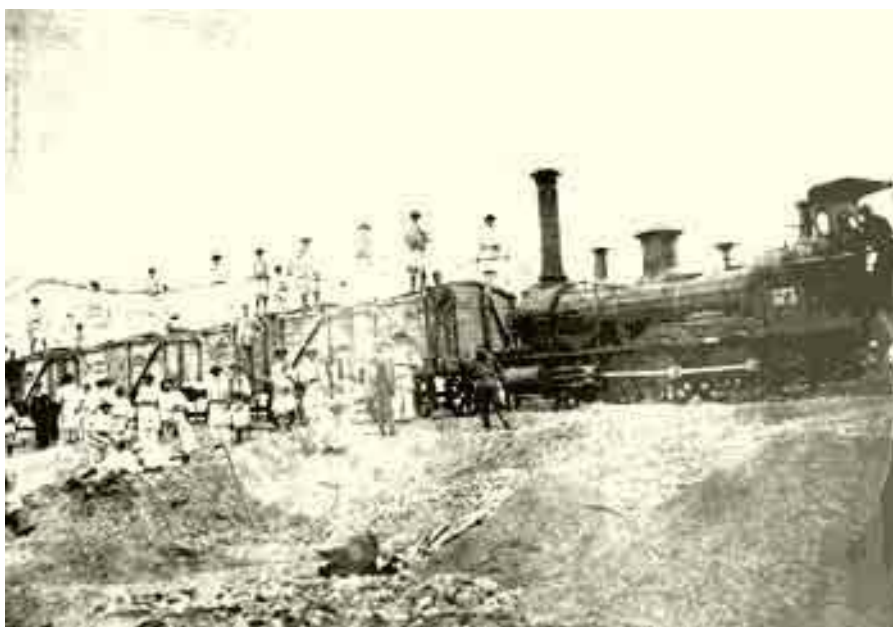


Slika 2. Osoblje železničke stanice Beograd 1885. godine [23]

Na Berlinskom kongresu 1878. godine Srbiji je priznata nezavisnost i dobijena su još četiri nova okruga—Niški, Pirotski, Vranjski i Toplički. Na ovom kongresu Austrougarska je pomogla Srbiji da dobije nove teritorije, ali je to usloвила sklapanjem posebne konvencije. Tom konvencijom Srbiji je nametnuta obaveza da napravi prugu od Beograda do Vranja i granice s Turskom i Bugarskom za tri godine. Takođe, Srbiji je nametnuta obaveza zaključivanja ugovora o trgovini i zahtev da se obavi regulacija Đerdapa. Ovakav ugovor srpska vlada je odobrila Zakonom o proglašenju konvencije.

U Srbiji, iscrpljenoj ratom protiv Turaka, vladala je ekonomska kriza. Država nije bila u stanju da odgovori obavezama koje su proizilazile iz sklopljene konvencije. Beč je stalno urgirao, upozoravao i pretio. Aprila 1880. Srbija je bila primorana da potpiše novu konvenciju

koja se isključivo odnosila na izgradnju pruge. Rok za izgradnju pruge bio je opet tri godine, odnosno 15. juni 1883. godine. Krajem 1880. godine vlada je raspisala licitaciju na koju se javilo jedno francusko društvo iz Pariza – "Generalna unija". Knez Milan Obrenović je srebrnim budakom 3.7.1881. godine udario temelj Srpskim državnim železnicama. Ovaj događaj zbio se "kraj mosta na Mokroluškoj rečici do Topčiderskog puta" (to mesto je u blizini današnjeg mosta "Gazela" u Beogradu). Posle samo godinu dana "Generalna unija" je bankrotirala, pa je radove nastavilo novoformirano Društvo za izgradnju i eksploataciju Srpskih državnih železnica. Zbog toga je prvi svečani voz na pruzi Beograd–Niš zakasnio čitavih petnaest meseci i protutnjao Moravskom dolinom 23. 8. 1884. godine. (4. septembra po Gregorijanskom kalendaru). Redovni saobraćaj otpočeo je 3. 9. 1884. godine (15. septembra po Gregorijanskom kalendaru; taj dan Jugoslovenske železnice obeležavaju svake godine kao Dan železničara Jugoslavije)[23].



Slika 3. Gradnja pruge kod Vršca, 1856. godine [23]

Posle Prvog svetskog rata sve ove teritorije su se ujedinile u Kraljevinu SHS i železnička mreža postaje jedinstvena, kakva ostaje i posle Drugog svetskog rata. Mrežu pruga sačinjavalo je pet sistema različitih kolosečnih širina i to: 0,600 m, 0,750 m, 0,760 m, 1 m i 1,435 m.

Godine 1964. donet je program modernizacije JŽ, koji je uključio i masovno ukidanje uzanih i nerentabilnih pruga. Godine 1970, tačnije 31.5.1970. puštena je u saobraćaj prva elektrificirana pruga na mreži JŽ– Beograd–Šid–državna granica (Zagreb). Sredinom devedesetih godina počinje intenzivna revitalizacija pruga u Vojvodini (Sečanj–Vršac, Kikinda–Banatsko Arandjelovo, Horgoš–Kanjiža).

Tokom bombardovanja NATO snaga, 1999. godine, znatan deo pruge i postrojenja na mreži je uništen ili onesposobljen. Razvoj i modernizacija započeta početkom 90-tih naglo je usporena i prekinuta u ovom periodu. Tragovi ovih događaja prikazani su kao ratna šteta.

Danas mreža pruga ŽS iznosi 4.093 km, od čega je elektrificirano 1.279 km ili 31% (izvor: Železnice Srbije) [38]:

Tabela T1: Stanje Železnica Srbije

Dužina glavnih prolaznih koloseka i otvorene pruge	4.093 km
Dužina pruga	3.809 km
Dužina magistralnih pruga	1.768 km
Dužina ostalih pruga I i II reda	2.041 km
Dužina elektrificiranih pruga	1.279 km
Širina koloseka	1.435 mm
Maksimalni uspon	27.41´
Maksimalno osovinsko opterećenje	22,5 t
Vučna vozila - inventarski park	437
Vučna vozila - aktivan inventarski park	357
Park putničkih kola	797
Park teretnih vagona	7.496
- za eksploataciju	4.315
Broj zaposlenih radnika	18.280

Razvoj železnice u svetu ...

Prelaz između vagona koje su vukli konji i onih koje su vukle parne lokomotive bio je postupan pa se sve do 1835. godine često događalo da su u slučaju kvara ili preopterećenosti lokomotive zamenjivane konjima. Železnica je takav vid saobraćaja koji se odvija određenim pravcima tj. prugama pa su za železnički saobraćaj bitni fizički elementi pruge i železnička vozila, bilo da su to klasične pruge, ili pak podzemne železnice[29].

Železnički saobraćaj je jedan od najstarijih modernih vidova prevoza[32]. Prve pruge nisu građene za železnicu. Njihova pojava datira iz 17. i 18. veka, kada su služile za izvlačenje uglja i ostalih ruda iz rudnika pomoću vagoneta, koji su bili pokretani ljudskom snagom, odnosno kasnije životinjskom vučom. Nakon prve probe železnica se vrlo brzo širi po Engleskoj. Tu ona postiže značajne rezultate. Postoji podatak da je već 1829. godine na pruži Mančester - Liverpool voz postizao brzinu od 56 km/h. Ubrzo nakon toga javljaju se prve železnice i u drugim evropskim zemljama. Francuska dobija prvu železnicu 1827.godine, Austrija, Češka i SAD dobijaju prvu železnicu 1829.godine, Belgija i Nemačka 1835.godine, carska Rusija 1838.godine, Indija 1853.godine i Australija 1854. godine [29].

U razvoju železnica u svetu značajne su gradnje transkontinentalnih železnica. Prva je izgrađena 1869. godine od jedne do druge obale SAD-a. Transsibirska železnica se gradila od 1892. godine do 1905. godine, a njena ukupna dužina je 9.337 km.

Danas u svetu postoji 1.201.237 km pruga i ta dužina se stalno povećava. Oko 70% ukupne mreže železničkih pruga poseduju Evropa i Severna Amerika. U Evropi ima oko 370.000 km železničkih pruga. Najgušću železničku mrežu, s obzirom na veličinu teritorije ima Belgija. Najveću ukupnu dužinu pruga imaju SAD i Rusija. Najelektrificiranije železnice ima Švajcarska - 98%. Najveći promet putnika ima Japan. Najveći robni promet imaju Rusija i SAD. Vrlo je karakteristično da se železnica širila gotovo paralelno sa razvojem industrijskog načina proizvodnje. Logično je da se prva železnica pojavila u Engleskoj - zemlji pojave industrijske revolucije. Industrijski način proizvodnje koji daje veliku masu proizvoda nužno zahteva oblik saobraćaja koji je u stanju da organizuje masovni prevoz robe na kopnu. Savremena železnica je i danas vodeći svetski oblik robnog kopnenog prometa. Ona najbolje odgovara većini zahteva koje pred saobraćaj postavlja savremeni industrijski razvoj, posebno u pogledu masovnog prevoza tereta.

Danas nije više naglasak na izgradnji novih železničkih pruga. One se grade u manjem obimu i to samo u onim delovima sveta gde treba kopnom osigurati jeftiniji prevoz većih količina tereta u određenom pravcu. Značajnija je danas karakteristika železnice njeno prestrojavanje u organizacionom smislu, kako bi bila sposobna da prati nove zahteve društva i privrede. Obično se o tom unutrašnjem prestrojavanju govori kao o modernizaciji železnice, sve u želji da u mnogim delovima sveta ovaj oblik transporta ponovno povрати svoj poljuljani položaj prvog prevoznika.

Uprkos modernizaciji, železnica gubi na značenju, prvenstveno usled snažnijeg razvoja novih mlađih grana saobraćaja, kao npr. drumskog i avionskog. Poslednjih 30-ak godina železnički saobraćaj beleži pad u prevozu putnika i roba. 1970. godine železnicom je prevezeno 21% tereta i 10,2% putnika, a 2000. godine taj udeo iznosi je svega 8,1% tereta i 6,3% putnika. Glavni razlog pada prometa je nekonkurentnost železnice u odnosu na drumski saobraćaj. Železnički saobraćaj ne omogućava transport robe od vrata do vrata, česta su kašnjenja usled korišćenja zajedničkih saobraćajnih pravaca za putnički i teretni saobraćaj, duže trajanje prevoza zbog zadržavanja na granicama (potreba za promenom osoblja zbog različite signalizacije, lokomotiva itd). Sve to ne zadovoljava velika preduzeća kod kojih je preciznost u vremenu nužna. Daljnji problemi su i nedostatak direktnog nadzora nad vozovima od strane kompanija, nekompletne kompjuterske mreže, različita širina koloseka, nekompatibilni nacionalni zakoni. Uopšteno nedostaje međunarodna tehnička regulacija što je nužno da bi se stvorilo integrisano železničko područje. Ali prednosti željeznice su brojne. Najznačajnije su da je to danas čist oblik saobraćaja koji koristi električnu energiju, a u jedan voz moguće je staviti 50 do 60 puta više tereta nego na kamion. Zbog sve veće zagušenosti puteva sa jedne strane i odredbi sporazuma u Mاستrihtu i Rimu, javila se potreba za stvaranjem jednog jedinstvenog evropskog železničkog sistema. Zbog toga je revitalizacija železnice nužna te je nužno stvoriti efikasan i konkurentan železnički sistem. Kako bi se to postiglo ulažu se velika sredstva, tako je 2001. godine iz državnih sredstava zemalja članica EU ukupno uloženo 40 milijardi evra u železnički saobraćaj. Da bi se stvorio jedinstveni evropski željeznički sistem bilo je potrebno doneti određene pravne regulative. Donešene su

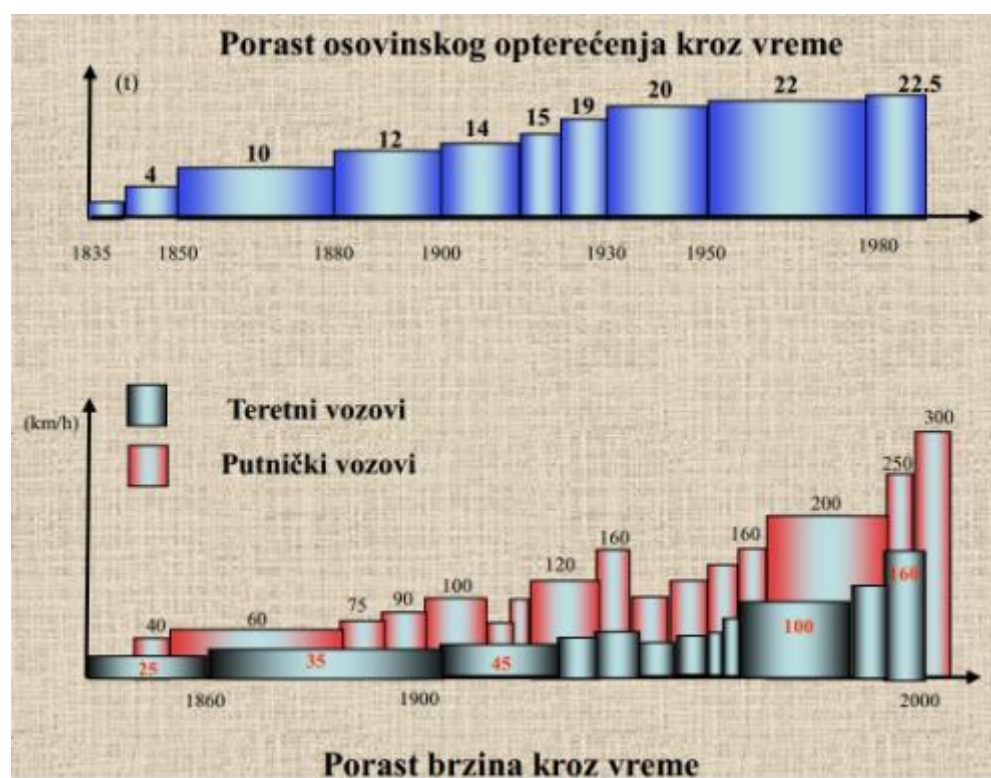
regulative o otvaranju tržišta za prevoz putnika i robe, o interoperabilnost vozova velikih brzina i običnih vozova, o uslovima izdvajanja finansijskih sredstava od strane države, o pristupu mreži itd. Savremene železnice sveta imaju posebnu ulogu u povezivanju tržišnih industrijskih predela sveta, industrijskih reona i centara. Izuzetan je njihov značaj za savladavanje velikih kontinentalnih udaljenosti. Tako su u svetu poznate transkontinentalne pruge: Severna transkanadska pruga, Južna transkanadska pruga, Severna pacifička pruga (SAD) Centralna pacifička pruga (SAD), Južna pacifička pruga (SAD) Buenos Aires - Valparaiso, Buenos Aires - Antofagasta, Australijska transkontinentalna pruga, Transsibirska železnica, zatim pruga Peking - Alma Ata i Centralno afrička transkontinentalna pruga (Lobito - Beira). Evropa je takođe išarana prugama transkontinentalnog karaktera.

Gustoća železničke mreže, kao jedan od opštih pokazatelja o stepenu razvijenosti železnice, vrlo je različita u svetu. Najveću gustoću železnica imaju Evropa i SAD, u kojima je skoncentrirana većina železničke mreže sveta. Tako npr. na 100 km kvadratnih površine dolazi u Belgiji 13,9 km pruga, u Velikoj Britaniji 9,7 km, Švajcarskoj 12,1 km, Nemačkoj 11,9 km, Danskoj 10,7 km, Holandiji 9,3 km, Francuskoj 6,7, Italiji 6,7 i SAD 4,5 km. S druge strane postoji još niz zemalja u svetu koje nemaju ni jednu ili eventualno samo jednu prugu. Železničke pruge su neujednačenog tipa. Postoji značajna razlika u širini koloseka u pojedinim zemljama, pa to otežava međunarodni saobraćaj. Najrasprostranjeniji je tzv. normalni kolosek širine koloseka 1435 mm. Taj raspon ima oko 70% svetskih pruga. Širi kolosek imaju železnice bivšeg SSSR-a (1524 mm), Španije (1675 mm), Irske, Finske, Argentine, Indije i Australije (1600 mm). U mnogim zemljama i unutar njih samih širina koloseka železničke mreže je različita. U nekim zemljama, kao npr. u Čileu, Brazilu, Argentini, Egiptu, Tajlandu, ima 3-7 različitih širina koloseka. Naravno da ovo uveliko ometa obimniji razvoj železnice zbog povećanog pretovara. U skladu sa modernizacijom železnice ponajpre ide elektrifikacija pruga i promena vučnih vozila. Tako, npr. u SAD-u su gotovo sve lokomotive na dizel pogon, dok npr. u Švajcarskoj sa gotovo 100% elektrificiranim prugama, praktično sve su lokomotive na električni pogon. Godine 1994. procenjuje se da je u svetu bilo između 190.000 i 195.000 km elektrificiranih pruga, od čega na Evropu otpada čak 147.760 km.

U borbi za prestiž sa drugim vidovima transporta u vlastitoj zemlji, a zatim i za prestiž nad železnicama drugih zemalja, niz železnica nastoji povećati brzine prevoza. Posebno se u tom pogledu ističu železnice Japana i Francuske, a veće planove imaju i železnice SAD-a. Jedna od najpoznatijih brzih železnica u svetu je Tokaido, železnica sa brzinom do 250 km na sat. Prugu od 515 kilometara voz pređe za 3 sata i 10 minuta na relaciji Tokio - Osaka. Te brzine su se u novije vreme i povećale. Francuske železnice već imaju nekoliko super brzih vozova iz Pariza na razne strane sa prosečnim brzinama iznad 150 km na sat ili sa brzinom od 380 km na sat na pruzi Pariz -Lion. TŽV Atlantik, novi voz u Francuskoj postigao je kod grada Tursa brzinu od 515,3 km na sat. Veoma je brza i linija između Njujorka i Vašingtona. Put od 362 km, uz usputno zaustavljanje na nekoliko stanica, voz pređe za otprilike 3 sata. U Kanadi postoji vrlo brza železnička veza između Montreala i Toronta. Vozovi razdaljinu od 536 km pređu za 4 sata. U Nemačkoj je brzi voz Inter Siti Eksperimental koji vozi na liniji Wirzburg -Fulda, postigao 1988. godine maksimalnu brzinu

od 406,9 km na sat. Svi su ovi brzi vozovi organizovani za prevoz putnika u gusto naseljenim krajevima ili pak između dva ili više većih gradskih centara. Kod svih ovih vozova je na već postojećim železničkim pravicima zabeležen osetan porast putnika i do 50%. Uz brzinu putovanja sve se više pažnje posvećuje i udobnosti. Neosporno je da su železnice u velikoj prednosti nad drumskim prevozom upravo zbog mogućnosti povećanja udobnosti putovanja. Za povećanje kapaciteta železničkog prevoza uz promenu vučnih vozila i adekvatno povećanje dužine vozova, sve se više pribegava izgradnji još jednog ili više paralelnih koloseka. Pored toga, neprestani su i zahtevi za stalnim povećanjem dozvoljenog osovinskog opterećenja koje je od značaja za teretni vid železničkog saobraćaja dok su zahtevi za povećanje brzine kretanja pre svega značajni za putnički saobraćaj.

Zbog sve većih zahteva privrede, proračunsko osovinsko opterećenje na prag je od 1900. godine sa 120 kN (12t) povećano na današnjih 250 kN (za šinu 60E1), što predstavlja povećanje od preko 100%. Ovo povećanje zahteva korisnika železničkog saobraćaja je još izraženije u pogledu povećanja brzine kretanja, kako kod putničkog tako i kod robnog saobraćaja (slika 4.)

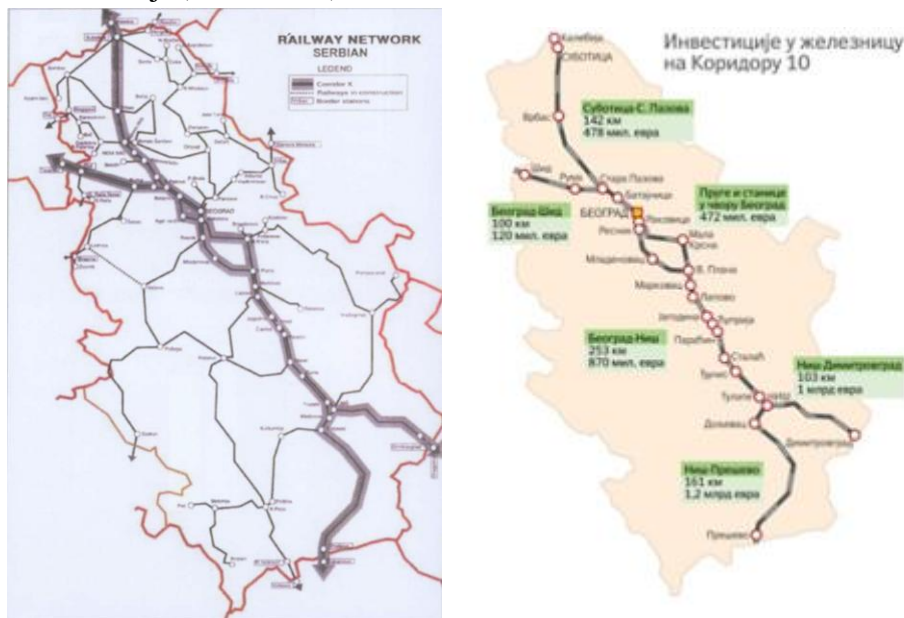


Slika 4. Povećanje dozvoljenog osovinskog opterećenja i brzine kretanja [27]

U savremenom svetskom železničkom transportu sve se više za uspešniju organizaciju saobraćaja uvodi elektronika. Ona ima i naročito specifičan zadatak, da poveća već ionako relativno veliku sigurnost železničkog saobraćaja.

Perspektive razvoja železnice u Srbiji

Železnicu u Srbiji, na svom putu ka budućnosti, najpre očekuje potpuna revitalizacija i rekonstrukcija železničkih pravaca i to najpre onih na koridorima od Mađarske i Hrvatske ka Bugarskoj i Makedoniji (Koridor 10).



Slika 5. Železnički koridor 10 kroz Srbiju [33]

Poboljšanje stanja donjeg i gornjeg stroja[28] postojećih pružnih pravaca je jedan od glavnih zadataka. U tom smislu, poboljšanje podloge je lakše ostvariv zadatak dok je zamena zastarelih pragova novim prednapregnuto-betonskim sa ugradnjom savremenog elastičnog pričvrsnog pribora znatno teže ostvariv cilj. Teže ne zbog tehničke nemogućnosti već isključivo zbog velikih finansijskih zahteva za ostvarenje tog cilja. Danas su i proizvođači u Srbiji ovladali tehnologijom proizvodnje prednapregnutih betonskih pragova koji uz korišćenje elastičnog pričvrsnog pribora u potpunosti zadovoljavaju zahteve savremenog železničkog saobraćaja koji su vezani za stalno povećanje osovinskog opterećenja i za stalno povećanje brzine kretanja.



Slika 6. Naprsli prag koji je još uvek u eksploataciji

II ISTORIJSKI RAZVOJ ŽELEZNIČKIH PRAGOVA

U najranijoj fazi razvoja železničkog saobraćaja bilo je pokušaja postavljanja kamenih blokova kao pragova. Ipak, drvo je istorijski dominantan materijal koji se koristio za izradu prvih železničkih pragova i u upotrebi je ostao do današnjih dana. U toku 20. veka se pojavila potreba za novim materijalima zbog neophodnosti primanja većeg osovinskog opterećenja i omogućavanja postizanja veće brzine saobraćaja. Beton, prednapregnuti beton, čelik i kompozitni plastični materijali su predmet mnogobrojnih ispitivanja, od laboratorijskih do ispitivanja ponašanja ovih materijala u eksploataciji. Svi ovi materijali imaju određene prednosti i mane.

1. DRVENI ŽELEZNIČKI PRAGOVI

U poslednje vreme značajno raste proizvodnja i upotreba prednapregnutih betonskih železničkih pragova. Drvo je materijal koji je daleko više podložan habanju od savremenih materijala od kojih se izrađuju železnički pragovi. Zamena drvenih betonskim ili pragovima od kompozitnih materijala je sve učestalija, posebno u oblastima gde sunce i vlaga znatno deformišu i doprinose truljenju drveta[24]. I pored toga, još uvek je široko rasprostranjena upotreba drvenih pragova iz tehničkih ali i ekonomskih razloga. U svakom slučaju, u dogledno vreme se može očekivati zabrana njihovog korišćenja i postavljanje roka za zamenu ranije ugrađenih drvenih pragova. Krajem 2010. godine, članice UIC (International Union of Railways) su odobrile projekat pod nazivom " Održivost drvenih železničkih pragova / Sustainable Wooden railway Sleepers - SUWOS" [25] koji je imao za zadatak da sumira zaključke o svim alternativnim rešenjima uz analizu i procenu njihovih tehnoloških i mehaničkih svojstava i uticaja na okolinu. Drveni pragovi su tretirani raznim hemijskim sredstvima (kreozot, dobijen destilacijom katrana - drvo katan) koji su zbog svoje toksičnosti izuzetno štetni za okolinu i zdravlje životinja i čoveka. Kreozot produžava životni vek drvenih pragova za 10-30 godina. Evropska regulativa zahteva striktnu kontrolu upotrebe svih vrsta kreozota koji je do skoro bio dozvoljen samo za industrijsku upotrebu a 1.maja 2013. godine je uvedena i totalna zabrana njegovog korišćenja koja stupa na snagu od 30.aprila 2018. godine. Do tada, sve članice UIC-a moraju pronaći alternativna rešenja za drvene pragove odnosno za sredstva za zaštitu drveta. Kreozotom je tretirano oko 95 % svih drvenih pragova. Direktivom 2001/90/EC su uvedene restrikcije u upotrebi kreozota zbog nalaza da isti ima značajan potencijal uzrokovanja pojave raka. Iz tog razloga, kreozot ne može biti upotrebljivan za tretiranje drveta a drvo tretirano njime ne može biti predmet trgovine osim u izuzetnim slučajevima i uz posebno obeležavanje.

Za proizvodnju drvenih pragova se koriste tri osnovne vrste drveta (hrast, bukva i bor) koji se impregniraju različitim količinama kreozota kako bi imali sličan životni vek. Zastupljenost hrastovog drveta je 51%, bora 25% a bukve 21%. Švajcarska na svojim glavnim prugama još uvek ima 30% drvenih pragova, Francuska 28%, Nemačka 11% a Austrija čak 36,5 %. Na sporednim kolosecima, procenat učešća drvenih pragova je znatno veći. Takođe, upotreba drvenih pragova na skretnicama, posebno onih sa manjim radijusom krivine, je još

uvek dominantna (Mađarska oko 15%, Švajcarska i Švedska 70%, Nemačka 58%, Francuska 91%, Belgija 95 %)[25].



Slika 7. Drveni železnički pragovi na lageru, pre impregnacije [35]

Ako izvršimo analizu porudžbina drvenih pragova, evidentno je da je njihova upotreba u stagnaciji od 2008. godine i da se porudžbine uglavnom vrše samo u cilju zamene pojedinačnih dotrajalih pragova na prugama u pravcu i dotrajalih pragova u skretnicama. Od 2008. do 2013. godine, godišnja prodaja drvenih pragova je linearna i ne prelazi 170 000 m³ dok je prodaja betonskih pragova u stalnom rastu.



Slika 8. Dotrajali drveni pragovi posle zamene [36]

Još uvek postoje tehnički, ekonomski i razlozi zaštite životne sredine za upotrebu drvenih pragova. To su pre svega posebni uslovi u pojedinim lokalnim područjima i objektima poput mostova i tunela, na nekim industrijskim linijama su drveni pragovi poželjni zbog svog mehaničkog ponašanja, u nekim starijim tunelima se zbog male visine betonski pragovi ne

mogu ugraditi, drveni pragovi su otporni na temperaturne razlike, pogodni su za skretnice sa malim radijusom krivine...



Slika 9. Drveni pragovi u skretnici [34]

Ekonomski razlozi daljeg korišćenja drvenih pragova se kriju u neisplativosti zamene svih drvenih pragova, posebno na linijama sa niskom frekvencijom saobraćaja kao i u visokoj ceni zamene ili adaptacije svih elemenata podkonstrukcije na objektima poput tunela i mostova u slučaju zamene drvenih sa betonskim pragovima ...

U cilju zaštite životne sredine u smislu smanjenja buke, argumenti su na strani upotrebe drvenih pragova i odnose se na manju emisiju buke kod drvenih pragova kao i mogućnost zamene tradicionalnih vrsta drveta nekim od egzotičnih vrsta kojima nije neophodna hemijska zaštita i tretman kancerogenim sredstvima. Ovde je, međutim, od značaja visoka cena transporta i proizvodnje ovog drveta.

Dakle, još uvek postoje razlozi za dalje korišćenje drvenih železničkih pragova i u tom smislu se i dalje radi na pronalasku alternativne metode zaštite drveta. Borova smola, hromijum i metalne soli su već testirani ali bez rezultata koji bi pokazali da su što se tiče trajnosti rezultati slični kao kod zaštite kreozotom ali bez štetnih efekata. Standardi koji određuju šta je to što neko novo sredstvo zaštite drveta mora ispuniti su standardi EN252, EN335, EN350, EN351, EN460, EN599, EN13145. Brojne su studije na ovu temu.

2. BETONSKI I PREDNAPREGNUTI BETONSKI ŽELEZNIČKI PRAGOVI

Posle neuspešne upotrebe u prvoj polovini XX veka u Italiji i Indiji, od kraja II svetskog rata, u Evropi, primena betona u proizvodnji železničkih pragova uzima sve više maha tako da su to trenutno najšire korišćeni pragovi. U Australiji, beton se koristi za većinu železničkih pragova, a u Velikoj Britaniji, železnički operater mreže železnica svake godine zamenjuje 200.000 drvenih sa betonskim železničkim pragovima.

Rani prototipovi [54] betonskih železničkih pragova su pravljani sa konvencionalnim armiranim betonom za koji se pokazalo da je isuviše krto da bi izdržao visok nivo dinamičkog opterećenja. Kod nas su se svojevremeno koristili betonski pragovi sa drvenim čepovima za montažu veznog materijala. Ovi čepovi su usled velikih dinamičkih uticaja veoma brzo propadali pa se veliki broj ovih pragova sada šalje na reparaciju.



Slika 10. Betonski železnički prag sa drvenim čepovima na reparaciji u Betonjerci u Stalaču

Moderni betonski železnički pragovi [55] se danas proizvode korišćenjem prednapregnutog betona i njegovim livenjem u kalupe u koje je prethodno postavljen čelični skelet[5] napravljen od čeličnih žica ili kablova u koje se unosi početna sila prednaprezanja[11]. Beton kao materijal za izradu pragova zahteva manje održavanja i ima duži vek trajanja od drvenih pragova, nije sklon degradaciji životne sredine, otporan je na delovanje insekata a nezapaljivost betona znači da se korišćenjem betonskih pragova smanjuje potencijal za pojavu staze požara.

Pragovi od prednapregnutog betona[56] imaju visok kapacitet nosivosti i obezbeđuju ravnomerniju raspodelu i prenošenje opterećenja na podlogu što na kraju za rezultat ima udobniju vožnju. Ovo je posledica njihove veće težine kao i vertikalne i lateralne (bočne) stabilnosti. Za većinu modernih železničkih linija na kojima se saobraćaj odvija velikim brzinama, prednapregnuti betonski (ili kompozitni plastični) pragovi postaju nužnost. Međutim, težina i gabariti betonskih železničkih pragova su značajna mana kada su u pitanju

troškovi (i u vremenu i u novcu) koje treba pokriti pri zameni starih drvenih pragova i montaži novih prednapregnutih betonskih [57].



Slika 11. Prednapregnuti betonski železnički prag- montaža veznog pribora-Betonjerka Stalać

Pored inicijalnih troškova instalacije, treba računati i na troškove održavanja pragova u eksploataciji. Dok se drveni železnički pragovi mogu postaviti na mesto prilično brzo i uz korišćenje jednostavnije specijalizovane opreme, za instalaciju betonskih pragova se mora koristiti teška mašinerija, što samu instalaciju čini skupljom i sporijom a to opet, uzrokuje i eventualne zastoje u saobraćaju za vreme izvođenja radova.



Slika 12. Prednapregnuti betonski železnički pragovi u eksploataciji [37]

Izrada železničkih pragova od prednapregnutog betona zahteva kvalifikovanu radnu snagu i posebnu opremu za proizvodnju. Iz tih razloga, ovaj visokokvalitetni materijal

svakako nije jeftina opcija, iako trajnost proizvoda od ovog materijala i njihov duži radni vek znači i veću vrednost u odnosu na druge materijale[1].

Prednosti i nedostaci prednapregnutih betonskih železničkih pragova

a) Prednosti prednapregnutih betonskih železničkih pragova

- Otpornost na atmosferske uticaje,
- Otpornost na mraz
Savremena tehnologija betona i izrade betonskih železničkih pragova obezbeđuje takav kvalitet gotovog proizvoda koji obezbeđuje praktičnu neosetljivost na negativno dejstvo mraza,
- Veoma dug vek trajanja odn. upotrebljivosti
Za ostvarenje dugog veka trajanja se podrazumeva uslov da je betonski prag pravilno dimenzionisan tj. da se pod eksploatacionim (saobraćajnim) opterećenjem ne javljaju prsline,
- Visoka čvrstoća na pritisak
Visoka čvrstoća na pritisak betonskih pragova omogućuje direktno pričvršćivanje šine za prag čime se obezbeđuje prenošenje značajnih koncentrisanih sila sa šina i unošenje na gornju ivicu betonskog praga i bez upotrebe podložnih pločica kojima bi se te sile prihvatile i prenele na znatno veću površinu (kao što je slučaj kod drvenih pragova),
- Mogućnost proizvodnje proizvoljnog oblika pragova (izlivanje u kalupima)
U skladu sa potrebama, opterećenje sa šina mogu prihvatiti konstruktivni elementi u obliku ploče, grede, pojedinačnih oslonaca. U skladu sa proračunom, lako je menjati i oblik poprečnog preseka praga.

b) Nedostaci prednapregnutih betonskih železničkih pragova

- Velika težina betonskih pragova
Otežana manipulacija betonskim pragovima u smislu otežanog transporta i polaganja, u znatnoj meri povećavaju troškove. Što se troškova transporta tiče, formiranjem povoljnog rasporeda fabrika za proizvodnju betonskih pragova, isti se mogu svesti na podnošljiv nivo. Uvođenje posebnih uređaja za utovar, istovar i polaganje kao i kvalitetna organizacija, nadoknađuju nepovoljnosti pri upotrebi betonskih pragova,
- Mala zatezna čvrstoća betona
Vrednost zatezne čvrstoće betona iznosi samo oko 1/8 čvrstoće betona na pritisak. Ovaj nedostatak betona se nadoknađuje armiranjem i prethodnim naprežanjem betonskog elementa – železničkog praga. Posebno je iskorišćen efekat prethodnog naprežanja betona jer, usled delovanja sila prednaprežanja, nakon prestanka delovanja opterećenja dolazi do zatvaranja prsline. Kod klasično armiranih pragova, jednom stvorene prsline ostaju kao trajna posledica opterećenja. Pored toga, usled stalnih dinamičkih uticaja i trenja koje se neminovno javlja po stranicama prsline, dolazi i do dalje propagacije istih. Pojava propagirajućih prsline uz atmosfersku

vodu, vlagu i niske temperature značajno ograničava vek trajanja betonskog elementa. Iz ovih razloga, betonske pragove sa klasičnom armaturom treba upotrebljavati u kolosecima gde su naprezanja na savijanje veoma mala dok se u kolosecima sa značajnim saobraćajnim opterećenjem treba orjentisati na upotrebu pragova od prethodnonapregnutog betona.

– Minimalna deformabilnost (krutost) i krtost betona

Krutost i krtost betona dolaze do izražaja pri udarnim opterećenjima na koje je beton kao materijal izuzetno osetljiv. Pri analizi ovog problema potrebno je izvršiti poređenje ponašanja betonskog sa ponašanjem drvenog železničkog praga uz sagledavanje:

- uticaja inercije praga,
- trenutnog oslobađanja energije udara zbog svojstava betona,
- prihvatanja uticaja udarnog opterećenja armaturom.

3. ČELIČNI ŽELEZNIČKI PRAGOVI

Čelični železnički pragovi se često posmatraju kao srednje rešenje između drvenih i betonskih pragova. S obzirom da je proizvodnja pragova od tvrdog drveta jeftinija od pragova od prednapregnutog betona, izgledalo je da bi čelik mogao predstavljati idealno rešenje za ekonomičnu nadogradnju i zamenu drvenih pragova. I zaista, u nekim oblastima gde su postavljeni čelični pragovi, čelične veze su i nakon 50 godina službe još uvek kvalitetne i saobraćaj se obavlja na adekvatan način. Manje opterećenje posteljice (oko 60% manje od opterećenja betonskih i 45% manje od drvenih pragova) je takođe faktor koji bi trebalo da ide u korist čelika, posebno u geografskim oblastima u kojima je drvo deficitarno.



Slika 13. Čelični železnički pragovi [39]

Međutim, jedinstveni problemi koji se javljaju pri eksploataciji čeličnih pragova (korozija, loša otpornost na zamorno opterećenje, nedostatak izolacije) su ograničili upotrebu čelika za izradu železničkih pragova i vznog materijala, čak i u SAD-u koji raspolaže obiljem prirodnih resursa. Čelični železnički pragovi i čelične veze su osetljivi na koroziju i zamorno opterećenje pa su ih železnički operateri u prošlosti vrlo često uklanjali iz železničkih koloseka jer su posle izvesnog vremena postali brzo istrošeni, posebno na linijama sa mnogo saobraćaja. Kako bi se obezbedila izolacija šina postavljenih na čelične pragove, koristi se kompozitni materijal neopren. Prilikom montaše čeličnih pragova i šina, potreban je veliki oprez jer i najmanja nepažnja ili greška pri izradi ove izolacije može napraviti pustoš i razaranje železničke elektro mreže.



Slika 14. Pričvrsni materijal kod čeličnih železničkih pragova [40]

4. KOMPOZITNI PLASTIČNI ŽELEZNIČKI PRAGOVI

Materijal posljednje generacije za izradu železničkih pragova jeste kompozitni plastični materijal i on predstavlja poslednji pokušaj pronalaska materijala koji zadovoljava postavljene zahteve sa što manje ili bez značajnijih nedostataka[48]. Kompozitni železnički pragovi su izrađeni od različitih smeša sirovina (plastike, gume od polovnih guma, otpada fiberglasa). Cilj je stvaranje sintetičkog materijala koji ima savitljivost i dostupnost drveta a istovremeno ima i trajnost betona.



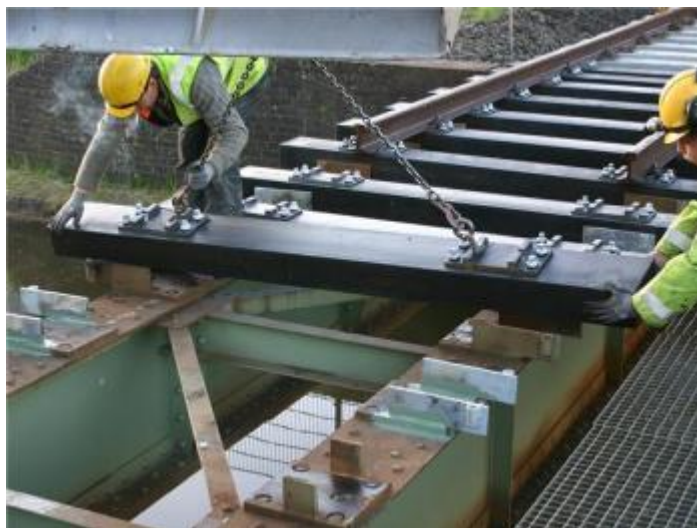
Slika 15. Kompozitni železnički prag

Japan[48] je lider u proizvodnji kompozitnih pragova ojačanih vlaknima. U Evropi su japanski kompozitni železnički pragovi Sekisui prvi put ugrađeni 2004. godine, kada su instalirani na koloseku Zollamt mosta u Beču, u Austriji. Ovaj materijal je izabran za most jer ima performanse drveta dok ostaje otporan na dejstvo promene temperature i stalni uticaj vlage. Prednosti kompozita su jasne - materijalom se može manipulirati i isti se može rezati baš kao i drvo, bez ostavljanja nedostataka i stvaranja razlika u odnosu na svoj prvobitni oblik. Kompoziti imaju trajnost betona (radni vek 50 godina ili više), sa mnogo manjom težinom od betona i puno jednostavnijim procesom montaže. Za razliku od betonskih železničkih pragova pri čijem postavljanju cela trasa stare pruge mora biti zamenjena, kod kompozitnih železničkih pragova se montaža može obavljati i pojedinačno i etapno uz ostavljanje nekih od starih drvenih pragova.



Slika 16. Kompozitni železnički prag sa pričvrstnim priborom

Kompozitni železnički pragovi su pozitivno rešenje i sa ekološkog aspekta jer se uglavnom prave od recikliranog materijala i mogu se u potpunosti ponovo reciklirati. U izveštaj Otpad i resursi akcionog programa (VRAP), podnetom 2006.godine, navedeno je da za milju koloseka od drvenih železničkih pragova potrebno poseći 810 odraslih hrastova, dok je istovremeno za ekvivalentnu dužinu koloseka od kompozitnih pragova potrebno dva miliona plastičnih boca, 8.9 miliona plastičnih kesa i 10,800 korišćenih auto guma koje bi inače završile na deponiji.



Slika 17. Montaža kompozitnog železničkog praga

Lako je zaključiti da kompozitni materijali i pojednostavljena tehnologija njihove proizvodnje predstavljaju rešenje za budućnost uz široko prihvatanje ekološki i operativno efikasne supstance za masovnu proizvodnju železničkih pragova. Još uvek visoki troškovi i skupa tehnologija proizvodnje kompozitnih pragova predstavljaju ograničenje za njihovo masovnije korišćenje i ograničavaju ga na lokacije gde su drvo i beton neodgovarajući. Kako se proizvodni proces bude pojednostavljivao i pojeftinjavao, može se i očekivati da ovaj materijal preuzme primat na polju železničkih pragova.

III DOSADAŠNJA ISKUSTVA I UPOREDNA ANALIZA DRVENIH I PREDNAPREGNUTIH BETONSKIH PRAGOVA (PREDNOSTI I MANE)

Pri uporednoj analizi i definisanju prednosti i mana drvenih i prednapregnutih betonskih pragova, moramo uzeti u obzir ekonomske, tehničke i ekološke faktore koji utiču na odabir vrste praga. Što se tiče ekonomičnosti, drveni prag je u prednosti nad betonskim jer im je jedinična cena približna ali je puno lakši proces manipulacije i instalacije odn. montaže drvenih nego prednapregnutih betonskih pragova. Ovde trebamo imati u vidu i da je veliki broj drvenih pragova već ugrađen i da je potrebno samo menjati pojedine oštećene pragove a kada se betonski pragovi ugrađuju potrebna je potpuna zamena cele trase. Drveni pragovi se ugrađuju obično na brdskim prugama i skretnicama sa malim radijusom krivine, dok je kod ostalih pruga češća upotreba betonskih pragova.

Betonski pragovi su manje podložnosti atmosferilijama i dostupniji su (velika narudžbina se može relativno brzo realizovati, dok drvo prvo treba izrasti, treba ga godinu dana ranije poseći, osušiti, pripremiti za obradu, obraditi, impregnirati ...). Betonski pragovi su dugotrajniji ali su i manje elastični, više osetljivi na oštećenja. Betonski pragovi su zbog veće mase pogodniji za pruge većih brzina i opterećenosti ali zahtevaju i jako kvalitetnu podlogu: propisanu zbijenost nasipa i posteljice, kvalitetan tamponski sloj, kvalitetan tucanik veće čvrstoće zbog drobljenja (svakako eruptivac, a ne krečnjački materijal), a i isključivo mašinsko održavanje (ugradnju, podbijanje i eventualne popravke) jer su osetljiviji na gubitak oslonca ispod pragova (neophodno je često podbijanje).

Transport drvenih pragova u tranzitu i tokom rukovanja i montaže je znatno lakši jer će tokom transporta verovatno doći do raznih udara, krzanja i površinskih oštećenja koje je drvo bolje u stanju da izdrži dok pri oštećenju betonskog praga čelik ostaje nezaštićen i izložen koroziji. Jednostavnost obrade drveta je njegova prednost. Dimenzije poprečnog preseka i rasponi se kod drveta mogu lako prilagođavati specifičnim zahtevima što nije slučaj sa betonskim pragovima. Jednostavnost montaže i lakše održavanje su takođe prednosti drveta jer je drvo lakši materijal što znači lakšu manipulaciju uz manje angažovanje radne snage.

Uticaj na okolinu je faktor koji definitivno stavlja drvo u drugi plan jer je sredstvo za impregnaciju drveta (kreozot) izuzetno toksično i kancerogeno. Takođe, potrebno je uništiti preveliki broj dovoljno starih stabala kako bi se dobio dovoljan broj pragova. Na strani drveta je znatno bolja izolacija vibracija i zvučna izolacija.

IV ANALIZA SAVREMENIH STANDARDA I ZAKONSKE REGULATIVE NA TEMU ŽELEZNIČKIH PRAGOVA

Metodologija i parametri analize železničkih pragova od faze projektovanja, proizvodnje, ispitivanja pa sve do faze ugrađivanja i održavanja u fazi eksploatacije moraju biti u skladu sa evropskim normativima (EN) odnosno sa odgovarajućom regulativom Republike Srbije za ovakvu vrstu konstrukcija, i dodatno, u skladu sa regulativom koju propisuje krajnji korisnik – železnički operater. Neki od važećih standarda koji se odnose na železničke pragove su:

- EN13145:2011 - Railway applications - Track - Wood sleepers and bearers (Područje primene na železnici - Železnički gornji stroj - Drveni pragovi i nosači),
- EN13145+A1:2013 - Railway applications - Track - Wood sleepers and bearers (Područje primene na železnici - Železnički gornji stroj - Drveni pragovi i nosači),
- EN13146-4:2002/2012 - Railway applications - Track - Test methods for fastening systems - Part 4: Effect of repeated loading (Primene na železnici – Kolosek – Postupci ispitivanja sistema šinskih pričvršćenja – Deo 4: Ispitivanje uticaja ponavljanja opterećenja),
- EN13146-5:2012 - Railway applications - Track - Test methods for fastening systems - Part 5: Determination of electrical resistance (Primene na železnici – Kolosek – Postupci ispitivanja sistema šinskih pričvršćenja – Deo 5: Ispitivanje elektrootpornosti),
- EN13481-1:2012 - Railway applications - Track - Performance requirements for fastening systems - Part 1: Definitions (Primene na železnici – Kolosek – Zahtevane performanse sistema šinskih pričvršćenja – Deo 4: Definicija),
- EN13481-2:2012 - Railway applications - Track - Performance requirements for fastening systems - Part 2: Fastening systems for concrete sleepers (Primene na železnici – Kolosek – Zahtevane performanse sistema šinskih pričvršćenja – Deo 2: Sistemi šinskih pričvršćenja za betonske pragove),
- EN13991:2003 - Derivati pirolize uglja. Ulja na bazi katrana. Kreozot. Specifikacije i metode ispitivanja. (Impregnacija drvenih železničkih pragova kreozotnim uljem),
- EN10138-1:2000 - Prestressing steels - Part 1: General requirements (Čelik za prednaprezanje - Deo 1: Opšti zahtevi),
- EN10138-2:2000 - Prestressing steels. - Part 2: Wire (Čelik za prednaprezanje - Deo 2: Žica za prednaprezanje),
- EN10138-3:2000 - Prestressing steels. - Part 3: Strand (Čelik za prednaprezanje - Deo 3: Užad za prednaprezanje),
- EN10138-4:2000 - Prestressing steels. - Part 4: Wire (Čelik za prednaprezanje - Deo 4: Šipke za prednaprezanje),

- EN13230-1:2009 - Railway applications- Track - Concrete sleepers and bearers - Part 1: General requirements (Primene na železnici - Kolosek, Železnički gornji stroj - Betonski pragovi za kolosek i skretnice - Deo 1: Opšti zahtevi),
- EN13230-2:2009 - Railway applications - Track - Concrete sleepers and bearers - Part 2: Prestressed monoblock sleepers (Primene na železnici - Kolosek, Železnički gornji stroj - Betonski pragovi za kolosek i skretnice — Deo 2: Prethodno napregnuti jednodelni pragovi),
- EN13230-3:2009 - Railway applications - Track - Concrete sleepers and bearers - Part 3: Twin-block reinforced sleepers (Primene na železnici — Kolosek, Železnički gornji stroj — Betonski pragovi za kolosek i skretnice — Deo 3: Dvodelni armirano-betonski pragovi),
- EN13230-4:2009 - Railway applications - Track - Concrete sleepers and bearers - Part 4: Prestressed bearers for switches and crossings (Primene na železnici — Kolosek — Betonski pragovi za kolosek i skretnice — Deo 4: Prethodno napregnuti pragovi za skretnice i ukrštaje),
- EN13230-5:2009 - Railway applications - Track - Concrete sleepers and bearers - Part 5: Special elements (Primene na železnici — Kolosek, Železnički gornji stroj — Betonski pragovi za kolosek i skretnice — Deo 5: Elementi za specijalna rešenja koloseka),
- EN13481-2:2002 - Railway applications - Track - Performance requirements for fastening systems - Part 2: Fastening systems for concrete sleepers (Primene na železnici — Kolosek, Železnički gornji stroj — Tehnički uslovi za sisteme šinskih pričvršćenja — Deo 2: Sistemi šinskih pričvršćenja za betonske pragove),
- Uputstvo ZJŽ–334 - Uputstvo o proizvodnji, kontroli i prijemu prednapregnutih betonskih pragova na mreži pruga JŽ (01.03.05.),
- Uputstvo ZJŽ–349 - Uputstvo za proizvodnju, kontrolu i prijem jednodelnih prednapregnutih betonskih pragova za mrežu pruga JŽ, ZJŽ II 3/3, br.92/126-2004
- Uputstvo ZJŽ-351^[7] - Uputstvo za proizvodnju, kontrolu i prijem predhodno napregnutih betonskih pragova za skretnice i ukrštaje, objavljeno u Sl. Glasniku ZJŽ br. 4/2005 a prema evropskim normama EN13230-1 i pr EN13230-4.

Standardi koji definišu dizajn prednapregnutih betonskih železničkih pragova u svetu su još i AREMA (u Sjedinjenim američkim državama) i AS1085.14 (u Australiji).

V OSNOVE ZA PRORAČUN PREDNAPREGNUTIH BETONSKIH ŽELEZNIČKIH PRAGOVA

Kao i kod svih drugih konstrukcija, i pri proračunu prednapregnutih betonskih pragova, vrši se analiza uticaja. Sopstvena težina i stalno opterećenje se kod železničkih pragova smatraju zanemarljivim. Specifičnost železničkih pragova je da su izloženi značajnom dinamičkom opterećenju: udarnim, horizontalnim i vertikalnim silama uz posebne uslove oslanjanja na podlogu[2].

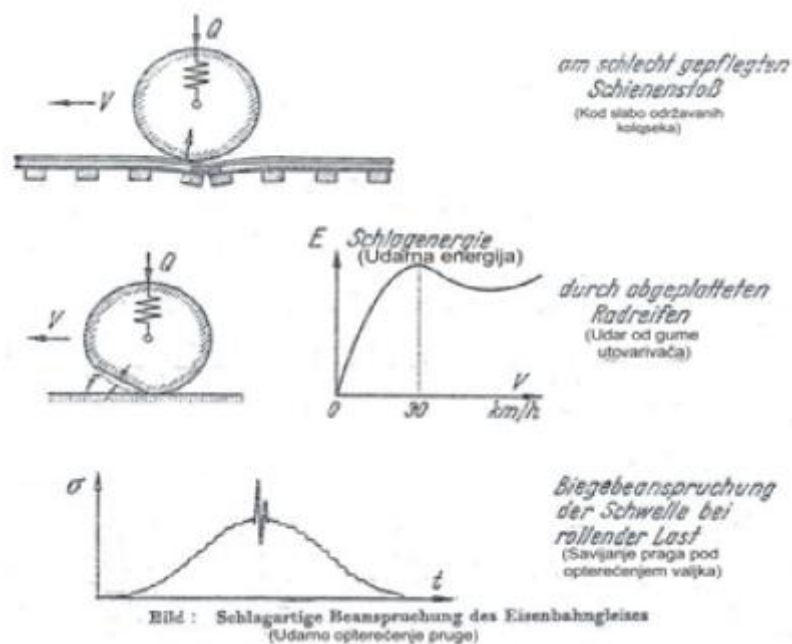
Udarna opterećenja

Udarna opterećenja nastaju usled:

- nepravilnosti na šinama - oštećene šine, loše konstruisani i izvedeni šinski spojevi,...
- nepravilnosti kod točka - hrapavost, pojave zaravnjenih mesta na vencu točka, i
- havarijskih događaja.

Za razliku od posledica loših šinskih spojeva koji su lokalizovani na pojedinim mestima u koloseku, uticaj zaravnjenih točkova se manifestuje na celoj deonici. Iz tog razloga se ovom uticaju posvećuje više pažnje.

Udarna energija zavisi od veličine zaravnjene površine na vencu točka definisane dubinom zaravnjenja f i zahvaćenim uglom φ , osovinskog opterećenja (Q) i brzine kretanja šinskog vozila (V). Teorijske analize ukazuju da se pri brzini od ~ 30 km/h (u intervalu od 0-100km/h) proizvodi maksimalna udarna energija. Promena naprezanja pod udarnim opterećenjem zaravnjenog točka je data na slici 18. Iz dijagrama se očigledno vidi da je promena naprezanja u obliku sinusoide sa skokom u temenu i to u trenutku nailaska zaravnjenog dela točka iznad samog mernog mesta.



Slika 18. Promena naprezanja pod udarnim opterećenjem zaravnjenog točka

Veličina dodatne amplitude je od bitnog značaja i može se, pored teorijske analize, precizno utvrditi i merenjem na licu mesta („in situ“).

Horizontalne sile

a) Sile kočenja

Pri analizi i određivanju sile kočenja, posmatraćemo tešku elektrolokomotivu ukupne težine 129 t koja se kreće maksimalnom brzinom. Pri kočenju se angažuje oko $\sim 0,3 \Sigma Q$. Pri ovoj sili kočenja, u koloseku se javljaju podužno raspodeljene sile intenziteta oko $\sim 23 \text{ kN/m'}$ koloseka. Ove horizontalne sile se preko šina i kolosečnog pričvrstnog pribora prenose na pragove koji moraju biti tako oblikovani da primljene sile momentalno prenesu na zastor bez promene položaja. Zaključujemo da zastor mora da pruža takav otpor podužnom pomeranju koji će amortizovati (apsorbovati) ove podužne sile jer će u protivnom doći do podužnog pomeranja kolosečne rešetke u pravcu sile kočenja (ili će doći do prevelikog naprezanja i deformacije najopterećenijeg dela šine između pragova odnosno oštećenja pričvrstnog pribora).

Pored sile kočenja, neminovna je pojava i podužnih temperaturnih sila koje se u opštem slučaju (na strani sigurnosti) dodaju silama kočenja. Narušavanje podužne otpornosti pomeranjima može dovesti do pojave opasnih talasa i izbočavanja (izbacivanja) koloseka usled dilatacija uzrokovanih visokim temperaturama tj. temperaturnim razlikama.

Kolosek treba da bude tako oslonjen na pragove o oni uležišteni u podlogu-zastor da se podužne horizontalne sile sprovedu i predaju bez posledica do podloge.

b) Sile vođenja (usmeravajuće sile)

Pri prolasku šinskog vozila kroz krivine, vozila se zarotiraju oko na kolosek upravne ose pri čemu se javljaju horizontalne sile (tzv. usmeravajuće sile). Usmeravajuće sile (sile vođenja) su značajne i maksimalnog su intenziteta na spoljnoj ivici vodeće osovine. Vrednost sile vođenja pre svega zavisi od:

- konstrukcije vozila,
- radijusa krivine,
- kolosečnog zastora,
- brzine vožnje,
- rasporeda krivine u alejmanu.

Maksimalne vrednosti usmeravajuće sile su određene prema istraživanju Prud'Homme-a [2] i date su sledećim izrazima:

- za kolosek sa betonskim pragovima $H = 1,0 (10 + \frac{P}{3})$,
- za kolosek sa drvenim pragovima $H = 0,85 (10 + \frac{P}{3})$.

Kako se u krivinama, pri visokim temperaturama tj. temperaturnim razlikama, javljaju značajne temperaturne sile koje teže da izbace kolosek, pri proračunu bočne stabilnosti je neophodno superponirati i ove sile sa usmeravajućim silama pri prolasku šinskog vozila.

c) Određivanje sila u krivinama koje se javljaju usled temperaturnih razlika

Kod dugih zavarenih i šinskim priborom pričvršćenih čeličnih nosača - šina, izduženje ili kontrakcije šina uzrokovane temperaturnim promenama se sprečavaju. Usled izlaganja različitim temperaturama spoljašnje sredine i ponašanja različitih materijala od kojih su napravljene šine, pričvrсни pribor, pragovi i podloga na tim temperaturama, javlja se ili deformacija (leti) ili napon (zimi) u svim elementima. Naponsko stanje koje se javlja u šinama usled temperaturnih uticaja se izračunava prema sledećoj formuli (jednodimenzionalno naponsko stanje):

$$\sigma = E \cdot \alpha \cdot \Delta T = E \cdot \alpha \cdot (T - T_v)$$

α - koeficijent linearnog širenja železničkog čelika [$11,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$]

E = Modul elastičnosti [215.000 N/mm^2]

T = temperatura šine [K]

σ = napon u pragu [N/mm^2] (pri deformaciji-leti je pozitivan, zimi je negativan)

T_v = Neutralna (srednja) temperatura šina pri montaži. Usvaja se na nivou Železnice u skladu sa klimatskom zonom. Vrednost je između 12° i 25°C . Mora ostati u dozvoljenoj granici od $\pm 3^\circ\text{C}$.

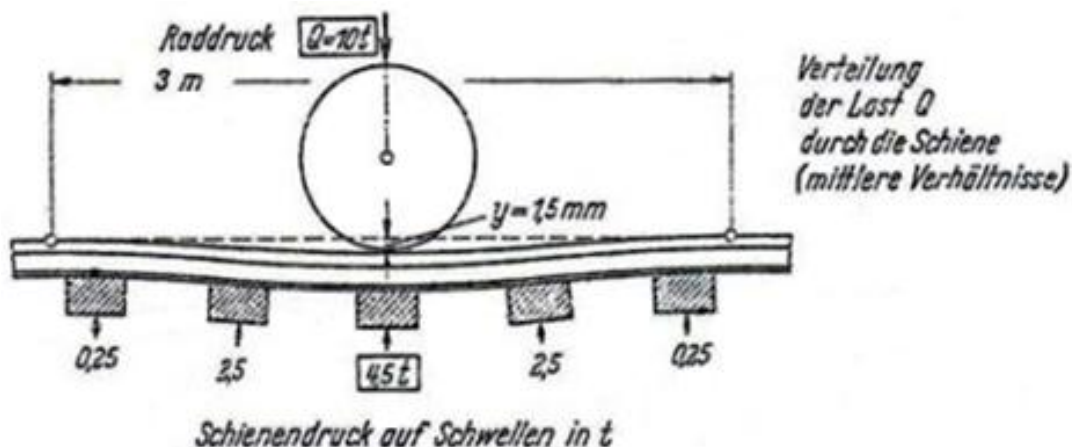
Veličina otpora šina bočnim pomeranjima je od presudnog značaja za geometrijsku stabilnost koloseka i od nje zavisi da li će doći do izvijanja usled pojave izduženja izazvanog temperaturnim promenama[2].

Otpornost na bočna pomeranja zavisi od sledećih faktora:

- Od vrste, težine, dimenzija i razmaka železničkih pragova, tipa i stanja železničkog pričvrsnog pribora,
- Od granulometrijskog sastava posteljice,
- Količine materijala od koje je izrađena posteljica između i na krajevima pragova,
- Zbijenosti (krutosti) košuljice (podloge).

Vertikalne sile

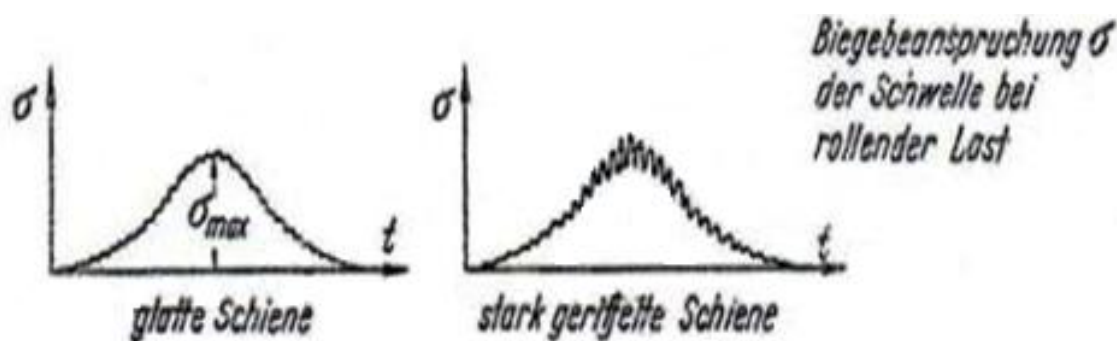
Vertikalne sile su uglavnom predstavljene osovinskim opterećenjem koje je najznačajnije[52]. Značajan uticaj na veličinu vertikalnih sila ima i brzina kretanja šinskog vozila ali i način ugibljenja točkova (amortizacija vertikalnih pomeranja karoserije šinskog vozila). Raspored šinskih pritisaka u pragovima je dat na slici 19.



Slika 19. Raspored šinskih pritisaka u pragovima: pritisak točka na šinu i pritisak šine na prag u tonama[2]

Uticajni savojni šinski talas, za prosečne uslove i brzinu kretanja, ima dužinu $\sim 3,0$ m', prouzrokujući pritisak šine na prag od oko 45 kN. Pod prosečnim uslovima se podrazumeva kolosek kod koga je vertikalna elastična deformacija $y=1,5$ mm (u zavisnosti od primenjenog gornjeg stroja, ekstremne granice vertikalne elastične deformacije su od 1 do 2(3) mm). Za šinu veće čvrstoće pričvršćene za pragove postavljene na mekšu podlogu (manja krutost posteljice), uticajni savojni šinski talas je dužine $\sim 4,0$ m' uz smanjenje pritiska šine na prag sa 45 na 40 kN. U slučaju korišćenja šine manje čvrstoće i tvrde podloge (veća krutost posteljice), uticajni savojni šinski talas se smanjuje na dužinu od $\sim 2,5$ m' uz povećanje pritiska šine na prag na 50 kN.

Na slici 20.-levo su prikazana naprezanja betonskog praga pod točkom normalnih karakteristika i idealnih voznih površina. Naponski talas (dijagram σ, t) je sličan elastičnoj liniji koloseka a maksimalna naprezanja nastaju kada točak vozila stane iznad mernog mesta odnosno praga na kome se nalazi merno mesto.



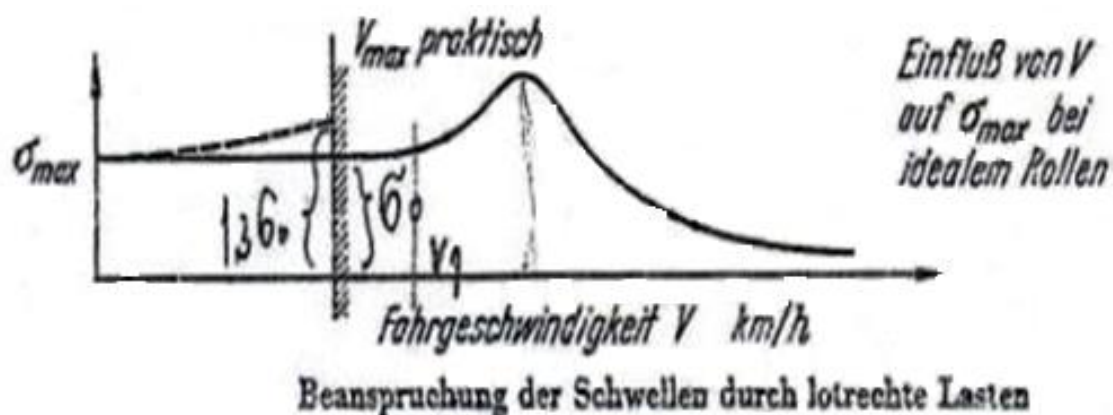
Slika 20. Naprezanja betonskog praga u funkciji vremena[2]

Na slici 20. -desno su prikazana naprezanja betonskog praga u funkciji vremena u slučaju točka sa jako izbrazdanom površinom. Funkcijska zavisnost (dijagram σ, t) je slična

kao i u slučaju prikazanom na slici 20. - levo s tim da su amplitude izraženije u odnosu na prosečnu vrednost. Poznavanje ovih vrhova je značajno radi pravilnog dimenzionisanja koloseka (šina i pragova). U nemačkoj železnici (DB), da bi smanjili ove efekte, koriste:

- Šine otporne na habanje,
- Rendisanje šina (speno vezovi).

Na slici 21. je prikazana zavisnost naprezanja betonskog praga od brzine kretanja šinskog vozila. Punom linijom je data zavisnost napona od brzine za idealne uslove sa točkovima okrugle i glatke površine uz stalnu elastičnost koloseka. Očigledno je da su naprezanja do određene brzine ($V_1 < 180$ km/h) nezavisna od brzine kretanja, posle čega im intenzitet naglo raste sa daljim povećanjem brzine a sa postizanjem kritične brzine (V_{kr}) se pojavljuju rezonantna naprezanja.



Slika 21. Naprezanje betonskog praga u zavisnosti od brzine kretanja

Na istoj slici, crtkastom linijom, predstavljen je uticaj brzine kretanja šinskog vozila na realne uslove kretanja. Ova brzina označena je sa $V_{praktično}$ i može se usvojiti da je povećanje naprezanja pri neravnomernoj elastičnosti koloseka i neujednačenosti rotirajućih masa oko 30% vrednosti σ_0 (za idealne uslove).

VI PRIKAZ PRORAČUNA PREDNAPREGNUTOG BETONSKOG ŽELEZNIČKOG PRAGA TIPA B70 [12][16]

Železnički pragovi imaju zadatak da održe globalnu stabilnost pruge pri čemu su izloženi ekstremnom dinamičkom opterećenju čiju energiju pragovi moraju prihvatiti i preneti na podlogu. Sve ovo prague čini specifičnim konstruktivnim elementima sa specifičnostima u načinu oslanjanja na podlogu kao i u načinu prihvatanja i prenošenja opterećenja na posteljicu. U nastavku je prikazan detaljan postupak proračuna.

1. PROJEKTNI ZADATAK

Projektnim zadatkom sastavljenim u oktobru 2009.godine od strane naručioca, zahtevano je da se za usvojeni tip, oblik, tehnološke i eksploatacione karakteristike izradi statička analiza prednapregnutog betonskog železničkog praga – tip B70. Metodologija i parametri analize moraju biti u skladu sa odgovarajućom regulativom Republike Srbije za ovakvu vrstu konstrukcija, i posebno, u skladu sa regulativom koju propisuje krajnji korisnik – „Železnice Srbije“[6][7].

Zadate karakteristike zadate od strane naručioca:

1. Dužina praga: 2600 mm;
2. Širina donje naležne površine - promenljiva, max. 300 mm;
3. Visina preseka na mestu naleganja šine: 200 mm;
4. Nagib naležne površine na šinu: 1:40;
5. Širina koloseka: 1435 mm;
6. Tip šine: UIC 60;
7. Nosivost praga (proračunsko osovinsko opterećenje na prag): 250 kN;
8. Brzina: max. 250 km/h;
9. Čvrstoća na pritisak probne kocke posle 28 dana: 60 MPa;
10. Čvrstoća na zatezanje probne kocke posle 7 dana: 6.5 MPa;
11. Električni otpor pragova u suvom: min. 6000 Ω .

U statičkom smislu, konstrukcija prednapregnutog železničkog betonskog praga predstavlja gredu na elastičnoj podlozi, čije je prednaprezanje izvršeno tokom proizvodnog procesa[9][12]. Tokom ovog procesa prag se prednapreže[6] sa 8 pravih glatkih žica[5] za prednaprezanje prečnika $\varnothing 7$ mm, postavljenih u projektovani položaj u kalupima za betoniranje. Početna sila predanprezanja žica je rezultat proračuna i zavisi od tipa, broja i prečnika žica za predanprezanje[10].

Posle prednaprezanja obavlja se betoniranje i beton neguje 7 dana za koje vreme treba da dostigne 70% od projektovane marke betona MB 60 [6]. Nakon toga, vrši se otpuštanje žica za prednaprezanje i beton neguje do starosti od 28 dana, kada treba da dostigne 100 % od projektovane marke betona. Tokom perioda od 28 dana, predviđeno je da se završe svi procesi

vezani za sazrevanje betona (elastična deformacija, skupljanje i tečenje), kao i relaksacija žice za prednaprezanje. U ovom periodu početna sila prednaprezanja praga, od početne vrednosti pada na krajnju, trajnu vrednost. Gubitak sile prednaprezanja je rezultat proračuna[4] određenog odgovarajućom regulativom.

Posle ovog procesa[7], prag je spreman za ugradnju i eksploataciju u skladu sa zahtevanim uslovima.

2. STATIČKA ANALIZA KONSTRUKCIJE ŽELEZNIČKOG PRAGA

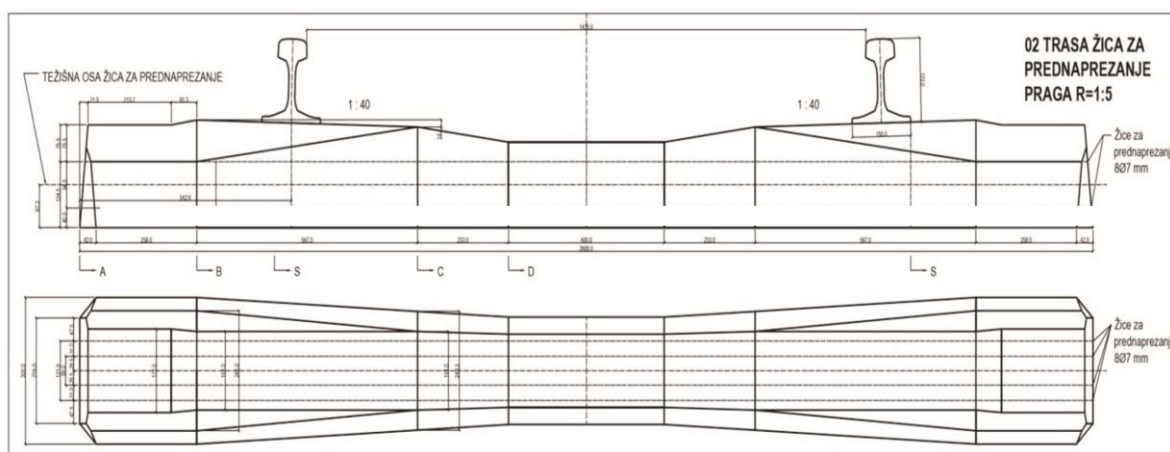
2.1. Opšti koncept analize

Statička analiza konstrukcije prednapregnutog železničkog betonskog praga je obavljena primenom metode konačnih elemenata (MKE) i odgovarajućeg softvera Tower.

Analiza je obavljena uz poštovanje regulative krajnjeg korisnika - "Železnica Srbije"[6][7][8]. Statički sistem konstrukcije je greda na elastičnoj podlozi. Konstrukcija praga je modelirana konačnim elementima grede a podloga je simulirana nizom vertikalnih fiktivnih prostih štapova, čiji poprečni presek odgovara projektovanoj krutosti podloge. Konstrukcija i opterećenje su simetrični, tako da je MKE analiza obavljena za poprečnu polovinu praga, dok su ulazni i izlazni podaci analize prikazani u numeričkom i grafičkom obliku u SI sistemu jedinica.

2.2. Proračun geometrije praga

Geometrija praga je određena tehnologijom proizvodnog procesa i eksploatacionim zahtevima Naručioca[9]. Na osnovu ovih uslova izrađeni su detaljni crteži praga[12] (slika 22.) koji predstavljaju osnovu za izradu računskog modela.



Slika 22. trasa žica za prednaprezanje praga

2.3. Proračun fiktivnih štapova i dopušteni naponi u konstrukciji

Fiktivni štapovi simuliraju krutosti podloge date projektnim zadatkom. Poprečni presek fiktivnih štapova se računa prema izrazu: $A_f = A \cdot c \cdot l / E_b$, gde je c - krutost podloge.

Dopušteni naponi u betonu su uzeti prema Pravilniku o tehničkim merama i uslovima za prednapregnuti beton[4].

Tabela T2. Dopušteni naponi u betonu [4]

Br.	VRSTA NAPONA	DOPUŠTENI NAPONI [MPa] ZA MARKU BETONA			
		MB 30	MB 40	MB 50	MB 60
1	Pritisak				
1.1	Ivični pritisak pri eksploataciji				
1.11	Sve konstrukcije osim t. 1.12	13.0	16.0	18.5	20.5
1.12	Pretežno dinamički opterećene konstrukcije (žel. mostovi, kranske staze i sl.)	11.5	14.0	16.5	18.5
1.13	Ivični pritisak pri prednaprezanju	15.0	19.5	23.0	26.0
1.2	Centrični pritisak				
1.21	Sve konstrukcije osim t. 1.22	9.0	11.0	12.5	14.0
1.22	Pretežno dinamički opterećene konstrukcije (žel. mostovi, kranske staze i sl.)	8.0	10.0	11.5	13.0
2	Zatezanje				
2.1	Ivično zatezanje u eksploataciji				
2.11	Sve konstrukcije osim t. 2.12	1.5	1.8	2.1	2.4
2.12	Pretežno dinamički opterećene konstrukcije (žel. mostovi, kranske staze i sl.)	0.0	0.0	0.0	0.0
2.2	Ivično zatezanje pri prednaprezanju za sve konstrukcije	2.5	3.0	3.5	4.0
3	Glavni naponi zatezanja				
3.1	Glavni naponi zatezanja u eksploataciji bez proračuna osiguranja	0.7	0.9	1.1	1.2
3.2	Glavni naponi zatezanja u eksploataciji sa proračunom osiguranja	1.5	2.0	2.5	3.0

2.4. Analiza opterećenja:

Sopstvena masa praga je zanemarena uz uzimanje u obzir korisnog opterećenja $P_y = 250$ kN.

Slučajevi opterećenja:

1. Faza početnog prednaprezanja
(70% čvrstoće betona: $f_{p7} = 0.70 \cdot 60.0 = 42.0$ MPa) uz silu početnog prednaprezanja N_{k0} ,
2. Faza trajnog prednaprezanja
(100% čvrstoće betona: $f_{p28} = 60.0$ MPa) uz silu trajnog prednaprezanja $N_{k\infty}$,
3. Faza eksploatacije:
Sila trajnog prednaprezanja + Korisno opterećenje: $N_{k\infty} + P_y$.

2.5. Proračun početne sile prednaprezanja

Materijal za prednaprezanje[5] je glatka čelična žica 8Ø7 mm sa modulom elastičnosti glatke žice $E_k = (2.05 \pm 0.10) \times 10^5$ MPa, karakteristične zatezne čvrstoće $f_k = 1670$ MPa i karakteristične prekidne sile $F_k = 1670 \times 10^6 \times A_k = 64261.6$ N.

S obzirom da je dozvoljena sila za 1 žicu $F_{adm} = 0.70 * F_k = 44983.12 \text{ N} \approx 45 \text{ kN}$, početna sila prednaprezanja (8 žica u preseku) iznosi:

$$N_{k0} = 8 * 45 = 360 \text{ kN}.$$

Karakterističan presek jeste presek ispod šine (S-S), koji se nalazi na rastojanju od $l=543\text{mm} \approx 0.55 \text{ m}$ (uslov Naručioca), te se smatra da je uneto 100 % sile prednaprezanja za ovaj presek.

Projektovana marka betona: **MB60**

Modul elastičnosti betona u fazi prednaprezanja, $t=7$ dana, čvrstoća betona 70 % od projektovane [4]:

$$f_{km7} = 0.70 * 60 = 42.0 \text{ MPa}$$

$$E_{b7} = 60E3 * f_{km} / (27 + f_{km}) = 36521 \text{ MPa}$$

Modul elastičnosti betona posle otpuštanja žica za prednaprezanje, $t=28$ dana, čvrstoća betona 100 % (prema [4], Čl. 12.):

$$f_{km} = 60.0 \text{ MPa}$$

$$E_b = 60E3 * f_{km} / (27 + f_{km}) = 41379 \text{ MPa}$$

Poasonov koeficijent:

$$\nu_b = 0.167$$

Koeficijent termičke dilatacije betona: $\alpha_T = 1E-5/^{\circ}\text{K}$ (prema [4], Čl. 20.)

Odnos modula elastičnosti žica za prednaprezanje i betona u fazi prednaprezanja, $t = 7$ dana, čvrstoća betona 70 % od projektovane:

$$n_k = E_k / E_b = 205000 / 36521 = 5.6$$

Težište žica za prednaprezanje (od donje ivice praga):

$$y_k = 40.00 + 94.50/2 = 87.25 \text{ mm} = 0.08725 \text{ m}$$

2.6. Proračun gubitaka sile prednaprezanja

2.6.1. Gubitak sile prednaprezanja usled skupljanja betona[4]:

Površina merodavnog poprečnog preseka betona (preseka H-H u sredini praga):

$$B = ((0.22 + 0.15)/2) * 0.175 = 0.032375 \text{ m}^2$$

Obim poprečnog preseka betona u dodiru sa vazduhom (preseka H-H):

$$O = 0.22 + 0.15 + 2 * 0.18 = 0.73 \text{ m}$$

Srednji radijus preseka: $d_m = 2B / O = (2 * 0.032375) / 0.73 = 0.09 \text{ m}$

Granična vrednost skupljanja (vlažna sredina, $v_l=70\%$): $\epsilon_{s\infty} = 0.36\%$

Odnos skupljanja betona u vremenu t (ϵ_{st}) i konačne veličine skupljanja betona ($\epsilon_{s\infty}$):

$$t = 7 \text{ dana: } \epsilon_{st} / \epsilon_{s\infty} = 0.20$$

$$t = 28 \text{ dana: } \epsilon_{st} / \epsilon_{s\infty} = 0.40$$

2.6.2. Gubitak sile prednaprezanja usled tečenja betona[4]:

Granične vrednosti koeficijenta tečenja nearmiranog betona za $t = \infty$, konstrukcija u vlažnoj sredini, $v_l=70\%$:

Starost betona pri nastajanju napona $t = 7$ dana: $\varphi_{\infty} = 3.0$

Starost betona pri nastajanju napona $t = 28$ dana: $\varphi_{\infty} = 2.2$

Odnos koeficijenta tečenja betona u vremenu t (φ_t) i konačne veličine tečenja betona (φ_{∞}):

Trajanje nanetog opterećenja $t = 7$ dana: $\varphi_t / \varphi_{\infty} = 0.20$

Trajanje nanetog opterećenja $t = 28$ dana: $\varphi_t / \varphi_{\infty} = 0.40$

2.6.3. Gubitak sile prednaprezanja usled trenutne deformacije betona neposredno posle otpuštanja žica:

Pad sile prednaprezanja usled trenutnih deformacija betona (neposredno posle otpuštanja žica):

$$\Delta N_{k0} = N_{k0} * n_k * A_k / B_i$$

Za presek ispod šine (S-S):

$$B_i = B - (n_k * A_k) = 0.0482812 \text{ m}^2$$

$$\Delta N_{k0} = 12.86 \text{ kN}$$

$$\Delta N_{k0} = (12.86 / 360) * 100 = 3.57 \%$$

$$N_k = N_{k0} - \Delta N_{k0} = 360 - 12.86 = 347.14 \text{ kN}$$

2.6.4. Gubitak sile prednaprezanja usled relaksacije čelika za prednaprezanje:

Relaksacija čelične žice: $\leq 2.50 \%$.

2.6.5. Promena sile prednaprezanja usled skupljanja betona i dugotrajnih uticaja

Promena napona u betonu usled skupljanja betona (s) i dugotrajnih uticaja (d):

$$\Delta \sigma_{b(s,d)} = ((\varepsilon_{st} * E_b / \varphi_{\infty}) + \sigma_{b(s,d)}) * (1 - e^{-\xi \varphi_{\infty}}) = 1.08 \text{ MPa}$$

Za presek ispod šine(E-E), na osnovu MKE analize slede karakteristike poprečnog preseka:

Površina poprečnog preseka: $B = 0.050006 \text{ m}^2$

Moment inercije poprečnog preseka: $I = I_{zz} = I_I = 0.00018541 \text{ m}^4$

Poluprečnik inercije preseka: $i^2 = I / B = 0.00018541 / 0.050006 = 0.0037 \text{ m}$

Položaj težišta betonskog preseka u odnosu na donju ivicu praga: $y_b = 0.099271$ m

Položaj težišta čelika u odnosu na donju ivicu praga: $y_k = 0.08725$ m

Ekscentricitet čelika u odnosu na težište betonskog jednostruko armiranog preseka ispod šine (S-S):

$$e_k = y_k - y_b = 0.08725 - 0.099271 = -0.012021 \text{ m} = -12 \text{ mm (težište žice ispod težišta betona)}$$

$$\text{Faktor: } \rho_1 = 1 + e_k^2 / i^2 = 1 + 0.012021^2 / 0.0037 = 1 + 0.039 = 1.039 \approx 1$$

$$\text{Odnos modula elastičnosti čelika i betona: } n_k = E_k / E_b = 205000 / 36521 = 5.6$$

$$\text{Procenat armiranja: } \omega_k = A_k / B = 3.08 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 / 0.050006 = 0.006$$

Faktor:

$$\xi = (n_k * \omega_k * \rho_1) / (1 + n_k * \omega_k * \rho_1) = (5.6 * 0.006 * 1) / (1 + 5.6 * 0.006 * 1) = 0.0325$$

Početni napon u betonu na mestu armature, dobijen odmah posle nanošenja opterećenja, tj., pri $t = 0$, usled trajnih uticaja (prednaprezanje i sva druga stalna opterećenja):

$$\sigma_{b(s,d)} = N_k / B_i = 347140 / 0.0482812 = 7189962 \text{ Pa} = 7.19 \text{ MPa}$$

Promena napona u betonu usled skupljanja betona (s) i dugotrajnih uticaja (d):

$$\Delta \sigma_{b(s,d)} = ((\epsilon_{st} * E_b / \varphi_{\infty}) + \sigma_{b(s,d)}) * (1 - e^{-\xi \varphi_{\infty}}) = ((0.36 \cdot 10^{-3} * 36521 \cdot 10^6 / 3.0) + 7.19 \cdot 10^6) * (1 - e^{-0.0325 * 3.0}) = 1075060 \text{ Pa} = 1.08 \text{ MPa}$$

Promena napona u čeliku za prednaprezanje usled skupljanja betona (s) i dugotrajnih uticaja (d):

$$\Delta \sigma_{k(s,d)} = - \Delta \sigma_{b(s,d)} / (\omega_k * \rho_1) = -179.18 \text{ MPa}$$

$$\Delta N_{k(s,d)} = \Delta \sigma_{k(s,d)} * A_k = 55.19 \text{ kN}$$

$$\Delta N_{k(s,d)} = (55.19 / 360) * 100 = 15.33 \%$$

2.6.6. Ukupni gubici i krajnja sila prednaprezanja:

$$\Sigma \Delta N_k = 3.57 + 2.50 + 15.33 = 21.40 \%$$

$$N_{k\infty} = 360 * (100 - 21.40) / 100 = 282.96 \approx \mathbf{283 \text{ kN}}$$

2.7. Računska kontrola napona za fazu ispitivanja pragova

Za postupak ispitivanja pragova, potrebno je sračunati vrednost početne sile kojom će se opteretiti prag na početku ispitivanja, za različite preseke i položaje praga pri ispitivanju.

- 2.7.1 Presek ispod šine odn. na mestu naleganja šine (E-E) – pri ispitivanju, prag je u normalnom položaju (opterećenje izaziva pozitivni projektni momenat) sa sledećim ulaznim podacima[7]:

Nominalno (računsko) opterećenje jednog točka: $Q = 125 \text{ kN}$

Koeficijent dinamičkog povećanja uticaja točka uzrokovan podužnim visinskim greškama koloseka:

- za brzinu $V \geq 200 \text{ km/h}$: $\varphi = 1.75$
- za brzinu $V \leq 200 \text{ km/h}$: $\varphi = 1.50$

Faktor raspodele opterećenja: $A = 0.5$

Koeficijent povećanja reakcije pragova u zastoru uzrokovane lošim uslovima naleganja: $\alpha = 1.35$

Koeficijent povećanja momenta savijanja ispod mesta naleganja šine uzrokovan neravnomernostima u podužnom oslanjanju praga: $\beta = 1.6$

Razmak između ose šine i kraja praga na donjoj strani praga: $L_p = 0.543 \text{ m}$

Projektovano rastojanje osa oslonaca naleganja pri ispitivanju: $L_r = 0.6 \text{ m}$

Polovina dužine raspodele opterećenja ispod mesta naleganja šine: $e = 0.233 \text{ m}$

Veličina zavisna od linije širenja opterećenja: $\lambda = (L_p - e) / 2 = (0.543 - 0.233) / 2 = 0.155 \text{ m}$

Pozitivni projektni momenat na mestu naleganja šine na prag[7]:

$$M_{dr} = Q * \varphi * A * \alpha * \beta * \lambda / 2 = 125 * 1.75 * 0.5 * 1.35 * 1.6 * 0.155 / 2 = 18.31 \text{ kNm}$$

Intenzitet početnog opterećenja pri ispitivanju praga na mestu oslanjanja šine na prag:

$$F_{r0} = 4 * M_{dr} / (L_r - 0.1) = 4 * 18.31 / (0.6 - 0.1) = 146.48 \text{ kN}$$

Pri samom postupku ispitivanja će se beležiti intenziteti karakterističnih sila (intenzitet sile koja izaziva pojavu prve prsline, prve prsline širine 0,05mm, ...).

Računski moment za kontrolu napona: $M_{dr} = 18.31 \text{ kNm}$

Računska normalna sila za kontrolu napona: $N_k = 283 \text{ kN}$

Ekscentricitet žice za prednaprezanje: $e_k = -12 \text{ mm}$ (težište žice ispod težišta betona)

Karakteristike poprečnog preseka:

$$A = 0.050006 \text{ m}^2$$

$$I = 0.00018541 \text{ m}^4$$

$$y_d = -0.099271 \text{ m}$$

$$y_g = 0.11573 \text{ m}$$

Starost betona: $t = 7$ dana

Projektovana marka betona: MB 60

Marka betona pri otpuštanju staze: MB 45

Marka betona za $t = 7$ dana (procena): $MB_7 = (45 + 60) / 2 = 52.5 \text{ MPa}$

Čvrstoća na zatezanje probne prizme posle 7 dana: $f_{zs} = 6.5 \text{ MPa}$;

Dozvoljeni naponi u betonu za MB52.5 (tabela T2 - interpolacija):

$$\text{Ivični napon: } \sigma_r = 18.5 + (20.5 - 18.5) * 0.3 = 19.10 \text{ MPa}$$

$$\text{Središnji napon: } \sigma_s = 12.5 + (14 - 12.5) * 0.3 = 12.95 \text{ MPa}$$

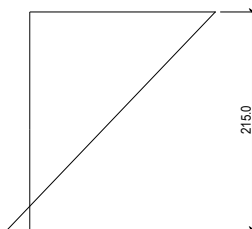
Ukupan napon u donjem vlaknu:

$$\sigma_d = N_k / A + (N_k * e_k / I) * y_d - (M_{dr} / I) * y_d = -2.33 \text{ MPa} < f_{zs} = -6.5 \text{ MPa}$$

Ukupan napon u gornjem vlaknu:

$$\sigma_g = N_k / A - (N_k * e_k / I) * y_g + (M_{dr} / I) * y_g = 14.97 \text{ MPa} < \sigma_r = 19.10 \text{ MPa}$$

$$\sigma_g = -19.10 \text{ MPa (pritisak)}$$



$$\sigma_d = 2.33 \text{ MPa (zatezanje)}$$

Slika 23. Presek E-E – ispod šine. Dijagram napona.

2.7.2 Presek u sredini praga (H-H) – pri ispitivanju, prag je u normalnom položaju - za pozitivni projektni momenat:

Ulazni podaci:

Pozitivni projektni momenat na mestu naleganja šine: $M_{dr} = 18.31 \text{ kNm}$

Projektovano rastojanje između osa mesta naleganja šina: $L_c = 1.5 \text{ m}$

Moment inercije poprečnog preseka ispod šine: $I_r = 0.00018541 \text{ m}^4$

Moment inercije poprečnog preseka u sredini praga: $I_c = 0.000081638 \text{ m}^4$

Pozitivni projektni momenat u sredini praga[7]:

$$M_{dc} = 1.2 * M_{dr} * (I_c / I_r) = 1.2 * 18.31 * 0.000081638 / 0.00018541 = 9.67 \text{ kNm}$$

Računska normalna sila za kontrolu napona: $N_k = 283 \text{ kN}$

Ekscentricitet žice za prednaprezanje:

$$e_k = y_k - y_b = 0.08725 - 0.081982 = 5.3 \text{ mm (težište žice iznad težišta betona)}$$

Starost betona: $t = 7 \text{ dana}$

Projektovana marka betona: MB 60

Marka betona pri otpuštanju staze: MB 45

Marka betona za $t = 7 \text{ dana}$ (procena): $MB_7 = (45 + 60) / 2 = 52.5 \text{ MPa}$

Čvrstoća pri zatezanju probne prizme posle 7 dana: $f_{zs} = 6.5 \text{ MPa}$

Dozvoljeni naponi u betonu za MB52.5 (tabela T2 - interpolacija):

$$\text{Ivični napon: } \sigma_r = 18.5 + (20.5 - 18.5) * 0.3 = 19.10 \text{ MPa}$$

$$\text{Središnji napon: } \sigma_s = 12.5 + (14 - 12.5) * 0.3 = 12.95 \text{ MPa}$$

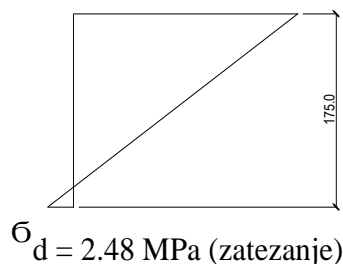
Ukupan napon u donjem vlaknu:

$$\sigma_d = N_k / A + (N_k * e_k / I) * y_d - (M_{dc} / I) * y_d = -2.48 \text{ MPa} < f_{zs} = -6.5 \text{ MPa}$$

Ukupan napon u gornjem vlaknu:

$$\sigma_d = N_k / A - (N_k * e_k / I) * y_g + (M_{dc} / I) * y_g = 21.47 \text{ MPa} > \sigma_r = 19.10 \text{ MPa}$$

$$\sigma_g = -21.47 \text{ MPa (pritisk)}$$



Slika 24. Presek H-H –sredina praga. Dijagram napona.

2.7.3 Presek u sredini praga (H-H) – pri ispitivanju, prag je u obrnutom položaju - opterećenje izaziva negativni projektni momenat u pragu:

Pozitivni projektni momenat u sredini praga: $M_{dc} = 9.67 \text{ kNm}$

Projektovano rastojanje između osa mesta naleganja šina: $L_c = 1.5 \text{ m}$

Za prevrnuti presek u sredini praga (D-D), prema MKE analizi slede karakteristike poprečnog preseka:

$$A = 0.032375 \text{ m}^2$$

$$I = 0.000081638 \text{ m}^4$$

$$y_g = -0.081982 \text{ m}$$

$$y_d = 0.093018 \text{ m}$$

Negativni projektni momenat u sredini praga:

$$M_{dcn} = 2 * M_{dc} = 2 * 9.67 = 19.34 \text{ kNm}$$

Računska normalna sila za kontrolu napona: $N_k = 283 \text{ kN}$

Ekscentricitet žice za prednaprezanje:

$$e_k = y_k - y_b = 0.08725 - 0.081982 = 5.3 \text{ mm (težište žice ispod težišta betona)}$$

Starost betona: $t = 7 \text{ dana}$

Projektovana marka betona: MB 60

Marka betona pri otpuštanju staze: MB 45

Marka betona za $t = 7$ dana (procena): $MB_7 = (45 + 60) / 2 = 52.5 \text{ MPa}$

Čvrstoća pri zatezanju probne prizme posle 7 dana: $f_{zs} = 6.5 \text{ MPa}$

Dozvoljeni naponi u betonu za MB52.5 (tabela T2 - interpolacija):

Ivični napon: $\sigma_r = 18.5 + (20.5 - 18.5) * 0.3 = 19.10 \text{ MPa}$

Središnji napon: $\sigma_s = 12.5 + (14 - 12.5) * 0.3 = 12.95 \text{ MPa}$

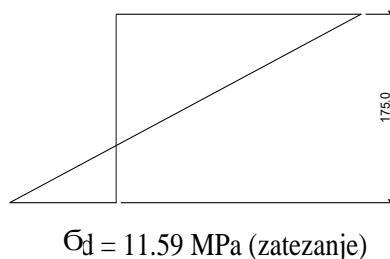
Ukupan napon u donjem vlaknu:

$\sigma_d = N_k / A + (N_k * e_k / I) * y_d - (M_{dc} / I) * y_d = -11.59 \text{ MPa} < f_{zs} = -6.5 \text{ MPa}$

Ukupan napon u gornjem vlaknu:

$\sigma_g = N_k / A - (N_k * e_k / I) * y_g + (M_{dc} / I) * y_g = 26.65 \text{ MPa} > \sigma_r = 19.10 \text{ MPa}$

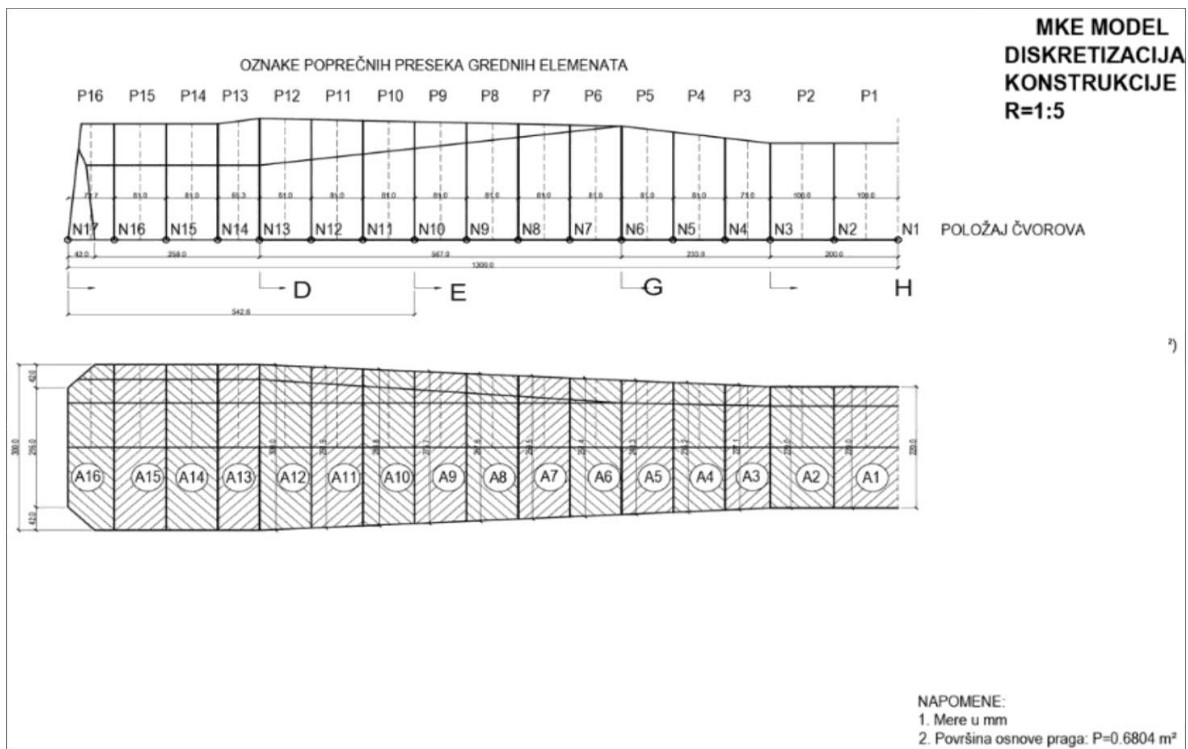
$\sigma_g = -26.65 \text{ MPa}$ (pritisak)



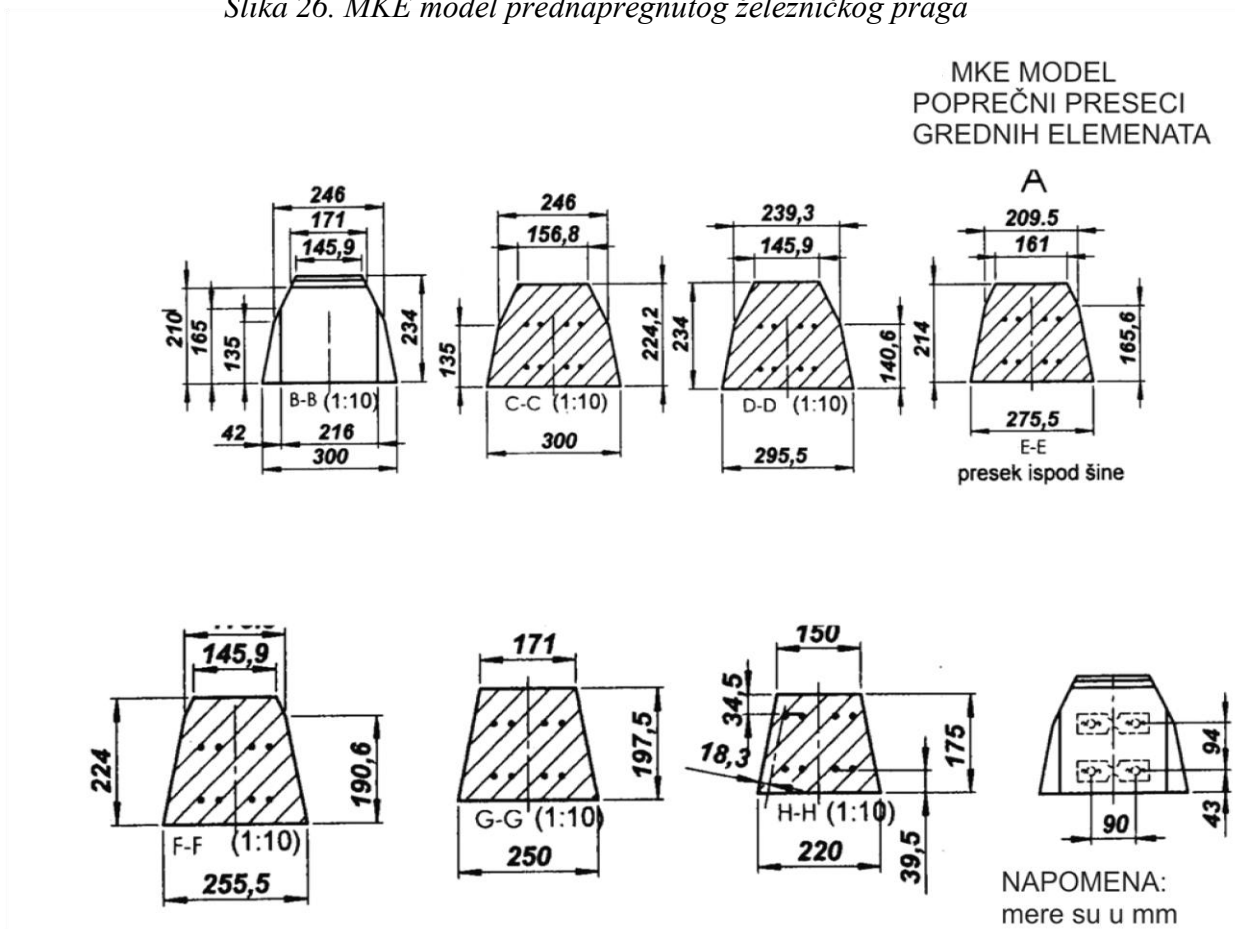
Slika 25. Presek (H-H)- sredina praga, prag obrnut. Dijagram napona

2.8. MKE model - matematičko modeliranje (MKE) prednapregnutog betonskog praga (diskretizacija konstrukcije prednapregnutog betonskog praga i izrada MKE modela)

Statički sistem konstrukcije prednapregnutog betonskog praga je greda na elastičnoj podlozi. Konstrukcija praga je modelirana konačnim elementima grede[49] koji su oslonjeni na podlogu odgovarajuće krutosti. Konstrukcija i opterećenje su simetrični, tako da se MKE analiza može izvršiti i za poprečnu polovinu praga ali i modeliranjem celog praga. Nosač - gredu posmatramo kao sistem sastavljen od diskretnih elemenata – štapova koji su povezani u čvorovima nosača. U konkretnom slučaju, izvršena je diskretizacija konstrukcije praga na 32 odn. 16 (polovina raspona praga) konačnih elemenata koji su međusobno povezani u čvorovima i čine mrežu konačnih elemenata.

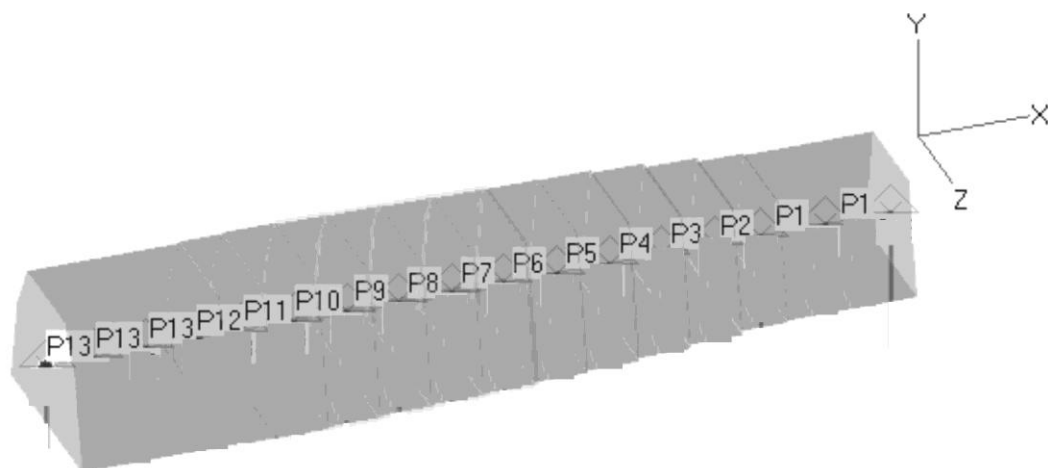


Slika 26. MKE model prednapregnutog železničkog praga

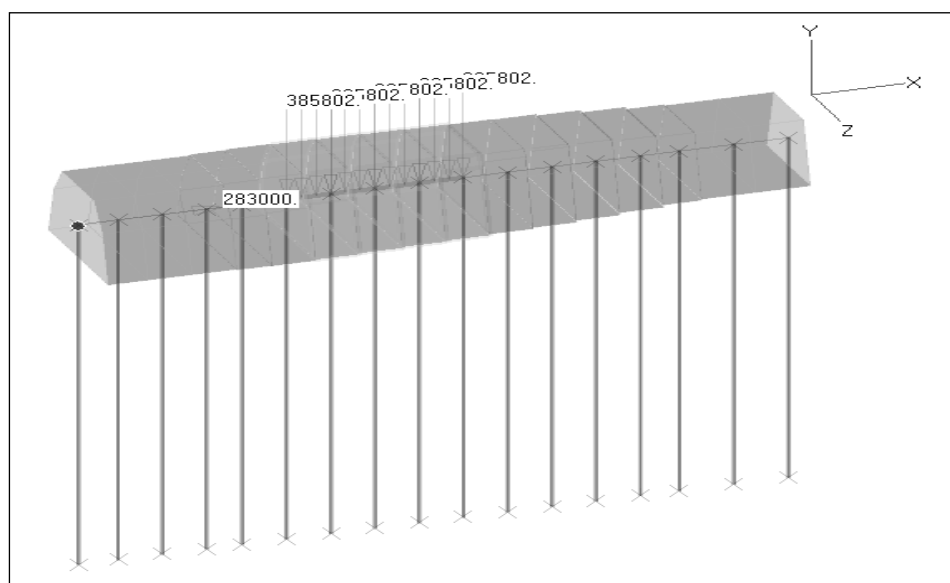


Slika 27. MKE model - Poprečni preseki grednih elemenata

Modeliranje MKE modela je, dakle, izvršeno diskretizacijom strukture konstrukcije prednapregnutog betonskog praga na odgovarajući broj konačnih diskretnih elemenata - štapova. S obzirom da su opterećenje i elastična podloga kao oslonac definisani, sledi automatizovani proračun deformacijsko-naponskog stanja uz upotrebu Tower software-a.



Slika 28. MKE model – elementi (3D prikaz), poprečni preseki (P1...P13), oslonci (F).



Slika 29. MKE model – čvorovi, elementi (3D prikaz), položaj i intenzitet opterećenja (N, Nm).

Konačna sila prednaprezanja praga (deluje u čvoru na kraju praga):

$$P_x = 283000 \text{ N} = 283 \text{ kN}$$

Korisno opterećenje na delu naleganja šine:

Dužina prostiranja opterećenja od točka (usvojeno): $L = 0.324 \text{ m}$

Koncentrisano opterećenje od točka:

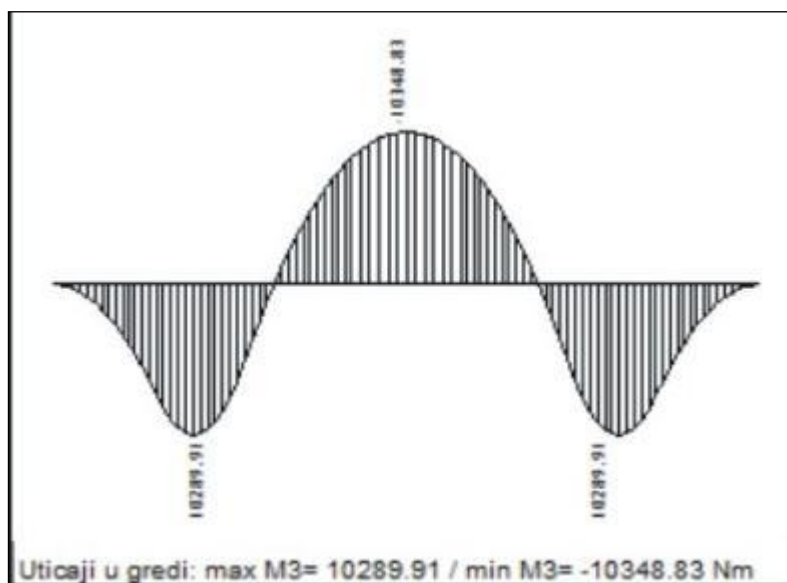
$$P_y = 125000 \text{ N} = 125 \text{ kN}$$

Podeljeno opterećenje

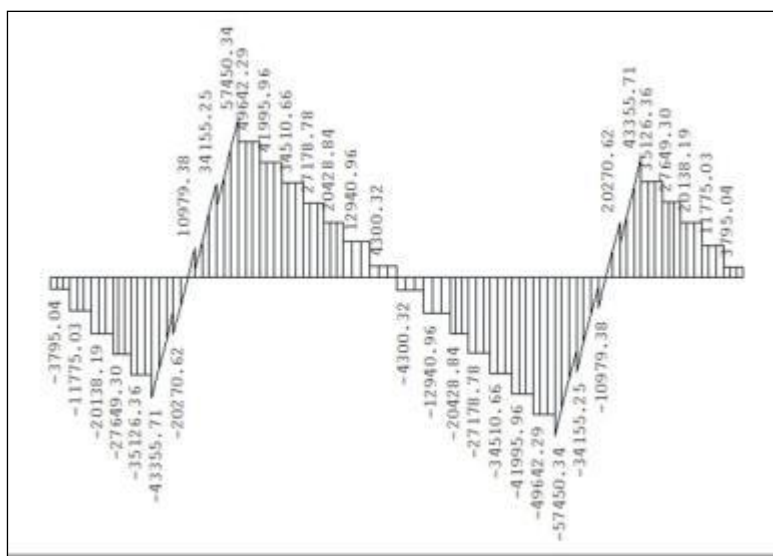
$$p_y = 125000 / 0.324 = 385802 \text{ N/m}$$

2.9. **MKE analiza** – Proračun je izvršen uzimajući u obzir različite krutosti podloge (od $c_1=50 \times 10^6 \text{ N/m}^3$ do $c_5=400 \times 10^6 \text{ N/m}^3$).

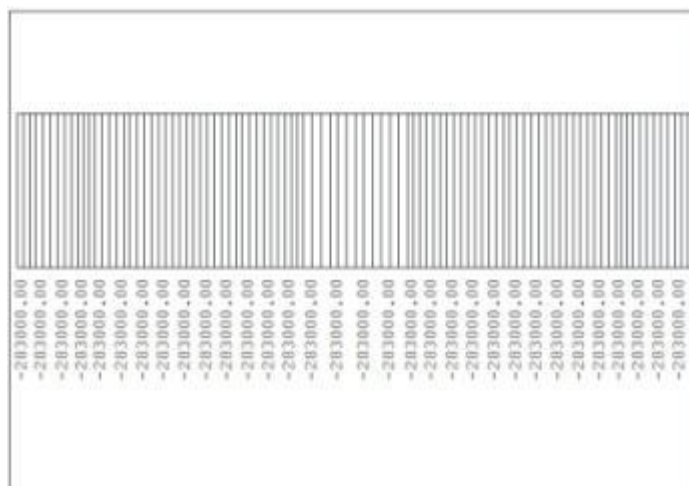
Za krutost podloge $c_1=50 \times 10^6 \text{ N/m}^3$, dobijeni su sledeći rezultati (dijagrami):



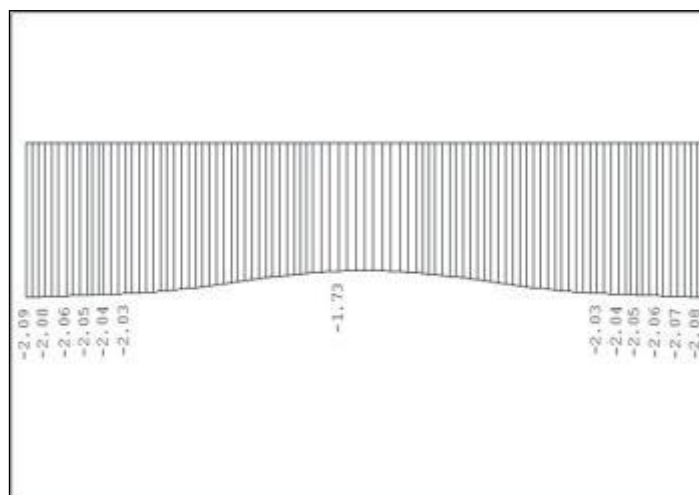
Slika 30. Dijagram momenta savijanja (Nm). Ekstremne vrednosti: +10,28991 / -10,34883 kNm.



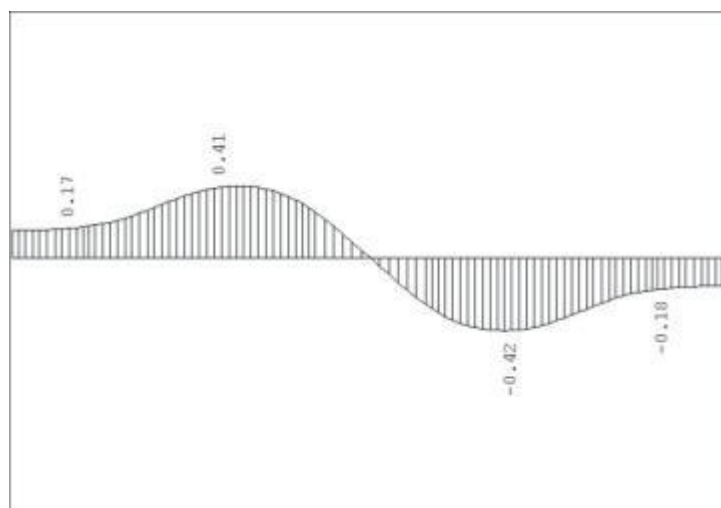
Slika 31. Dijagram transverzalnih sila (T). Ekstremne vrednosti: +43,35 / -57,45 kN.



Slika 32. Dijagram normalnih sila (N). Vrednost: -283 kN (pritisak).



Slika 33. Dijagram vertikalnih deformacija (m/1000). Ekstremna vrednost: -2,09 mm.



Slika 34. Dijagram rotacija preseka (rad/1000). Ekstremna vrednost: -0.00041 rad.

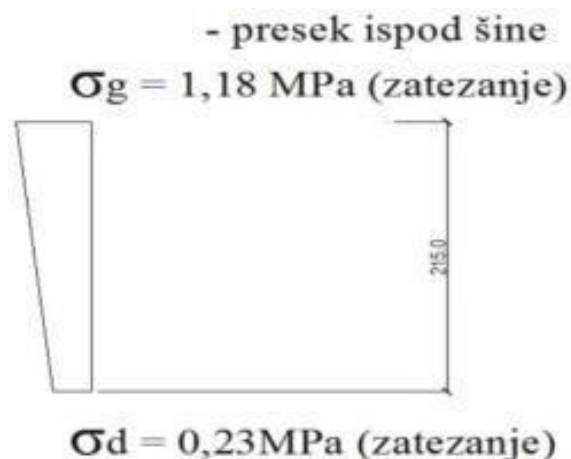
$$\alpha = 0.00041 * 180 / \pi = 0.0235 ^\circ$$

2. 10. Kontrola napona za normalnu eksploataciju praga

- Na mestu max. momenta (ispod šine):

$$\text{Donje vlakno: } \sigma_d = N / A + (M_{\text{MAX}} / I) * y = 0.23 \text{ MPa} < \sigma_{\text{DOP}} = 2.4 \text{ MPa}$$

$$\text{Gornje vlakno: } \sigma_g = N / A + (M_{\text{MAX}} / I) * y = 1.18 \text{ MPa} < \sigma_{\text{DOP}} = 20.5 \text{ MPa}$$



Slika 35. Presek E-E – Presek ispod šine. Dijagram napona.

- Na mestu minimalnog momenta (u sredini praga):

$$\text{Donje vlakno: } \sigma_d = N / A + (M_{\text{MIN}} / I) * y = -20.5 \text{ MPa} < \sigma_{\text{DOP}} = 20.5 \text{ MPa}$$

$$\text{Gornje vlakno: } \sigma_g = N / A + (M_{\text{MIN}} / I) * y = 1.65 \text{ MPa} < \sigma_{\text{DOP}} = 20.5 \text{ MPa}$$

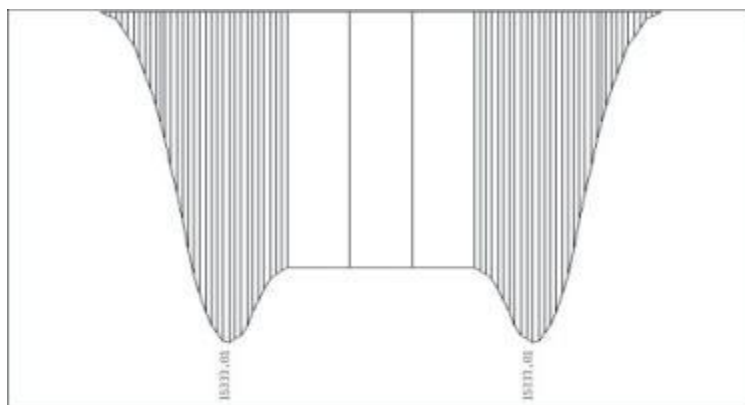


Slika 36. Presek H-H – sredina praga. Dijagram napona.

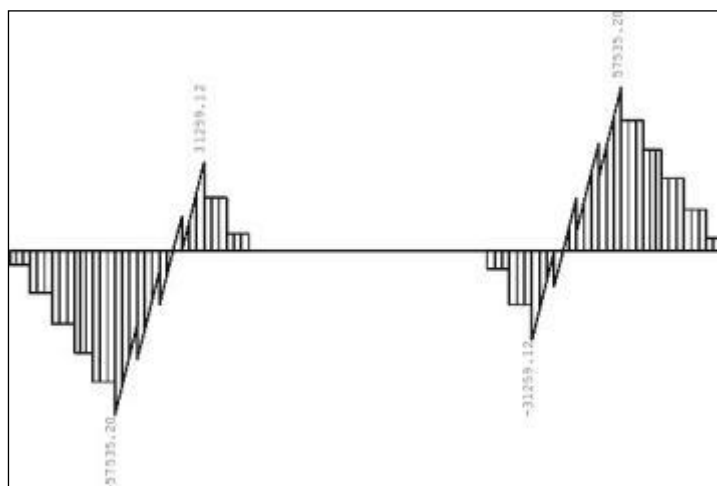
2.11. MKE analiza posle podbijanja praga odnosno povećanja krutosti podloge na delu praga ispod mesta oslanjanja šine na prag. Prag se podbija u dužini od 1/3 dužine praga, sa obe strane. Posle podbijanja, sredina praga ostaje bez oslonca.

Posle podbijanja praga na $L/3$, takodje je izvršen proračun uzimajući u obzir različite krutosti podloge (od $c_1=50 \times 10^6 \text{ N/m}^3$ do $c_5=400 \times 10^6 \text{ N/m}^3$).

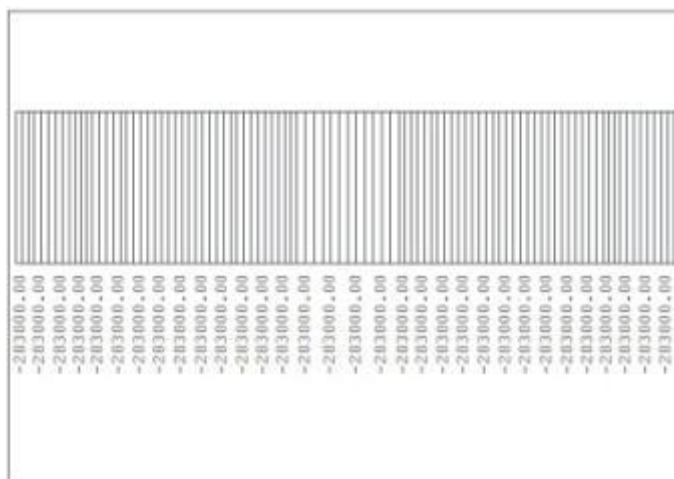
Rezultati proračuna za slučaj posle podbijanja praga na $L/3$ uz krutost podloge $c_1=50 \times 10^6 \text{ N/m}^3$, su:



Sl. 37. Dijagram momenta savijanja (Nm). Ekstremne vrednosti: +15,333 / 11,838 kNm.



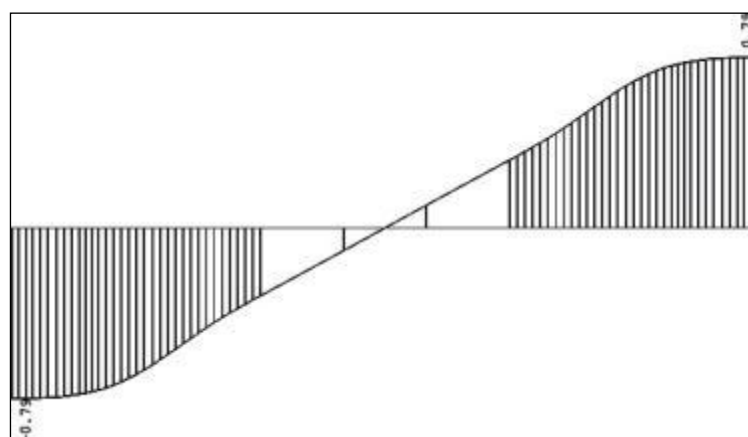
Sl. 38. Dijagram transverzalnih sila (T). Ekstremne vrednosti: +57,5 / -31,2 kN.



Sl. 39. Dijagram normalnih sila (N). Vrednost: -283 kN (pritisak).



Sl. 40. Dijagram vertikalnih deformacija (m/1000). Ekstremna vrednost: -3,18 mm.



Sl. 41. Dijagram rotacija preseka (rad/1000). Ekstremna vrednost: -0.00079 rad.

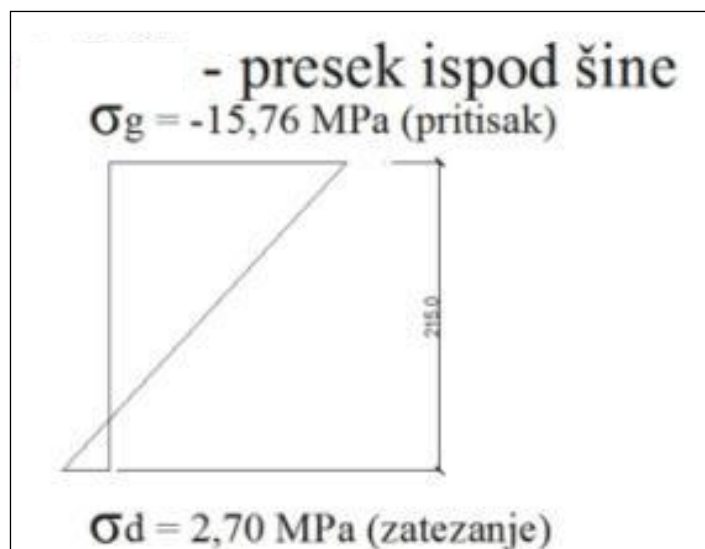
$$\alpha = 0.00079 * 180 / \pi = 0.04526^\circ$$

2.12. Kontrola napona za prag sa podbijanjem

- Na mestu max. momenta (ispod šine):

Donje vlakno: $\sigma_d = N / A + (M_{MAX} / I) * y = 2,7 \text{ MPa} < \sigma_{DOP} = 2.4 \text{ MPa}$

Gornje vlakno: $\sigma_g = N/A + (M_{MAX} / I) * y = -15,76 \text{ MPa} < \sigma_{DOP} = 20.5 \text{ MPa}$

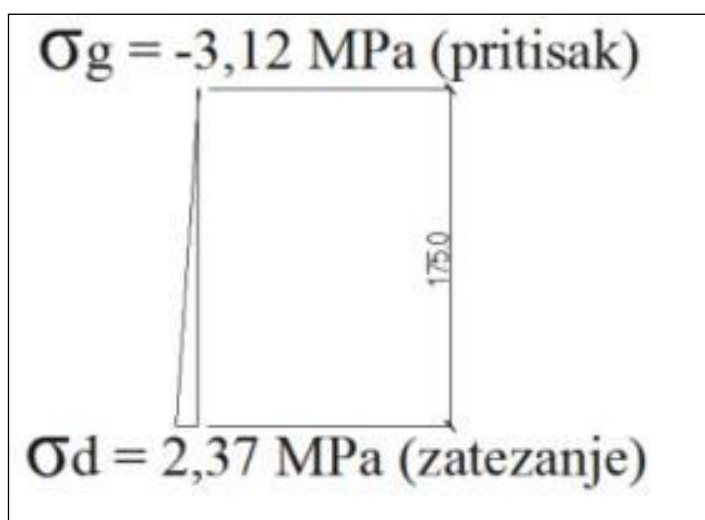


Slika 42. Presek E-E – ispod šine, M_{max} . Dijagram napona.

- Na mestu min. momenta (u sredini praga):

Donje vlakno: $\sigma_d = N / A + (M_{MIN} / I) * y = 2,37 \text{ MPa} < \sigma_{DOP} = 2.4 \text{ MPa}$

Gornje vlakno: $\sigma_g = N / A + (M_{MIN} / I) * y = -3,12 \text{ MPa} < \sigma_{DOP} = 20.5 \text{ MPa}$



Slika 43. Presek H-H – u sredini praga, M_{min} . Dijagram napona.

2.13. Kontrola glavnih napona zatezanja (za odabrani čvor):

- Presek u čvoru 12 (krutost podloge $c_1=50E6 \text{ N/m}^3$)

Statički uticaji:

$$M = 10289,91 \text{ Nm}$$

$$T = 46479 \text{ N}$$

$$N = -283000 \text{ N}$$

Stvarna angažovana sila prednaprezanja u čvoru 12:

Odstojanje od kraja praga do čvora 12: $l_{12} = 0.381 \text{ m}$

Odstojanje od kraja praga do tačke punog angažovanja sila prednaprezanja: $l_s = 0.550 \text{ m}$

$y = a * x^2$ (funkcija dijagrama sile prednaprezanja – kvadratna parabola)

$$100 \% = a * 0.550^2$$

$$a = 100 / 0.550^2 = 330.5785$$

$$y = 330.5785 * x^2 = 330.5785 * 0.381^2 = 47.987 \%$$

$$N_{12} = -283000 * 47.987 / 100 = -135804 \text{ N} \approx -136 \text{ kN}$$

Odstojanje težišta žica za prednaprezanje od donje ivice praga: $y_k = 0.08725 \text{ m}$

Ekscentricitet žice za prednaprezanje:

$$e_k = -0.099687 + 0.08725 = -0.012437 \text{ m} = -12.4 \text{ mm}$$

(neutralna osa iznad težišta žica za prednaprezanje)

Statički moment betonskog preseka: $S_b = A_b * y_b = 0.051708 * 0.099687 = 5155E-6 \text{ m}^3$

Otporni moment - donje vlakno: $W_d = I / y_d = 0.00019385 / 0.099687 = 0,001945 \text{ m}^3$

Otporni moment - gornje vlakno: $W_g = I / y_g = 0.00019385 / 0.11731 = 1652E-6 \text{ m}^3$

Normalni naponi - donje vlakno:

$$\sigma_d = - (N / A) - (N * e_k) / W_d + M / W_d = 1,79 \text{ MPa} \quad (\text{ZATEZANJE})$$

Normalni naponi - gornje vlakno:

$$\sigma_g = -(N / A) - (N * e_k) / W_g + M / W_g = -7.84 \text{ MPa} \quad (\text{PRITISAK})$$

Statički moment odsečene površine betonskog preseka (MKE analiza):

$$S_g = 0.024104 * 0.054071 = 0.001303 = 1303 \text{E-6 m}^3$$

$$b = 0.23988 \text{ m}$$

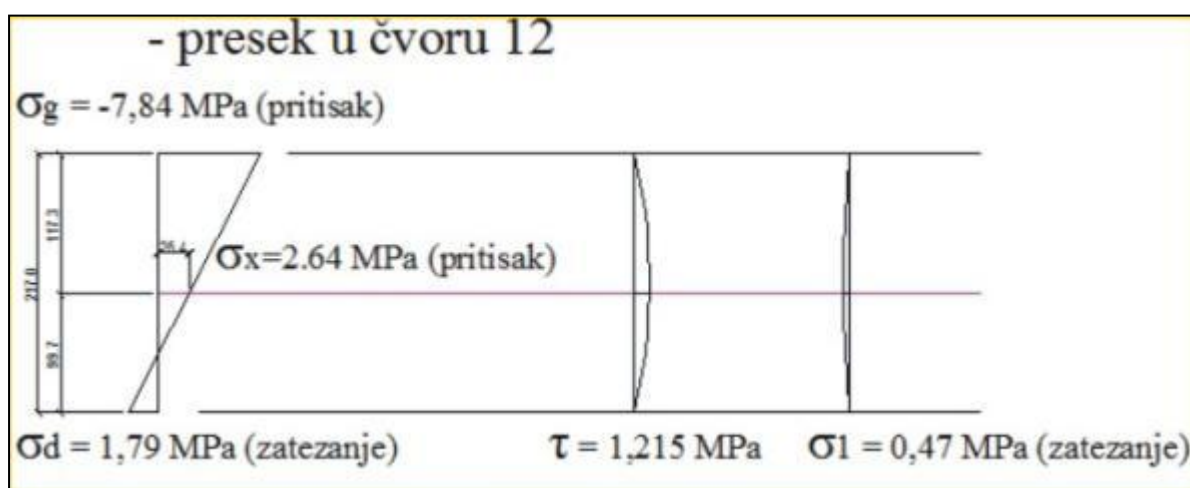
Smičući napon: $\tau = T * S_g / (b * I) = 1.215 \text{ MPa}$

Normalni napon u neutralnoj osi: $\sigma_x = 2.64 \text{ MPa}$

Glavni napon zatezanja:

$$\sigma_I = (\sigma_x / 2) + ((\sigma_x^2 / 4) + \tau^2)^{0.5} = 0.47 \text{ MPa} < \sigma_{DOP} = 1.20 \text{ MPa}$$

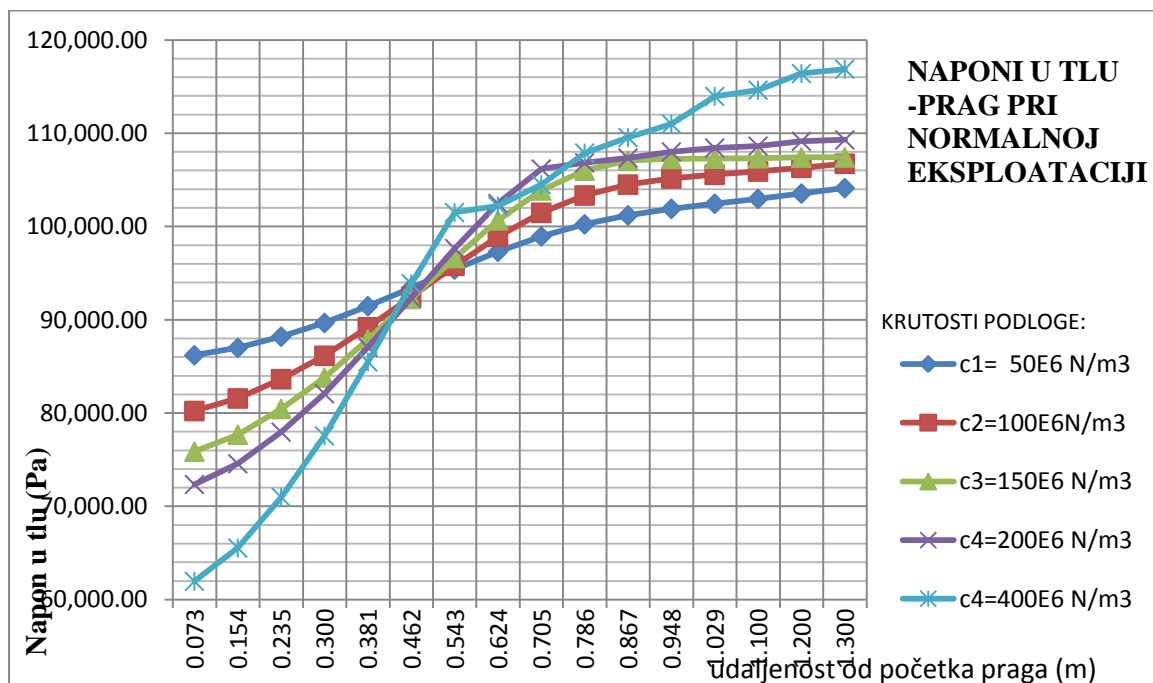
(OSIGURANJE OD GLAVNIH NAPONA ZATEZANJA JE NEPOTREBNO!)



Slika 44. Presek u čvoru 12. Dijagram napona.

2.14 Kontrola napona u tlu

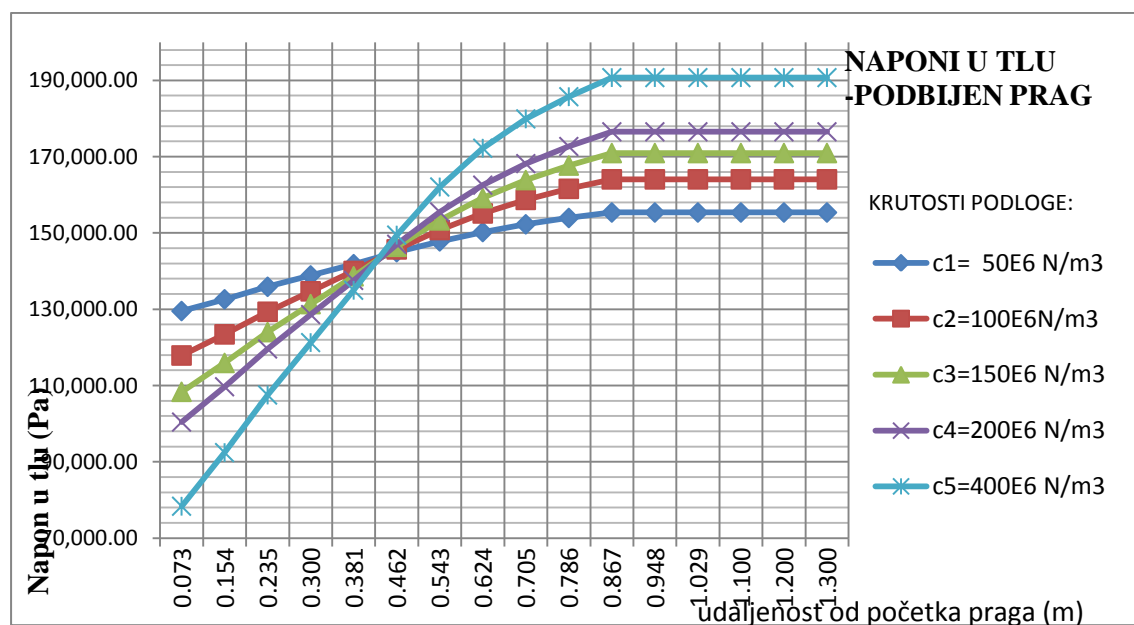
2.14.1. Proračunom napona u tlu pri normalnoj eksploataciji, uzimajući u obzir različite krutosti tla, dobijeni su dijagrami napona u tlu:



Karakteristični presek - ispod šine: $x = 0.757 \text{ m}$.

Slika 45. Dijagrami napona u tlu-normalna eksploatacija, presek ispod šine

2.14.2. Proračunom napona u tlu posle podbijanja praga na $L/3$ raspona, uzimajući u obzir različite krutosti tla, dobijeni su dijagrami napona u tlu:



Karakteristični presek - granica podbijanja: $x = 0.433 \text{ m}$.

Slika 46. Dijagrami napona u tlu - podbijen prag

3. ZAKLJUČAK

Pravilnikom za proračun prednapregnutih betonskih pragova[4][7] se predviđa mogućnost da na jednoj dužini dodje do gubitka zastora ispod praga što nepovoljno utiče na distribuciju sila i raspodelu napona u samom pragu. Ova faza proračuna je neophodna da bi se dokazalo da je i pri takvom stanju prednapregnuti prag spreman da primi i prenese opterećenje. Na gore navedenim dijagramima, jasno je pokazan način raspodele opterećenja kod praga koji nema zastor i kod istog praga koji ima zastor.

VII PRIKAZ PRORAČUNA PREDNAPREGNUTOG BETONSKOG SKRETNIČKOG ŽELEZNIČKOG PRAGA [13]

S obzirom da je već prikazan postupak proračuna prednapregnutog betonskog praga - tip B70, u prikazu proračuna skretničkog prednapregnutog betonskog praga navodimo samo karakteristične detalje istog[13].

1. Iz tehničkog opisa...

Tokom procesa prednaprezanja, skretnički prag se prednapreže sa 18 pravih glatkih žica za prednaprezanje, prečnika Ø6 mm, postavljenih u projektovani položaj u kalupima za betoniranje[59]. Kao varijantno rešenje, data je mogućnost prednaprezanja praga i sa 15 užadi za prednaprezanje prečnika Ø7 mm. Položaj žica za prednaprezanje u pragu u zoni oslanjanja šine može odstupati od projektovanog za max ± 3 mm. Početna sila prednaprezanja žica je rezultat proračuna i zavisi od tipa, broja i prečnika žica odn. užadi za prednaprezanje. Primenjena početna sila prednaprezanja može odstupiti za max. $\pm 5\%$ od projektom predviđene vrednosti. Na veličinu sile prednaprezanja takođe utiče i izbor tipa šine [58] (projektnim zadatkom je određena šina tipa 60E1) jer su one predviđene za prijem određenog osovinskog opterećenja. S obzirom da se na skretničkim prednapregnutim betonskim pragovima predviđa montaža jedne vrste šina (60E1), posebnu pažnju treba obratiti na zahtevane karakteristike pruge na kojoj se ugrađuju ovi pragovi. Tako, šina 60E1 (UIC60) prihvata osovinska opterećenja do 250kN i brzine do 200 km/h kao i godišnje saobraćajno opterećenje veće od 10 miliona bruto tona.

Tip elastičnog pričvrsnog pribora nije posebno analiziran i ostavlja se investitoru da odredi koji će sistem koristiti. Proizvođač pričvrsnog pribora i proizvođač skretnice su u obavezi da daju tačan raspored postavljanja kotvi (tiplova) za montažu pričvrsnog pribora na oplatu pragova, u skladu sa tipom skretnice odnosno njenim poluprečnikom. Ovim projektom je obrađena skretnica radijusa 1200m. Za skretnice drugog radijusa, dužine pragova će takođe biti od 2600mm do 4700mm ali će raspored odn. položaj kotvi (tiplova) za ankerovanje pričvrsnog pribora biti potpuno drugačiji. Iz razloga ekonomičnosti, zbog pomenutog različitog položaja kotvi kod skretnica različitog radijusa, preporučuje se proizvodnja skretničkih pragova na traci odnosno po long-line tehnologiji. U tom slučaju se bočne stranice oplata mogu uvek koristiti a menja se, i posebno obrađuje, samo podna oplata sa posebnim rasporedom kotvi.

Ovako proizvedeni pragovi moraju biti obeleženi i to tako da su na sredini gornje površine praga utisnuti sledeći podaci: naziv proizvođača, datum (d/m/g) proizvodnje, broj kalupa sa serijskim brojem praga, tip praga, širina nožice šine, inicijali JŽ ili na način kako to odredi krajnji korisnik, što definiše krajnji korisnik u ugovoru sa proizvođačem pragova.

Posle procesa proizvodnje i ispitivanja odnosno testiranja kvaliteta proizvedenih pragova, prag je spreman za ugradnju i eksploataciju u skladu sa zahtevanim uslovima.

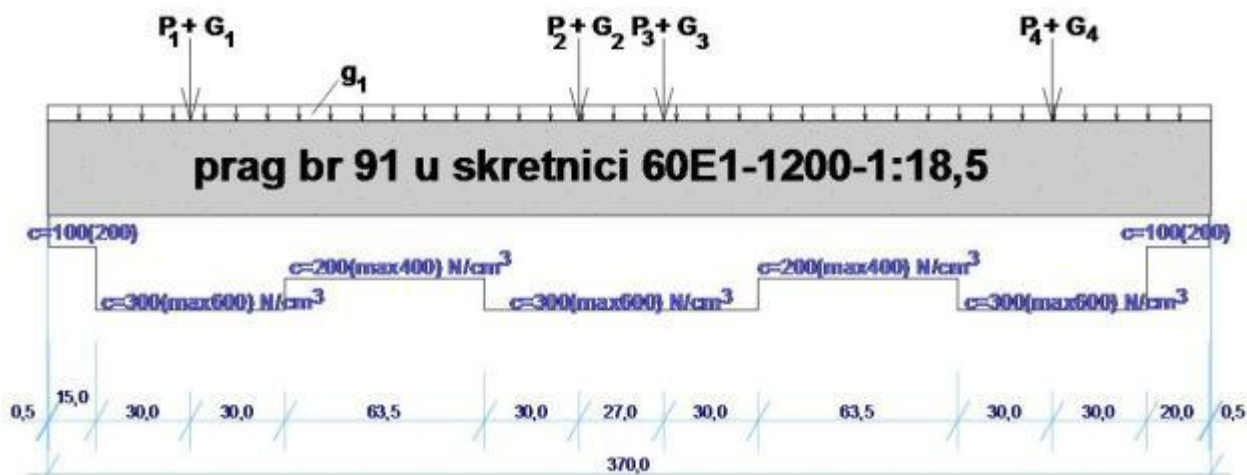
Laboratorijsko testiranje na statičko, dinamičko i zamorno opterećenje se vrši na pragovima starosti min 4 nedelje. Krajnji korisnik, pored laboratorijskog, može zahtevati i eksploataciono ispitivanje prednapregnutog železničkog betonskog praga radi dobijanja dozvole za korišćenje istog.

2. PRORAČUN PRITISKA ŠINA NA BETONSKE PRAGOVE

Na osnovu iskustava u eksploataciji betonskih pragova[15], usvojen je prag konstantnog poprečnog preseka širine donje strane 30 cm, gornje strane 28 cm i visine 22 cm. Dužine pagova su od 260 cm, na svakih 10 cm, do 470 cm[15].

2.1. Proračun pritiska šina na prednapregnuti betonski prag broj 91 u skretnici radijusa R=1200 metara

Raspodela reaktivnih pritisaka posteljice odn. zastorne prizme po dužini praga:



Slika 47. Šema opterećenja i krutosti podloge za prag broj 91

Mehanizovano podbijanje zastora ispod pragova za rezultat ima dobro podbijene delove praga neposredno ispod šina, relativno dobro podbijene delove praga između šina i slabo podbijene krajeve pragova ispod kojih se istiskuju čestice zastora što je uzrok slabljenja podbijenosti. Ove neravnomerne vrednosti koeficijenta posteljice ispod pragova su i eksperimentalno potvrđene pa se uzimaju kao nepobitna činjenica.

Prosečna vrednost krutosti podloge (raspodela prema slici):

$$c_{\min} = \frac{1}{370} [100(15 + 20) + 200 \times 63,5 \times 2 + 300(60 \times 3 + 27)] = 246 \text{ N/cm}^3$$

$$c_{\max} = \frac{1}{370} [200(15 + 20) + 400 \times 63,5 \times 2 + 600(60 \times 3 + 27)] = 492 \text{ N/cm}^3$$

Modul elastičnosti zastorne podloge:

$$U_{zp,min} = 246 \frac{30[15 + 60 + 0,5(63,5 + 27)]}{60} = 14790 \text{ N/cm}^2$$

$$U_{zp,min} = 492 \frac{30[15 + 60 + 0,5(63,5 + 27)]}{60} = 29580 \text{ N/cm}^2$$

Položaj šina u odnosu na osu praga:

$$x_1 = 292 + 0,5 \times 310 = 447 \text{ mm} = a_1$$

$$x_2 = 292 + 310 + 935 + 155 = 1692 \text{ mm}$$

$$x_3 = 292 + 310 + 935 + 570 - 155 = 1952 \text{ mm}$$

$$x_4 = 292 + 310 + 935 \times 2 + 570 + 155 = 3197 \text{ mm}$$

Ukupna dužina praga: $L = 3197 + 155 + 348 = 3700 \text{ mm}$

Prepusti praga: $a_1 = x_1 = 447 \text{ mm}$, $a_2 = 155 + 348 = 503 \text{ mm}$

Osovinski razmaci šina osnovnog i odvojnog koloseka:

$$L_{os} = x_3 - x_1 = 1952 - 447 = 1505 \text{ mm}$$

$$L_{od} = x_4 - x_2 = 3197 - 1692 = 1505 \text{ mm}$$

Punktualna krutost elastičnog oslonca praga na zastornu podlogu:

$$D_{zp,min} = U_{zp,min} \times L = 14790 \times 60 = 887400 \frac{\text{N}}{\text{cm}} = 887,40 \text{ kN/cm}$$

$$D_{zp,max} = U_{zp,max} \times L = 29580 \times 60 = 1774800 \frac{\text{N}}{\text{cm}} = 1774,80 \text{ kN/cm}$$

Punktualna krutost oslanjanja na gumeni umetak debljine $\delta = 6 \text{ mm}$, sa rebrima visine 2mm:

Svaka šina je pritegnuta elastičnom stezaljkom silom veličine $P_{st} = 2 \times 5 = 10 \text{ kN}$. U tom slučaju će pri dodatnom tačkastom opterećenju veličine 150 kN, sekantna krutost iznositi:

$$D_{gn} = \frac{150}{0,0488} = 3074 \text{ kN/cm}$$

Punktualna krutost oslanjanja na gumenu podlošku debljine $\delta = 9 \text{ mm}$:

Gumena podloška ima površinu istu kao površina metalne podložne pločice. Sila pritiska se meri od 50 do 150 kN pa neorebrena gumena podloška ostvaruje isti ili približno isti nagib kao i orebreni gumeni umetak od oko 0,5 mm. S obzirom na to, veličina punktuelne krutosti gumene podloške iznosi:

$$D_{gn} = \frac{150}{0,05} = 3000 \text{ kN/cm}$$

Modul elastičnosti šinske podloge:

Recipročna krutost šinske podloge je jednaka zbiru recipročnih krutosti pojedinih elastičnih elemenata šinske podloge:

$$\frac{1}{D_{\dot{s}p}} = \frac{1}{D_{zp}} + \frac{1}{D_{gu}} + \frac{1}{D_{gp}}$$

$$\frac{1}{D_{\dot{s}p}} = \frac{1}{887,40} + \frac{1}{3074} + \frac{1}{3000} = 0,001785470$$

$$D_{\dot{s}p,min} = 560 \frac{\text{kN}}{\text{cm}}$$

$$\frac{1}{D_{\dot{s}p,max}} = 0,007222720$$

$$D_{\dot{s}p,max} = 818 \frac{\text{kN}}{\text{cm}}$$

$$U_{\dot{s}p,min} = 9,33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$U_{\dot{s}p,max} = 13,64 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Relativna krutost šinske podloge u odnosu na krutost šine:

$$k_{min} = \sqrt[4]{\frac{U_{\dot{s}p,min}}{EI_{UIC60}}} = \sqrt[4]{\frac{9,33}{21000 \times 3055}} = 0,019528 \text{ cm}^{-1}$$

$$k_{max} = \sqrt[4]{\frac{U_{\dot{s}p,max}}{EI_{UIC60}}} = \sqrt[4]{\frac{13,64}{21000 \times 3055}} = 0,021472 \text{ cm}^{-1}$$

$$[U_{\dot{p},min}]^8 = 12,993 [dN/cm^2]^8$$

$$[U_{\dot{p},max}]^8 = 14,982 [dN/cm^2]^8$$

$$\sqrt{\frac{U_{\dot{p},max}}{k_{max}}} = \sqrt{\frac{1364}{0,021472}} = 252,00$$

$$\sqrt{\frac{U_{\dot{p},min}}{k_{min}}} = \sqrt{\frac{933}{0,019528}} = 218,58$$

2.2. Određivanje dinamičkih sila pritiska točkova lokomotive na šine i dalje, sa šina na pragove

Dinamički pritisak šine na prag usled kretanja locomotive brzinom V=200km/h:

$$Q_{din} = \frac{kL}{2} (P_{sr} + \sum_{i=1}^n P_{sr,i} \eta_i + \lambda_\phi S);$$

$$P_{sr} = P_{st} + P_{sr,g}, \quad \phi = 0,99379 \Rightarrow \lambda_\phi = 2,5;$$

$P_{st} = 105 \text{ kN}$ - statički pritisak točka locomotive na šine (lokomotiva klase 120 ukupne mase 84t)

$P_{sr,g} = 0,75 P_g$ – srednji pritisak u slučaju pritisnutog stanja gibnjeva

S – srednje kvadratno odstupanje svih inercijalnih sila

$$S_g = 0,08 P_g$$

– srednje kvadratno odstupanje inercijalne sile izazvane vert. oscilacijama gibnjeva

$P_g = k_d (P_{st} - q)$ – max dinamička sila pritiska točka na šinu izazvana vertikalnim oscilacijama

q - deo neogibljene mase koji otpada na jedan točak(104kN/8=13kN)

$$k_d = 0,1 + 0,2 \frac{V}{f_{st}} \text{ - dinamički koef. zavistan od brzine } V,$$

f_{st} – ukupni statički ugib gibnjeva lokomotive

$$f_{st} = f_I + f_{II} = 93,06 + 16,56 = 109,62 \text{ mm}$$

$$K_{din(V=200km/h)} = 0,100 + \frac{0,200}{109,62} 200 = 0,46$$

$$P_{g(200)} = 0,46(105 - 13) = 42,77 \text{ kN}$$

$$P_{sr,g(200)} = 0,75 \times 42,77 = 32,08 \text{ kN}$$

$$P_{sr(200)} = 105 + 32 = 137 \text{ kN}$$

$$S_{g(200)} = 0,08 \times 42,77 = 3,42 \text{ kN}$$

Srednje kvadratno odstupanje dinamičkog pritiska točka na šinu izazvano silama inercije neogibljenih masa, usled neravnina na točkovima ili neravnina na koloseku:

$$S_{int,min} = 0,0139 \times \frac{933}{0,019528} = 664 \text{ daN} = 6,64 \text{ kN}$$

$$S_{int,max} = 0,0139 \times \frac{1364}{0,021472} = 883 \text{ daN} = 8,83 \text{ kN}$$

Srednje kvadratno odstupanje dinamičkog pritiska točka na šinu izazvano silama inercije neogibljenih masa, usled prolaza točka preko izolovane neravnine koloseka:

$$S_{nk,b(200),min} = 2277,0 \times \frac{218,58}{252} = 1975 \text{ daN} = 19,75 \text{ kN}$$

$$S_{nk,b(200),max} = 2277,0 \text{ daN} = 22,8 \text{ kN}$$

Srednje kvadratno odstupanje dinamičkog pritiska točka na šinu izazvano silama inercije neogibljenih masa, usled neprekidnih neravnina točka:

$$S_{nnt,min} = 437 \text{ daN} = 4,37 \text{ kN}$$

$$S_{nnt,max} = 505 \text{ daN} = 5,05 \text{ kN}$$

Srednje kvadratno odstupanje dinamičkog pritiska točka na šinu izazvano dejstvom sila inercije nastalih usled nehomogenosti betonske podloge:

$$S_{bp(200)} = 0,167 P_{sr(200)} = 0,167 \times 137 = 22,88 \text{ kN}$$

Ukupno (zbirno) srednje kvadratno odstupanje svih inercijalnih sila:

$$S_{(200),max} = [3,42^2 + 0,05 \times 8,83^2 \times 0,95 \times 5,05^2 + 22,88^2 + 28,77^2]^{\frac{1}{2}} = 32,89 \text{ kN}$$

$$S_{(200),min} = [3,42^2 + 0,05 \times 6,64^2 \times 0,95 \times 4,37^2 + 22,88^2 + 19,75^2]^{\frac{1}{2}} = 30,75 \text{ kN}$$

BROJNE VREDNOSTI DINAMIČKIH PRITISAKA ŠINE NA PRAGOVE:

$$Q_{(200),min} = 0,59 [137 + 2,5 \times 30,75] = \mathbf{126,19 \text{ kN}}$$

$$Q_{(200),max} = 0,64 [137 + 2,5 \times 32,89] = \mathbf{140,30 \text{ kN}}$$

Kontrolni proračun (prema DIN-u):

$$Q_{(200)}^{DIN} = \beta(1 + \lambda_{\phi} \rho \alpha) P_{st}$$

β – koeficijent kojim se uzimaju u obzir bočna dejstva. Zavisi od radijusa krivine, sila šinskog vođenja, visinskog položaja težišta. Za brze pruge i moderne locomotive se može uzeti $\beta = 1,1$

ρ – koeficijent stanja koloseka ($\rho = 0,1 - 0,3$).

Za kolosek na betonskim skretničkim pragovima se može uzeti $\rho = 0,15$

λ_{ϕ} – normativni množilac koji određuje sigurnost od premašenja.

Za nivo verovatnoće od $\phi = 0,99865$, brojna vrednost normativnog množitelja je $\lambda_{\phi} = 3$.

α – koeficijent zavistan od brzine vožnje. Za $V = 200 \text{ km/h}$ je:

$$\alpha_{(200)} = 1 + \frac{V - 60}{140} = 1 + 1 = 2$$

Za $P_{st} = 105,0 \text{ kN}$:

$$Q_{(200)}^{DIN} = 1,1 (1 + 3 \times 0,15 \times 2) \times 105 = 2,09 \times 105,0 = 219,45 \text{ kN}$$

Dinamički pritisak šina na pragove po DIN-u iznosi:

$$Q_{(200)}^{DIN} = 0,64 \times 219,45 = \mathbf{140,45 \text{ kN}} \cong 140,30 \text{ kN}$$

2.3. Određivanje uticaja centrifugalne sile

S obzirom da skretnica nema nadvišenja spoljašnjih šina, uticaje centrifugalne sile treba uzeti u punom iznosu:

$$Z = \frac{G}{g} \frac{V^2}{12,46R} = \frac{105}{9,81} \frac{200^2}{12,96 \times 1200} = 6,88 \text{ kN}$$

Za položaj težišta u odnosu na gornju ivicu šine, važi jednakost:

$$e_t = \frac{470 \times 2,5 + 370 \times 0,625}{4 \times 210} = 1,67 \text{ m}$$

$$\Delta P_V = \pm \frac{2 \times 6,88 \times 1,67}{1,5} = \pm 15,36 \text{ m}$$

2.4. Stalno opterećenje pragova:

Sopstvena težina betonskog praga:

$$g_{pr} = \frac{0,30 + 0,28}{2} \times 0,22 \times 25 = 1,60 \text{ kN/m}$$

Težina šina i kolosečnog pribora:

Na svaki šinski oslonac otpada:

$$0,15 \times 0,35 \times 0,025 \times 78,5 = 0,10$$

$$0,60 \times 0,60 = \frac{\dots\dots\dots}{G = 0,46 \text{ kN}} = 0,36$$

3. ANALIZA OPTEREĆENJA SKRETNIČKOG PRAGA

I Stalno opterećenje:

Sopstvena masa praga: jednakopodeljeno opterećenje duž celog praga $g=1,6 \text{ kN/m}$

Koncentrisane sile (težina šina i kolosečnog pribora $G_1 = G_2 = G_3 = G_4 = 0,46 \text{ kN}$

II Korisno (pokretno) opterećenje osnovnog koloseka skretnice:

- za veću krutost podloge (posteljice) $c=200 \text{ (400,600) N/cm}^3$:

$$P_1 = 140,3 \text{ kN}, P_3 = 140,3 \text{ kN}$$

Koncentrisano opterećenje od točka raspoređujemo na širinu rasprostiranja opterećenja I dobijamo podeljeno opterećenje:

$$p_y = \frac{140,3+0,46}{0,324} = 434,44 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 1,6 = 436,04 \text{ kN/m}$$

- za manju krutost podloge (posteljice) $c=100 \text{ (200,300) N/cm}^3$:

$$P_1 = 126,2 \text{ kN}, P_3 = 126,2 \text{ kN}$$

$$p_y = \frac{126,2+0,46}{0,324} = 390,93 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 1,6 = 392,53 \text{ kN/m}$$

III Korisno (pokretno) opterećenje odvojnog (skretnog) koloseka skretnice:

a) za veću krutost podloge (posteljice) $c=200 \text{ (400,600) N/cm}^3$:

$$P_2 = 132,4 \text{ kN}, P_4 = 101,6 \text{ kN}$$

Koncentrisano opterećenje od točka raspoređujemo na širinu rasprostiranja opterećenja i dobijamo podeljeno opterećenje:

$$p_y = \frac{132,4+0,46}{0,324} = 410,06 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 1,6 = 411,66 \text{ kN/m}$$

$$p_y = \frac{101,6+0,46}{0,324} = 315,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 1,6 = 316,6 \text{ kN/m}$$

b) za manju krutost podloge (posteljice) $c=100$ (200,300) N/cm^3 :

$$P_2 = 122,3 \text{ kN}, P_4 = 91,5 \text{ kN}$$

$$p_y = \frac{122,3+0,46}{0,324} = 378,89 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 1,6 = 380,49 \text{ kN/m}$$

$$p_y = \frac{91,5+0,46}{0,324} = 283,83 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 1,6 = 285,43 \text{ kN/m}$$

Slučajevi opterećenja:

1. Faza početnog prednaprezanja

(70% čvrstoće betona: $f_{p7} = 0.70 * 60.0 = 42.0 \text{ MPa}$):

Sila početnog prednaprezanja N_{k0} (vidi tačku 5.6.)

2. Faza trajnog prednaprezanja

(100% čvrstoće betona: $f_{p28} = 60.0 \text{ MPa}$):

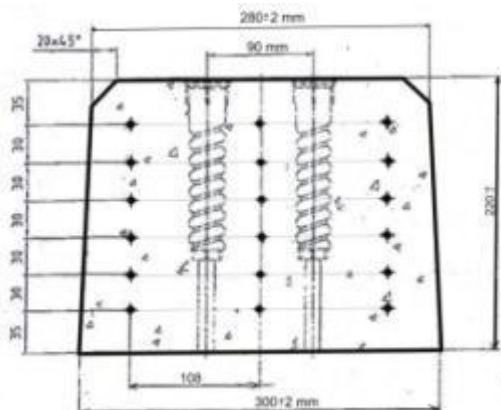
Sila trajnog prednaprezanja $N_{k\infty}$ (v. t. 5.7.)

3. Faza eksploatacije:

Sila trajnog prednaprezanja + Korisno opterećenje: $N_{k\infty} + PY$

4. PRORAČUN POČETNE SILE PREDNAPREZANJA

4.a) Varijanta prednaprezanja žicama $\phi 6\text{mm}$



Slika 48. Poprečni presek skretničkog praga sa tirfonima

Materijal za prednaprezanje: glatka čelična žica 18Ø6 mm. kvaliteta 1770 N/mm²

Modul elastičnosti glatke žice: $E_k = (2.05 \pm 0.10) \times 10^5 \text{ MPa}$ (Prema: [4], Čl. 18)

Površina poprečnog preseka (1 žica): $A_{k1} = \frac{0,006^2 \times \pi}{4} = 28,27 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

Površina poprečnog preseka (18 žica): $A_k = 18 \times 28,27 \times 10^{-6} = 5,09 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 5,09 \text{ cm}^2$

Karakteristična zatezna čvrstoća: $f_k = 1770 \text{ MPa}$ (Prema: [4], Čl. 17), prEN 10138-2

Karakteristična prekidna sila: $F_k = 1770 \times 10^6 \times A_{k1} = 1770 \times 10^6 \times 28,27 \times 10^{-6} = 50037,9 \text{ N}$

Dozvoljena sila za 1 žicu: $F_{adm} = 0.70 \times F_k = 0,70 \times 50037,9 = 35026,53 \text{ N} \approx 35 \text{ kN}$

Maksimalna sila prednaprezanja: $N_{k0,max} = 18 \times 35 = 630 \text{ kN}$

Usvojena početna sila prednaprezanja: $N_{k0} = 18 \times 34 = 612 \text{ kN}$

Presek ispod šine: nalazi se na rastojanju od $l = 580 - 75 = 505 \text{ mm} \approx 0.505 \text{ m}$ (uslov naručioca), te se smatra da je uneto 100 % projektovane sile prednaprezanja za ovaj presek.

Projektovana marka betona: MB60

Modul elastičnosti betona u fazi prednaprezanja, $t=7$ dana, čvrstoća betona 70% od projektovane, (prema [4], Čl. 12.):

$$f_{km7} = 0.70 \times 60 = 42.0 \text{ MPa}$$

$$E_{b7} = 60 \times 10^3 \times f_{km} / (27 + f_{km}) = 60 \times 10^3 \times 42 / (27 + 42) = 36521 \text{ MPa}$$

Modul elastičnosti betona posle otpuštanja žica za prednaprezanje, $t=28$ dana, čvrstoća betona 100 % projektovane čvrstoće (prema [4], Čl. 12.):

$$f_{km} = 60.0 \text{ MPa}$$

$$E_b = 60 \times 10^3 \times f_{km} / (27 + f_{km}) = 41379 \text{ MPa}$$

Poasonov koeficijent: $\nu_b = 0.167$

Koeficijent termičke dilatacije betona: $\alpha_T = 1 \times 10^{-5} / ^\circ\text{K}$ (prema [4], Čl. 20.)

Odnos modula elastičnosti žica za prednaprezanje i betona u fazi prednaprezanja, $t = 7$ dana, čvrstoća betona 70 % od projektovane:

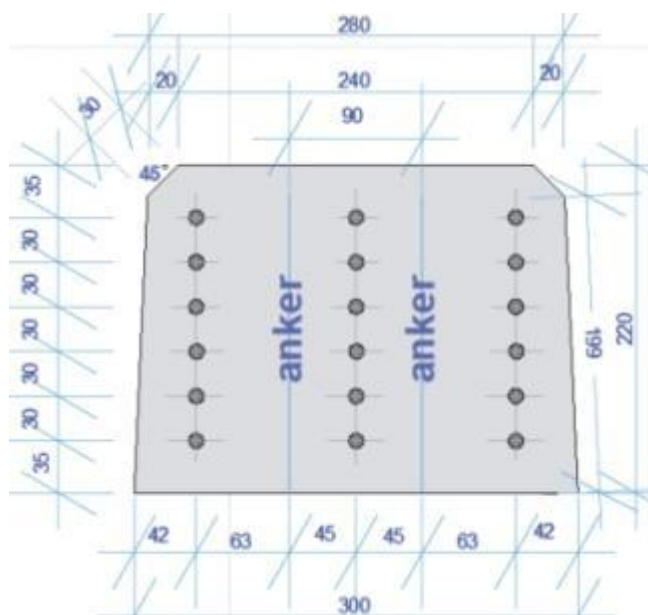
$$n_k = E_k / E_b = 205000 / 36521 = 5.6$$

Težište žica za prednaprezanje (od donje ivice praga):

$$y_k = 35 + 30 + 30 + 30 / 2 = 110,0 \text{ mm} = 0,11 \text{ m}$$

4.a) 1. Proračun gubitaka u sili prednaprezanja

4.a) 1. 1. Skupljanje betona – ulazni podaci (prema [4], Čl. 25, 27)



Slika 49. Poprečni presek skretničkog praga

Površina merodavnog poprečnog preseka betona (poprečni presek je konstantan po celoj dužini praga):

$$B = (0,28 \times 0,22) + 2 \times 0,5(0,22 \times 0,01) - 2 \times 0,5 \times 0,02 \times 0,02 = 0,0616 + 0,0022 - 0,0004 = 0,0634 \text{ m}^2 = 634 \text{ cm}^2$$

Obim poprečnog preseka betona u dodiru sa vazduhom (presek H-H):

$$O = 0,30 + 0,28 + 2 \times (0,199 + 0,03) = 1,038 \text{ m}$$

Srednji radijus preseka: $d_m = 2B / O = (2 \times 0,0634) / 1,038 = 1,122 \text{ m}$

Granična vrednost skupljanja (vlažna sredina, $v_l=70\%$): $\epsilon_{s\infty} = 0,36\%$

Odnos skupljanja betona u vremenu t (ϵ_{st}) i konačne veličine skupljanja betona ($\epsilon_{s\infty}$):

$$t = 7 \text{ dana: } \epsilon_{st} / \epsilon_{s\infty} = 0,20$$

$$t = 28 \text{ dana: } \epsilon_{st} / \epsilon_{s\infty} = 0,40$$

4.a) 1. 2. Tečenje betona – ulazni podaci (prema [4], Čl. 30, 31)

Granične vrednosti koeficijenata tečenja nearmiranog betona za $t = \infty$, konstrukcija u vlažnoj sredini, $v_l=70\%$:

$$\text{Starost betona pri nastajanju napona } t = 7 \text{ dana: } \varphi_{\infty} = 3,0$$

$$\text{Starost betona pri nastajanju napona } t = 28 \text{ dana: } \varphi_{\infty} = 2,2$$

Odnos koeficijenata tečenja betona u vremenu t (φ_t) i konačne veličine tečenja betona (φ_{∞}):

$$\text{Trajanje nanetog opterećenja } t = 7 \text{ dana: } \varphi_t / \varphi_{\infty} = 0,20$$

$$\text{Trajanje nanetog opterećenja } t = 28 \text{ dana: } \varphi_t / \varphi_{\infty} = 0,40$$

4.a)1.3. Trenutne deformacije betona

Pad sile prednaprezanja usled trenutnih deformacija betona (neposredno posle otpuštanja žica):

$$\Delta N_{k0} = N_{k0} * n_k * A_k / B_i$$

Za presek ispod šine (S-S):

$$B_i = B - (n_k * A_k) = 0,0634 - (5,6 \times 5,09 \times 10^{-4}) = 0,0605496 \text{ m}^2$$

$$\Delta N_{k0} = 612000 \times 5,6 \times 5,09 \times 10^{-4} / 0,0605496 = 28810,18 \text{ N} = 28,81 \text{ kN}$$

$$\Delta N_{k0} = (28,81 / 612) \times 100 = 4,71 \%$$

$$N_k = N_{k0} - \Delta N_{k0} = 612 - 28,81 = 583,19 \text{ kN}$$

4.a)1.4. Relaksacija čelika za prednaprezanje

Relaksacija čelične žice: $\leq 2,50 \%$ [4], Čl. 24]

4.a)1.5. Promena sile prednaprezanja usled skupljanja betona i dugotrajnih uticaja

Za jednostruko armirane preseke promene napona u betonu usled skupljanja betona (s) i dugotrajnih uticaja (d) se određuju prema izrazu:

$$\Delta \sigma_{b(s,d)} = ((\epsilon_{st} * E_b / \varphi_{\infty}) + \sigma_{b(s,d)}) * (1 - e^{-\xi \varphi_{\infty}}), \quad (\text{Prema [4], Čl. 39})$$

Za presek ispod šine(E-E), na osnovu MKE analize slede karakteristike poprečnog preseka:

PRESEK ISPOD ŠINE (JEDINICE: SI)

$$\text{Površina poprečnog preseka: } B = 0,0634 \text{ m}^2 = 634 \text{ cm}^2$$

Moment inercije poprečnog preseka:

$$I = I_{zz} =$$

$$I_1 = \frac{1}{12} \times 28 \times 22^3 + 2 \times \frac{1}{36} \times 1 \times 22^3 + 616 \times (11 \times 10,9)^2 + 22 \times \left(\frac{1}{3} \times 22 \times 10,9 \right)^2 =$$
$$25437 + 286 =$$

$$I_1 = 25723 \text{ cm}^4 = 0,00025723 \text{ m}^4$$

$$\text{Otporni moment: } W_{donje} = \frac{25723}{10,9} = 2360 \text{ cm}^3$$

$$W_{gornje} = \frac{25723}{22 - 10,9} = 2317 \text{ cm}^3$$

$$\text{Poluprečnik inercije preseka: } i^2 = I / B = 0,00025723 / 0,0634 = 0,0041 \text{ m}$$

Položaj težišta betonskog preseka u odnosu na donju ivicu praga:

$$y_b = \frac{1}{638} \times \left(616 \times 11 + 22 \times \frac{1}{3} \times 22 \right) = 10,87 \text{ cm} = 10,9 \text{ cm} = 0,109 \text{ m}$$

$$\text{Položaj težišta čelika u odnosu na donju ivicu praga: } y_k = 110,0 \text{ mm} = 0,11 \text{ m}$$

Ekscentricitet čelika u odnosu na težište betonskog jednostruko armiranog preseka ispod šine (S-S):

$e_k = y_k - y_b = 0,11 - 0,109 = 0,001 \text{ m} = 1 \text{ mm}$ (težište žica za prednaprezanje je iznad težišta betona)

Faktor: $\rho_1 = 1 + e_k^2 / i^2 = 1 + 0,001^2 / 0,0041 = 1 + 0,00024 = 1,00024 \approx 1$

Odnos modula elastičnosti čelika i betona: $n_k = E_k / E_b = 205000 / 36521 = 5,6$

Procenat armiranja: $\omega_k = A_k / B = 5,09 \times 10^{-4} \text{ m}^2 / 0,0634 = 0,008$

Faktor: $\xi = (n_k \times \omega_k \times \rho_1) / (1 + n_k \times \omega_k \times \rho_1) = (5,6 \times 0,008 \times 1) / (1 + 5,6 \times 0,008 \times 1) = 0,0429$

Početni napon u betonu na mestu armature, dobijen odmah posle nanošenja opterećenja, tj., pri $t = 0$, usled trajnih uticaja (prednaprezanje i sva druga stalna opterećenja):

$$\sigma_{b(s,d)} = N_k / B_i = 583190 / 0,0605496 = 9631607,81 \text{ Pa} = 9,63 \text{ MPa}$$

Promena napona u betonu usled skupljanja betona (s) i dugotrajnih uticaja (d):

$$\Delta \sigma_{b(s,d)} = ((\epsilon_{st} \times E_b / \varphi_{\infty}) + \sigma_{b(s,d)}) \times (1 - e^{-\xi \varphi_{\infty}}) =$$

$$= ((0,36 \times 10^{-3} \times 36521 \times 10^6 / 3,0) + 9,63 \times 10^6) \times (1 - e^{-0,0429 \times 3,0}) = 1692184,18 \text{ Pa} = 1,69 \text{ MPa}$$

Promena napona u čeliku za prednaprezanje usled skupljanja betona (s) i dugotrajnih uticaja (d):

$$\Delta \sigma_{k(s,d)} = - \Delta \sigma_{b(s,d)} / (\omega_k \times \rho_1) = - 1692184,18 / (0,008 \times 1) = - 211523022,7 \text{ Pa} =$$

$$= -211,52 \text{ MPa}$$

$$\Delta N_{k(s,d)} = \Delta \sigma_{k(s,d)} \times A_k = 211,52 \times 10^6 \times 5,09 \times 10^{-4} = 107665,22 \text{ N} = 107,67 \text{ kN}$$

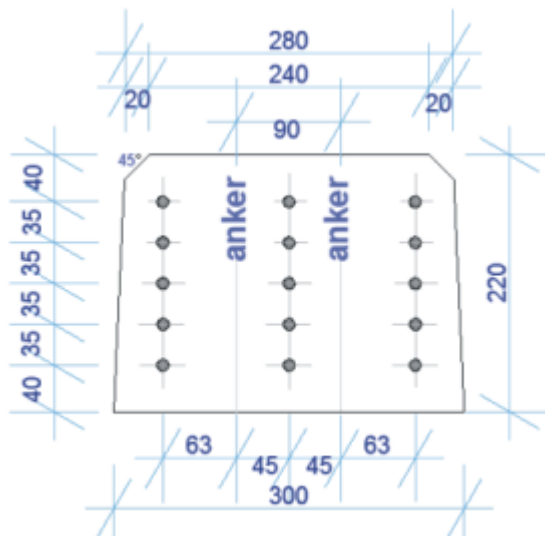
$$\Delta N_{k(s,d)} = (107,67 / 612) \times 100 = \mathbf{17,59 \%}$$

4.a)1.6. Ukupni gubici i krajnja sila prednaprezanja

$$\Sigma \Delta N_k = 4,71 + 2,50 + 17,59 = 24,80 \%$$

$$N_{k\infty} = 612 \times (100 - 24,80) / 100 = 460,22 \approx 460 \text{ kN}$$

4.b) Proračun početne sile prednaprezanja za varijantu prednaprezanja užadima Ø7 mm (uže od 7 žica)



Slika 50. Poprečni presek skretničkog praga sa ankerima i užadima

Materijal za prednaprezanje: čelično uže 15Ø7 mm. kvaliteta 2060 N/mm²

Modul elastičnosti glatke žice: $E_k = (2.05 \pm 0.10) \times 10^5$ MPa (Prema: [4], Čl. 18)

Površina poprečnog preseka (1 žica): $A_{k1} = 30 \text{ mm}^2 = 30,00 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ (površina užeta iz tabele)

Površina poprečnog preseka (15 žica): $A_k = 15 \times 30,00 \times 10^{-6} = 4,5 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 4,50 \text{ cm}^2$

Karakteristična zatezna čvrstoća: $f_k = 2060 \text{ MPa}$ (Prema: [4], Čl. 17), prEN 10138-3

Karakteristična prekidna sila: $F_k = 2060 \text{ N/mm}^2 \times A_{k1} = 2060 \times 30,00 = 61800,0 \text{ N}$

Dozvoljena sila za 1 žicu: $F_{adm} = 0.70 \times F_k = 0,70 \times 61800,0 = 43260 \text{ N} \approx 43 \text{ kN}$

Maksimalna sila prednaprezanja: $N_{k0,max} = 15 \times 43 = 645 \text{ kN}$

Usvojena početna sila prednaprezanja: $N_{k0} = 15 \times 41 = 615 \text{ kN}$

Presek ispod šine (S-S): nalazi se na rastojanju od $l = 580 - 75 = 505 \text{ mm} \approx 0.505 \text{ m}$ (uslov naručioca), te se smatra da je uneto 100 % projektovane sile prednaprezanja za ovaj presek.

Projektovana marka betona: MB60

Modul elastičnosti betona u fazi prednaprezanja, $t=7$ dana, čvrstoća betona 70 % od projektovane, (prema [4], Čl. 12.):

$$f_{km7} = 0.70 \times 60 = 42.0 \text{ MPa}$$

$$E_{b7} = 60 \times 10^3 \times f_{km} / (27 + f_{km}) = 60 \times 10^3 \times 42 / (27 + 42) = 36521 \text{ MPa}$$

Modul elastičnosti betona posle otpuštanja žica za prednaprezanje, $t=28$ dana, čvrstoća betona 100 % projektovane čvrstoće (prema [4], Čl. 12.):

$$f_{km} = 60.0 \text{ MPa}$$

$$E_b = 60 \times 10^3 \times f_{km} / (27 + f_{km}) = 41379 \text{ MPa}$$

Poasonov koeficijent: $\nu_b = 0.167$

Koeficijent termičke dilatacije betona: $\alpha_T = 1 \times 10^{-5} / ^\circ\text{K}$ (prema [4], Čl. 20.)

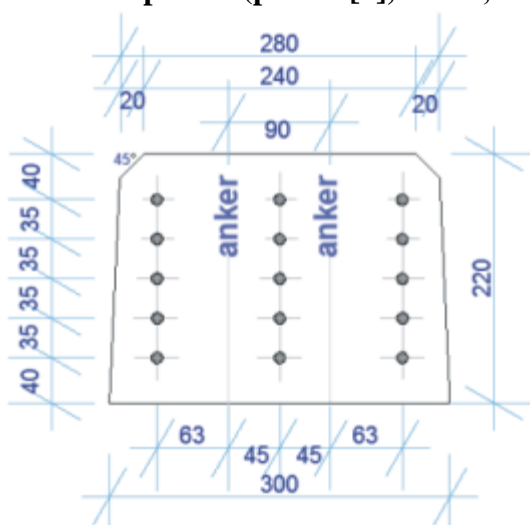
Odnos modula elastičnosti žica za prednaprezanje i betona u fazi prednaprezanja, $t = 7$ dana, čvrstoća betona 70 % od projektovane:

$$n_k = E_k / E_b = 205000 / 36521 = 5.6$$

Težište žica za prednaprezanje (od donje ivice praga): $y_k = 35 + 30 + 30 + 30 / 2 = 110,0 \text{ mm} = 0.11 \text{ m}$

4.b)1. Proračun gubitaka sile prednaprezanja

4.b)1.1. Skupljanje betona – ulazni podaci (prema [4], Čl. 25, 27)



Slika 51. Poprečni presek skretničkog praga (prednaprezanje užadima)

Površina merodavnog poprečnog preseka betona (poprečni presek je konstantan po celoj dužini praga):

$$B = (0,28 \times 0,22) + 2 \times 0,5(0,22 \times 0,01) - 2 \times 0,5 \times 0,02 \times 0,02 = 0,0616 + 0,0022 - 0,0004 = 0,0634 \text{ m}^2 = 634 \text{ cm}^2$$

Obim poprečnog preseka betona u dodiru sa vazduhom (presek H-H):

$$O = 0,30 + 0,28 + 2 \times (0,199 + 0,03) = 1,038 \text{ m}$$

Srednji radijus preseka: $d_m = 2B / O = (2 \times 0,0634) / 1,038 = 1,122 \text{ m}$

Granična vrednost skupljanja (vlažna sredina, vl=70 %): $\epsilon_{s\infty} = 0.36 \text{ ‰}$

Odnos skupljanja betona u vremenu t (ϵ_{st}) i konačne veličine skupljanja betona ($\epsilon_{s\infty}$):

$$t = 7 \text{ dana: } \epsilon_{st} / \epsilon_{s\infty} = 0,20$$

$$t = 28 \text{ dana: } \epsilon_{st} / \epsilon_{s\infty} = 0,40$$

4.b)1.2. Tečenje betona – ulazni podaci (prema [4], Čl. 30, 31)

Granične vrednosti koeficijenta tečenja nearmiranog betona za $t = \infty$, konstrukcija u vlažnoj sredini, vl=70 %:

$$\text{Starost betona pri nastajanju napona } t = 7 \text{ dana: } \varphi_{\infty} = 3,0$$

$$\text{Starost betona pri nastajanju napona } t = 28 \text{ dana: } \varphi_{\infty} = 2,2$$

Odnos koeficijenta tečenja betona u vremenu t (φ_t) i konačne veličine tečenja betona (φ_{∞}):

$$\text{Trajanje nanetog opterećenja } t = 7 \text{ dana: } \varphi_t / \varphi_{\infty} = 0,20$$

$$\text{Trajanje nanetog opterećenja } t = 28 \text{ dana: } \varphi_t / \varphi_{\infty} = 0,40$$

4.b)1.3. Trenutne deformacije betona

Pad sile prednaprezanja usled trenutnih deformacija betona (neposredno posle otpuštanja žica):

$$\Delta N_{k0} = N_{k0} * n_k * A_k / B_i$$

Za presek ispod šine (S-S):

$$B_i = B - (n_k * A_k) = 0,0634 - (5,6 * 4,50 * 10^{-4}) = 0,06088 \text{ m}^2$$

$$\Delta N_{k0} = 615000 * 5,6 * 4,50 * 10^{-4} / 0,06088 = 25456,64 \text{ N} = 25,46 \text{ kN}$$

$$\Delta N_{k0} = (25,46 / 615) * 100 = 4,14 \text{ ‰}$$

$$N_k = N_{k0} - \Delta N_{k0} = 615 - 25,46 = 589,54 \text{ kN}$$

4.b)1.4. Relaksacija čelika za prednaprezanje

Relaksacija čelične žice: $\leq 2,50 \text{ ‰}$ [4, Čl. 24]

4.b)1.5. Promena sile prednaprezanja usled skupljanja betona i dugotrajnih uticaja

Za jednostruko armirane preseke promene napona u betonu usled skupljanja betona (s) i dugotrajnih uticaja (d) se određuju prema izrazu:

$$\Delta \sigma_{b(s,d)} = ((\epsilon_{st} * E_b / \varphi_{\infty}) + \sigma_{b(s,d)}) * (1 - e^{-\xi \varphi_{\infty}}), \quad (\text{Prema [4], Čl. 39})$$

Za presek ispod šine(E-E), na osnovu MKE analize slede karakteristike poprečnog preseka:

PRESEK ISPOD ŠINE (JEDINICE: SI)

Površina poprečnog preseka: $B = 0,0634 \text{ m}^2 = 634 \text{ cm}^2$

Moment inercije poprečnog preseka:

$$I = I_{zz} =$$

$$I_1 = \frac{1}{12} x 28 x 22^3 + 2 x \frac{1}{36} x 1 x 22^3 + 616 x (11 x 10,9)^2 + 22 x \left(\frac{1}{3} x 22 x 10,9 \right)^2 =$$
$$25437 + 286 =$$

$$I_1 = 25723 \text{ cm}^4 = 0,00025723 \text{ m}^4$$

Otporni moment: $W_{donje} = \frac{25723}{10,9} = 2360 \text{ cm}^3$

$$W_{gornje} = \frac{25723}{22 - 10,9} = 2317 \text{ cm}^3$$

Poluprečnik inercije preseka: $i^2 = I / B = 0,00025723 / 0,0634 = 0,0041 \text{ m}$

Položaj težišta betonskog preseka u odnosu na donju ivicu praga:

$$y_b = \frac{1}{638} x \left(616 x 11 + 22 x \frac{1}{3} x 22 \right) = 10,87 \text{ cm} = 10,9 \text{ cm} = 0,109 \text{ m}$$

Položaj težišta čelika u odnosu na donju ivicu praga: $y_k = 110,0 \text{ mm} = 0,11 \text{ m}$

Ekscentricitet čelika u odnosu na težište betonskog jednostruko armiranog preseka ispod šine (S-S):

$$e_k = y_k - y_b = 0,11 - 0,109 = 0,001 \text{ m} = 1 \text{ mm} \text{ (težište žica za prednaprezanje je iznad težišta betona)}$$

Faktor: $\rho_1 = 1 + e_k^2 / i^2 = 1 + 0,001^2 / 0,0041 = 1 + 0,00024 = 1,00024 \approx 1$

Odnos modula elastičnosti čelika i betona: $n_k = E_k / E_b = 205000 / 36521 = 5,6$

Procenat armiranja: $\omega_k = A_k / B = 4,50 \times 10^{-4} \text{ m}^2 / 0,0634 = 0,0071$

Faktor: $\xi = (n_k \times \omega_k \times \rho_1) / (1 + n_k \times \omega_k \times \rho_1) = (5,6 \times 0,0071 \times 1) / (1 + 5,6 \times 0,0071 \times 1) = 0,0382$

Početni napon u betonu na mestu armature, dobijen odmah posle nanošenja opterećenja, tj., pri $t = 0$, usled trajnih uticaja (prednaprezanje i sva druga stalna opterećenja):

$$\sigma_{b(s,d)} = N_k / B_i = 589540 / 0,06088 = 9683639,95 \text{ Pa} = 9,68 \text{ MPa}$$

Promena napona u betonu usled skupljanja betona (s) i dugotrajnih uticaja (d):

$$\Delta\sigma_{b(s,d)} = ((\epsilon_{st} \times E_b / \phi_\infty) + \sigma_{b(s,d)}) \times (1 - e^{-\xi\phi_\infty}) = ((0,36 \times 10^{-3} \times 36521 \times 10^6 / 3,0) + 9,68 \times 10^6) \times (1 - e^{-0,0382 \times 3,0}) = 1522650,83 \text{ Pa} = 1,52 \text{ MPa}$$

Promena napona u čeliku za prednaprezanje usled skupljanja betona (s) i dugotrajnih uticaja (d):

$$\Delta\sigma_{k(s,d)} = - \Delta\sigma_{b(s,d)} / (\omega_k \times \rho_1) = - 1522650,83 / (0,0071 \times 1) = - 214457863,3 \text{ Pa} = - 214,46 \text{ MPa}$$

$$\Delta N_{k(s,d)} = \Delta\sigma_{k(s,d)} \times A_k = 214,46 \times 10^6 \times 4,50 \times 10^{-4} = 96507,00 \text{ N} = 96,51 \text{ kN}$$

$$\Delta N_{k(s,d)} = (96,51 / 615) \times 100 = \mathbf{15,69 \%}$$

4.b)1.6. Ukupni gubici i krajnja sila prednaprezanja za varijantu prednaprezanja užadima

$$\Sigma \Delta N_k = 4,14 + 2,50 + 15,69 = 22,33 \%$$

$$N_{k\infty} = 615 \times (100 - 22,33) / 100 = 477,67 \approx 477 \text{ kN}$$

5. RAČUNSKA KONTROLA NAPONA ZA FAZU ISPITIVANJA PRAGOVA

(za računsku kontrolu je uzeta varijanta prednaprezanja žicama $\phi 6\text{mm}$ - na strani sigurnosti)

5.1. Presek ispod šine (A-A) – prag u normalnom položaju

Ulazni podaci prema [6]:

Proračunsko osovinsko opterećenje na prag: $Q = 250 \text{ kN}$

Nominalno (računsko) opterećenje jednog točka: $Q/2 = 125 \text{ kN}$

Koeficijent dinamičkog povećanja uticaja točka uzrokovan podužnim visinskim greškama koloseka:

- za brzinu $V \geq 200 \text{ km/h}$: $\phi = 1.75$

- za brzinu $V \leq 200 \text{ km/h}$: $\phi = 1.50$

Faktor raspodele opterećenja: $A = 0.39$

Koeficijent povećanja reakcije pragova u zastoru usled uslova naleganja pragova: $\alpha = 1.35$
(lošeg oslanjanja)

Koeficijent povećanja momenta savijanja ispod mesta naleganja šine usled neravnomernosti podužnog oslanjanja pragova (neravnomernog oslanjanja praga): $\psi_1 = 1.6$

Razmak između ose šine i kraja praga na donjoj strani praga (presek praga): $L_p = 0.505 \text{ m}$

Projektovano rastojanje osa oslonaca naleganja pri ispitivanju: $L_r = 0.6 \text{ m}$

Polovina dužine raspodele opterećenja ispod mesta naleganja šine (presek praga): $e = 0.145 \text{ m}$

Veličina zavisna od linije širenja opterećenja: $\lambda = (L_p - e) / 2 = (0.505 - 0.145) / 2 = 0.180 \text{ m}$

Pozitivni projektni momenat na mestu naleganja šine na prag:

$$M_{dr} = (Q * \phi * A * \alpha * \psi_1 * \lambda) / 2 = (125 * 1.75 * 0.39 * 1.35 * 1.6 * 0.18) / 2 = 16.58 \text{ kNm}$$

Intenzitet početnog opterećenja pri ispitivanju praga na mestu oslanjanja šine na prag (sila ispitivanja):

$$F_{r0} = 4 * M_{dr} / (L_r - 0.1) = 4 * 16.58 / (0.6 - 0.1) = 132.64 \text{ kN}$$

Računski moment za kontrolu napona: $M_{dr} = 16.58 \text{ kNm}$

Računska normalna sila za kontrolu napona: $N_k = 460 \text{ kN}$

Ekscentricitet žice za prednaprezanje: $e_k = 1 \text{ mm}$ (težište žice iznad težišta betona)

Karakteristike poprečnog preseka:

$$A = 0,0634 \text{ m}^2 = 634 \text{ cm}^2$$

$$I = 0,00025723 \text{ m}^4$$

$$y_d = -0,109 \text{ m}$$

$$y_g = 0,111 \text{ m}$$

Starost betona:

$t = 7$ dana

Projektovana marka betona:

MB 60

Marka betona pri otpuštanju staze:

MB 45

Marka betona za $t = 7$ dana (procena):

$$MB_7 = (45 + 60) / 2 = 52,5 \text{ MPa}$$

Čvrstoća pri zatezanju probne prizme posle 7 dana: $f_{zs} = 6,5 \text{ MPa}$;

Dozvoljeni naponi u betonu za MB52,5 (tabela T2 - interpolacija):

$$\text{Ivični napon: } \sigma_r = 18,5 + (20,5 - 18,5) * 0,3 = 19,10 \text{ MPa}$$

$$\text{Središnji napon: } \sigma_s = 12,5 + (14 - 12,5) * 0,3 = 12,95 \text{ MPa}$$

Ukupan napon u donjem vlaknu:

$$\sigma_d = N_k / A + (N_k * e_k / I) * y_d - (M_{dr} / I) * y_d =$$

$$= 460 \times 10^3 / 0,0634 + (460 \times 10^3 \times 0,001 / 0,00025723) * 0,109 - (16,58 \times 10^3 / 0,00025723) * 0,109 =$$

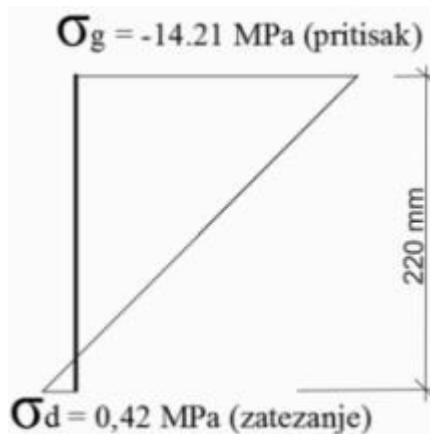
$$= 7255520,51 + 194922,83 - 7025697 = 7,26 \times 10^6 + 0,19 \times 10^6 - 7,03 \times 10^6 = \underline{0,42 \text{ MPa} < f_{zs} = -6,5 \text{ MPa}}$$

Ukupan napon u gornjem vlaknu:

$$\sigma_g = N_k / A - (N_k * e_k / I) * y_g + (M_{dr} / I) * y_g =$$

$$= 7,26 \times 10^6 - (460 \times 10^3 * 0,001 / 0,00025723) * 0,111 + (16,58 \times 10^3 / 0,00025723) * 0,111 =$$

$$= 7,26 \times 10^6 - 198499 + 7154609 = 7,26 \times 10^6 - 0,20 \times 10^6 + 7,15 \times 10^5 = \underline{14,21 \text{ MPa} < \sigma_r = 19,10 \text{ MPa}}$$



Slika 52. Presek (A-A) -ispod šine. Dijagram napona.

5.2. Presek u sredini praga (B-B) – prag u normalnom položaju

Ulazni podaci prema [6]:

Pozitivni projektni momenat na mestu naleganja šine (t. 5.7.1): $M_{dr} = 16,58 \text{ kNm}$

Projektovano rastojanje između osa mesta naleganja šina: $L_c = 1.5 \text{ m}$

S obzirom da je poprečni presek praga isti po celoj dužini, tako i u sredini praga (presek B-B), na osnovu MKE analize slede karakteristike poprečnog preseka:

$$A = 0,0634 \text{ m}^2 = 634 \text{ cm}^2$$

$$y_d = -0,109 \text{ m}$$

$$y_g = 0.111 \text{ m}$$

Moment inercije poprečnog preseka ispod šine: $I_r = 0,00025723 \text{ m}^4$

Moment inercije poprečnog preseka u sredini praga: $I_c = 0,00025723 \text{ m}^4$

Dodatni dinamički koeficijent povećanja momenta savijanja u sredini praga usled neravnomernosti oslanjanja sredine pragova (neravnomernog oslanjanja sredine praga):

$$\psi_2 = 1,2$$

Pozitivni projektni momenat u sredini praga:

$$M_{dc} = \psi_2 \times M_{dr} \times (I_c / I_r) = 1.2 \times 16,58 \times (0,00025723 / 0,00025723) = \mathbf{19,90 \text{ kNm}}$$

Računska normalna sila za kontrolu napona: $N_k = 460 \text{ kN}$

Ekscentricitet žica za prednaprezanje:

$$e_k = y_k - y_b = 0,11 - 0,109 = 0.001 \text{ m} = 1 \text{ mm (težište žica za prednaprezanje je iznad težišta betona)}$$

Starost betona: $t = 7 \text{ dana}$

Projektovana marka betona: **MB 60**

Marka betona pri otpuštanju staze: **MB 45**

Marka betona za $t = 7 \text{ dana}$ (procena): $MB_7 = (45 + 60) / 2 = 52.5 \text{ MPa}$

Čvrstoća pri zatezanju probne prizme posle 7 dana: $f_{zs} = 6.5 \text{ MPa}$

Dozvoljeni naponi u betonu za MB52.5 (tabela T2 - interpolacija):

Ivični napon: $\sigma_r = 18.5 + (20.5 - 18.5) * 0.3 = 19.10 \text{ MPa}$

Središnji napon: $\sigma_s = 12.5 + (14 - 12.5) * 0.3 = 12.95 \text{ MPa}$

Ukupan napon u donjem vlaknu:

$$\sigma_d = N_k / A + (N_k * e_k / I) * y_d - (M_{dc} / I) * y_d =$$

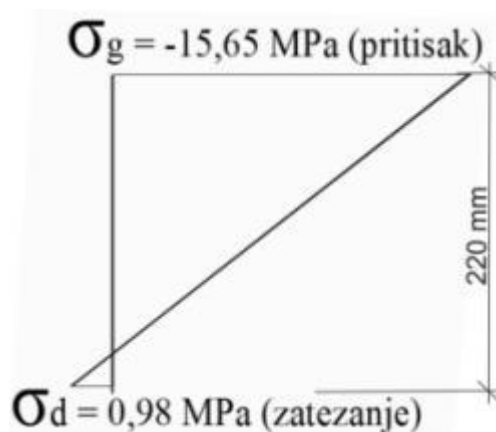
$$= 460 \times 10^3 / 0,0634 - (460 \times 10^3 \times 0.001 / 0,00025723) \times 0.109 - (19,90 \times 10^3 / 0,00025723) \times 0.109 = \\ = 7255521 - 194923 - 8432531 = 7,26 \times 10^6 + 0,19 \times 10^6 - 8,43 \times 10^6 = -0.98 \text{ MPa} < f_{zs} = - 6.5 \text{ MPa}$$

Ukupan napon u gornjem vlaknu:

$$\sigma_d = N_k / A - (N_k * e_k / I) * y_g + (M_{dc} / I) * y_g =$$

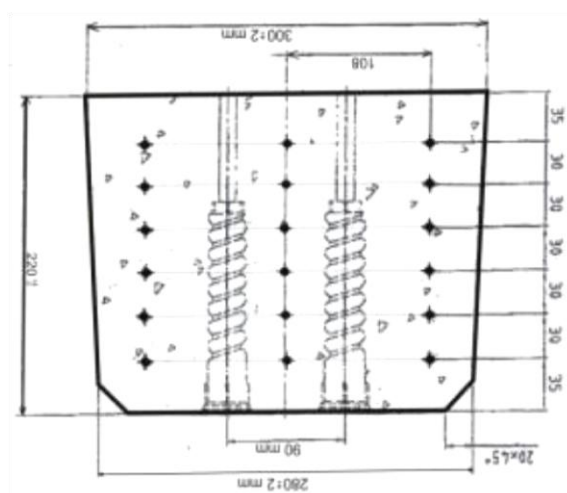
$$= 7,26 \times 10^6 - (460 \times 10^3 \times 0,001 / 0,00025723) \times 0,111 + (19,90 \times 10^3 / 0,00025723) \times 0,111 =$$

$$= 7,26 \times 10^6 - 198499 + 8587257 \text{ Pa} = 7,26 \times 10^6 - 0,20 \times 10^6 + 8,59 \times 10^6 = 15,65 \text{ MPa} < \sigma_r = 19,10 \text{ MPa}$$



Slika 53. Presek B-B – sredina praga. Dijagram napona.

5.3. Presek u sredini praga (B-B) – prag u obrnutom položaju



Slika 54. Presek praga u obrnutom položaju

Ulazni podaci prema [6]:

Pozitivni projektni momenat u sredini praga:

$$M_{dc} = 19.90 \text{ kNm}$$

Projektovano rastojanje između osa mesta naleganja šina:

$$L_c = 1.5 \text{ m}$$

Za prevrnuti presek u sredini praga (D-D), prema MKE analizi slede karakteristike poprečnog preseka:

$$A = 0,0634 \text{ m}^2 = 634 \text{ cm}^2$$

$$I = 0,00025723 \text{ m}^4$$

$$y_g = -0,109 \text{ m}$$

$$y_d = 0.111 \text{ m}$$

Negativni projektni momenat u sredini praga: $M_{dcn} = 2 \times M_{dc} = 2 \times 19,90 = 39,80 \text{ kNm}$

Računska normalna sila za kontrolu napona:

$$N_k = 460 \text{ kN}$$

Ekscentricitet žice za prednaprezanje:

$e_k = y_k - y_b = 0,11 - 0,109 = 0.001 \text{ m} = 1 \text{ mm}$ (težište žica za prednaprezanje je ispod težišta betona)

Starost betona:

$$t = 7 \text{ dana}$$

Projektovana marka betona:

$$\text{MB } 60$$

Marka betona pri otpuštanju staze:

$$\text{MB } 45$$

Marka betona za $t = 7$ dana (procena):

$$\text{MB}_7 = (45 + 60) / 2 = 52.5 \text{ MPa}$$

Čvrstoća pri zatezanju probne prizme posle 7 dana: $f_{zs} = 6.5 \text{ MPa}$

Dozvoljeni naponi u betonu za MB52.5 (tabela T2 - interpolacija):

Ivični napon: $\sigma_r = 18.5 + (20.5 - 18.5) * 0.3 = 19.10 \text{ MPa}$

Središnji napon: $\sigma_s = 12.5 + (14 - 12.5) * 0.3 = 12.95 \text{ MPa}$

Ukupan napon u donjem vlaknu:

$$\sigma_d = N_k / A + (N_k * e_k / I) * y_d - (M_{dc} / I) * y_d =$$

$$= 460 \times 10^3 / 0,0634 + (460 \times 10^3 \times 0,001 / 0,00025723) \times 0,111 - (39,80 \times 10^3 / 0,00025723) \times 0,111 =$$

$$= 7255521 + 198499 - 17174513 = 7,26 \times 10^6 + 0,19 \times 10^6 - 17,17 \times 10^6 = -9,72 \text{ MPa} > f_{zs} = -6,5 \text{ MPa}$$

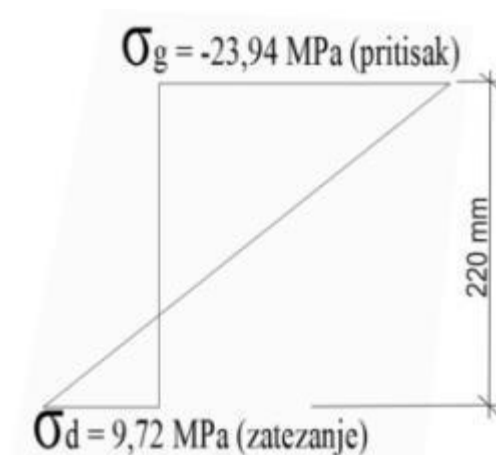
Ukupan napon u gornjem vlaknu:

$$\sigma_g = N_k / A - (N_k * e_k / I) * y_g + (M_{dc} / I) * y_g =$$

$$= 460 \times 10^3 / 0,0634 + (460 \times 10^3 \times 0,001 / 0,00025723) \times 0,109 + (39,80 \times 10^3 / 0,00025723) \times 0,109 =$$

$$= 7255521 - 194922,8 + 16865062 \text{ Pa} = 7,26 \times 10^6 - 0,19 \times 10^6 + 16,87 \times 10^6 =$$

$$= 23,94 \text{ MPa} > \sigma_r = 19,10 \text{ MPa}$$



Slika 55. Presek B-B -sredina praga, prag obrnut. Dijagram napona

5.4. Tabelarni pregled računskih napona za prednaprezanje preseka skretničkog praga različitim brojem užadi

U cilju što boljeg sagledavanja naponskog stanja preseka skretničkog praga a u zavisnosti od broja užadi kojima se u presek unosi sila prednaprezanja, u nastavku je dat tabelarni pregled vrednosti računskih napona dobijen u skladu sa tim.

Tabela T3: Pregled računskih napona za prednaprezanje preseka skretničkog praga različitim brojem užadi

PREGLED RAČUNSKIH NAPONA ZA PREDNAPREZANJE PRESEKA SKRETNIČKOG PRAGA RAZLIČITIM BROJEM UŽADI						
PREDNAPREZANJE UŽADIMA Ø7MM (UŽE OD 7 ŽICA)	RAČUNSKI NAPONI U DONJEM I GORNJEM VLAKNU					
	PRESEK ISPOD ŠINE		PRESEK U SREDINI PRAGA - prag u normalnom položaju - POZITIVAN MOMENAT		PRESEK U SREDINI PRAGA - prag u obrnutom položaju - NEGATIVAN MOMENAT	
	Ukupan napon u donjem vlaknu σ_d [MPa]	Ukupan napon u gornjem vlaknu σ_g [MPa]	Ukupan napon u donjem vlaknu σ_d [MPa]	Ukupan napon u gornjem vlaknu σ_g [MPa]	Ukupan napon u donjem vlaknu σ_d [MPa]	Ukupan napon u gornjem vlaknu σ_g [MPa]
Prednaprezanje sa 15 užadi u preseku	2,93	-16,58	1,53	-18,03	7,21	-26,31
Prednaprezanje sa 14 užadi u preseku	0,27	-14,10	1,13	-15,54	9,87	-23,79
Prednaprezanje sa 12 užadi u preseku	0,32	-13,50	1,72	-14,94	10,46	-23,22
Dozvoljeni naponi u donjem i gornjem vlaknu	$f_{zs} = -6.5$ MPa	$\sigma_r = 19.10$ MPa	$f_{zs} = -6.5$ MPa	$\sigma_r = 19.10$ MPa	$f_{zs} = -6.5$ MPa	$\sigma_r = 19.10$ MPa

Iz dobijenih vrednosti možemo lako zaključiti da za presek ispod šine i za presek u sredini praga kada je prag u normalnom položaju (za pozitivan momenat), smanjenje broja kablova za prednaprezanje pozitivno deluje na smanjenje ukupnog napona u donjem i gornjem vlaknu preseka. Međutim, kod preseka u sredini praga kada je prag u obrnutom položaju (za negativan momenat), smanjenje broja kablova krajnje negativno utiče na vrednost ukupnog računskog napona u donjem vlaknu. Iz ovoga zaključujemo da je projektom predviđeno prednaprezanje sa 15 užadi optimalno rešenje.

6. MKE MODEL SKRETNIČKOG PRAGA

Konačna sila prednaprezanja praga (deluje u čvoru na kraju praga): $P_x = 460000 \text{ N} = 460 \text{ kN}$
Korisno opterećenje na delu naleganja šine:

Dužina prostiranja opterećenja od točka (usvojeno): $L = 0.324 \text{ m}$

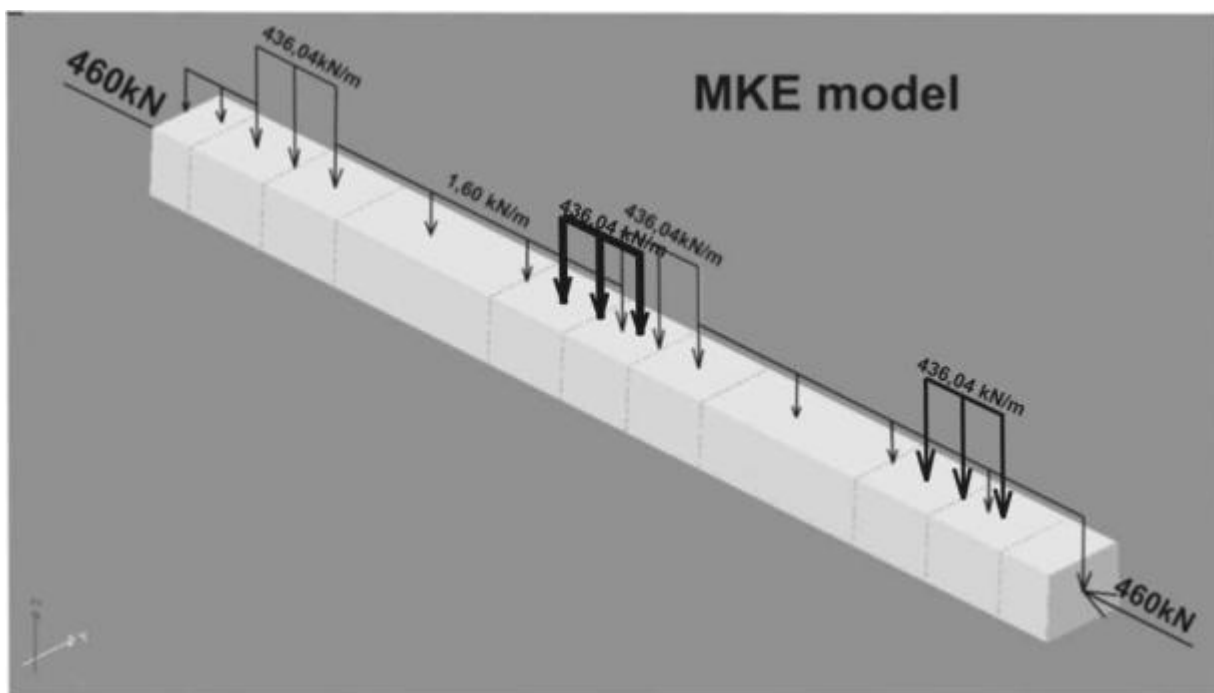
Koncentrisano opterećenje od točka: $P_y = 125000 \text{ N} = 125 \text{ kN}$

Podeljeno opterećenje $p_y = 125000 / 0.324 = 385802 \text{ N/m}$

Podeljeno opterećenje sa uvećanjem opterećenja uzrokovanim dinamičkim uticajima u skretnici za brzinu $V=200\text{km/h}$ (po prethodnom proračunu $Q_{(200),max}$ i tačka 5.5):

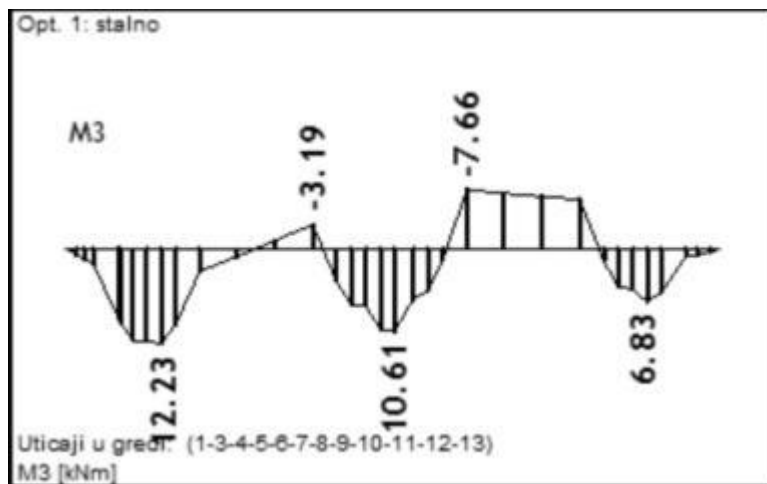
$$p_y = 436,04 \text{ kN/m}$$

6.1. PRAG 91, L=370cm

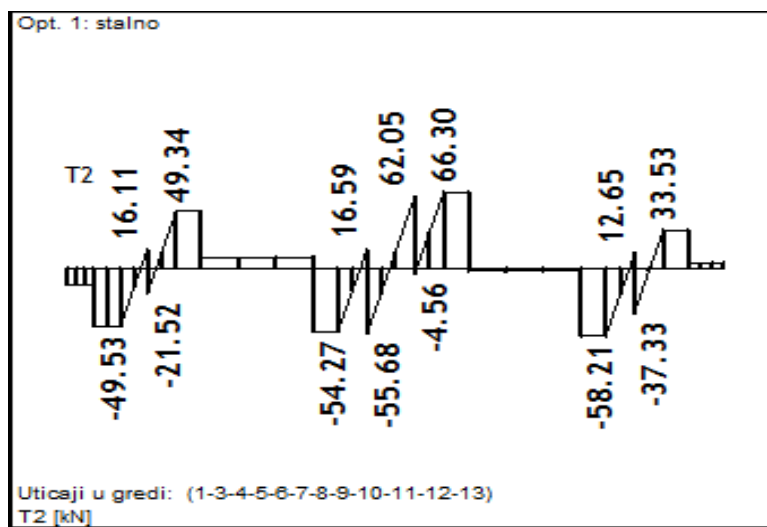


Slika 56. MKE model – čvorovi, elementi (3D prikaz), položaj i intenzitet opterećenja (kN, m)

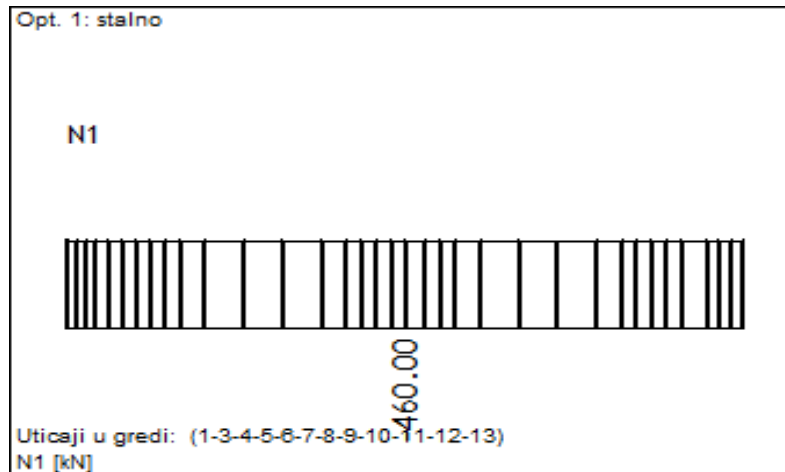
6.1.1. MKE analiza – rezultati (manja krutost podloge, $c_1=100,200,300 \times 10^6 \text{ N/m}^3$)



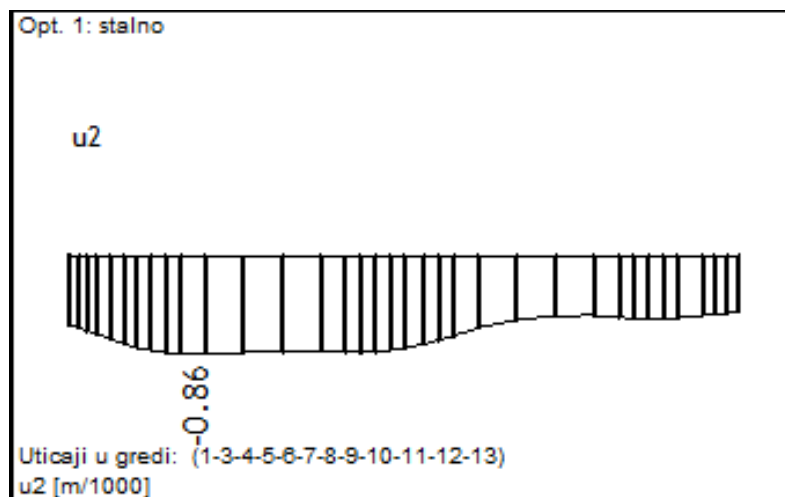
Slika 57. Dijagram momenta savijanja (Nm). Ekstremne vrednosti: +12,23 / -7,66 kNm.



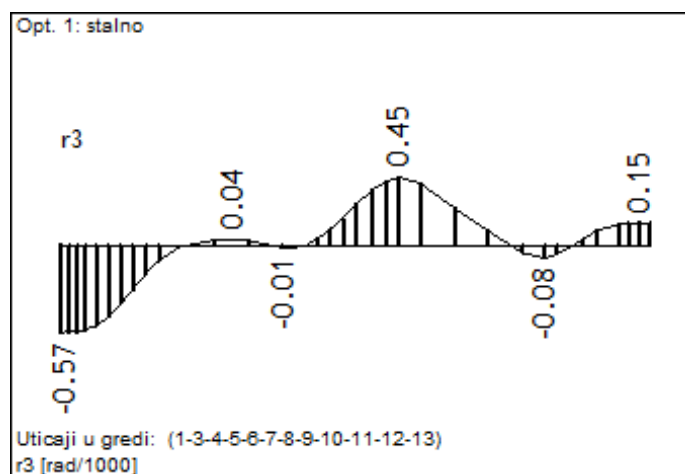
Slika 58. Dijagram transverzalnih sila (T). Ekstremne vrednosti: +66,30 / -58,21 kN.



Slika 59. Dijagram normalnih sila (N). Vrednost: -460 kN (pritisak).



Slika 60. Dijagram vertikalnih deformacija (m/1000). Ekstremna vrednost: -0,86 mm.



Slika 61. Dijagram rotacija preseka (rad/1000). Ekstremna vrednost: -0.00057 rad.

$$\alpha = 0.00057 * 180 / \pi = 0.0327^\circ$$

7. KONTROLA NAPONA ZA NORMALNU EKSPLOATACIJU PRAGA

$$A = 0,0634 \text{ m}^2 = 634 \text{ cm}^2$$

$$I = 0,00025723 \text{ m}^4$$

$$y_d = -0,109 \text{ m}$$

$$y_g = 0,111 \text{ m}$$

- Na mestu max. momenta (ispod šine), presek A-A:

Donje vlakno:

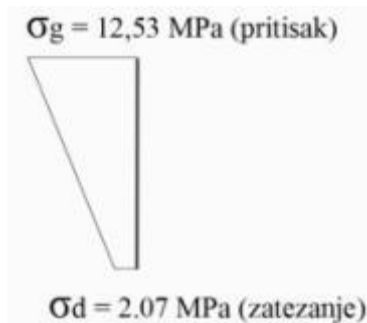
$$\sigma_d = N / A - (M_{\text{MAX}} / I) * y_d =$$

$$460000 / 0,0634 - (12230 / 0,00025723) * 0,109 = 7,256 - 5,182 \text{ MPa} = 2,074 < \sigma_{\text{DOP}} = 2.4 \text{ MPa}$$

Gornje vlakno:

$$\sigma_g = - N / A + (M_{\text{MAX}} / I) * y_g =$$

$$= 460000 / 0,0634 + (12230 / 0,00025723) * 0,111 = 7,256 + 5,277 = 12,533 \text{ MPa} < \sigma_{\text{DOP}} = 20.5 \text{ MPa}$$



Slika 62. Presek A-A – presek ispod šine. Dijagram napona.

- Na mestu min. momenta (u sredini praga):

Donje vlakno:

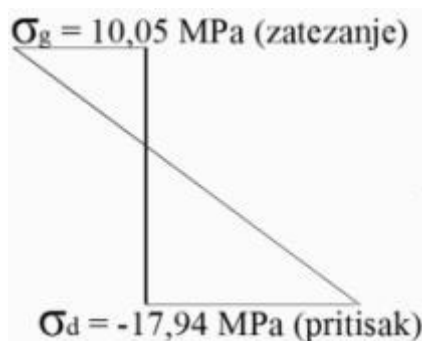
$$\sigma_d = N / A - (M_{\text{MIN}} / I) * y_d =$$

$$460000 / 0,0634 - (6480 / 0,00025723) * 0,109 = 7,256 - 25,191 = -17,94 \text{ MPa} < \sigma_{\text{DOP}} = 20.5 \text{ MPa}$$

Gornje vlakno:

$$\sigma_g = N / A + (M_{\text{MIN}} / I) * y_g =$$

$$460000 / 0,0634 + (6480 / 0,00025723) * 0,111 = 7,256 + 2,796 \text{ MPa} = 10,052 < \sigma_{\text{DOP}} = 20.5 \text{ MPa}$$



Slika 63. Presek B-B – sredina praga. Dijagram napona.

8. KONTROLA GLAVNIH NAPONA ZATEZANJA

- Presek A-A (manja krutost podloge, $c_1=100,200,300 \times 10^6 \text{ N/m}^3$)

Statički uticaji (Sl. 7, 8, 9):

$$M = 12,23 \text{ kNm} = 12230 \text{ Nm}$$

$$T = 66,3 \text{ kN} = 66300 \text{ N}$$

$$N = -460000 \text{ N}$$

Stvarna angažovana sila prednaprezanja u čvoru 12:

$$\text{Odstojanje od kraja praga do preseka A-A:} \quad l_{12} = 0.530 \text{ m}$$

$$\text{Odstojanje od kraja praga do tačke punog angažovanja sila prednaprezanja: } l_s = 0.550 \text{ m}$$

$$y = a * x^2 \quad (\text{funkcija dijagrama sile prednaprezanja – kvadratna parabola})$$

$$100 \% = a * 0,550^2$$

$$a = 100 / 0,550^2 = 330,5785$$

$$y = 330,5785 * x^2 = 330,5785 * 0,530^2 = 92,86 \%$$

$$N_{A-A} = -460000 * 92,86 / 100 = -427156 \text{ N} \approx -427 \text{ kN}$$

Karakteristike poprečnog preseka (MKE analiza):

$$A = 0,0634 \text{ m}^2 = 634 \text{ cm}^2$$

$$I = 0,00025723 \text{ m}^4$$

$$y_d = -0,109 \text{ m}$$

$$y_g = 0.111 \text{ m}$$

$$\text{Odstojanje težišta žica za prednaprezanje od donje ivice praga: } y_k = 110,0 \text{ mm} = 0,11 \text{ m}$$

Ekscentricitet žice za prednaprezanje:

$$e_k = y_k - y_b = 0,11 - 0,109 = 0.001 \text{ m} = 1 \text{ mm} \quad (\text{težište žica za prednaprezanje je iznad težišta betona}) \quad (\text{neutralna osa ispod težišta žica za prednaprezanje})$$

$$\text{Statički moment betonskog preseka:} \quad S_b = A_b * y_b = 0.0634 \times 0,109 = 6910 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Otporni moment - donje vlakno: $W_d = I / y_d = 0,00025723 / 0,109 = 0,00236 = 2360 \times 10^{-6} \text{ m}^3$

Otporni moment - gornje vlakno: $W_g = I / y_g = 0,00025723 / 0,111 = 2317 \times 10^{-6} \text{ m}^3$

Normalni naponi - donje vlakno:

$$\begin{aligned}\sigma_d &= (N / A) - (N \times e_k) / W_d - M / W_d = \\ &= (460000 / 0,0634) + (460000 \times 0,001) / 0,00236 - 12230 / 0,00236 = \\ &= 7255520,51 - 194915,25 - 5182203,39 = -1878401,87 = -1,88 \text{ MPa (PRITISAK)}\end{aligned}$$

Normalni naponi - gornje vlakno:

$$\begin{aligned}\sigma_g &= -(N / A) - (N \times e_k) / W_g + M / W_g = \\ &= (460000 / 0,0634) - (460000 \times 0,001) / 0,002317 + 12230 / 0,002317 = \\ &= 7255520,51 - 198532,58 + 5278377,21 = 12335365,14 = 12,33 \text{ MPa (ZATEZANJE)}\end{aligned}$$

Statički moment odsečene površine betonskog preseka (MKE analiza):

$$S_g = 0,028 \times 0,0005 = 0,000014 = 14 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$b = 0,23988 \text{ m}$$

Smičući napon: $\tau = T \times S_g / (b \times I) = 66300 \times 0,000014 / (0,23988 \times 0,00025723) = 15042,7 = 0,015 \text{ MPa}$

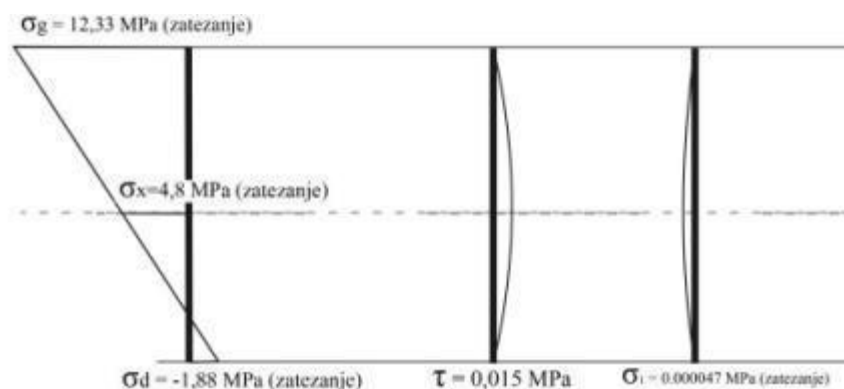
Normalni napon u neutralnoj osi (očitano sa dijagrama): $\sigma_x = -4,80 \text{ MPa}$

Glavni napon zatezanja:

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= (\sigma_x / 2) + ((\sigma_x^2 / 4) + \tau^2)^{0,5} = (-4,80 / 2) + ((-4,80^2 / 4) + 0,015^2)^{0,5} = -0,000047 \text{ MPa} < \\ \sigma_{DOP} &= 1,20 \text{ MPa}\end{aligned}$$

(OSIGURANJE OD GLAVNIH NAPONA ZATEZANJA NIJE POTREBNO!)

Dijagram napona



Slika 64. Presek u preseku ispod praga Dijagram napona.

9. KONTROLA NAPONA U TLU

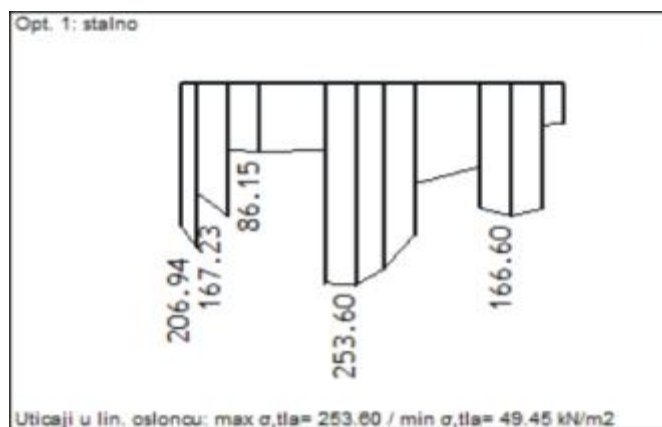
Naponi u tlu su dobijeni kao rezultat analize Tower softwerom

9.1. Proračun napona u tlu – normalna eksploatacija

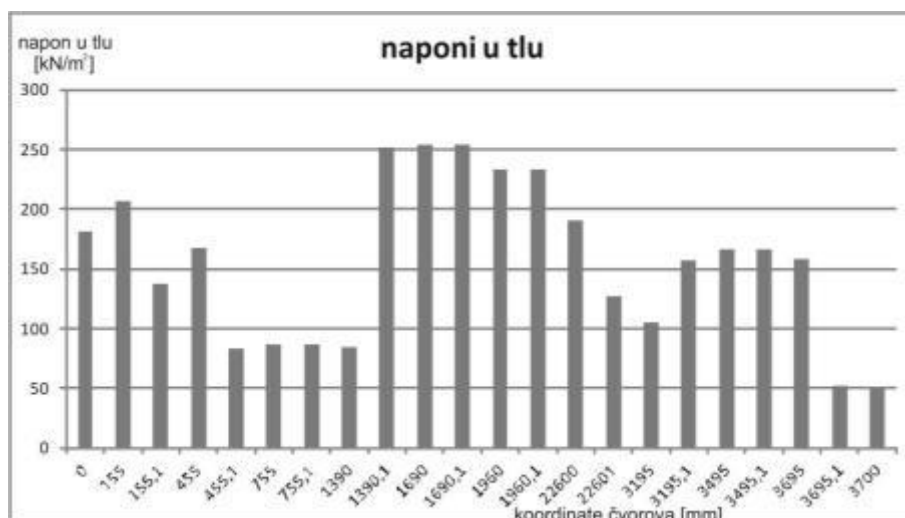
Tabela T4: Proračun napona u tlu – normalna eksploatacija

Utjecaji u linijskim osloncima - Ekstremne vrednosti - Opterećenje: 1				
Oznaka	LC	r3 [kN/m]	σ_{tla} [kN/m ²]	s.tla [m]
(6-7)	1	*	[252.57]	0.000
(7-8)	1	*	[243.65]	0.000
(8-9)	1	*	[211.86]	0.000
(2-3)	1	*	[193.92]	0.000
(11-12)	1	*	[162.15]	0.000
(10-11)	1	*	[161.83]	0.000
(3-4)	1	*	[152.60]	0.000
(9-10)	1	*	[115.69]	0.000
(5-6)	1	*	[84.998]	0.000
(4-5)	1	*	[84.884]	0.000

9.2. Dijagrami napona u tlu – normalna eksploatacija



Slika 65. Dijagram napona u tlu



Slika 66. Grafikon napona u tlu

VIII UTICAJ KRUTOSTI PODLOGE NA DISTRIBUCIJU NAPONSKOG STANJA KOD PREDNAPREGNUTOG BETONSKOG ŽELEZNIČKOG PRAGA TIP B70 [17]

U glavnom projektu [12] prednapregnutog betonskog praga za brze pruge su usvojeni tip, oblik, tehnološke i eksploatacione karakteristike i izradjena je statička analiza [12] prednapregnutog betonskog železničkog praga – tip B70, kako je to zahtevao Naručilac i krajnji korisnik- „Železnice Srbije“.

Osnovni zahtevi Naručioca su izneseni kroz zadate karakteristike prednapregnutog praga [6] [9] (dužina praga 2600 mm, širina donje naležne površine je promenljiva-max. 300 mm, visina preseka na mestu naleganja šine 200 mm, brzina max. 250 km/h, ...).

U postupku statičke analize [12], konstrukcija prednapregnutog železničkog betonskog praga je posmatrana kao greda na elastičnoj podlozi koja se rešava metodom Winklera prema kome su naponi u tlu proporcionalni sleganju (model opruga). Karakteristično za ovu metodu je to što ne uzima u obzir promenu krutosti tla ni po dubini ni po dužini grede.

Statička analiza konstrukcije prednapregnutog železničkog betonskog praga je obavljena primenom metode konačnih elemenata (MKE) i odgovarajućeg softvera.

Statički sistem konstrukcije je greda na elastičnoj podlozi. Konstrukcija praga je modelirana konačnim elementima grede, a podloga simulirana nizom vertikalnih fiktivnih prostih štapova, čiji poprečni presek odgovara projektovanoj krutosti podloge. Konstrukcija i opterećenje su simetrični, tako da je MKE analiza obavljena za poprečnu polovinu praga.

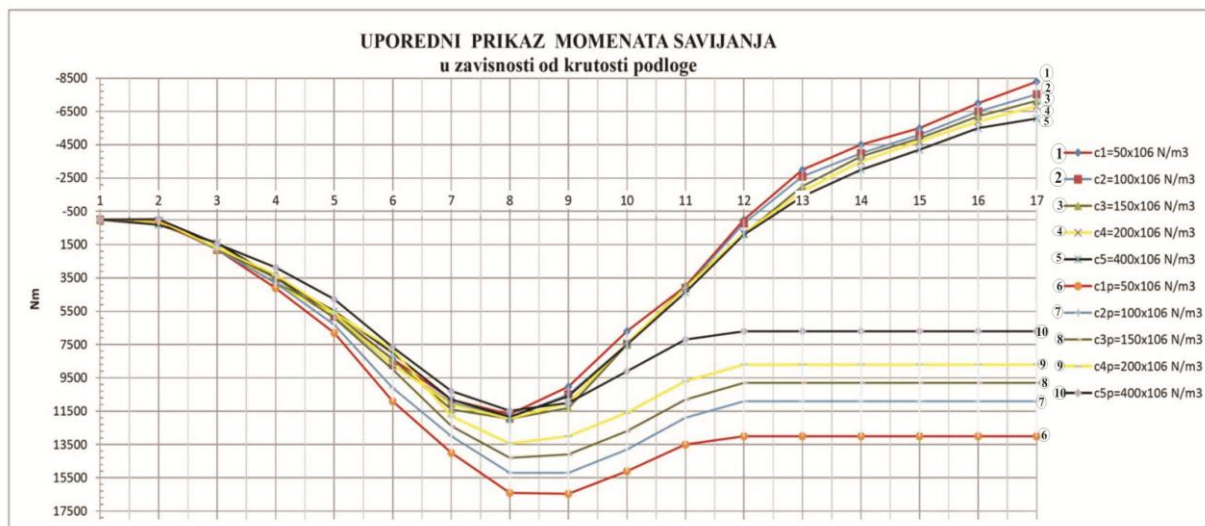
Geometrija praga određena je tehnologijom proizvodnog procesa i eksploatacionim zahtevima Naručioca. Na osnovu ovih uslova izrađeni su detaljni crteži praga [12] koji predstavljaju osnovu za izradu računskog modela.

Proračun fiktivnih štapova za različite krutosti podloge je izvršen u EXCEL-u, pri čemu su dobijene pripadajuće fiktivne površine poprečnih preseka štapova. U projektu skretničkih pragova, proračun je pojednostavljen korišćenjem Tower software-a.

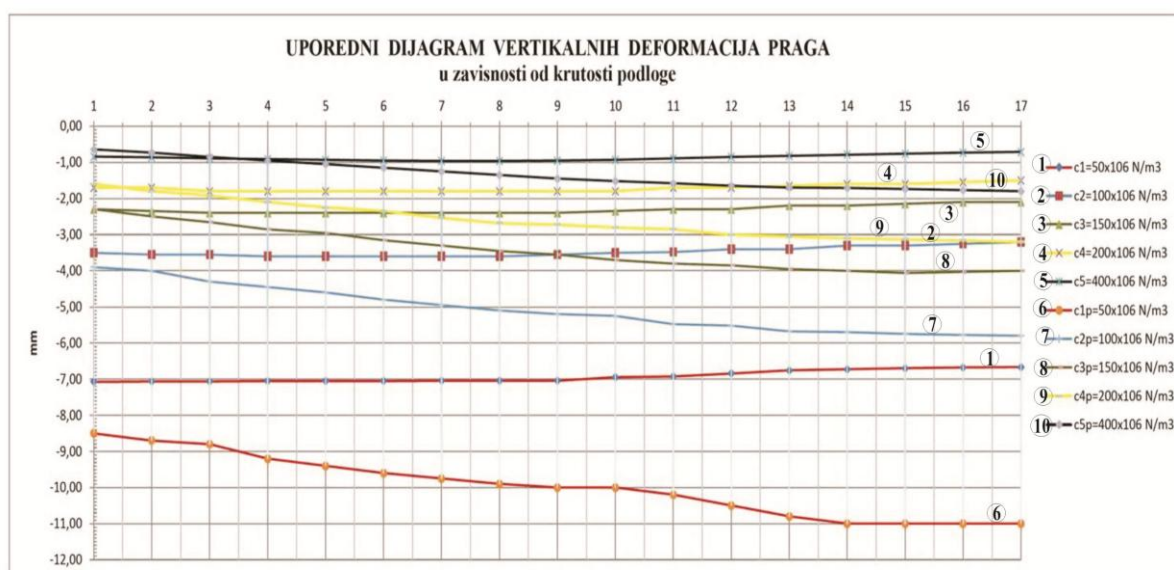
1. Parametarska MKE analiza

Parametarskom MKE analizom su dobijene vrednosti presečnih sila (moment savijanja, transferzalne i normalne sile), vrednosti vertikalnih deformacija i rotacija preseka za prag u normalnom položaju i za prag sa podbijanjem i to za različite krutosti podloge (od $c_1=50 \times 10^6 \text{ n/m}^3$ do $c_5=400 \times 10^6 \text{ n/m}^3$). Ovi rezultati su dati na uporednom grafiku što omogućava donošenje konačnog zaključka o uticaju krutosti podloge na ove vrednosti.

Posle podbijanja praga na 1/3 raspona, pri istim krutostima podloge, dobijaju se veći uticaji i to posebno izraženo povećanje maksimalnog momenta u preseku ispod šine kao i veće sleganje odnosno vertikalno pomeranje u sredini šine. Posle podbijanja, moment u sredini praga se povećava a u ostalim delovima praga gde je bio negativan, prelazi u pozitivnu oblast, pri čemu se prag dovodi u stanje kada nema nultog momenta, odnosno nema prelaska naponskog stanja iz zatezanja u pritisak. Vertikalno pomeranje na krajevima praga i posle podbijanja ostaje približno isto, dok se u sredini raspona praga vertikalne deformacije znatno povećavaju.



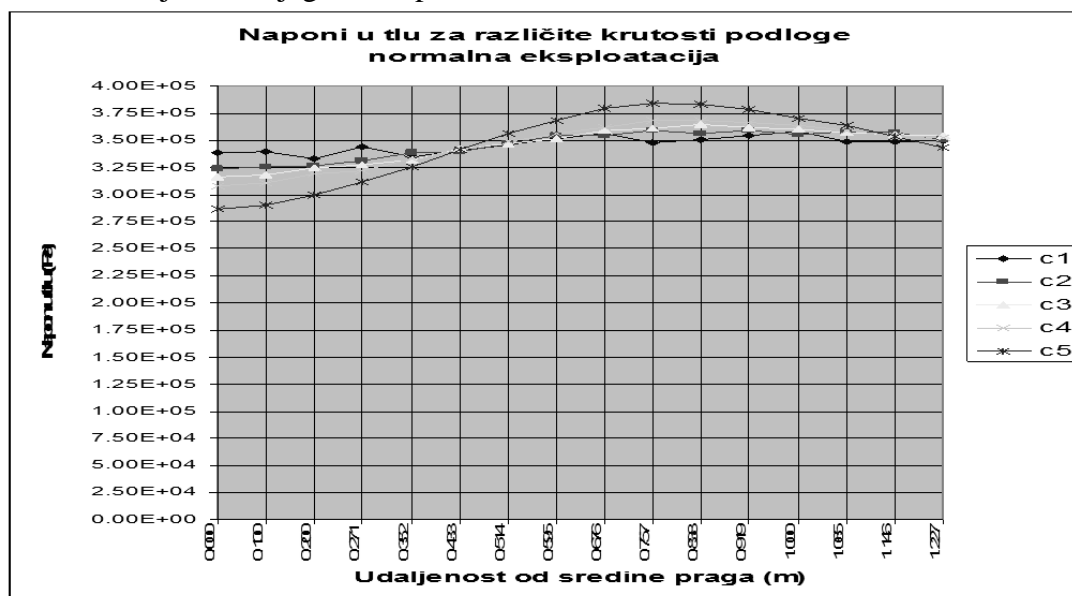
Sl.67. Upporedni prikaz momenata savijanja u pragu, pre i posle podbijanja, dobijenih MKE analizom za krutosti podloge od $c_1=50 \times 10^6 \text{ N/m}^3$ do $c_5=400 \times 10^6 \text{ N/m}^3$



Sl.68. Upporedni prikaz vertikalnih deformacija praga, pre i posle podbijanja, dobijenih MKE analizom za krutosti podloge od $c_1=50 \times 10^6 \text{ N/m}^3$ do $c_5=400 \times 10^6 \text{ N/m}^3$

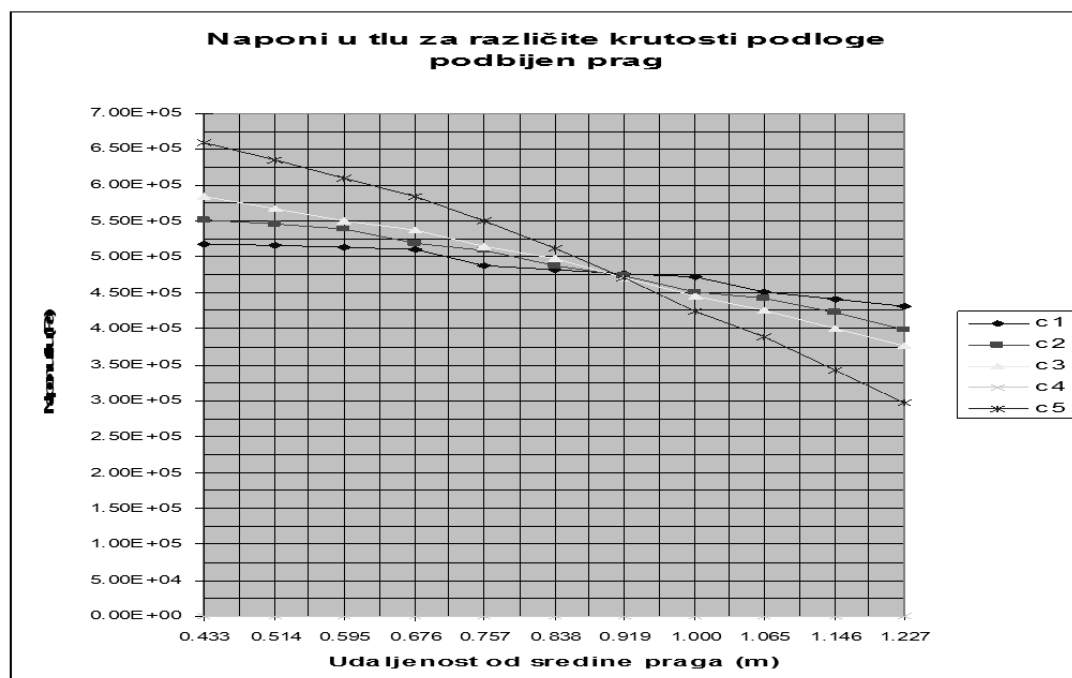
2. Kontrola napona u tlu

2.1. Proračunom napona u tlu pri normalnoj eksploataciji, uzimajući u obzir različite krutosti tla, dobijeni su dijagrami napona u tlu:



Sl. 69. Dijagrami napona u tlu-normalna eksploatacija
 Karakteristični presek - ispod šine: $x=0.757$ m.
 Ekstremna vrednost: $\sigma = 0.384$ MPa (za c5, $x = 0.757$ m, ispod šine).

2.2. Proračunom napona u tlu posle podbijanja praga na L/3 raspona, uzimajući u obzir različite krutosti tla, dobijeni su dijagrami napona u tlu:



Slika 70. Dijagrami napona u tlu - podbijen prag
 Karakteristični presek - granica podbijanja: $x = 0.433$ m.
 Ekstremna vrednost: $\sigma = 0.658$ MPa (za c5, $x = 0.433$ m).

3. Zaključak

Posle detaljne analize grafika na kojima se pokazuje uticaj krutosti podloge (posteljice) na distribuciju naponskog stanja kod pragova za brze pruge, jasno se pokazuje da je krutost posteljice važna zbog smanjenja razlike između minimalnog i maksimalnog momenta u pragu. Pokazano je da se uz podbijanje $1/3$ raspona praga i sa povećanjem krutosti podloge može znatno uticati na smanjenje napona zatezanja koji se javlja u pragu.

Podbijanje se vrši zbog želje da se u konstrukciji železničkog praga izazove naponsko stanje zatezanja koje će primiti čelik za prednaprezanje, a da se izbegne pritisak u središnjem delu praga.

Što se tiče vertikalnih deformacija, jasno je pokazano da se one smanjuju sa povećanjem krutosti posteljice (podloge) a da se posle podbijanja te deformacije povećavaju na nepodbijenom delu praga. Razlika u vertikalnim deformacijama praga u toku normalne eksploatacije i posle podbijanja je sve manja sa povećanjem krutosti posteljice.

IX VRSTE OBAVEZNIH ISPITIVANJA ŽELEZNIČKIH PRAGOVA (STATIČKO, DINAMIČKO, ZAMORNO, EKSPLOATACIONO) [6] [14]

U periodu posle II svetskog rata, proizvodnja betonskih pragova od prednapregnutog betona u svetu doživljava ekspanziju. Na osnovu dugogodišnjeg iskustva u primeni ovakvih pragova, kao najbolje rešenje se pokazao nemački prag oznake B70W, koji je ujedno i najviše ugrađivani prag na evropskoj mreži pruga. Zbog neophodnosti modernizacije mreže pruga u Srbiji, "Putevi invest" iz Užica, Betonjerka Stalać su odlučili da investiraju u projektovanje i proizvodnju prednapregnutog betonskog praga B70 (na bazi praga B70W), kao i proizvodnju skretničkih prednapregnutih betonskih pragova, uz modifikacije koje podrazumeva napredak u oblasti prednapregnutog betona. Projektovanje i proizvodnja prednapregnutog praga B70 i pragova za skretnice su usklađeni sa važećim propisima u Srbiji i EU, kao i sa propisima drugih članica Međunarodne železničke unije (UIC).

Prednapregnuti železnički pragovi tipa B70, proizvedeni su na osnovu projektne dokumentacije[12] i uz poštovanje strogih zahteva po pitanju oblika, tehnoloških i eksploatacionih karakteristika. Konstrukcija prednapregnutog železničkog betonskog praga predstavlja gredu na elastičnoj podlozi, čije je prednaprezanje izvršeno tokom proizvodnog procesa. Uloga prednapregnutog betonskog železničkog praga je da, na podlogu železničkih pruga, prenese opterećenje sa železničkih šina S49 ili UIC60.

Konstrukcija praga omogućava primenu različitih vrsta elastičnog kolosečnog pribora (Pandrol, Vossloh, SKL i dr.). Dužina praga je 260cm, masa ~300kg, sa površinom oslanjanja od 6804cm². Prag je izrađen od betona marke MB60 (PBAB87), odnosno C50/60 (EC2) i armiran je žicama za prednaprezanje (razmatra se i adheziono prednaprezanje orebrenom armaturom). Predviđena podloga ispod praga je tucanički zastor minimalne debljine 29cm. Proces proizvodnje prednapregnutih pragova obuhvata pripremu kalupa, postavljanje žica za prednaprezanje, prednaprezanje, betoniranje, zaparivanje i montažu elastičnog pribora sa skladištenjem.

Kontrola ostvarenog kvaliteta proizvedenih prednapregnutih betonskih pragova

Kontrola postignutog kvaliteta proizvedenih pragova se vrši na osnovu jasno definisanih vrsta ispitivanja i pravila i kriterijuma za prijem prednapregnutih betonskih pragova. Za ovu vrstu konstrukcija su, radi kontrole i u cilju dokaza projekta, neophodna ispitivanja koja su definisana standardom EN13230-2 i mogu biti:

- a) Ispitivanja radi kontrole projekta. Predmetna ispitivanja se vrše na pragovima starosti 4-6 nedelja, ispravno negovanim. Ovaj standard predviđa, kao obavezna, ispitivanja ponašanja praga pri statičkom i dinamičkom opterećenju dok je ispitivanje na zamor pri dinamičkom opterećenju opciono ispitivanje i vrši se samo na zahtev kupca. Pomenuti standard predviđa i navođenje preciznih kriterijuma i ostalih parametara za ocenu rezultata ispitivanja i to za svaku vrstu opterećenja zasebno i sa tačno odredjenim minimalnim brojem ispitivanih pragova.

b) Rutinska ispitivanja. Predviđena su kao deo plana za održanje kvaliteta proizvoda. Rade se na pragovima izabranim po metodi slučajnog uzorka sa ciljem pronalaska grešakaka na pragovima usled kojih isti ne mogu zadovoljiti traženi nivo kvaliteta.

Ispitivanje prve proizvedene serije prednapregnutih pragova, na statičko i dinamičko opterećenje, izvršeno je na Građevinsko-arhitektonskom fakultetu u Nišu, na Institutu za građevinarstvo i arhitekturu, dok je ispitivanje na zamor izvršeno na VTI u Beogradu[14]. Dobijeni rezultati su obrađeni tabelarno i znatno su iznad postavljenih kriterijuma.

1. OPŠTI USLOVI ISPITIVANJA PREDNAPREGNUTIH BETONSKIH ŽELEZNIČKIH PRAGOVA ZA PRUGU U PRAVCU I PRAGOVA ZA SKRETNICE

U postupku ispitivanja prednapregnutog betonskog železničkog praga tipa B70 na statičko opterećenje, potvrđuje se projektom predviđeno ponašanje praga.

Standard EN13230-2 predviđa, kao obavezna ili kao opciona, sledeća ispitivanja:

- **Statičko ispitivanje** na savijanje kojim se potvrđuje predviđeno ponašanje praga pri statičkom opterećenju (vrši se kod ispitivanja za kontrolu projekta i kod rutinskih ispitivanja),
- **Dinamičko ispitivanje** na savijanje pri kome se simuliraju uticaji u koloseku od udarnih opterećenja (vrši se kod ispitivanja za kontrolu projekta), i
- **Ispitivanje na zamor** pri savijanju usled dinamičkog opterećenja kojim se simulira saobraćajno opterećenje (opciono ispitivanje i vrši se samo na zahtev kupca).

Statičko ispitivanje se sprovodi u preseku na mestu oslanjanja šine, gde se dobija pozitivni moment savijanja, kao i u preseku u sredini praga, za pozitivni i za negativni moment savijanja (prag u normalnom i prag u obrnutom položaju). Minimalni broj ispitivanih pragova jeste 12 i to 6 za pozitivni moment savijanja u preseku na mestu oslanjanja šina i 6 za presek u sredini praga (3 za negativni moment savijanja i 3 praga za pozitivan moment savijanja).

Dinamičko ispitivanje se sprovodi u preseku na mestu oslanjanja šine sa 6 pragova za pozitivni moment savijanja(jedan presek po pragu).

Ispitivanje na zamor kao opciono ispitivanje, sprovodi se tako što se 1 prag opterećuje zamornim opterećenjem i posmatra se presek na mestu oslanjanja šine i to za pozitivan momenat savijanja.

Oznake koje se koriste pri ispitivanju pragova za prugu u pravcu i njihovo značenje[7]:

- F_{r0}** - Intenzitet početnog opterećenja pri ispitivanju na mestu oslanjanja šine na prag [kN],
- F_{rr}** - Intenzitet opterećenja pri kome se javlja prva prslina na donjoj površini praga na mestu oslanjanja šine na prag [kN],
- $F_{r0,05}$** - Intenzitet opterećenja pri kome se na donjoj površini praga, na mestu oslanjanja šine na prag, javlja prslina širine 0,05 mm, koja ostaje i posle uklanjanja opterećenja [kN],
- $F_{r0,5}$** - Intenzitet opterećenja pri kome se na donjoj površini praga, na mestu oslanjanja šine na prag, javlja prslina širine 0,5 mm, koja ostaje i posle uklanjanja opterećenja [kN],
- F_{rB}** - Intenzitet opterećenja koje deluje na mestu oslanjanja šine na prag i koje se ne može više povećavati [kN],
- F_{ru}** - Najmanji intenzitet dinamičkog opterećenja koje deluje na mestu oslanjanja šine na prag [$F_{ru} = 50$ kN],
- F_{c0}** - Početni intenzitet opterećenja koje deluje u sredini praga, na gornjoj površini praga, za pozitivni moment savijanja (prag u normalnom položaju) [kN],
- F_{c0n}** - Početni intenzitet opterećenja koje deluje u sredini praga, na donjoj površini praga, za negativni moment savijanja (prag u obrnutom položaju) [kN],
- F_{cr}** - Intenzitet opterećenja pri kome se javlja prva prslina na donjoj površini, u sredini praga. Opterećenje deluje u sredini praga, na gornjoj površini praga, za pozitivni moment savijanja (prag u normalnom položaju) [kN],
- F_{crn}** - Intenzitet opterećenja pri kome se javlja prva prslina na gornjoj površini, u sredini praga. Opterećenje deluje u sredini praga, na donjoj površini praga, za negativni moment savijanja (prag u obrnutom položaju) [kN],
- F_{cB}** - Intenzitet opterećenja koje se ne može više povećavati a koje deluje u sredini praga, na gornjoj površini praga, za pozitivni moment savijanja (prag u normalnom položaju) [kN],
- F_{cBn}** - Intenzitet opterećenja koje se ne može više povećavati a koje deluje u sredini praga, na donjoj površini praga, za negativni moment savijanja (prag u obrnutom položaju) [kN],
- L_p** - Projektovano rastojanje između osovine mesta oslanjanja šine i donje ivice čela praga [m],
- L_r** - Projektovano rastojanje između osovine oslonca praga za ispitivanje na mestu oslanjanja šine na prag [m],
- L_c** - Projektovano osovinsko rastojanje između mesta oslanjanja šina na prag [m],

Prva prslina - prslina koja se javlja na zategnutoj površini praga sa minimalnom dubinom od 15 mm i koja se povećava sa povećanjem opterećenja,

Merenja se vrše (merne trake se postavljaju) na približno 15mm od zategnute površine betonskog praga, sa obe strane.

Oznake koje se koriste pri ispitivanju pragova za skretnice i njihovo značenje[7]:

- F_{b0}** - Početno pozitivno opterećenje ispitivanja skretničkog praga[kN],
- F_{b0n}** - Početno negativno opterećenje ispitivanja skretničkog praga[kN],
- F_{br}** - opterećenje koje izaziva prvu prslinu na donjoj površini skretničkog praga[kN],
- F_{brn}** - opterećenje koje izaziva prvu prslinu na gornjoj površini skretničkog praga [kN],
- $F_{b0,05}$** - opterećenje usled kojeg na donjoj površini skretničkog praga zaostaje prslina širine 0,05 mm i posle rasterećenja [kN],
- $F_{b0,05n}$** - opterećenje usled kojeg na gornjoj površini skretničkog praga zaostaje prslina širine 0,05 mm i posle rasterećenja [kN],
- F_{bB}** - opterećenje koje se ne može povećati usled loma donje površine praga [kN],
- F_{bBn}** - opterećenje koje se ne može povećati usled loma gornje površine praga [kN],
- F_{bu}** - opterećenje za ispitivanje zamora prednapregnutog betonskog skretničkog praga [kN],
- k_b** - udarni koeficijent za pozitivno statičko ispitivanje skretničkog praga,
- k_{bn}** - udarni koeficijent za negativno statičko ispitivanje skretničkog praga,
- k_{bB}** - udarni koeficijent za ispitivanje zamora skretničkog praga.

2. IZBOR MERNIH INSTRUMENATA ZA REALIZACIJU ISPITIVANJA

2.1. Elektrootporne merne trake (ekstenzometrijska metoda)

Dilatacije (pomeranja) u nekoj tački za odabrani pravac se mere elektrootpornim mernim trakama [27]. Pri ovom merenju se koristi analogija sa električnim otporom jer je dilatacija proporcionalna specifičnoj promeni električnog otpora. Merne trake su najprostiji elementi za merenje deformacija i napona. One su homogeni provodni materijali u obliku žica ili folija koje se lepe na površinu ispitivanog elementa konstrukcije kako bi direktno pratile deformaciju konstrukcije na tom mestu. Električni otpor u traci se menja sa promenom dužine žice a ta promena se registruje na posebnom mernom mostu (Wheatston-ov most) gde je skala podešena za očitavanje veličina dilatacije.



Slika 71. Merna traka [63]

Ekstenzometrijska metoda (metoda mernih traka) je izuzetno efikasna metoda sa širokim područjem primene uz postizanje visokog stepena tačnosti. Univerzalna mogućnost primene kod statičkih i dinamičkih problema sa mogućnošću mehanizovanosti i automatizacije postupka uz relativno niske troškove, čini ovu metodu veoma prihvatljivom. Svaku mernu traku karakteriše konkretan K – faktor tj. faktor proporcionalnosti. Ovaj faktor predstavlja jednu od najvažnijih karakteristika svake merne trake i predstavlja linearan odnos između specifične promene otpora u provodniku i njegovog specifičnog izduženja.

Jedinica dilatacije ε daje se u $[\mu D] = l[\frac{\mu m}{m}] = 10^{-6}$ i naziva se mikrodilatacija.

$$K = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} \quad \varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta R/R}{K}$$

R - početna otpornost,

L - početna dužina žice merne trake,

ΔR - promena otpornosti trake i

ΔL - promena dužine trake pri njenom opterećenju.

Faktor osetljivosti merne trake je konstanta koja zavisi od materijala provodnika i predstavlja meru promene otpornosti za datu deformaciju i pokazatelj je osetljivosti na deformacije. Što je veći faktor, to je osetljivija merna traka i veći je električni izlaz koji omogućava tačnije očitavanje otpornosti, odnosno deformacije. Idealna žica za merne trake mora imati sledeće osobine: veliku otpornost, znatnu promenu otpornosti sa deformacijama,

visoku granicu elastičnosti, mora biti neosetljiva na temperaturne promene kako u pogledu fizičkih tako i električnih osobina i konstantan odnos između promene otpornosti i deformacije.

Tabela T5: Vrednosti K faktora merne trake

Materijal provodnika	K faktor	Materijal provodnika	K faktor
Mangan	+ 0,50	Platina	+ 6,10
Hrom-Nikl	+ 2,63	Nikl	– 12,10
ISO-elastik	+ 3,60	p-Silicijm	+ (100 – 120)
Konstantan	+ (2,0 – 2,15)	n-Silicijum	– (100 – 120)

Merne trake se za element koji se ispituje pričvršćuju lepljenjem. Lepkovi koji se koriste moraju sa što manje gubitka prenositi deformacije sa ispitivanog elementa na mernu traku i moraju biti stabilni i što je manje moguće osetljivi na temperaturne promene i promene napona u ispitivanom elementu.

Merenje promene otpora u mernoj traci se mora izvršiti sa velikom preciznošću uz kompenzovanje uticaja promene temperature. To nam omogućava poseban oblik električnog kola koje ima strukturu mosta - Wheatston-ov most. U zavisnosti od zahtevane tačnosti merenja i osetljivosti na promene opterećenja, Wheatston-ov most se izvodi u tri oblika, kao četvrt, polu i pun most.

Merne trake mogu biti:

- merne trake sa žicom,
- merne trake sa folijom (neosetljivije na poprečne deformacije),
- merne trake sa poluprovodnikom (za merenje veoma malih deformacija),
- specijalne merne trake (rozete, membranske trake, naponske trake, trake za merenje širenja prslina, merni lanci, temperaturni senzori, senzori za pritisak, trake za ugradnju u beton i kompozitne materijale).

Prednosti korišćenja mernih traka:

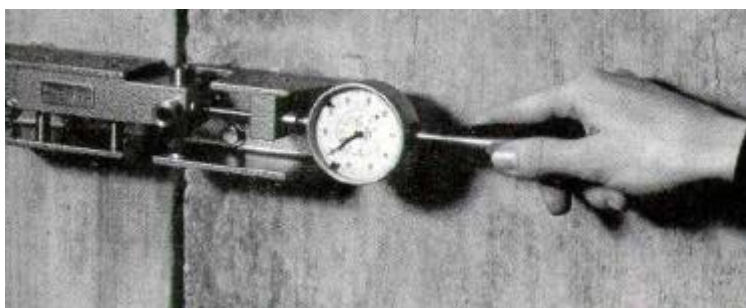
- velika preciznost pri merenju deformacijskih veličina,
- mogućnost istovremenog merenja deformacija u više tačaka sa odgovarajućim brojem traka,
- merenja višekomponentnih deformacija u tački,
- merenja u širokom dijapazonu temperatura (kada je beton u pitanju, preporučuje se da spoljašnja temperatura bude iznad 5°C),
- merenja pri najrazličitijim spoljašnjim uslovima (vlažnost, pritisak, jonizujuće zračenje, itd.)
- niski prag reagovanja, mala masa, pouzdanost u radu, mogućnost statičkih i dinamičkih ispitivanja,
- niska cena nabavke i realizacije merenja,
- mogu se lepiti na prave i krive površine zahvaljujući svojoj vitkosti.

Mane i nedostaci pri korišćenju mernih traka:

- jednokratna upotreba mernih traka (ne računajući pretvarače mehaničkih veličina sa mernim trakama),
- merenje deformacija samo u jednoj tački korišćenjem jedne trake, bez poznavanja slike naponskog polja,
- nemogućnost individualnog baždarenja,
- merenje samo površinskih deformacija,
- relativno nizak apsolutni nivo izlaznog signala.

2.2. Deformetri (dilatometri)

Merenje dilatacija se vrši deformetrima koji imaju veliku osetljivost na pomeranja i jednostavno se pričvršćuju na konstrukciju. U zavisnosti od toga da li se radi o mehaničkim, optičkim ili električnim, deformetri imaju mogućnost beleženja statičkih i dinamičkih relativnih deformacija trajnim zapisom ili sa udaljenosti.



Slika 72. Dilatometar[64]

2.3. Ultrazvučni aparat TICO PROCEQ

Za kontrolno utvrđivanje postignute čvrstoće ispitivanih pragova je korišćen ultrazvučni aparat TICO PROCEQ čija je namena merenje prosečne čvrstoće ugrađenog betona bez razaranja. Instrument je sertifikovan prema ISO/9001 i EN29001-1987.



Slika 73. Ultrazvučni aparat TICO PROCEQ [65]

2.4. Manometri za praćenje sila opterećenja

Za kontrolno merenje i praćenje sila opterećenja pri statičkom ispitivanju prednapregnutih betonskih pragova su korišćeni i manometri.

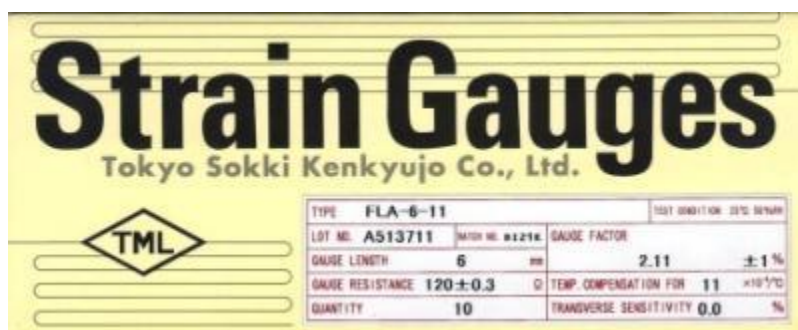


Slika 74. Manometri za praćenje sila opterećenja

3. BAŽDARENJE I UGRADNJA SPECIJALNIH MERNIH TRAKA ZA UGRADNJU U BETON, TRAJNIH DILATOMETARA I TELEDEFORMETARA

Baždarenje mernih instrumenata predstavlja uspostavljanje veze između tačno definisanog, presom nanetog opterećenja (ispitivanje u laboratoriji) i naponsko deformacijskih karakteristika ispitivanog uzorka, u našem slučaju prednapregnutog betonskog praga. Pri in-situ ispitivanju, ova veza se uspostavlja očitavanjem "nultog" stanja mernih traka ugrađenih u prag prilikom betoniranja, u trenutku otpuštanja žica za prednaprezanje odnosno u trenutku postizanja projektovane marke betona i poređenjem sa istim mernim trakama izmerenim dilatacijama u pragu, u ambijentalnim uslovima. Proces baždarenja instrumenata za ispitivanje u laboratoriji podrazumeva niz postupaka koje treba sprovesti a koji su gotovo identični postupcima pri samom in-situ ispitivanju posmatranog prednapregnutog betonskog praga. Ovde treba napomenuti da se u slučaju ispitivanja pragova merne trake postavljaju na površinu betona tako da nema promene lokalnog naponskog stanja kao što je to slučaj kod ispitivanja metodom bušenja rupa.

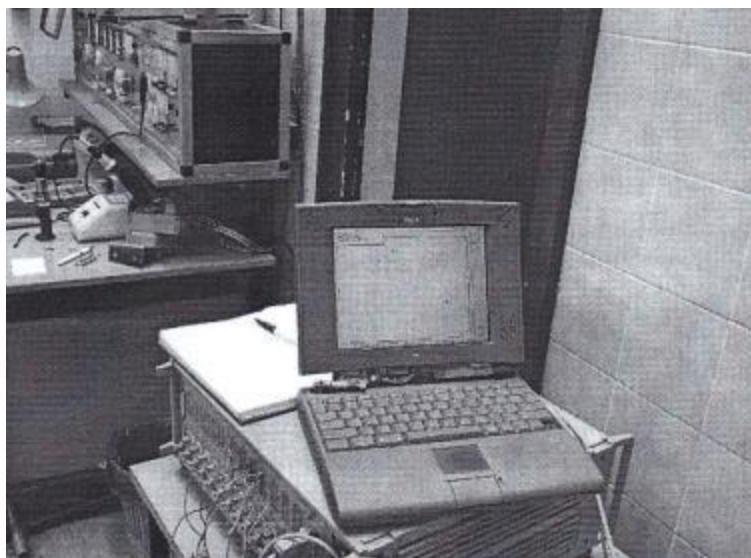
Kod ispitivanja praga metodom ugradnje mernih traka pre betoniranja i to na žice za prednaprezanje i u beton, od posebne je važnosti precizno postavljanje mernih instrumenata kao i njihovo osiguranje od eventualnih pomeranja i oštećenja pri betoniranju.



Slika 75. Proizvođačka specifikacija upotrebljenih mernih traka

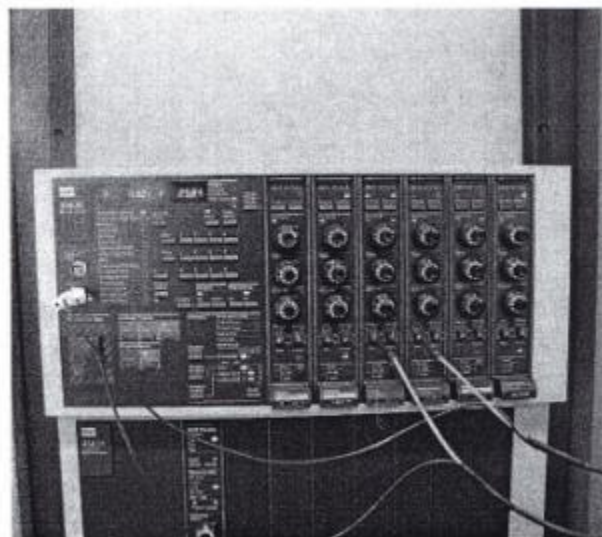
4. MERNE STANICE I OPREMA ZA PRAĆENJE SNIMLJENIH PARAMETARA U FUNKCIJI VREMENA

Za dinamičko ispitivanje prednapregnutih betonskih pragova se koristi aparatura koja sadrži hidraulični cilindar koji ostvaruje silu preko merne ćelije sile C6 500 kN proizvođača Hotinger Balidwin Messtechnik (HBM) kojim se upravlja uz pomoć računara Apple McIntosh 520c uz korišćenje softvera BEAM ver 3.1 proizvođača Hotinger Balidwin Messtechnik (HBM).



Slika 76. Merna oprema za dinamičko ispitivanje

Za ispitivanje uticaja zamornog opterećenja je korišćen linearni servohidraulički aktuator MTS Systems Corporation sa komandnom jedinicom. Aktuator može da ostvari silu od 100 kN i hod od 150 mm.



Slika 77. Servohidraulički sistem MTS

a) upravljačka jedinica, b) detalj upravljačke jedinice

5. METODOLOGIJA ISPITIVANJA

Savremeni tehnički propisi za betonske i konstrukcije od prednapregnutog betona zahtevaju da se pri projektovanju elemenata betonskih konstrukcija moraju predvideti svi uticaji na predmetnu konstrukciju koji proizilaze iz načina i redosleda građenja, opterećenja u eksploataciji, predvidivih uslova uobičajene upotrebe i predvidivih uticaja okoline (ambijentalni uslovi) na element konstrukcije. Izbor metode ispitivanja elementa betonske konstrukcije na osnovu koje se može doneti konačan sud o nosivosti je jednostavan jer je eksperiment jedina pouzdana metoda provere teorijskih postavki i matematičkog proračuna koji iz njih proizilazi. Kada se radi o proceni trajnosti ovih elemenata, ona zavisi prvenstveno od ambijentalnih uslova pri eksploataciji ispitivanog elementa tj. uticaja okoline na njega. Dakle, ispitivanje elementa konstrukcije u ambijentalnim uslovima eksploatacije je nezaobilazno ukoliko želimo imati kompletnu sliku o ispitivanom objektu.

Razvoj nauke, posebno u 20. veku, umnogome se temelji na eksperimentu kao metodi. **Eksperimentalna metoda** je postupak izazivanja i istraživanja određene pojave pod tačno određenim uslovima. Ovaj uslov je neophodno zadovoljiti kako bi se svaki put, uz ponavljanje pod istovetnim uslovima, ista ta pojava mogla ponovo izazvati i samim tim potvrditi. Ova metoda se, dakle, zasniva na eksperimentu, kao naučno postavljenom opitu. Naučni eksperiment je, dakle, plansko, organizovano i metodično izazivanje, istraživanje ili samo merenje stvarnih pojava. Eksperiment ima za cilj otkriće nepoznatih faktora, karakteristika i odnosa između raznih pojava, odnosno proveravanja pretpostavki o njima. U konstrukterstvu, to podrazumeva eksperimentalno ispitivanje materijala, konstrukcija i njihovih elemenata, istraživanja na modelima, proveru ponašanja i kontrolu sigurnosti gotovih konstrukcija tokom eksploatacije. U naučno-istraživačkom radu sprovode se eksperimentalna istraživanja na modelima konstrukcija i elementima konstrukcija, pri čemu se stanja deformacija, naprezanja i sigurnosti prevode na prave veličine konstrukcija primenom dimenzionalne analize. Za izradu modela koriste se različiti materijali s radnim dijagramima sličnim onima kod realnih konstrukcija koje se istražuju. Eksperimentalna istraživanja neophodna su u modernoj tehnologiji građenja i daju podatke potrebne za održavanje u eksploataciji, za razvoj i projektovanje modernih konstrukcija a posebno za unapređenje tehničkih normativa i propisa, kao i za pravovremeno otkrivanje defekata.

Osnovni faktori eksperimentalne metode su: laborant, eksperimentalna pojava (predmet ispitivanja), sredstva za izvođenje eksperimenta, eksperimentalni postupak, prognozirani ishod i kontrolni eksperimentalni događaj, rezultati eksperimenta i, konačno, implementacija izvedenih zaključaka iz eksperimenta u realne uslove. U našim uslovima, ljudski resurs svakako nije prepreka za kvalitetno izvršen eksperiment, ali kvalitetno opremljena laboratorija svakako to jeste. Za vršenje eksperimentalnih istraživanja laboratorija mora biti opremljena aparatima, instrumentima za registraciju pomeranja i deformacija, senzorima i potrebnim elektronskim pomagalicama za digitalno sakupljanje podataka, njihovu registraciju i obradu.

Proračun, kao način predviđanja i predstavljanja stanja elemenata složenih konstrukcija, ne može garantovati celovit i potpuno pouzdan pristup, što ukazuje na

neophodnost eksperimentalnih istraživanja. Primenom savremenih eksperimentalnih metoda za praćenje ponašanja konstruktivnih sistema izloženih uticaju statičkih i dinamičkih opterećenja kao i reoloških promena, moguća su takva istraživanja konstrukcija koja daju stvarni uvid u stanje sigurnosti istih.

Tako se vrše eksperimentalna istraživanja mehaničkih karakteristika materijala koji se upotrebljavaju u građevinarstvu: čvrstoća (na pritisak, savijanje, smicanje, zatezanje), modul elastičnosti, modul smicanja, Poissonov koeficijent, itd. Rade se i ispitivanja žilavosti i čvrstoće materijala, ispitivanja zamora materijala kao i ispitivanja materijala izloženih višesmernim stanjima naprezanja. U svrhu dokazivanja sigurnosti i stabilnosti konstrukcija, realnog ponašanja konstrukcija u eksploataciji kao i verifikaciji novih konstruktivnih rešenja, rade se ispitivanja svih vrsta čeličnih, drvenih, armiranobetonskih konstrukcija kao i konstrukcija od prednapregnutog betona i od kompozitnih materijala. Uvođenjem novih vrsta materijala u tehnologiju građenja, osim standardnih ispitivanja mehaničkih karakteristika materijala, javlja se potreba za nestandardnim ispitivanjima njihovog ponašanja, posebno reoloških svojstava i parametara mehanike loma.

Predmet istraživanja uticaja prirodnih fenomena, korisnog opterećenja i veštački izazvanih uticaja na građevinske konstrukcije, koristeći eksperimentalne metode saznanja, jesu:

- mostovi, visoki tornjevi i dimnjaci (dinamički uticaj seizmičkog i opterećenja vetrom), visoki silosi (pritisak uskladištenih materijala), kranske staze, tribine, zidani objekti, nova rešenja montažnih konstrukcija, dalekovodi, hidrotehničke i druge konstrukcije, prednapregnuti železnički pragovi,
- elementi konstrukcija sa određivanjem stanja sigurnosti, stabilnosti, kao i stanja naprezanja, deformacija i pomeranja,
- modeli konstrukcija i pojedinih elemenata.

Osim razornih (destruktivnih) metoda ispitivanja, u laboratoriji je razvijen i niz bezrazornih metoda za određivanje mehaničkih karakteristika materijala i konstrukcija (posebno se to odnosi na betonske konstrukcije uz upotrebu ultrazvuka i sklerometra).

Veoma je važno napomenuti da se direktna veza i dodir naučnog rada sa realnim problemima sa kojima se sreću konstrukteri u svom svakodnevnom radu na izgradnji i održavanju konstrukcija, ostvaruje kroz saradnju instituta odnosno laboratorija sa privredom i to kroz eksperimentalna istraživanja.

Stalna je potreba za sprovođenjem monitoringa na značajnim objektima izloženih raznim uticajima osnovnih i dopunskih opterećenja u svrhu određivanja realnog ponašanja konstrukcija u eksploataciji.

Laboratorijsku opremu namenjenu eksperimentalnim istraživanjima mehaničkih karakteristika materijala i elemenata konstrukcija u laboratoriji, kao i opremu namenjenu terenskim istraživanjima na konstrukcijama, čine prese, kidalice i uređaji za tehnološke probe, mehanički instrumenti, elektrootporne merne trake i indikatorske ploče za merenja deformacija i pomeranja, instrumenti za merenje velikih pomeranja na principu matematičkog

klatna, induktivni primaoci deformacija, kao i uređaji za merenje i nanošenje sila. Za rad na terenu predviđena je specijalizovana mobilna oprema za merenje, registraciju i analizu podataka merenja, senzori, registratori, analizatori i ostala elektronska oprema koja je prilagođena potrebama ispitivanja građevinskih konstrukcija i elemenata.

Mobilnu opremu čine komponente za merenje pomeranja i deformacija kao što su induktivni primači pomeranja veličine mernog područja od 1 - 200 mm, induktivni primači deformacija različitih osetljivosti, niskofrekventni primači deformacija (akceleracija, brzina i pomeranje), elektrootporni tenzometri, induktivni ekstenzometri, primači brzine vetra kao i razni senzori za merenje sile, pritiska, temperature, vlažnosti itd.

Opremu za merenje i registraciju čine višekanalni W-mostovi za statička i dinamička merenja mernim trakama, razni oscilografi, xy-pisači, osciloskopi, štampači, automatski digitalni merni sistemi i spektralni analizatori.

Posebno treba još istaknuti najmodernije merne sisteme za digitalno sakupljanje podataka velikog kapaciteta za simultana merenja s raznim vrstama senzora. Uz taj merni sistem, upotrebljavaju se razni programski paketi za merenje, sakupljanje, prikaz i analizu podataka u realnom vremenu. Ti sistemi bazirani na PC-u mogu prikupljati podatke vrlo velikom brzinom i slati ih na daljinu putem telefonske linije ili interneta.

U novije vreme vrše se istraživanja konstrukcija pri dinamičkim pobudama generisanih veštačkim putem ili uzrokovanih prirodnim uticajima. Tako se eksperimentalnim metodama određuju dinamički parametri konstrukcija: frekvencije, odnosno periodi vibriranja, dinamički inkrementi pri različitim uticajima korisnih i dopunskih opterećenja kao i logaritamski dekrementi prigušenja.

Eksperimenti sa početnim pomeranjem ili početnom brzinom su najjednostavniji za realizaciju dok su eksperimenti sa sinusoidalnim pobuđivanjem koje izaziva prinudne oscilacije, skuplji, ali pružaju mnogo veće mogućnosti u istraživanju dinamičkih karakteristika ispitivanih konstrukcija. Eksperimenti sa kratkotrajnim pobuđivanjem se dele na eksperimente sa ambijetalnim oscilacijama (od saobraćaja, mašina, vetra,...), eksperimente sa realnim seizmičkim kretanjem tla i eksperimente sa podzemnim eksplozijama (kamenolomi, nuklearne eksplozije,...).

Provera (ocena) korelacije eksperimentalnih i teorijskih istraživanja sa matematičkim proračunom se daje kroz tabelarni uporedni prikaz eksperimentalno i analitički dobijenih vrednosti.

Na osnovu iznesenog, zaključujemo da je eksperiment najsnažnija, po nekima i jedina metoda kojom se dokazuju uzročno-posledični (kauzalni) odnosi. Njime se u kontrolisanim uslovima nastoji utvrditi utiče li menjanje jedne ili više nezavisnih promenljivih na menjanje zavisne varijable.

Induktivno-deduktivna metoda jeste svakako nezaobilazna u naučno-istraživačkom radu. Koristi se za objašnjavanje utvrđenih i otkrivanje novih spoznaja i novih zakonitosti za dokazivanje postavljenih teza, za proveravanje hipoteza i naučnih istraživanja. Prikupljanje činjenica pomoću zapažanja i eksperimenata, nakon čega sledi stvaranje radne hipoteze ili teorije koja predstavlja objašnjenje tih činjenica, prve su dve faze sprovođenja induktivno-deduktivne metode. Završne dve faze odnose se na zaključivanje na osnovu rezultata zapažanja ili eksperimenata i na proveru ili verifikaciju koje podrazumeva dedukciju ili zaključivanje pomoću novih zapažanja ili novih eksperimenata. Tek kada se dedukcija verifikuje, hipoteza je prihvaćena. Indukcija i dedukcija se moraju kombinovati u naučnom radu. Jedna bez druge metode nije moguća odnosno neefikasna je kao i njihovi rezultati ukoliko se koriste zasebno.

Spomenute metode se nadopunjuju, a njihove međusobne razlike su sledeće:

- 1) indukcija je početni, a dedukcija završni proces u naučnom saznanju,
- 2) indukcija i dedukcija su suprotne metode saznanja po svojim posebnim predmetima i ciljevima.

Indukcijom i dedukcijom saznanje se veza, odnos, jedinstvo posebnog i opšteg. Sa tim svojim obeležjima odnosno karakteristikama, indukcija i dedukcija su izrazito dijalektičke metode saznanja.

6. PROGRAM ISPITIVANJA PREDNAPREGNUTIH BETONSKIH PRAGOVA

Program ispitivanja prednapregnutih betonskih pragova, tipa B70 i skretničkih, sadrži detaljan opis uslova ispitivanja i normativa koji definišu uslove koji trebaju biti zadovoljeni. Ispitivanje prednapregnutih betonskih pragova na uticaj statičkog, dinamičkog i zamornog opterećenja, zajedno sa eksploatacionim ispitivanjem, je osnov za ocenjivanje pogodnosti za upotrebu prednapregnutih betonskih pragova. Program statičkog, dinamičkog i zamornog ispitivanja sastavlja proizvođač u skladu sa normativima koji definišu ovu oblast a program eksploatacionog ispitivanja pragova sastavlja proizvođač a odobrava ga ovlašćeno telo Direkcije za infrastrukturu. Po završenom eksperimentalnom ispitivanju, Direkcija izdaje sertifikat o verifikaciji koji je sastavni deo dokumentacije na osnovu koje se izdaje dozvola za korišćenje.

Program statičkog, dinamičkog i zamornog ispitivanja sadrži detaljan opis celokupnog postupka merenja i evidentiranja potrebnih podataka uz navođenje mernih instrumenata i softvera za kontrolu i evidentiranje nanošenja opterećenja i rezultata merenja, podataka o laboratoriji i ispitivanim uzorcima, kriterijuma za ocenu rezultata ispitivanja. Program eksperimentalnog ispitivanja sadrži osnovni opis probne deonice, podatke o stacionaži i dužini probne deonice, karakteristike probne deonice, eksploatacione uslove pruge na kojoj se nalazi probna deonica, opis postupaka i načina kontrole i održavanja tog dela pruge, metodologiju sprovođenja ispitivanja i kontrole rezultata, spisak mernih instrumenata sa uputstvom za korišćenje, zapisnike i obrasce za evidentiranje rezultata merenja, kriterijume za ocenu rezultata merenja kao i period probne eksploatacije.

7. IZRADA MODELA I RAZMERA MODELA

Modeli za ispitivanje jesu prednapregnuti betonski pragovi proizvedeni u pogonu "Putevi invest", betonjerka u Stalaću. Pragovi su proizvedeni u skladu sa projektnom dokumentacijom, uz propisno održavanje. Razmera modela je stvarna (1:1).

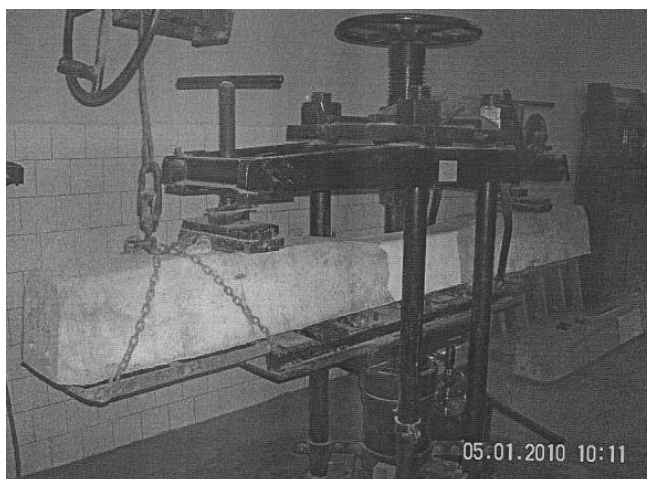
X LABORATORIJSKO ISPITIVANJE PREDNAPREGNUTOG BETONSKOG PRAGA B70 NA UTICAJ STATIČKOG, DINAMIČKOG I ZAMORNOG OPTEREĆENJA SA EKSPLOATACIONIM ISPITIVANJEM PRAGA I ISPITIVANJEM U AMBIJENTALNIM USLOVIMA EKSPLOATACIJE

Ispitivanje prednapregnutih betonskih pragova[3][18][20] na uticaj statičkog, dinamičkog[47] i zamornog opterećenja se vrši na osnovu zahteva proizvođača u ovlašćenoj laboratoriji. Zahtev sadrži program ispitivanja u kojem su detaljno navedeni podaci o pragovima, načini nanošenja opterećenja, merni instrumenti kao i kriterijumi za ocenu rezultata merenja.

Eksploataciono ispitivanje prednapregnutih betonskih pragova se vrši na osnovu odobrenog zahteva koji se podnosi sa odobrenim programom eksploatacionog ispitivanja[20], upravljaču infrastrukture odnosno železničkom prevozniku. Zahtev podnosi proizvođač ili njegov ovlašćeni zastupnik i to posle izdavanja sertifikata o usaglašenosti i deklaracije o usaglašenosti.

Upravljač je dužan da omogući početak zahtevanog eksploatacionog ispitivanja u roku od tri meseca od dana podnošenja zahteva. Podnosilac zahteva plaća cenu usluga upravljaču, odnosno železničkom prevozniku za obavljanje eksploatacionog ispitivanja[21]. Visina cene zavisi od vrste, obima i trajanja eksploatacionog ispitivanja i odgovara realnim troškovima upravljača, odnosno železničkog prevoznika i ne može se utvrđivati u cilju sticanja profita.

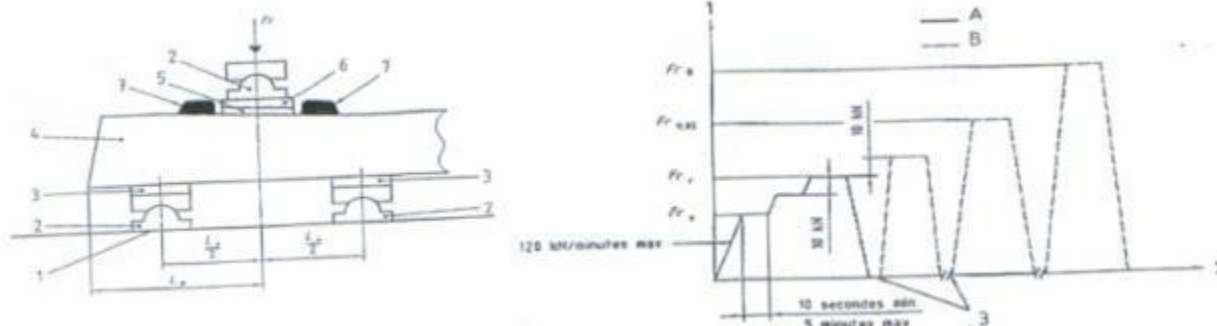
1. ISPITIVANJE PREDNAPREGNUTOG BETONSKOG PRAGA B70 NA STATIČKO OPTEREĆENJE [14]



Slika 78. Uređaj za statičko ispitivanje pragova

1.1. Presek na mestu oslanjanja šine

Opterećenje se nanosi na mestu oslanjanja šine (pozitivni moment savijanja) kao na slici 1. Sila ispitivanja F_r se nanosi upravno na donju površinu praga, dok je suprotan kraj praga slobodan.



Slika 79. Šema nanošenja opterećenja pri statičkom ispitivanju na mestu oslanjanja šine sa grafikonom za dokaz projekta (pozitivni moment savijanja)

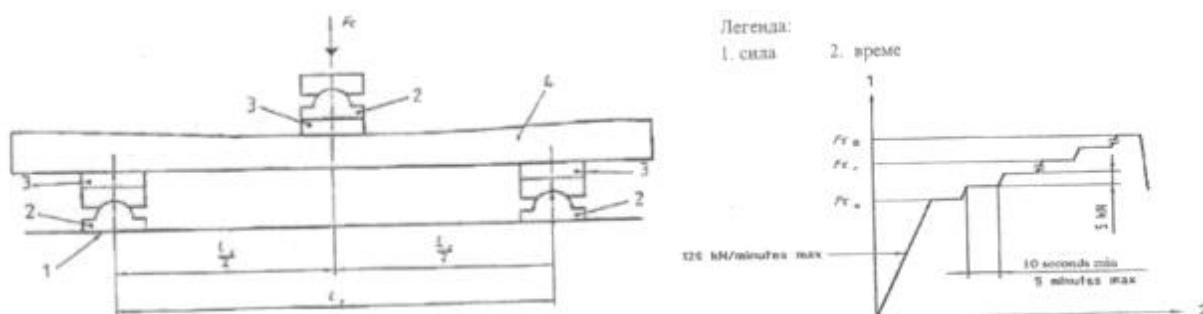


Slika 80. Nanošenje opterećenja pri statičkom ispitivanju na mestu oslanjanja šine za pozitivni moment savijanja

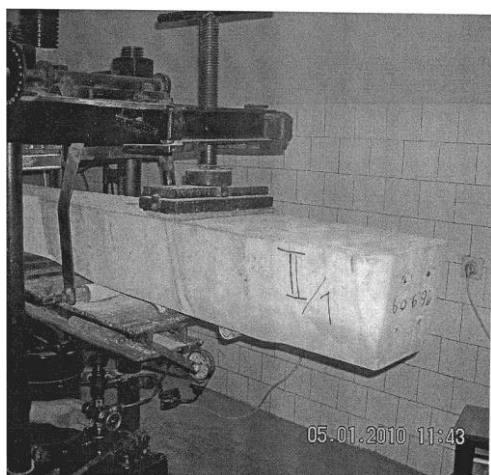
1.2. Presek u sredini praga

1.2.a) Prag u normalnom položaju

Opterećenje se u ovom slučaju nanosi u sredini praga (slika 3.), čime se izaziva pozitivan moment savijanja.



Slika 81. Šema nanošenja opterećenja pri statičkom ispitivanju za presek u sredini praga sa grafikonom za dokaz projekta (pozitivni moment savijanja)



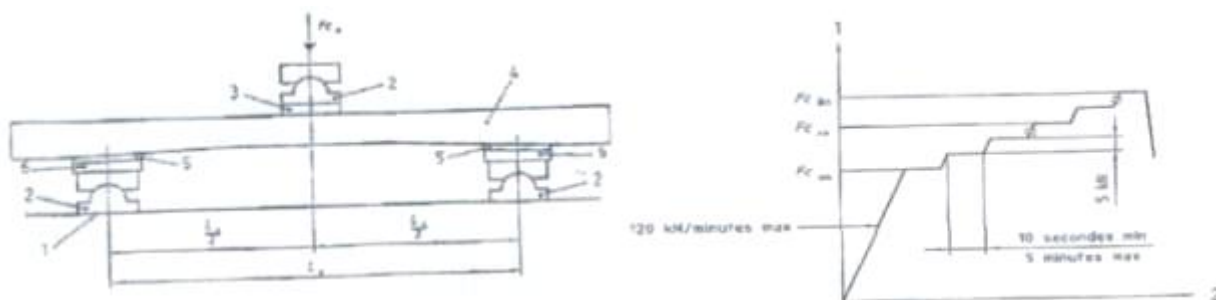
Slika 82. Položaj praga pri statičkom ispitivanju za presek u sredini praga za pozitivni moment savijanja



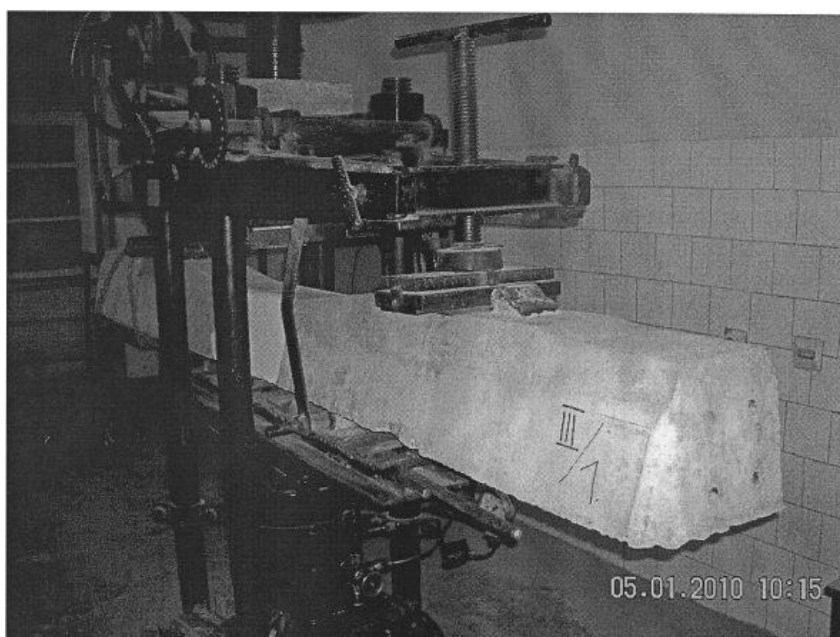
Slika 83. Način nanošenja opterećenja pri statičkom ispitivanju za preseke u sredini praga za pozitivni i negativni moment savijanja

1.2.b) Prag u obrnutom položaju

Opterećenje se u ovom slučaju nanosi u sredini praga (slika 84.), čime se izaziva negativan moment savijanja. Prag se nalazi u obrnutom položaju.



Slika 84. Šema nanošenja opterećenja pri statičkom ispitivanju za presek u sredini praga sa grafikonom za dokaz projekta (negativni moment savijanja)



Slika 85. Položaj praga pri statičkom ispitivanju za presek u sredini praga za negativni moment savijanja

1.3. Osnovni kriterijumi i ostali parametri za ocenu rezultata ispitivanja praga na statičko opterećenje

$$k_{1s} = 1,80$$

$$k_{2s} = 2,50$$

- u preseku na mestu oslanjanja šine:

$F_{rr} > F_{r0}$ F_{rr} – opterećenje koje izaziva prvu prslinu na donjoj površini praga na mestu oslanjanja šine na prag [kN],

F_{r0} – početno opterećenje pri ispitivanju, na mestu oslanjanja šine na prag [kN],

za opcioni deo ispitivanja važi sledeće:

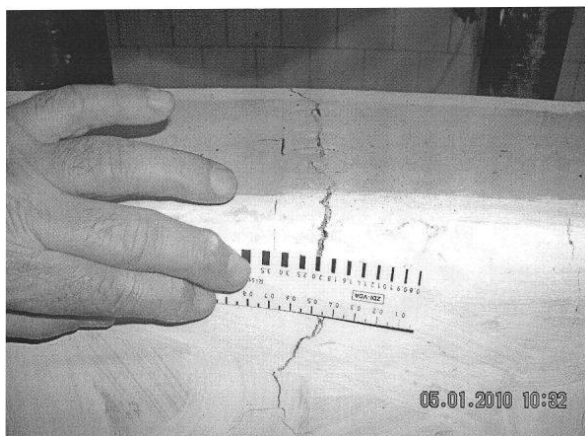
$F_{r0,05} > k_{1s} F_{r0}$ $F_{r0,05}$ – opterećenje koje na donjoj površini praga, na mestu oslanjanja šine na prag, izaziva prslinu širine 0,05mm koja ostaje i posle uklanjanja opterećenja [kN],

$$F_{rb} > k_{2s} F_{r0}$$

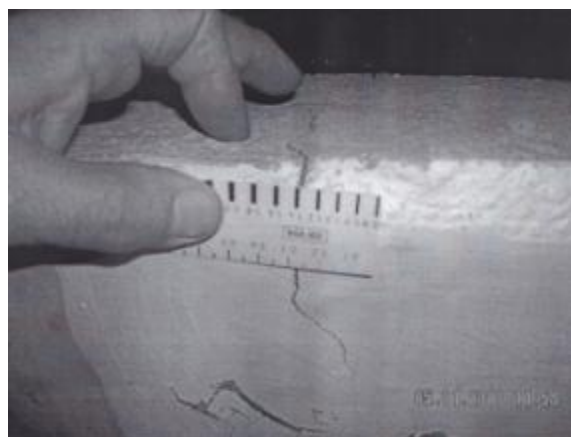
- u preseku na sredini praga:

$F_{crn} > F_{con}$ F_{crn} - opterećenje koje na gornjoj površini, u sredini praga, izaziva prvu prslinu, negativni moment savijanja [kN],

F_{con} - početno opterećenje na donjoj površini, u sredini praga, negativni moment savijanja [kN].



Slika 86. Karakteristična prslina u sredini praga za pozitivni moment savijanja



Slika 87. Karakteristična prslina u sredini praga za negativni moment savijanja



Slika 88. Karakteristični lom pri maksimalnoj sili

1.4. Računske vrednosti sila za ocenu uporedne kontrole i kriterijuma uspešnosti projekta[17]

Računske vrednosti momenta savijanja za dokaz projekta (Pozitivan moment na mestu naleganja šine): $M_{dr} = 18,30 \text{ kNm}$

Početna sila pri ispitivanju: $F_{ro} = 146,48 \text{ kN}$

Pozitivan projektni momenat u sredini praga: $M_{dc} = 9,67 \text{ kNm}$

Početna sila ispitivanja za pozitivni moment savijanja i $L_c=1,5\text{m}$: $F_{co} = 27,628 \text{ kN}$

Negativni projektni moment u sredini praga: $M_{dcn} = 19,34 \text{ kNm}$

Početna sila pri ispitivanju za negativni moment : $F_{con} = 55,25 \text{ kN}$

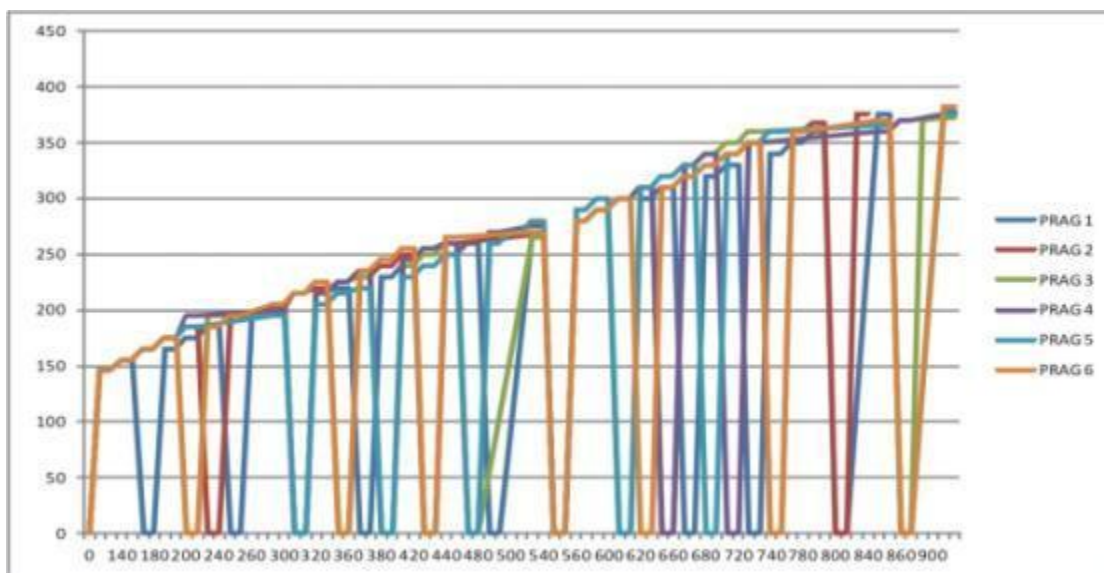


Slika 89. Kontrolni manometri za praćenje sile opterećenja

1.5. Tabelarni uporedni prikaz rezultata ispitivanja praga B70 pri statičkom opterećenju

Tabela T6. Uporedni prikaz rezultata ispitivanja-presek na mestu oslanjanja šine

	PRAG 1	PRAG 2	PRAG 3	PRAG 4	PRAG 5	PRAG 6	VREME t (sec)
F_{r0}	146,5	146,5	146,5	146,5	146,5	146,5	120
	155	155	155	155	155	155	140
	0	165	165	165	165	165	160
	165	175	175	175	175	175	180
	175	185	0	195	185	0	200
	185	0	195			185	220
	0	195				195	240
	195						260
F_{rr}	205	201	198	200	195	205	280
	0	215	0	0	0	215	300
	215	220	215	215	205	225	320
	220	0	225	225	215	0	340
	0	230	230	235	220	235	360
	230	240	0	0	0	245	380
	240	250	240	245	230	255	400
	0	0	250	255	240	0	420
	250	260	260	260	250	265	440
	260		0	0	0		460
	0			270	260		480
					270		500
F_{r0,05}	270	268	265	275	280	270	520
	0	0	0	0	0	0	540
	280	280	280	280	290	280	560
	290	290	290	290	300	290	580
	0	300	300	300	0	300	600
	300	310	310	310	310	0	620
	310	0	0	0	320	310	640
	0	320	330	330	330	320	660
	320	330	340	340	0	330	680
	330	340	350	0	340	340	700
	0	350	360	350	350	350	720
	340	0			360	0	740
	350	360				360	760
	360	368					780
	0	0					800
		375					820
F_{r0,5}	375		365	360	365	370	840
	0		0	370	0	0	860
			370				880
F_{rb}	378,0		372,0	376,0	375,0	382,0	900



Slika 90. Uporedni dijagram nanošenja statičkog opterećenja- presek na mestu oslanjanja šine

Tabela T7. Srednje vrednosti sile i koeficijenta sigurnosti pri statičkom ispitivanju - presek na mestu oslanjanja šine

PRAG	F_{rr} [kN]	k_{1s}	k_{2s}
I/1	205	1,843	2,580
I/2	201	1,829	2,550
I/3	198	1,808	2,539
I/4	200	1,877	2,566
I/5	195	1,910	2,559
I/6	205	1,843	2,607
srednja vrednost	200,67	1,85	2,57
		>1,80	> 2,50

1.6. Zaključak o sprovedenom ispitivanju pragova na uticaj statičkog opterećenja

a) Presek na mestu oslanjanja šine

1. Svi dobijeni rezultati pri ispitivanju, ukazuju na ujednačen kvalitet pragova, jer nema rasipanja u rezultatima ispitivanja.
2. Srednja vrednost merene sile iznosi $F_{rr}=200,67 \text{ kN} > F_{r0}=146,40 \text{ kN}$
3. Dobijene vrednosti udarnih koeficijenata iznose:

$$k_{1s}=1,85 > 1,80$$

$$k_{2s}=2,57 > 2,50$$

⇒ ISPITIVANI PRESECI U POTPUNOSTI ZADOVOLJAVAJU
ZAHTEVANE KRITERIJUME!

b) presek u sredini praga- pozitivni moment savijanja

4. Srednja vrednost izmerene sile F_{cr} :

$$F_{cr} = 43,70 \text{ kN} > F_{co} = 27,60 \text{ kN}$$

⇒ ISPITIVANI PRESECI U POTPUNOSTI ZADOVOLJAVAJU
ZAHTEVANE KRITERIJUME!

c) presek u sredini praga- negativni moment savijanja

5. Srednja vrednost izmerene sile F_{cm} : $F_{cm} = 66,70 \text{ kN} > F_{con} = 55,00 \text{ kN}$

⇒ ISPITIVANI PRESECI U POTPUNOSTI ZADOVOLJAVAJU
ZAHTEVANE KRITERIJUME I ZA NEGATIVNI MOMENT SAVIJANJA!

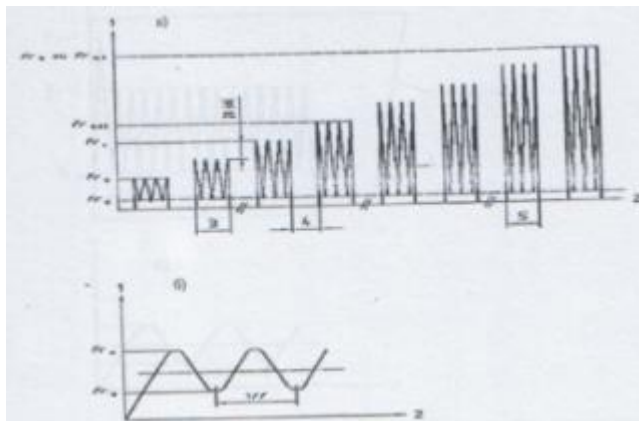
2. ISPITIVANJE PREDNAPREGNUTOG BETONSKOG PRAGA B70 NA DINAMIČKO OPTEREĆENJE

- Dinamičko ispitivanje se sprovodi u preseku na mestu oslanjanja šine sa 6 pragova za pozitivni moment savijanja.
- Ukupan broj ciklusa je 5000 pri frekvenciji $f=2\text{-}5\text{Hz}$



Slika 91. Karakterističan položaj praga pri dinamičkom opterećenju

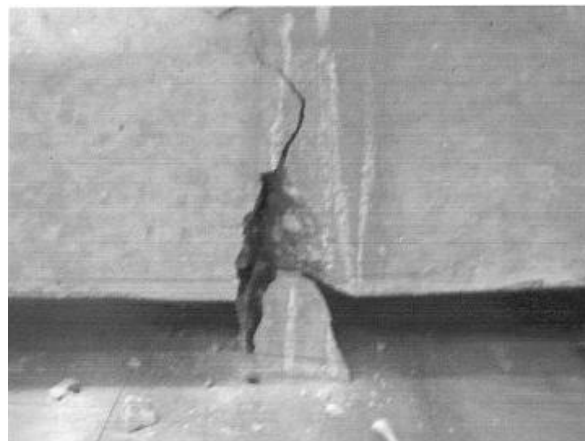
Pre početka ispitivanja, data je šema nanošenja dinamičkog opterećenja na prag, na mestu oslanjanja šine. Merene su sile i beležena je pojava prslina u vremenu, što je prikazano na dijagramu sila/vreme.



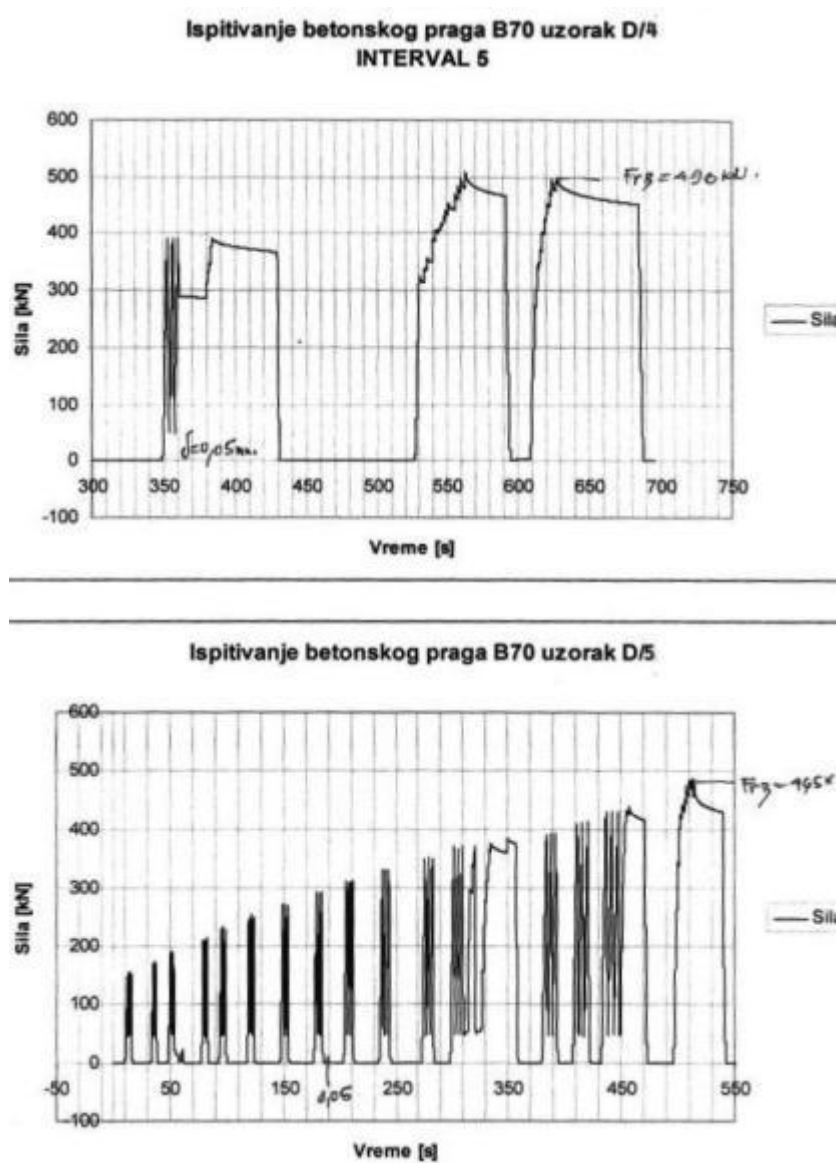
Slika 92. Šema nanošenja opterećenja pri dinamičkom ispitivanju praga sa grafikom za dokaz projekta



Slika 93. Karakteristična prslina pri dinamičkom opterećenju



Slika 94. Totalna degradacija zaštitnog sloja betona u zoni zatezanja pri dinamičkom opterećenju i pri sili $F_{rB,max}$



Slika 95. Dijagram sila/vreme sa merenjem prslina sa ispitivanja praga na dinamičko opterećenje

Tabela T8. Srednje vrednosti pri dinamičkom ispitivanju - presek na mestu oslanjanja šine

PRAG	$F_{r0,05}$ [kN]	F_{rB} [kN]	k_{1d}	k_{2d}
D/1	290	530	1,979	3,610
D/2	310	520	2,110	3,540
D/3	250	480	1,706	3,000
D/4	290	490	1,980	3,340
D/5	280	465	1,910	3,170
srednja vrednost:	284,00	497,00	1,94	3,33
			>1,50	> 2,20

2.1. Zaključak o sprovedenom ispitivanju pragova na uticaj dinamičkog opterećenja

Na isti način kao i kod ispitivanja na statičko opterećenje, ispitivanjem ispunjenosti zahtevanih kriterijuma, proverava se da li ispitani uzorci u potpunosti zadovoljavaju postavljene kriterijume za dinamičko ispitivanje preseka na mestu oslanjanja šine[18].

PRESEK NA MESTU OSLANJANJA ŠINE

1. Svi dobijeni rezultati dobijeni pri ispitivanju su ujednačeni što ukazuje na standardan kvalitet pragova.
2. Srednja vrednost merenih sila iznosi: $F_{r0,05}=284,00$ kN

$$F_{rB} = 497,00 \text{ kN}$$

3. Dobijene vrednosti dinamičkih koeficijenata iznose:

$$k_{1d}=1,94 > 1,50$$

$$k_{2d}=3,33 > 2,20$$

Dakle, ISPITIVANI PRESECI SU U POTPUNOSTI ZADOVOLJILI ZAHTEVANE KRITERIJUME!

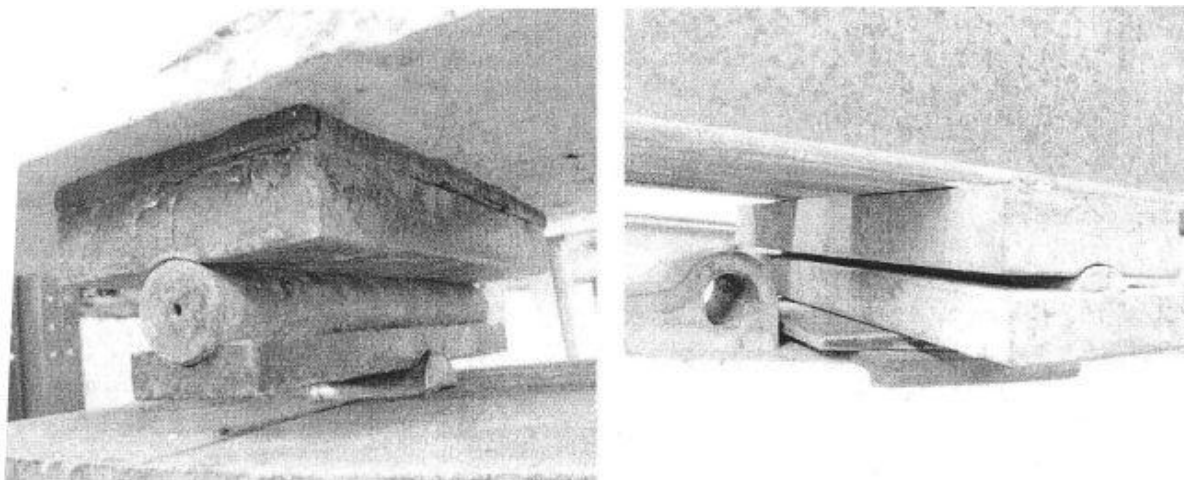
U ovom slučaju su, analizom rezultata, zapažene značajno veće vrednosti dinamičkih koeficijenata k_{1d} i k_{2d} od zahtevanih, za razliku od statičkih koeficijenata. Ovo bi moglo značiti da su ili preseci predimenzionisani ili je došlo do povećanja nosivosti preseka iz nekog razloga. Prva mogućnost se odbacuje s obzirom da preseci ne mogu biti predimenzionisani jer su statički koeficijenti sigurnosti bili tek toliki da su zadovoljili zahtevanu vrednost. Preostaje nam druga mogućnost a razlog povećanja nosivosti bi mogao biti Baušingerov efekat koji se odnosi na specifično ponašanje čelika pri dinamičkom opterećenju. O ovom efektu ćemo moći doneti konačan sud posle dobijanja rezultata sa dinamičkog ispitivanja skretničkih pragova i dinamičkog ispitivanja žica i kablova za prednaprezanje pragova.

3. ISPITIVANJE PREDNAPREGNUTOG BETONSKOG PRAGA B70 NA ZAMORNO OPTEREĆENJE

Prednapregnuti železnički prag se, pošto je prethodno bio podvrgnut statičkom ispitivanju[47], podvrgava dejstvu zamornog opterećenja čime se simulira saobraćajno opterećenje. U tom postupku se prati uticaj zamora na savijanje praga. Ispitivanje na zamor se sprovodi tako što se 1(jedan) prag opterećuje zamornim opterećenjem u 2.000.000 ciklusa frekvencije 2-5 Hz, pri čemu se posmatra i ocenjuje presek na mestu oslanjanja šine i to za pozitivan momenat savijanja. Pravilnik Železnica Srbije, za ispitivanje dejstva zamornog opterećenja na pragove, definiše i sledeće:

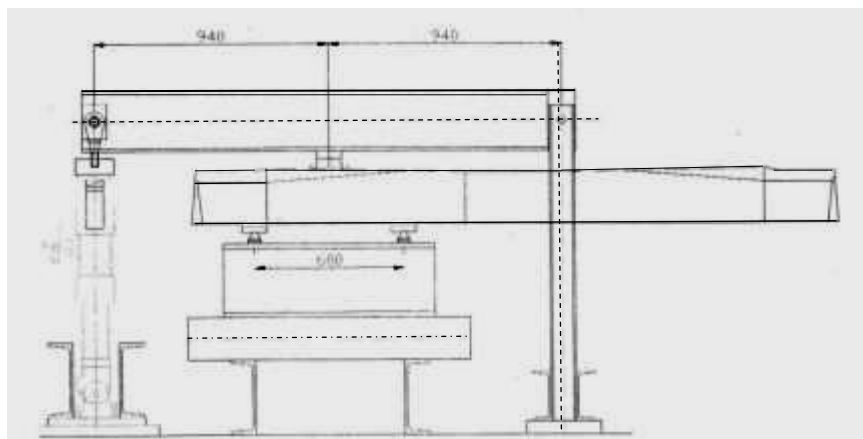
- $F_{min} = F_{ru} = 50,00 \text{ kN}$ - Minimalna dinamička sila kojom se opterećuje prag
- $F_{max} = F_{r0} = 146,50 \text{ kN}$ - Maksimalna dinamička sila u ciklusu

Prag se za ispitivanje oslanja preko elastičnih podmetača na dva zglobna oslonca koja su na rastojanju od 600 mm. Ovi oslonci obezbeđuju precizno oslanjanje i uvođenje linijskog opterećenja u prag uz mogućnost kompenzovanja lokalnih neravnina i malog poprečnog ugaonog odstupanja položaja praga ili postolja na kome leže ovi oslonci. Opterećenje se u prag uvodi pomoću zglobnog oslonca, preko standardne šinske podloške (slika XX.). Između zglobnog oslonca i šinske podloške se nalazi nagibna ploča koja kompenzuje uzdužni nagib praga na tom mestu, čime je omogućeno uvođenje sile upravno na donju površinu praga.

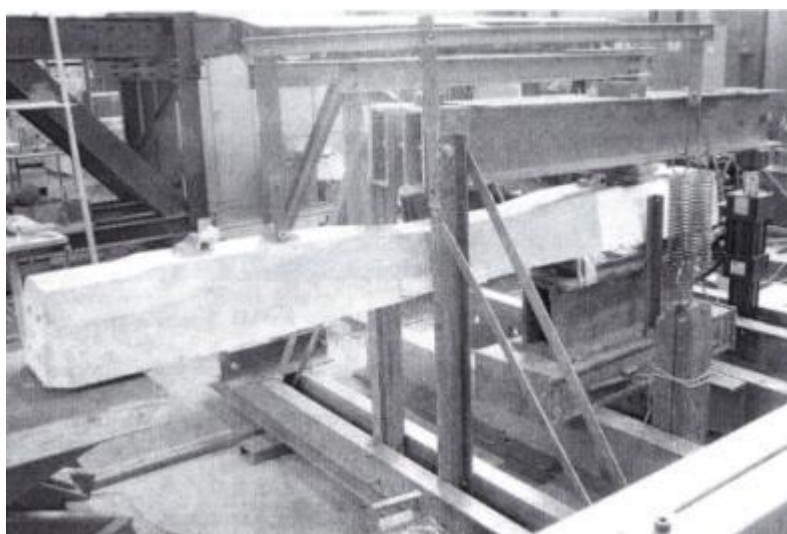


Slika 96. Donji i gornji alat za uvođenje opterećenja u prag pri ispitivanju na zamor

Gornji i donji alat se pri postavljanju precizno pozicioniraju na pragu a težina slobodnog kraja praga se prihvata posebnom polugom, tako da oslonci praga budu podjednako opterećeni a izbegavaju se uticaji upotrebljenog pribora na raspodelu opterećenja u dinamičkom režimu nanošenja opterećenja. Ako ova težina nebi bila prihvaćena, spoljni oslonac bi pri maksimalnoj sili bio opterećen 3% manjom a unutrašnji oslonac 7% većom silom, dok bi pri minimalnoj sili spoljni oslonac bio opterećen 9% manjom a unutrašnji 20 % većom silom od polovine aktivne sile.



Slika 97. Šema aparature za unošenje opterećenja u prag



Slika 98. Način ugradnje alata i prihvatanje težine slobodnog kraja praga

Za ispitivanje je korišćen linearni servohidraulični aktuator MTS Systems Corporation koji može da ostvari silu od 100 kN i hod od 150 mm. Poluga koju čine dva U profila svojim odnosom krakova i načinom oslanjanja uvećava silu aktuatora dva puta na mestu uvođenja opterećenja u prag. Težina poluge je prihvaćena silom aktuatora od 1,70 kN a trenje u ležajevima je zanemarljivo, tako da se u prag uvodi neto opterećenje.

Ciklično ispitivanje je vršeno frekvencijom od 5 Hz, tako što je generatoru funkcije MTS uređaja zadat signal sinusne promene sile aktuatora od $F_{\min}=25,0$ kN do $F_{\max}=73,25$ kN.

Nakon završetka ispitivanja izvršena je vizuelna inspekcija opitnog uzorka i tom prilikom nisu uočeni nikakvi znaci oštećenja koji bi mogli biti posledica ovih ispitivanja.

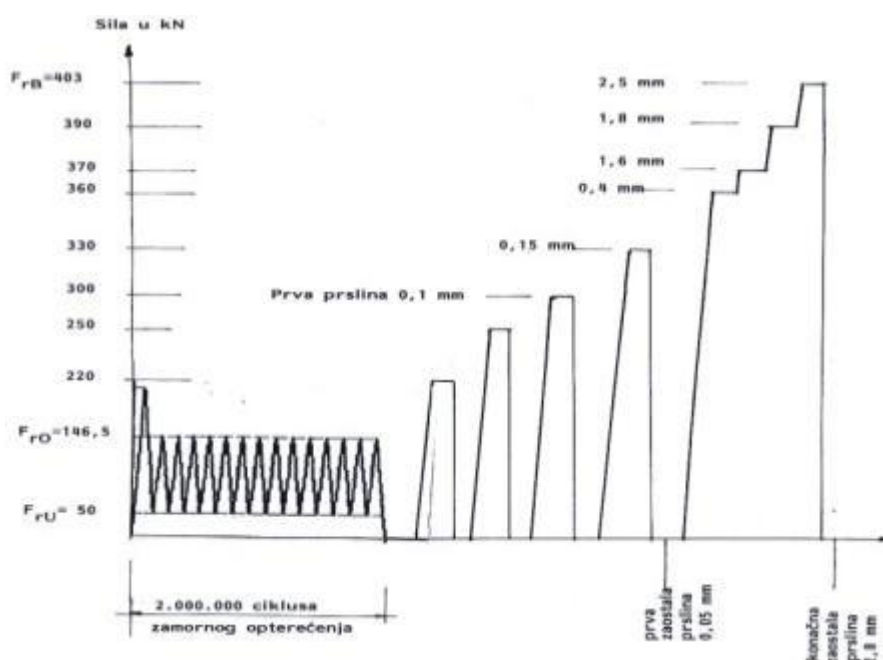
3.1. Zaključak o sprovedenom ispitivanju pragova na uticaj zamornog opterećenja

- Ispitivanje na zamor je sprovedeno tako što je 1(jedan) prag (prethodno podvrgnut statičkom opterećenju) opterećen zamornim opterećenjem u 2 000 000 ciklusa uz frekvenciju od 5 Hz.
- Nakon izlaganja praga zamornom opterećenju u 2 000 000 ciklusa, obavezno je sprovesti završnu fazu ispitivanja koja podrazumeva ponovno podvrgavanje istog uzorka statičkom opterećenju.

- Pri ispitivanju na zamor, posmatran je presek na mestu oslanjanja šine i to za pozitivan momenat savijanja.
- Posle završetka ispitivanja zamornim opterećenjem, uzorak praga je neophodno još jednom ispitati na statičke uticaje zbog potrebe utvrđivanja stepena smanjenja nosivosti.



Slika 99. Merenje širine prsline pri dejstvu maksimalne sile od 403 kN



Slika 100. Dijagram završne faze ispitivanja na zamor nakon 2 000 000 ciklusa

Kriterijumi za pozitivnu ocenu ispitivanog uzorka na zamorno opterećenje su:

- pri dejstvu početne sile opterećenja na mestu oslanjanja šine na prag (F_{r0}), širina prsline mora biti manja od 0,1 mm,
- pri rasterećenju praga, širina zaostale prsline mora biti manja od 0,05 mm,
- odnos sile opterećenja na mestu oslanjanja šine na prag koja se ne može više povećavati (F_{rB}) i početne sile opterećenja na mestu oslanjanja šine na prag (F_{r0}), mora biti veći od zadatog koeficijenta k_3 :

$$F_{rB} > k_3 F_{r0}$$

k_3 -koeficijent koji određuje kupac kada se opterećenje u preseku na mestu oslanjanja šine kontinualno povećava brzinom od 120 kN/mm od neopterećenog stanja do loma pri F_{rB} .

Posle 2 000 000 ciklusa pod zamornim opterećenjem, dobijeni su sledeći rezultati:

- širina prsline je $< 0,1\text{mm}$ pri opterećenju F_{r0} ,
- širina prsline je $< 0,05\text{mm}$ posle rasterećenja,
- $F_{rB} > k_3 F_{r0}$ F_{rB} –sila loma

Vrednosti karakterističnih sila su:

$F_{r0,05} = 330\text{ kN}$ - sila pri kojoj se javila prva zaostala prslina od 0,05 mm,

$F_{r0,1} = 300\text{ kN}$ - sila pri kojoj se javila prva prslina od 0,1 mm pri opterećenju,

$F_{rB} = 403\text{ kN}$ - sila loma

$$F_{r0,1} / F_{r0} = 300/146,5 = 2,04$$

$$k_{1s} = F_{r0,05} / F_{r0} = 330/146,5 = \mathbf{2,25}$$

$$k_{2s} = F_{rB} / F_{r0} = 403/146,5 = \mathbf{2,75}$$

$$k_{3,sr} = (2,04 + 2,25 + 2,75)/3 = 2,34$$

$$\mathbf{2,04 < k_3 < 2,75}$$

Važno je napomenuti da nakon ispitivanja na zamor, na ispitivanom opitnom uzorku nisu otkriveni nikakvi znaci oštećenja koji bi bili posledica predmetnih ispitivanja. Takođe, dobijena srednja vrednost koeficijenta k_3 , dobijena pri ispitivanju na zamorno opterećenje, pokazuje da ispitivani prag B70 u potpunosti zadovoljava kriterijume date u Uputstvu br.349 Železnica Srbije[7], koji se odnose na proizvodnju, kontrolu i prijem jednodelnih prednapregnutih betonskih pragova.

Dobijeni globalni koeficijenti sigurnosti dobijeni u laboratoriji, moraju se potvrditi poređenjem sa rezultatima dobijenim u postupku eksploatacionog (ambijentalnog) ispitivanja, koje je u tu svrhu i izvršeno i čiji opis sa rezultatima ispitivanja se nalazi u nastavku.

4. ISPITIVANJE ŽELEZNIČKOG PRAGA B70 NAKON IZLAGANJA DEJSTVU OPTEREĆENJA U REALNIM AMBIJENTALNIM USLOVIMA EKSPLOATACIJE (EKSPLOATACIONO ISPITIVANJE) [19][21][46]

(Utvrdjivanje kapaciteta nosivosti prednapregnutog betonskog praga B70 nakon dejstva eksploatacionog opterećenja)

S obzirom da je prednapregnuti betonski prag proizvod koji utiče na bezbednost železničkog saobraćaja, neophodno je, kao napredno, izvršiti i eksploataciono ispitivanje pragova odnosno utvrđivanje kapaciteta nosivosti prednapregnutog betonskog železničkog praga u realnim ambijentalnim uslovima eksploatacije. Eksploataciono ispitivanje se vrši po posebnom, prethodno odobrenom, programu[20] koji sadrži podatke o dužini i karakteristikama probne deonice, eksploatacionim i uslovima kontrole i održavanja pruge na kojoj se ova deonica nalazi, načinu sprovođenja i kontrole rezultata ispitivanja sa jasnim definisanjem mernih instrumenata, načina evidentiranja rezultata merenja, kao i kriterijuma za ocenu dobijenih rezultata. Krajnji korisnik je definisao period probne eksploatacije u trajanju od 12 meseci, posle čega se vrši vizuelni pregled i merenje širine koloseka, kao i laboratorijsko ispitivanje (statičko, dinamičko i ispitivanje elektrootpornosti) o čemu se podnosi detaljan izveštaj.

Za probnu deonicu eksploatacionog ispitivanja je određena stanica Beograd Centar i to na 5. koloseku od km 0+317,47 do km 0+551,22 (Novi Beograd) i na 6. koloseku od km 0+315,90 do km 0+459,87 (Novi Beograd) i od km 0+163,80 do km 0+272,69 (Rakovica). Ukupna dužina probne deonice iznosi 486,61 m. Oba koloseka su u pravcu, bez podužnog nagiba, širine 1435 mm, sa ugrađenim šinama EN 60E1 koje su prema podužnoj osi koloseka postavljene u nagibu 1:40. Kolosečni pričvrсни pribor je tipa Pandrol FASTCLIP.

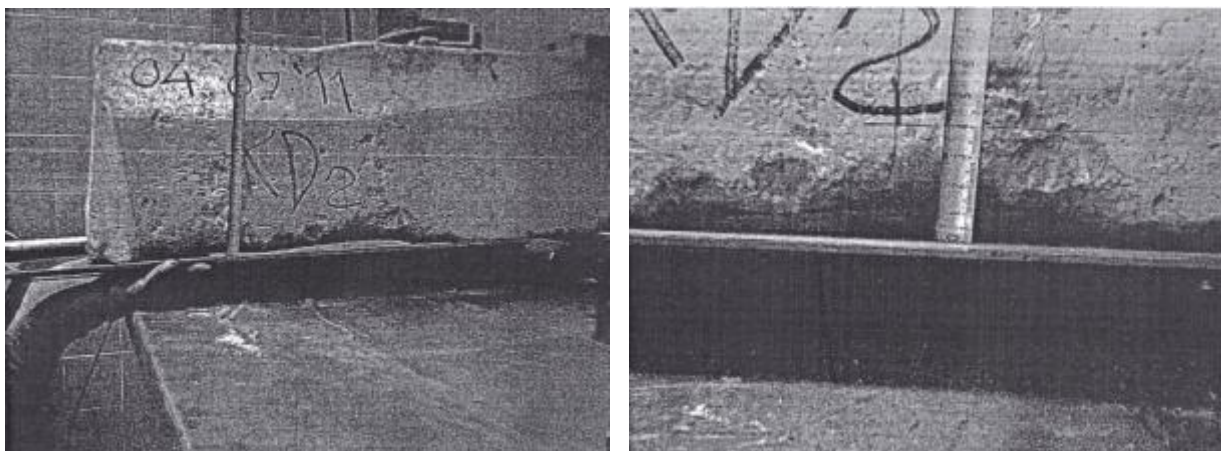
U toku eksploatacionog perioda se vrše kontrole i potrebna merenja koloseka na dnevnom, nedeljnom, mesečnom i godišnjem nivou. U cilju provere karakteristika ugrađenih pragova, u eksploatacionom periodu su potrebna samo kontrolna merenja širine koloseka. Vizuelne kontrole se obavljaju svakodnevno, nedeljno i mesečno a kontinuirana kontrola širine koloseka se vrši na svakom pragu ručnim mernim instrumentom jednom mesečno i mernim kolima dva puta godišnje kao i nakon većih radova na koloseku. Ukoliko se na ugrađenim pragovima ne uočavaju nikakve promene u smislu pojave mikropukotina, eventualnih naprsnuća, loma ili promena kod koloseka u odnosu na datum početka kontrole, u zapisnik se unosi konstatacija da su koloseci u dobrom stanju i bez vidnih promena. U slučaju pojave nedostataka koji utiču na širinu koloseka, nepouzdanost veze šine za prag čiji uzrok nije primenjeni pričvrсни pribor ili pojave mikroprrslina na silueti praga, ispitivani pragovi se odbijaju kao nedovoljno kvalitetni.

4.1. Rezultati ispitivanja pragova posle eksploatacionog perioda[20]

Posle perioda eksploatacije prednapregnutih betonskih pragova B70, isporučenih i montiranih od strane proizvođača „Putevi invest“ doo, Betonjerka Stalać, Komisija za praćenje eksploatacionog ponašanja pragova je odredila repernu grupu od 12 (dvanaest) pragova ugrađenih na karakterističnim mestima na probnoj deonici, koji će, posle demontaže, biti podvrgnuti kontrolnom laboratorijskom ispitivanju (statičko, dinamičko i ispitivanje na elektrootpornost).

Statičko ispitivanje je izvršeno za dva preseka, na mestu oslanjanja šine za pozitivni moment savijanja i za presek u sredini praga za negativni momenat savijanja. Dinamičko ispitivanje je izvršeno za presek na mestu oslanjanja šine za pozitivni momenat savijanja. Pre laboratorijskog ispitivanja, izvršen je detaljni vizuelni pregled reperne grupe pragova prilikom koga su uočena mehanička oštećenja u vidu imperfekcije koja su skoncentrisana na mestu oslanjanja šina.

Zaključeno je da su ova oštećenja nastala prilikom montaže, demontaže i podbijanja pragova pa se po tom osnovu pregledani pragovi ne mogu diskvalifikovati.



Slika 101a) i 101.b): Karakteristična oštećenja praga po obimu poprečnog preseka posle perioda eksploatacije

4.1.1. Statičko ispitivanje. Presek na mestu oslanjanja šine – pozitivni momenat savijanja

$F_{r0} = 146,5 \text{ kN}$ - max sila kojom je opterećen prag u toku eksploatacionog perioda (dinamičkog opterećenja) odnosno početna sila kojom se opterećuje prag pri statičkom ispitivanju na mestu oslanjanja šine na prag za pozitivni momenat savijanja

$$k_{1s} = F_{r0,05}/F_{r0}$$

$$k_{2s} = F_{rB}/F_{r0}$$



Slika 102. Karakteristične prsline pri statičkom ispitivanju na mestu oslanjanja šine posle perioda eksploatacije

Prethodnim laboratorijskim ispitivanjem[14] ponašanja prednapregnutoog praga posle zamornog opterećenja, dobijeni su sledeći rezultati:

$$k_{1s}^{lab} = F_{r0,05}/F_{r0} = 330/146,50 = 2,25$$

$$k_{2s}^{lab} = F_{rB}/F_{r0} = 403/146,5 = 2,75$$

Tabela T9. Rezultati ispitivanja za pozitivni moment savijanja na mestu oslanjanja šine posle perioda eksploatacije

Oznaka	prag	$F_{r0,05}$ (kN)	F_{rB} (kN)	k_{1s}^{ekspl}	k_{2s}^{ekspl}
K ₁₋₁	VI-P BL-2	268	370	1,829	2,525
K ₁₋₂	V-SK1	269	372	1,836	2,539
K ₁₋₃	VI-P BL1	310	460	2,11	3,13
K ₁₋₄	VI-P BL1	280	460	1,911	3,13
K ₁₋₅	V-SK-1	269	410	1,836	2,79
K ₁₋₆	VI-P	264	369	1,803	2,52
				$k_{1s,sr}^{ekspl} = 1,887$ $> 1,80$	$k_{2s,sr}^{ekspl} = 2,772$ $> 2,50$

Na osnovu rezultata ispitivanja datih u tabeli, zaključujemo da su merene vrednosti sila $F_{r0,05}$ i F_{rB} u granicama dozvoljenih vrednosti za slučaj dejstva statičkog opterećenja na prag posle izlaganja praga eksploatacionom ambijentalnom opterećenju, što pokazuju vrednosti globalnih statičkih koeficijenata sigurnosti koje su veće od zahtevanih vrednosti:

$$k_{1s,sr} = 1,887 > 1,80$$

$$k_{2s,sr} = 2,772 > 2,50$$

4.1.2. Statičko ispitivanje. Presek u sredini praga – negativni momenat savijanja



Slika 103. Karakteristične prsline pri statičkom ispitivanju u sredini praga posle perioda eksploatacije

Tabela T10. Rezultati ispitivanja za pozitivni moment savijanja posle perioda eksploatacije

Oznaka	Prag	F_{crn} (kN)	F_{kon} (kN)	F_{cbn} (kN)
N – 1	VI-P S33 BL2	90	55	130

$$F_{crn} (kN) > F_{kon} (kN)$$

4.1.3. Dinamičko ispitivanje. Presek na mestu oslanjanja šine (presek S-S) – pozitivni momenat savijanja



Slika 104.a) i 104.b): Dinamičko ispitivanje preseka na mestu oslanjanja šine posle perioda eksploatacije

Tabela T11. Rezultati dinamičkog ispitivanja za poz.moment sav. posle perioda eksploatacije

Oznaka	prag	$F_{r0,05}$ (kN)	F_{rB} (kN)	k_{1d}^{ekspl}	k_{2d}^{ekspl}
KD – 1	VI-P BL-2	239	386	1,63	2,63
KD – 2	V-SK6	258	380	1,76	2,59
KD – 3	VI-SK6 L1	246	386	1,68	2,63
				$k_{1d,sr}^{ekspl} = 1,69$ $> 1,50$	$k_{2d,sr}^{ekspl} = 2,616$ $> 2,20$

Rezultati ispitivanja dati u tabeli nam govore da su merene vrednosti sila $F_{r0,05}$ i F_{rB} u granicama dozvoljenih vrednosti za slučaj dejstva dinamičkog opterećenja na prag nakon eksploatacionog ambijentalnog ispitivanja, što pokazuju vrednosti globalnih dinamičkih koeficijenata sigurnosti koje su veći od zahtevanih vrednosti:

$$k_{1d,sr} = 1,69 > 1,50$$

$$k_{2d,sr} = 2,616 > 2,20$$

4.2. Zaključak o eksploatacionom ispitivanju železničkog praga nakon izlaganja dejstvu opterećenja u realnim ambijentalnim uslovima

Posle sprovedenih laboratorijskih i zahtevanih ambijentalnih odnosno ispitivanja pragova posle isteka eksploatacionog perioda, izvršeno je upoređivanje dobijenih rezultata pri čemu je ustanovljen visok stepen poklapanja istih. Pri tome, svi dobijeni rezultati su zadovoljili postavljene kriterijume, čime su stvoreni uslovi da predmetni prag dobije dozvolu za korišćenje na prugama Železnice Srbije. Sprovedenim ispitivanjem[21][21] je ustanovljen i kapacitet nosivosti prednapregnutog betonskog železničkog praga nakon dejstva zamornog opterećenja u realnim ambijentalnim uslovima eksploatacije. Pokazano je da postoji značajna rezerva u kapacitetu nosivosti prednapregnutih betonskih pragova jer su globalni statički i dinamički koeficijenti znatno iznad zahtevanih vrednosti.

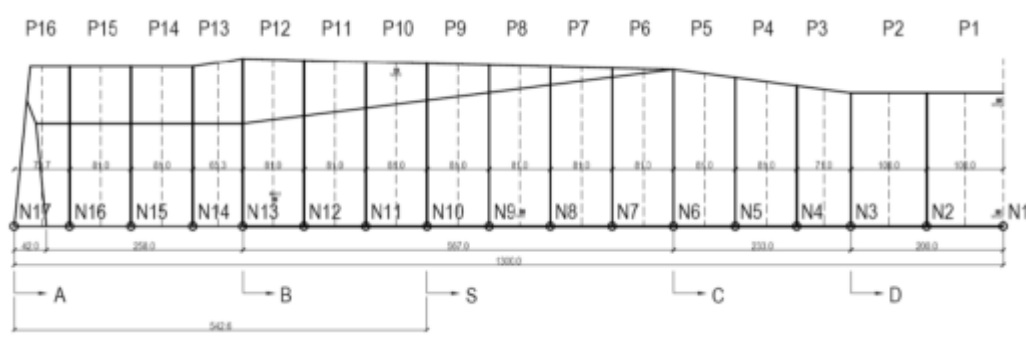
XI EKSPERIMENTALNO UTVRĐIVANJE KAPACITETA NOSIVOSTI PREDNAPREGNUTOG BETONSKOG ŽELEZNIČKOG PRAGA B70 U REALNIM AMBIJENTALNIM "IN-SITU" USLOVIMA EKSPLOATACIJE

(Ispitivanje prednapregnutog betonskog železničkog praga B70 za vreme dejstva eksploatacionog opterećenja)

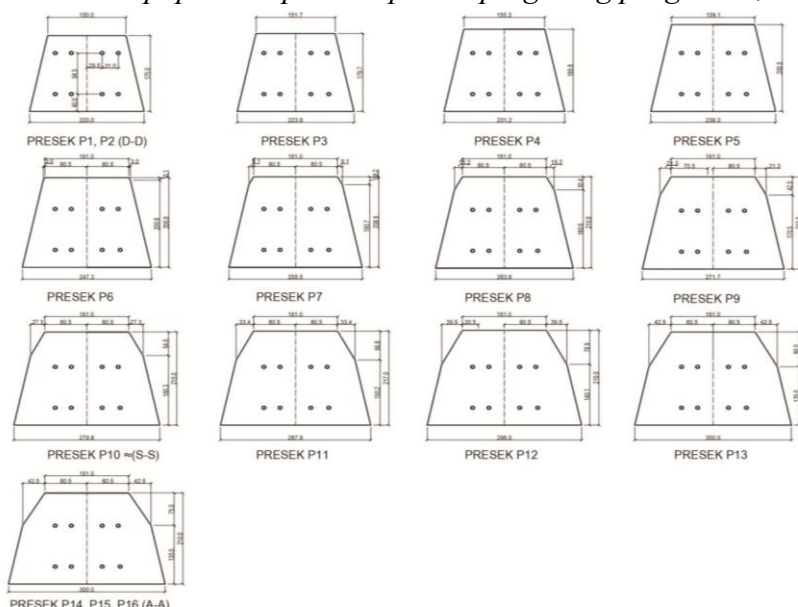
U cilju stvaranja što jasnije slike ponašanja prednapregnutog betonskog železničkog praga u stvarnosti, pod uticajem realnog opterećenja i u realnim ambijentalnim uslovima[46], planirana je i izvršena montaža pragova sa prethodno ugrađenim mernim instrumentima. Ugradnja pragova B70 u dva raspona ($L=260$ i $L=240$ cm) je izvršena 24.07.2014.godine. Jedan prag ($L=240$ cm) je ugrađen u kolosek u neposrednoj blizini proizvodne hale Fabrike betona u Stalaću. Drugi prag ($L=260$ cm) je ugrađen u kolosek na ulazu u železničku stanicu u Stalaću.

1. OZNAČAVANJE MERNIH MESTA I NJHOVO OSIGURANJE U F-CIJI VREMENA SA ISPITIVANJEM PREDNAPREGNUTOG BETONSKOG PRAGA B70, $L=260$ CM U AMBIJENTALNIM USLOVIMA EKSPLOATACIJE

1.1. Pozicioniranje i postavljanje mernih traka na žice za prednaprezanje, betoniranje, ugrađivanje u kolosek i ambijentalno "in-situ" ispitivanje prednapregnutog betonskog praga **B70, $L=260$ cm**, u toku dejstva eksploatacionog opterećenja



Slika 105. Oznake poprečnih preseka prednapregnutog praga B70, $L=260$ cm



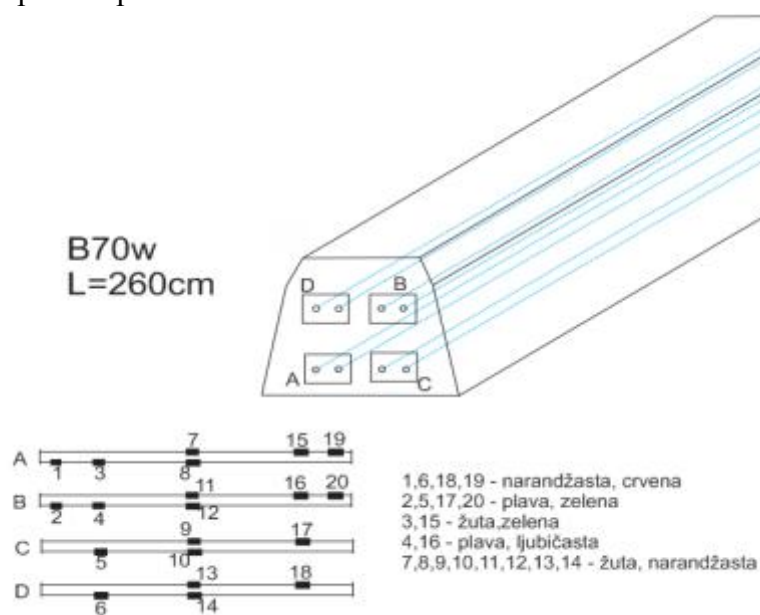
Slika 106. Poprečni preseki prednapregnutog betonskog praga B70, $l=260$ cm

Mesta postavljanja mernih traka su žice za prednaprezanje u presecima **P0** (sredina raspona praga), **S-S** (mesto naleganja šine) i **P15** (~15cm od spoljašnje betonske površine praga) jer se radi o presecima u kojima se javljaju karakteristični uticaji i jer je za te preseke izvršen i MKE proračun. Prag se prednapreže sa 4(četiri) para žica za prednaprezanje, gde je svaki par žica označen slovima A, B, C i D.

S obzirom da je prag B70-W-260 simetričan, merne trake u presecima P0, S-S i P15 su postavljene tako da se smanji slabljenje preseka izvodima (žicama-elektroprovodnicima). Na parovima žica za prednaprezanje označenim slovima A i B, postavljeno je po 3 merne trake na jednoj i 3 merne trake na drugoj žici, sa suprotnom orijentacijom u odnosu na osu simetrije praga odnosno žica, dok je na parovima žica za prednaprezanje označenim slovima C i D, postavljeno po 2 merne trake na jednoj i 2 merne trake na drugoj žici, takode sa suprotnom orijentacijom u odnosu na osu simetrije praga odnosno žica.

Na ovaj način, ovakvim pozicioniranjem, postavljeno je 20 mernih traka raspoređenih na svih 8 žica za prednaprezanje. Izvodi mernih traka-elektroprovodnici su izvedeni najkraćim putem na donju površinu praga (gornja površina u kalupu pri betoniranju), naizmenično levo i desno od vertikalne ose praga, kako bi presek bio što manje oslabljen. Merne trake se propisno lepe specijalnim lepkom, propisanim od strane proizvođača, na očišćene žice za prednaprezanje prema utvrđenoj šemi. Parovi žica za prednaprezanje se, potom, postavljaju u kalup, vrši se unošenje početne sile prednaprezanja i na kraju se vrši betoniranje, posle čega se pragovi u kalupima i na automatizovanoj traci prevoze u komoru za zaparivanje i na dalje negovanje.

Izvodi mernih traka su označeni brojevima od 1 do 20 (slika 106), razlikuju se po boji izolatora i pri betoniranju se smeštaju u kutije od čeličnog kutijastog profila koji se pri betoniranju fiksiraju na gornjoj betonskoj površini u ravni gornje ivice kalupa praga, uz obezbeđenje od prodiranja betona u prostor predviđen za izvode mernih traka.



Slika 107. Plan postavljanja mernih traka na žice za prednaprezanje prednapregnutog betonskog praga B70, l=260cm

Ovakvim rasporedom mernih traka je omogućeno utvrđivanje napona, sile prednaprezanja kao i pada sile prednaprezanja u odnosu na početnu silu prednaprezanja unetu pre samog betoniranja

praga a sve to preko izmerenih dilatacija. "Nulto" čitanje se vrši posle postavljanja pragova u kolosek posle čega se vrše merenja u ambijentalnim uslovima eksploatacije, pri realnom saobraćajnom opterećenju. Na ovaj način se utvrđuje i tačnost matematičkog proračuna pada sile prednaprezanja.



Slika 108.a) i 108.b) Postavljanje mernih traka na žice za prednaprezanje prednapregnutog betonskog praga B70, l=260cm

U cilju što preciznijeg registrovanja i sagledavanja uticaja opterećenja, 20 mernih traka je postavljeno prema sledećem rasporedu:

- na kraju praga (**preseć P15**), postavljeno je 4 merne trake (po dve na obe strane praga),
- na mestu naleganja šine (**preseć S-S**), postavljeno je 8 mernih traka (po četiri na obe strane praga), i
- u sredini raspona praga (**preseć P0**), postavljeno je 8 mernih traka (na svakoj od 8 žica).



Slika 109. Montaža žica za prednaprezanje sa mernim trakama u kalup prednapregnutog betonskog praga B70, l=260cm

Posle postavljanja sva 4 para žica za prednaprezanje u kalup, izvršeno je unošenje početne sile prednaprezanja.



Slika 110.a) i 110.b) Unošenje sile prednaprezanja

Po unošenju početne sile prednaprezanja, kalup praga se ispunjava betonskom mešavinom i vibrira na vibro stolu. Izvodi mernih traka su smešteni u čeličnom kutijastom profilu. na dnu praga odn. na vrhu kalupa, kako se nebi oštetili prilikom betoniranja ili montaže praga u kolosek.



Slika 111. Betoniranje pragova u kalupima sa obezbeđenjem izvoda mernih traka

Posle 28 dana, pragovi su spremni za ugradnju u kolosek. Ugradnja je izvršena 24.07.2014.godine u neposrednoj blizini železničke stanice u Stalaću, pred početak skretnice.



Slika 112. Pragovi B70, L=240cm i L=260cm, spremni za montažu u kolosek



Slika 113. Prag B70, L=260cm, montiran u kolosek u blizini žel. stanice u Stalaću, pred početak skretnice



Slika 114. Izvodi mernih traka, prag B70, L=260cm, montiran u kolosek u blizini žel. stanice u Stalaću



Slika 115. Merenje otpora mernih traka postavljenih u prag B70, L=260cm (nulto čitanje)

Tabela T12: Oznake mernih instrumenata, kanala na njima i kablova za povezivanje sa rezultatima merenja otpora u mernim trakama, prag B70, L=260 cm

Prag B70, L= 260 cm - montiran u neposrednoj blizini žel. stanice u Stalaću									
Temperatura vazduha u trenutku merenja otpora:							Bez opterećenja:		33 °C
							Pri opterećenju:		35 °C
Kontrolno merenje otpora instrumenta (Ω):							0,6 Ω		
Rbr MT	Oznaka merne trake - kombinacija boja žica na izvodu mernih traka	Oznake kanala na instrumentima i veza sa mernim trakama (MT)						Izmerena vrednost otpora (Ω) po montaži praga - bez opterećenja (nulto čitanje)	
		instrument	kanal	kabl	instrument	kanal	kabl		
1.	A/1 - narandžasta, crvena	S8	CH 0	9	S8	CH 0	11C	122,0	
2.	B/2 - plava, zelena	MGC	1.1	2B	S8	CH 1	10C	121,7	
3.	A/3 - žuta, zelena	S8	CH 1	8	S8	CH 2	8C	121,9	
4.	B/4 - plava, ljubičasta	S8	CH 2	11	S8	CH 3	7C	121,8	
5.	C/5 - plava, zelena	S8	CH 3	4	S8	CH 4	3C	122,0	
6.	D/6 - narandžasta, crvena	MGC	1.2	5B	S8	CH 5	9C	121,7	
7.	A/7 - žuta, narandžasta	MGC	1.3	7B	MGC	1.1	7B	122,1	
8.	A/8 - žuta, narandžasta	S8	CH 4	12	S8	CH 6	1C	121,9	
9.	C/11 - žuta, narandžasta	S8	CH 5	1	S8	CH 7	6C	121,9	
10.	C/12 - žuta, narandžasta	MGC	1.4	3B	MGC	1.2	6B	121,8	
11.	B/9 - žuta, narandžasta	S8	CH 6	3	MGC	1.3	2S	122,0	
12.	B/10 - žuta, narandžasta	MGC	1.5	1B	MGC	1.4	3B	121,8	
13.	D/13 - žuta, narandžasta	S8	CH 7	7	MGC	1.5	1B	121,9	
14.	D/14 - žuta, narandžasta	MGC	1.6	6B	MGC	1.6	3S	121,3	
15.	A/15 - žuta, zelena	MGC	1.7	4B	MGC	1.7	5B	121,8	
16.	B/16 - plava, ljubičasta	MGC	1.8	3S	MGC	1.8	2B	121,8	
17.	C/17 - plava, zelena	MGC	2.1	8B	MGC	2.1	4B	121,9	
18.	D/18 - narandžasta, crvena	MGC	2.2	2S	MGC	2.2	8B	121,8	
19.	A/19 - narandžasta, crvena	MGC	2.3	1S	MGC	2.3	37	121,5	
20.	B/20 - plava, zelena	MGC	2.4	37	MGC	2.4	1S	121,3	
Datum merenja:		27.08.2014. god.			30.10.2014. god.		14.08.2014.		
Napomena: Na kablovima za povezivanje MT i nstrumenata su postavljeni kompenzatori temperaturnih razlika									

1.2.a) Ispitivanje praga B70, L=260 cm, $t_v=33$ do 36°C , $t_b=33-48,8^\circ\text{C}$ (27.08.2014. godine)

Ispitivanje praga B70, L=260 cm, pod dejstvom eksploatacionog opterećenja, je izvršeno dana 27.08.2014.godine sa početkom povezivanja opreme u 13h i završetkom ispitivanja u 17.30h.

U toku ispitivanja, spoljašnja temperatura vazduha je iznosila od 33 do 36°C , uz beleženje temperature betona na površini praga od 33 do čak $48,8^\circ\text{C}$.



Slika 116. Povezivanje mernih traka i merni instrumenti

Zabeležen je prolazak 5 kompozicija, i to:

1. DRESINA 1 sinobus_radnički prevoz,
2. DRESINA 2_radnički održavanje,
3. 15.05h: Kompozicija, putnički voz sa lokomotivom oznake 444, težine 80 tona,
4. 16.40h: Teretni voz sa lokomotivom oznake 461 i težine 120 tona,
5. 17.05h: Teretni voz sa lokomotivom oznake 461 i težine 120 tona,



Slika 117. Trenutak nailaska i prolaska teretnog voza preko ispitivanog praga

Posle prolaska svakog od vozova, vršeno je merenje temperature betona na površini praga.



Slika 118. Merenje temperature betona na površini ispitivanog praga posle prolaska kompozicije

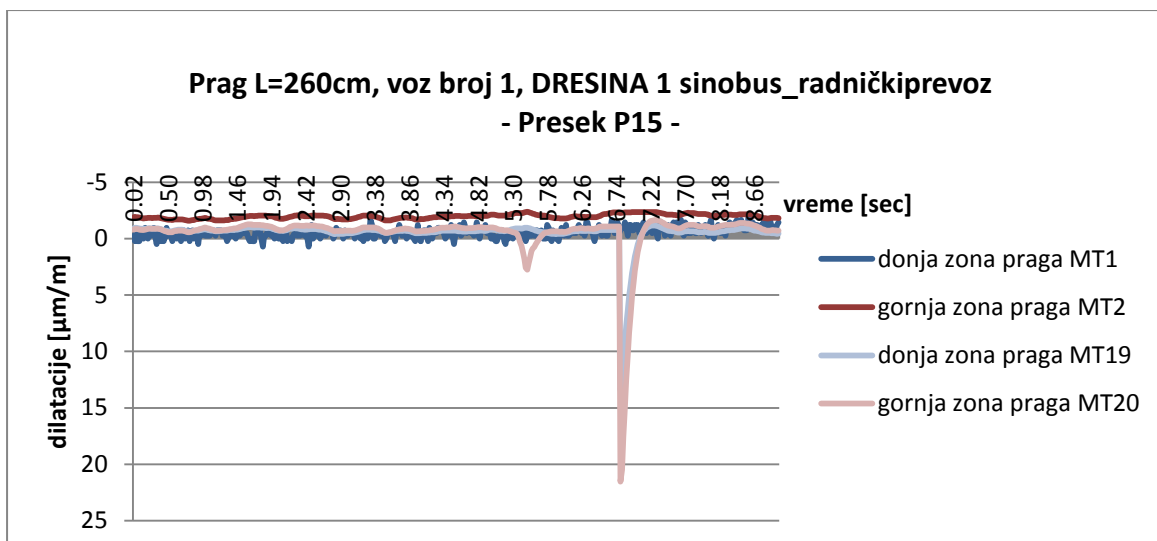


Slika 119. Merenje temperature šine posle prolaska kompozicije

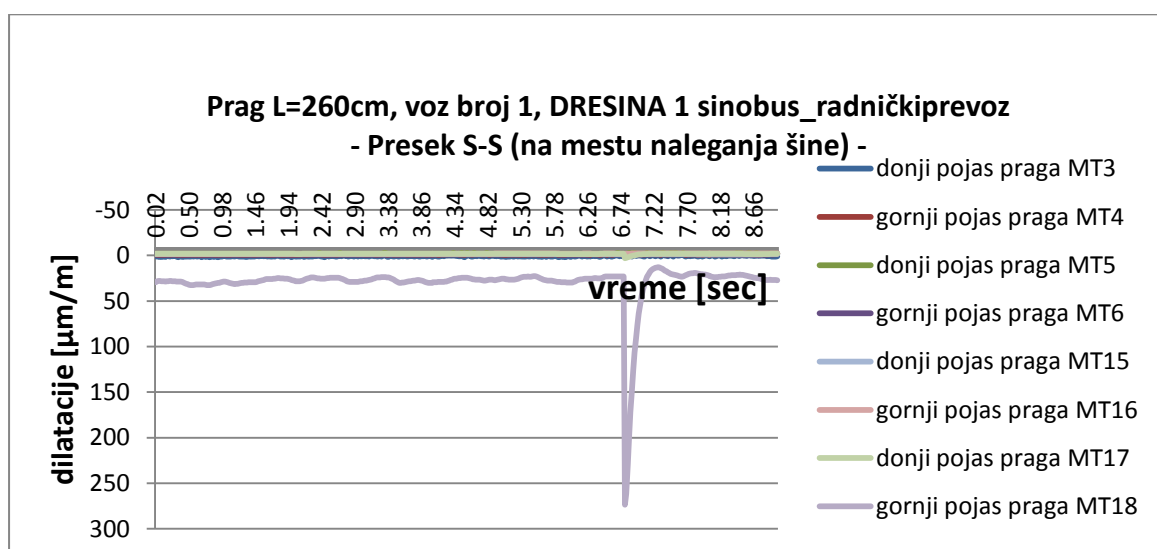
Zabeleženi su rezultati sa 20 mernih traka i dati su u tabeli, grupisani prema preseku u kome su zabeleženi. Na osnovu rezultata, izrađeni su grafikoni i dati su u nastavku.

Tabela T13: Tabela prikaz rezultata merenja pri prolasku voza br. 1- DRESINA 1 sinobus radnički prevoz

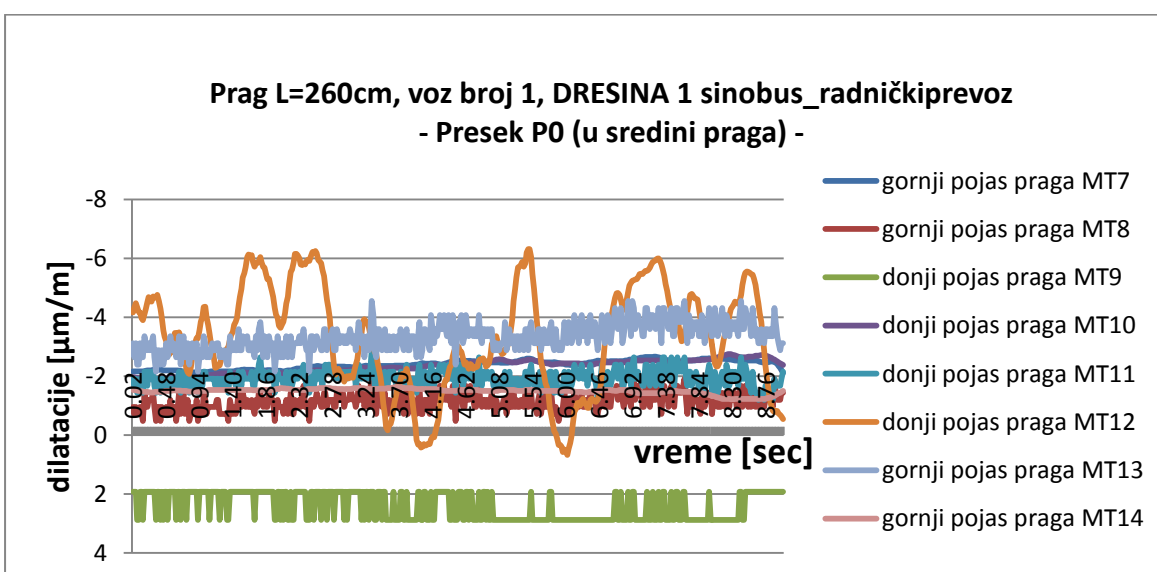
PRAG 260cm - VOZ 1 - DRESINA 1 sinobus radnički prevoz																									
Rbr	MT	MT1	MT2	MT3	MT4	MT5	MT6	MT7	MT8	MT9	MT10	MT11	MT12	MT13	MT14	MT15	MT16	MT17	MT18	MT19	MT20				
Pozicija MT		PRESEK P15				PRESEK S-S (MESTO OSLANJANJA ŠINE)				PRESEK PO (SREDINA PRAGA)										PRESEK S-S (MESTO OSLANJANJA ŠINE)				PRESEK P15	
Time		PRESEK P15				PRESEK S-S (MESTO OSLANJANJA ŠINE)				PRESEK PO (SREDINA PRAGA)										PRESEK S-S (MESTO OSLANJANJA ŠINE)				PRESEK P15	
broj	sec	[µm/m]				[µm/m]				[µm/m]										[µm/m]				[µm/m]	
[sec]	[mD]	[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	
		[mD]				[mD]				[mD]										[mD]				[mD]	



Slika 120. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=260cm, voz br.1, presek P15



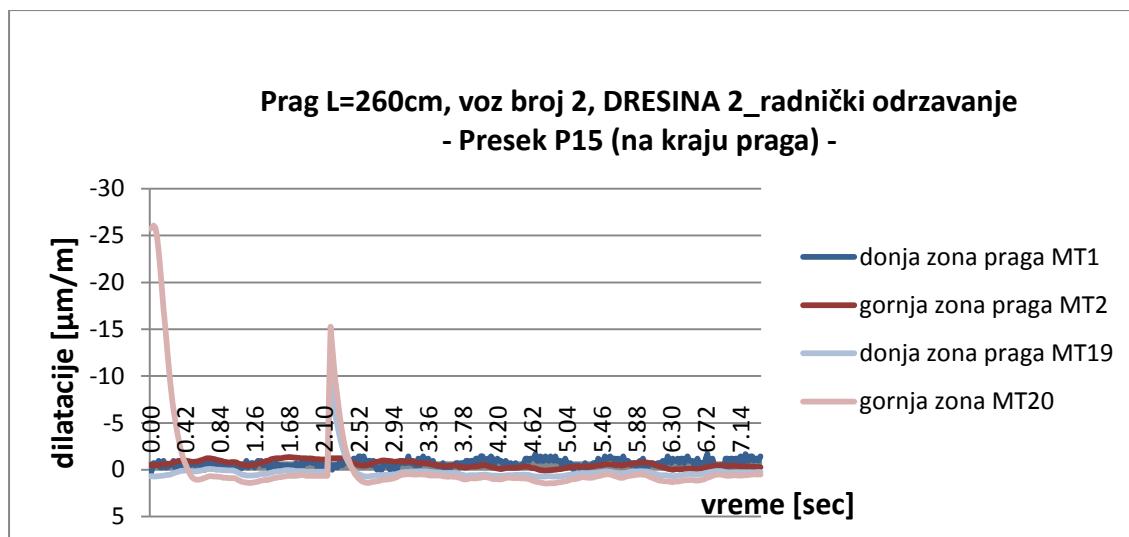
Slika 121. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=260cm, voz br.1, presek S-S



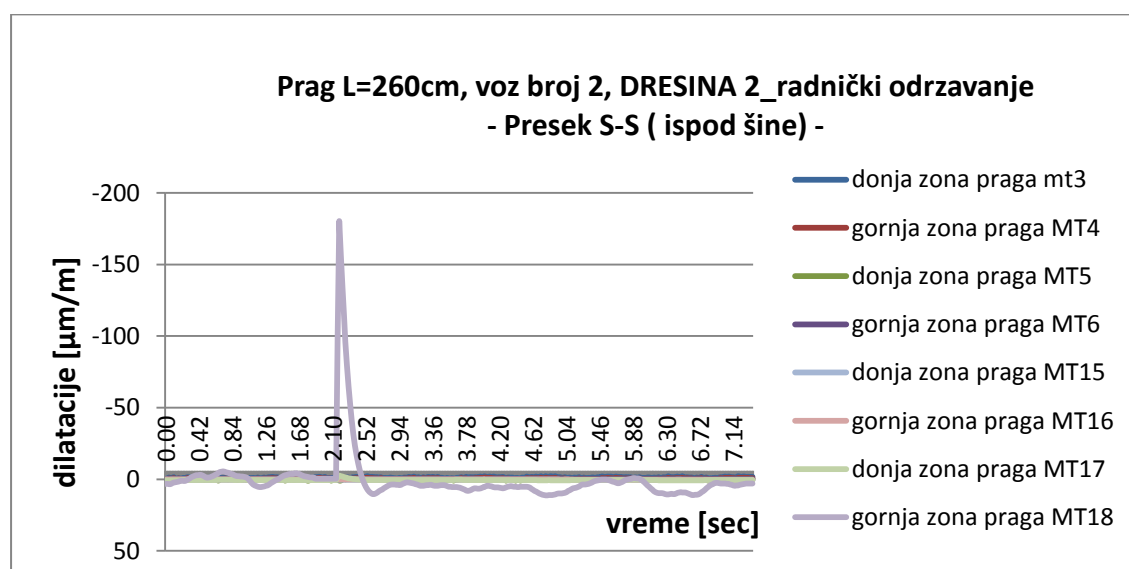
Slika 122. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=260cm, voz br.1, presek P0

Tabela T14: Tabelarni prikaz rezultata merenja pri prolasku voza br. 2- DRESINA 2_{radnički održavanje}

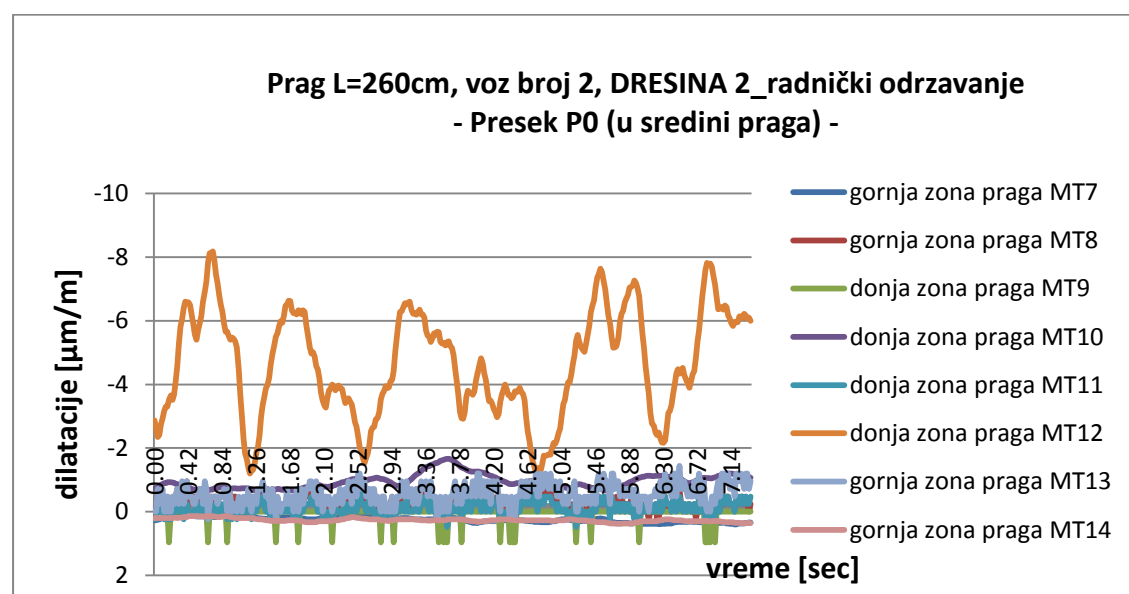
PRAG 260cm - VOZ 2 - DRESINA 2 _{radnički održavanje}																										
Rbr	MT	MT1	MT2	MT3	MT4	MT5	MT6	MT7	MT8	MT9	MT10	MT11	MT12	MT13	MT14	MT15	MT16	MT17	MT18	MT19	MT20					
Pozicija MT	PRESEK P15				PRESEK S-S (MESTO OSLANJANJA ŠINE)				PRESEK PO (SREDINA PRAGA)												PRESEK S-S (MESTO OSLANJANJA ŠINE)				PRESEK P15	
	S8 CH 0	MGC-11	S8 CH 1	S8 CH 2	S8 CH 3	MGC-12	MGC-13	S8 CH 4	S8 CH 5	MGC-14	S8 CH 6	MGC-15	S8 CH 7	MGC-16	MGC-17	MGC-18	MGC-21	MGC-22	MGC-23	MGC-24						
[mD]	[µm/m]	[mD]	[mD]	[mD]	[mD]	[µm/m]	[µm/m]	[mD]	[mD]	[mD]	[µm/m]	[mD]	[µm/m]	[mD]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]						
Time	[sec]																									
S8, SEC																										
OZNAKA INSTRUMENTA I BROJ KANALA NA INSTRUMENTU																										
Merna traka u GORNJEM POJASU praga																										
0	0.48	-0.53333	-0.24	0.24	0	-0.13333	0.26667	0.24	0	-0.73333	0.24	-2.86667	0	0.2	0.33333	0.2	0.7	3.2	0.66667	-25.7333						
0.02	0	-0.5	-0.24	0.24	0.96	-0.13333	0.26667	0	0	-0.74167	0.24	-2.61667	0	0.2	0.35	0.20833	0.71667	3.25	0.675	-25.825						
0.04	-0.72	-0.46667	-1.2	-0.48	0	-0.13333	0.25	-0.72	0	-0.775	-0.24	-2.34167	-0.72	0.2	0.35	0.21667	0.74167	3.44167	0.7	-26.0667						
0.06	-0.48	-0.46667	-0.72	-0.24	0	-0.13333	0.23333	-0.24	0	-0.81667	0	-2.41667	-0.24	0.2	0.34167	0.20833	0.74167	3.34167	0.7	-25.8333						
0.08	-0.72	-0.49167	-0.96	-0.24	0	-0.14167	0.21667	-0.24	0	-0.85	0	-2.75	-0.48	0.2	0.35	0.2	0.73333	2.83333	0.68333	-24.8417						
0.10	-0.96	-0.525	-1.44	-0.72	0	-0.13333	0.2	-0.48	0	-0.86667	-0.24	-2.93333	-0.72	0.2	0.35	0.2	0.71667	2.375	0.66667	-23.2833						
0.12	-0.24	-0.58333	-0.24	0	0	-0.13333	0.2	0	0	-0.9	0.24	-3.15833	0	0.2	0.35	0.2	0.70833	2.06667	0.65	-21.3833						
0.14	-0.24	-0.575	-0.24	0	0	-0.125	0.19167	-0.24	0	-0.9	0.24	-3.3	0	0.2	0.35833	0.2	0.7	1.8	0.63333	-19.3167						
0.16	-0.96	-0.59167	-0.72	-0.48	0	-0.11667	0.16667	-0.48	0	-0.93333	0	-3.3	-0.48	0.2	0.35	0.18333	0.68333	1.56667	0.61667	-17.1667						
0.18	-0.24	-0.625	-0.24	0	0.96	-0.1	0.16667	-0.24	0.96	-0.93333	0.24	-3.51667	0	0.2	0.35	0.16667	0.66667	1.25	0.575	-15.0667						
0.20	-0.24	-0.65	-0.48	0	0	-0.08333	0.16667	-0.24	0	-0.93333	0.24	-3.65	0	0.2	0.34167	0.16667	0.65	1.05	0.55	-13.0333						
0.22	-0.48	-0.65	-0.96	0	0	-0.075	0.15	-0.24	0	-0.91667	0	-3.50833	-0.48	0.2	0.33333	0.16667	0.65	1.21667	0.53333	-11.1						
0.24	-0.48	-0.66667	-0.72	0	0	-0.05	0.14167	-0.24	0	-0.90833	0	-3.68333	-0.24	0.19167	0.33333	0.16667	0.64167	1.20833	0.5	-9.34167						
0.26	-0.48	-0.71667	-1.2	-0.48	0	-0.05	0.13333	-0.48	0	-0.88333	-0.24	-4.1	-0.48	0.19167	0.33333	0.16667	0.625	0.8	0.43333	-7.78333						
0.28	-0.96	-0.775	-1.44	-0.72	0	-0.03333	0.13333	-0.72	0	-0.86667	-0.24	-4.575	-0.72	0.2	0.33333	0.16667	0.60833	0.18333	0.36667	-6.425						
0.30	-0.24	-0.85	-0.72	-0.24	0	-0.01667	0.13333	-0.48	0	-0.85	0	-5.275	-0.24	0.19167	0.33333	0.16667	0.58333	-0.6	0.3	-5.23333						
0.32	-0.48	-0.90833	-1.44	-0.48	0	-0.0833	0.13333	-0.72	0	-0.81667	-0.24	-5.81667	-0.48	0.18333	0.33333	0.16667	0.55	-1.375	0.23333	-4.18333						
0.34	-0.96	-0.93333	-1.44	-0.72	0	0.00833	0.13333	-0.72	0	-0.81667	-0.48	-6.05	-0.96	0.18333	0.33333	0.16667	0.53333	-1.81667	0.19167	-3.25833						
0.36	0	-0.975	-0.48	-0.24	0	0.01667	0.13333	0	0	-0.78333	0.24	-6.39167	-0.24	0.16667	0.33333	0.16667	0.5	-2.3	0.13333	-2.45833						
0.38	-0.48	-0.99167	-0.96	-0.48	0	0.03333	0.125	-0.48	0	-0.76667	0	-6.6	-0.48	0.16667	0.33333	0.16667	0.48333	-2.73333	0.1	-1.7667						
0.40	-0.96	-0.98333	-1.44	-0.72	0	0.03333	0.125	-0.96	0	-0.76667	-0.24	-6.58333	-0.96	0.16667	0.33333	0.16667	0.48333	-2.88333	0.08333	-1.1667						
0.42	-0.48	-0.98333	-0.72	-0.24	0	0.04167	0.13333	-0.24	0	-0.75	0	-6.58333	-0.48	0.14167	0.33333	0.16667	0.48333	-3.00833	0.06667	-0.6667						
0.44	-0.48	-0.9833	-0.96	-0.24	0	0.05	0.13333	-0.48	0	-0.75	0	-6.49167	-0.48	0.13333	0.33333	0.15	0.48333	-3	0.06667	-0.23333						
0.46	-0.72	-0.91667	-0.96	-0.24	0	0.05	0.13333	-0.48	0	-0.71667	0	-6.18333	-0.48	0.13333	0.33333	0.15	0.5	-2.64167	0.1	0.13333						
0.48	-0.48	-0.88333	-0.48	0	0	0.03333	0.14167	-0.24	0	-0.7	0	-5.9	-0.24	0.13333	0.33333	0.14167	0.50833	-2.0667	0.13333	0.45833						
0.50	-0.72	-0.85	-0.72	-0.24	0	0.03333	0.14167	-0.48	0	-0.68333	0	-5.5667	-0.24	0.13333	0.33333	0.13333	0.51667	-1.4167	0.16667	0.73333						
0.52	-0.72	-0.84167	-0.96	-0.24	0	0	0.15	-0.48	0	-0.66667	-0.24	-5.4	-0.48	0.13333	0.33333	0.13333	0.51667	-0.99167	0.18333	0.91667						
0.54	-0.48	-0.86667	-0.72	-0.24	0	0	0.15	-0.24	0	-0.65	0	-5.7	-0.48	0.13333	0.33333	0.11667	0.5	-1.19167	0.16667	1.00833						
0.56	-0.72	-0.9	-1.44	-0.72	0	0	0.15	-0.72	0	-0.65	-0.24	-5.91667	-0.72	0.15	0.33333	0.11667	0.48333	-1.51667	0.15	1.05						
0.58	-0.72	-0.94167	-1.44	-0.72	0	-0.03333	0.15	-0.48	0	-0.65833	-0.24	-6.13333	-0.72	0.15	0.33333	0.1	0.475	-1.84167	0.13333	1.06667						
0.60	-0.48	-0.99167	-0.72	-0.24	0	-0.03333	0.15	-0.24	0	-0.65833	0	-6.58333	-0.24	0.15	0.33333	0.09167	0.45	-2.925	0.06667	0.99167						
0.62	-0.96	-1.03333	-1.68	-0.72	0	-0.03333	0.15	-0.72	0	-0.65833	-0.48	-6.90833	-0.96	0.15	0.33333	0.08333	0.43333	-3.525	0.025	0.93333						
0.64	-0.72	-1.08333	-1.2	-0.48	0	-0.05833	0.14167	-0.48	0	-0.66667	-0.24	-7.23333	-0.72	0.14167	0.33333	0.08333	0.43333	-3.525	0.025	0.93333						
0.66	0	-1.15	-0.24	0.24	0.96	-0.0667	0.14167	0	0.96	-0.6667	0.24	-7.81667	0.24	0.13333	0.35	0.08333	0.41667	-4.3667	-0.0333	0.84167						
0.68	-0.48	-1.21667	-0.96	0	0	-0.08333	0.15	-0.48	0	-0.69167	0	-8.1167	-0.24	0.13333	0.35	0.08333	0.40833	-5.025	-0.0667	0.76667						
0.70	-0.72	-1.23333	-1.2	-0.24	0	0	-0.1	0.15	-0.48	0	-0.7	-8.13333	-0.48	0.13333	0.36667	0.08333	0.40833	-5.275	-0.0833	0.71667						
0.72	-0.48	-1.23333	-0.72	-0.24	0	0	-0.1	0.158333	-0.24	0	-0.7	-8.18333	-0.48	0.14167	0.36667	0.08333	0.40833	-5.4333	-0.09167	0.66667						



Slika 123. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=260cm, voz br.2, presek P15



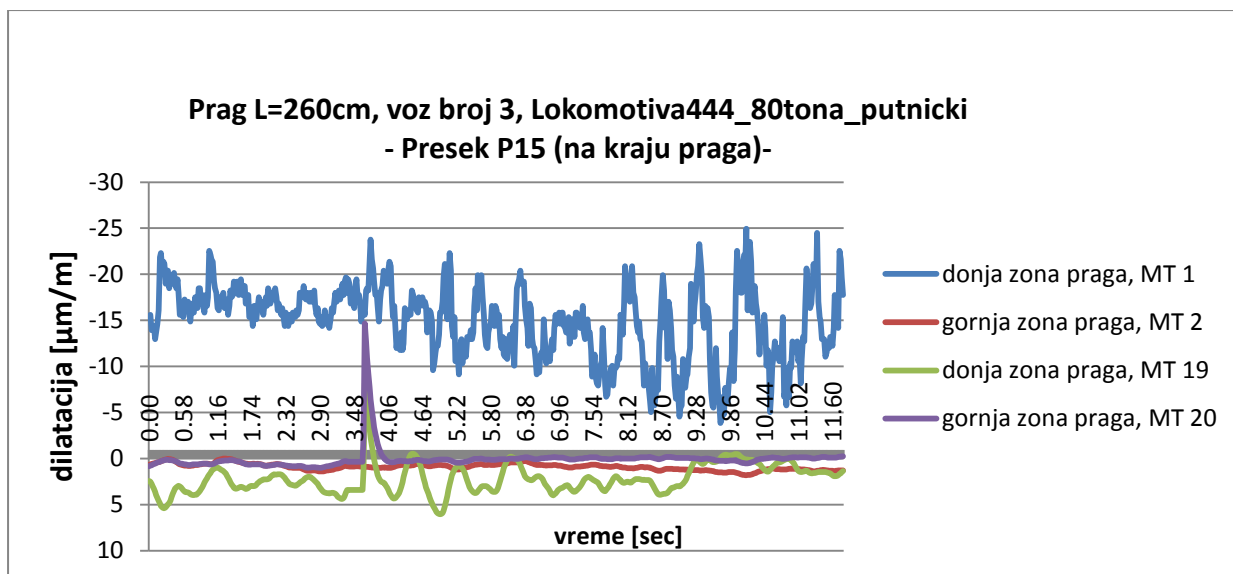
Slika 124. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=260cm, voz br.2, presek S-S



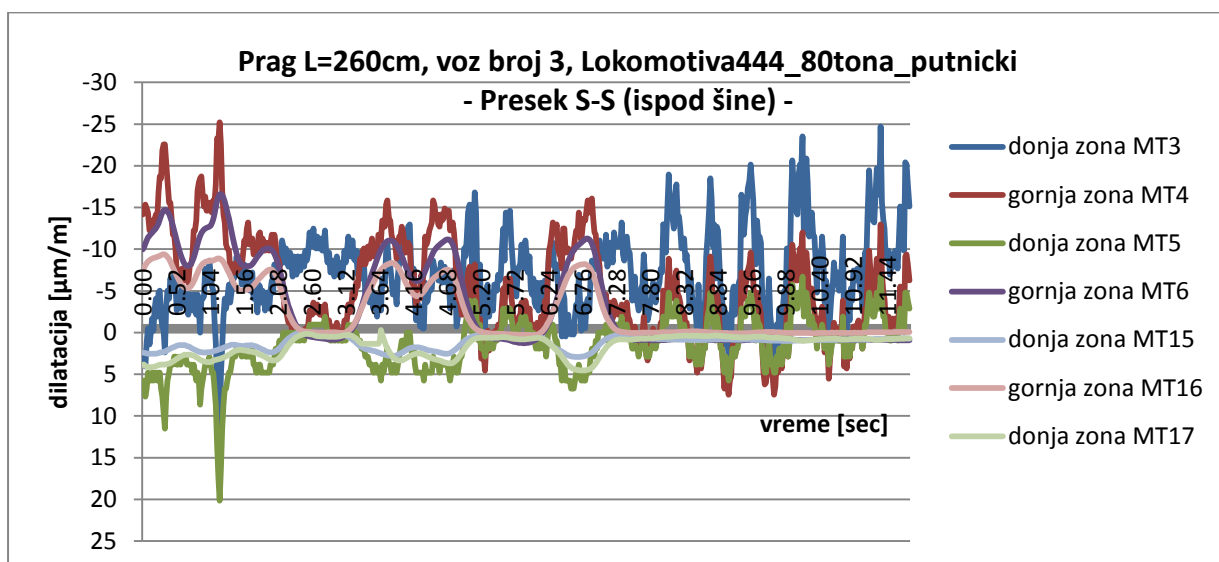
Slika 125. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=260cm, voz br.2, presek P0

Tabela T15: Tabelarni prikaz rezultata merenja pri prolasku voza br. 3 - Lokomotiva444_80tona
putnicki

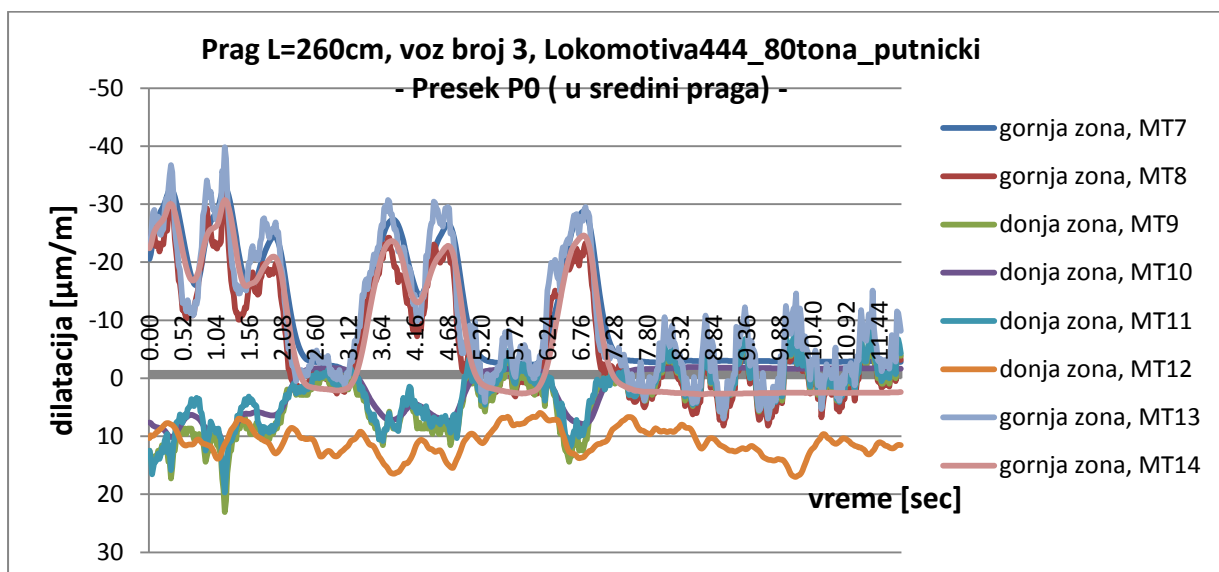
PRAG 260cm - VOZ 3 - 15.05. Lokomotiva444_80tona_putnicki																						
Rbr	MT	MT1	MT2	MT3	MT4	MT5	MT6	MT7	MT8	MT9	MT10	MT11	MT12	MT13	MT14	MT15	MT16	MT17	MT18	MT19	MT20	
Pozicija	PRESEK P15				PRESEK S-S (MESTO OSIJANJANJA ŠINE)				PRESEK PO (SREDINA PRAGA)				PRESEK S-S (MESTO OSIJANJANJA ŠINE)				PRESEK P15					
Time	OZNAKA INSTRUMENTA I BROJ KANALA NA INSTRUMENTU																					
ss. voz	S8 CH 0	MGC-11	S8 CH 1	S8 CH 2	S8 CH 3	MGC-12	MGC-13	S8 CH 4	S8 CH 5	MGC-14	S8 CH 6	MGC-15	S8 CH 7	MGC-16	MGC-17	MGC-18	MGC-21	MGC-22	MGC-23	MGC-24		
[sec]	[mD]	[µm/m]	[mD]	[mD]	[mD]	[µm/m]	[µm/m]	[mD]	[mD]	[µm/m]	[mD]	[µm/m]	[µm/m]	[mD]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]		
						</																



Slika 126. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=260cm, voz br.3, presek P15



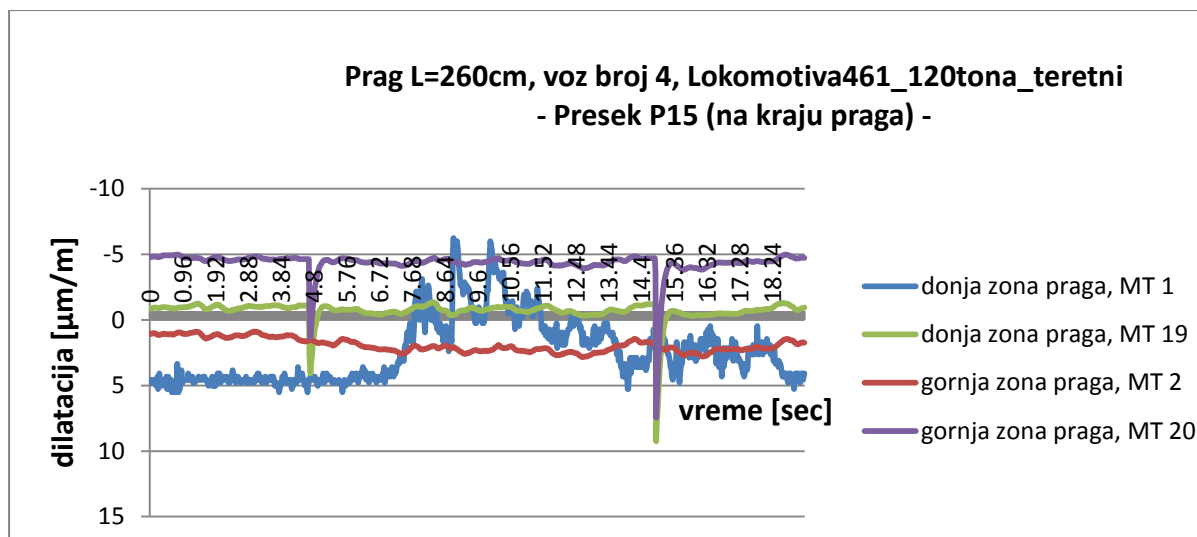
Slika 127. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=260cm, voz br.3, presek S-S



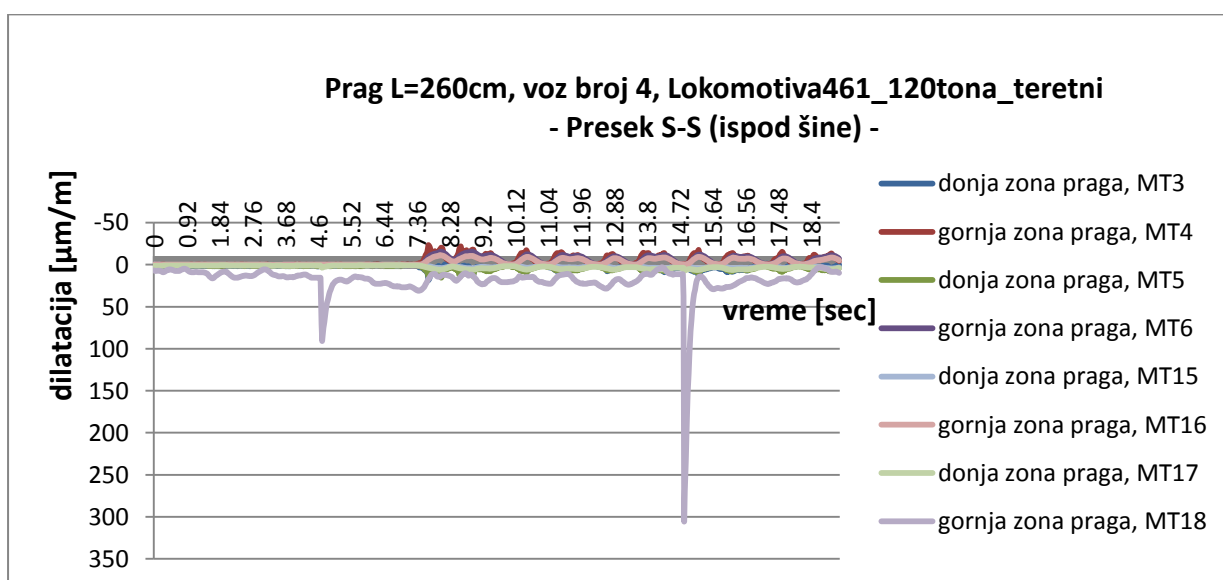
Slika 128. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=260cm, voz br.3, presek P0

Tabela T16: Tabelarni prikaz rezultata merenja pri prolasku voza br. 4 - Lokomotiva461_120tona
teretni

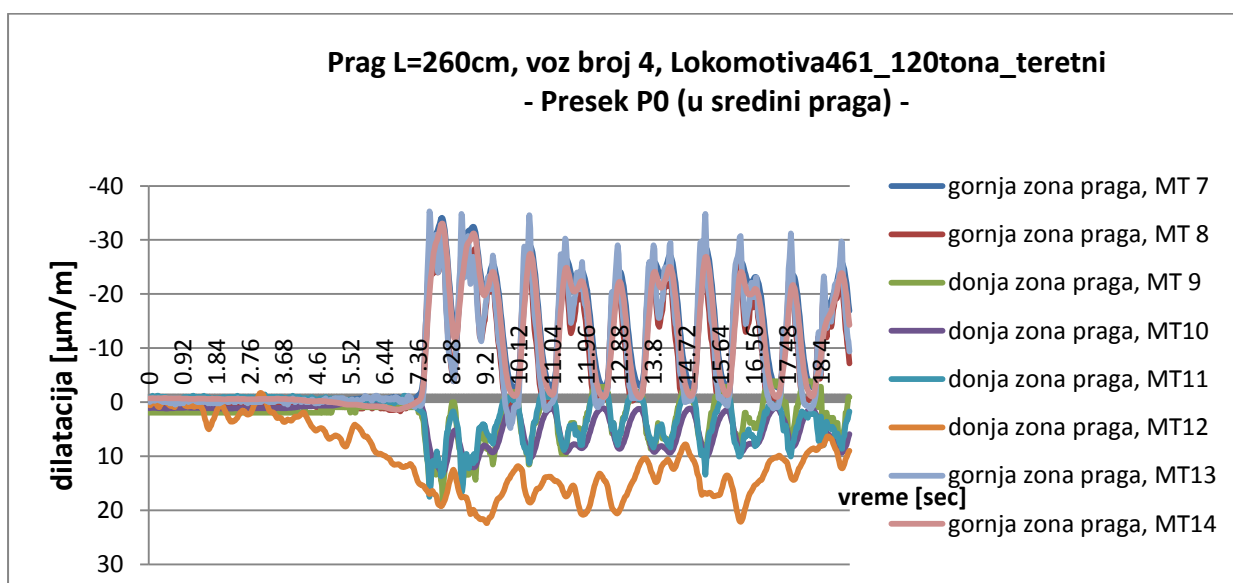
PRAG 260cm - VOZ 4 - 16.40_Lokomotiva461_120tona_teretni																								
Rbr	MT	MT1	MT2	MT3	MT4	MT5	MT6	MT7	MT8	MT9	MT10	MT11	MT12	MT13	MT14	MT15	MT16	MT17	MT18	MT19	MT20			
Pozicija MT	PRESEK P15		PRESEK S-S (MESTO OSLANJANJA ŠINE)					PRESEK PO (SREDINA PRAGA)					PRESEK S-S (MESTO OSLANJANJA ŠINE)										PRESEK P15	
	S8 CH 0 [mD]	MGC-11 [µm/m]	S8 CH 1 [mD]	S8 CH 2 [mD]	S8 CH 3 [mD]	MGC-12 [µm/m]	MGC-13 [µm/m]	S8 CH 4 [mD]	S8 CH 5 [mD]	MGC-14 [µm/m]	S8 CH 6 [mD]	MGC-15 [µm/m]	S8 CH 7 [mD]	MGC-16 [µm/m]	MGC-17 [µm/m]	MGC-18 [µm/m]	MGC-21 [µm/m]	MGC-22 [µm/m]	MGC-23 [µm/m]	MGC-24 [µm/m]				
Time s8, sec	[sec]																							
Merna traka u GORNIJEM POJASU praga																								
Merna traka u DONJEM POJASU praga																								
0	4.56	1.033333	1.68	0.24	0.96	0.566667	0.333333	0.48	1.92	1.1	-0.72	0.133333	-0.24	-0.73333	-0.03333	-0.06667	1.366667	6.866667	-0.86667	-0.86667	-4.8			
0.02	4.8	1.083333	1.68	0.48	0.96	0.566667	0.333333	0.48	1.92	1.083333	-0.72	0.591667	0	-0.73333	-0.00833	-0.06667	1.383333	7.591667	-0.85	-0.85	-4.78333			
0.04	4.8	1.066667	1.2	0.24	0.96	0.575	0.333333	0.24	1.92	1.075	-0.96	0.55	-0.48	-0.73333	0	-0.06667	1.366667	7.541667	-0.86667	-0.86667	-4.79167			
0.06	4.56	1.05	1.2	0	0.96	0.583333	0.333333	0.24	1.92	1.066667	-0.96	0.383333	-0.48	-0.73333	0	-0.06667	1.35	7.45	-0.88333	-0.88333	-4.81667			
0.08	4.8	1.025	1.2	0.24	0.96	0.583333	0.35	0.24	1.92	1.066667	-0.96	0.191667	-0.24	-0.73333	0	-0.06667	1.333333	7.233333	-0.9	-0.9	-4.825			
0.1	4.56	1.016667	0.96	0	0.96	0.583333	0.366667	0	1.92	1.066667	-1.2	0.141667	-0.72	-0.73333	0.033333	0.033333	-0.06667	1.316667	7.158333	-0.91667	-0.91667	-4.825		
0.12	4.8	1.016667	1.44	0.24	0.96	0.591667	0.366667	0.24	1.92	1.066667	-0.96	0.025	-0.48	-0.73333	0.033333	-0.06667	1.3	7.2	-0.91667	-0.91667	-4.83333			
0.14	4.8	1.025	1.44	0.24	0.96	0.6	0.366667	0.24	1.92	1.066667	-0.96	-0.03333	-0.48	-0.73333	0.033333	-0.06667	1.283333	7.258333	-0.93333	-0.93333	-4.83333			
0.16	4.56	1.05	1.68	0.48	0.96	0.6	0.375	0.24	1.92	1.066667	-0.72	0.066667	-0.24	-0.73333	0.058333	-0.05	1.266667	7.45	-0.93333	-0.93333	-4.825			
0.18	5.04	1.058333	1.44	0.24	0.96	0.6	0.4	0.24	1.92	1.066667	-0.96	0.075	-0.48	-0.73333	0.066667	-0.03333	1.241667	7.666667	-0.93333	-0.93333	-4.825			
0.2	4.8	1.091667	1.44	0.24	0.96	0.6	0.4	0.24	1.92	1.066667	-0.96	0.258333	-0.48	-0.73333	0.066667	-0.025	1.216667	8.05	-0.925	-0.925	-4.80833			
0.22	4.32	1.125	1.2	0	0.96	0.616667	0.416667	0.24	1.92	1.066667	-1.2	0.591667	-0.48	-0.725	0.066667	0	1.216667	8.566667	-0.9	-0.9	-4.79167			
0.24	5.28	1.15	1.2	0.24	0.96	0.633333	0.433333	0.24	1.92	1.083333	-1.2	0.75	-0.48	-0.7	0.066667	0	1.2	8.9	-0.9	-0.9	-4.78333			
0.26	4.8	1.15	1.2	0	0.96	0.633333	0.433333	0	1.92	1.1	-1.2	0.875	-0.72	-0.7	0.075	0	1.183333	8.925	-0.9	-0.9	-4.78333			
0.28	4.08	1.15	1.2	0	0.96	0.633333	0.45	0	1.92	1.1	-0.96	0.916667	-0.48	-0.70833	0.083333	0	1.175	8.8	-0.9	-0.9	-4.78333			
0.3	4.8	1.133333	1.44	0.24	0.96	0.633333	0.45	0.24	1.92	1.1	-0.96	0.666667	-0.24	-0.71667	0.075	0.008333	1.15	8.308333	-0.91667	-0.91667	-4.81667			
0.32	5.04	1.116667	1.68	0.24	0.96	0.633333	0.45	0.24	1.92	1.1	-0.96	0.425	-0.24	-0.725	0.066667	0.008333	1.133333	7.616667	-0.94167	-0.94167	-4.85			
0.34	5.04	1.108333	1.44	0.24	0.96	0.633333	0.45	0.24	1.92	1.1	-0.72	0.325	-0.24	-0.73333	0.066667	0	1.125	7.133333	-0.95	-0.95	-4.85			
0.36	4.56	1.083333	1.44	0.24	0.96	0.633333	0.45	0.24	1.92	1.1	-0.96	0.05	-0.24	-0.73333	0.066667	-0.01667	1.116667	6.6	-0.96667	-0.96667	-4.88333			
0.38	4.56	1.075	1.44	0.24	0.96	0.633333	0.45	0.24	1.92	1.116667	-0.72	-0.2	0	-0.73333	0.066667	-0.01667	1.1	6.033333	-0.96667	-0.96667	-4.91667			
0.4	4.56	1.066667	1.68	0.48	0.96	0.633333	0.45	0.48	1.92	1.133333	-0.72	-0.20833	0	-0.75833	0.066667	-0.025	1.108333	5.816667	-0.96667	-0.96667	-4.91667			
0.42	4.8	1.066667	1.44	0.24	0.96	0.65	0.466667	0.24	1.92	1.133333	-0.96	-0.25833	-0.24	-0.76667	0.066667	-0.03333	1.108333	5.716667	-0.96667	-0.96667	-4.925			
0.44	5.04	1.083333	1.92	0.48	0.96	0.666667	0.466667	0.48	1.92	1.158333	-0.72	-0.16667	0	-0.76667	0.066667	-0.04167	1.108333	5.691667	-0.96667	-0.96667	-4.93333			
0.46	4.56	1.083333	1.68	0.48	0.96	0.666667	0.466667	0.24	1.92	1.166667	-0.96	0.058333	-0.24	-0.76667	0.066667	-0.05	1.108333	5.933333	-0.95833	-0.95833	-4.925			
0.48	4.32	1.083333	1.68	0.48	0.96	0.666667	0.483333	0.24	1.92	1.166667	-0.72	0.066667	-0.24	-0.75833	0.066667	-0.05833	1.1	6.008333	-0.95	-0.95	-4.925			
0.5	5.28	1.083333	2.16	0.72	1.92	0.666667	0.483333	0.72	1.92	1.15	-0.48	0.1	0	-0.75	0.066667	-0.06667	1.091667	6.033333	-0.94167	-0.94167	-4.93333			
0.52	5.04	1.1	1.92	0.48	0.96	0.666667	0.475	0.48	1.92	1.141667	-0.72	0.3	0	-0.73333	0.066667	-0.06667	1.083333	6.333333	-0.93333	-0.93333	-4.93333			
0.54	4.32	1.1	1.92	0.48	0.96	0.666667	0.466667	0.48	1.92	1.133333	-0.72	0.408333	-0.24	-0.73333	0.066667	-0.06667	1.083333	6.65	-0.93333	-0.93333	-4.925			
0.56	5.28	1.108333	2.16	0.96	1.92	0.666667	0.466667	0.48	1.92	1.133333	-0.48	0.566667	0.24	-0.73333	0.066667	-0.06667	1.083333	7	-0.925	-0.925	-4.91667			
0.58	5.04	1.108333	1.92	0.72	1.92	0.666667	0.466667	0.72	1.92	1.125	-0.72	0.675	0	-0.73333	0.066667	-0.06667	1.083333	7.3	-0.91667	-0.91667	-4.91667			
0.6	4.56	1.083333	1.68	0.48	0.96	0.658333	0.466667	0.48	1.92	1.116667	-0.72	0.575	0	-0.73333	0.066667	-0.06667	1.075	7.366667	-0.90833	-0.90833	-4.925			
0.62	4.56	1.083333	1.92	0.72	0.96	0.658333	0.466667	0.48	1.92	1.108333	-0.72	0.583333	0.24	-0.73333	0.066667	-0.05833	1.075	7.35	-0.9	-0.9	-4.93333			
0.64	5.52	1.1	1.68	0.48	0.96	0.658333	0.483333	0.72	1.92	1.1	-0.72	0.16667	0	-0.73333	0.075	-0.05833	1.083333	7.508333	-0.89167	-0.89167	-4.925			
0.66	5.28	1.116667	1.92	0.72	0.96	0.666667	0.483333	0.72	1.92	1.1	-0.48	0.758333	0.24	-0.73333	0.075	-0.05833	1.083333	7.533333	-0.86667	-0.86667	-4.925			
0.68	5.28	1.116667	1.92	0.72	1.92	0.666667	0.483333	0.48	1.92	1.083333	-0.72	0.9	0.24	-0.73333	0.066667	-0.05833	1.133333	7.516667	-0.86667	-0.86667	-4.91667			



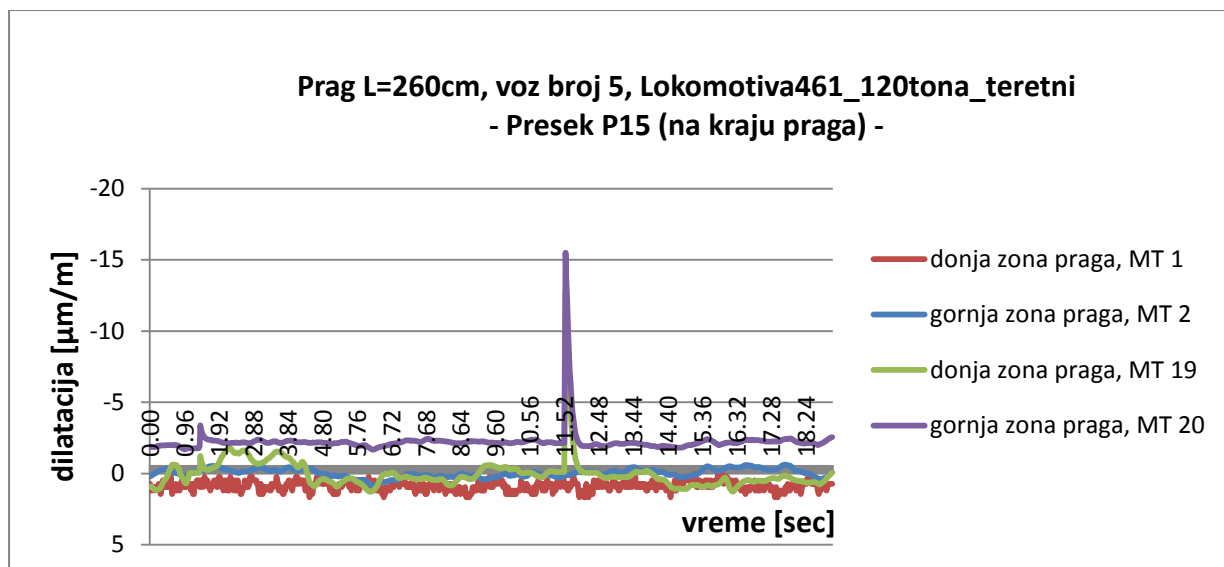
Slika 129. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=260cm, voz br.4, presek P15



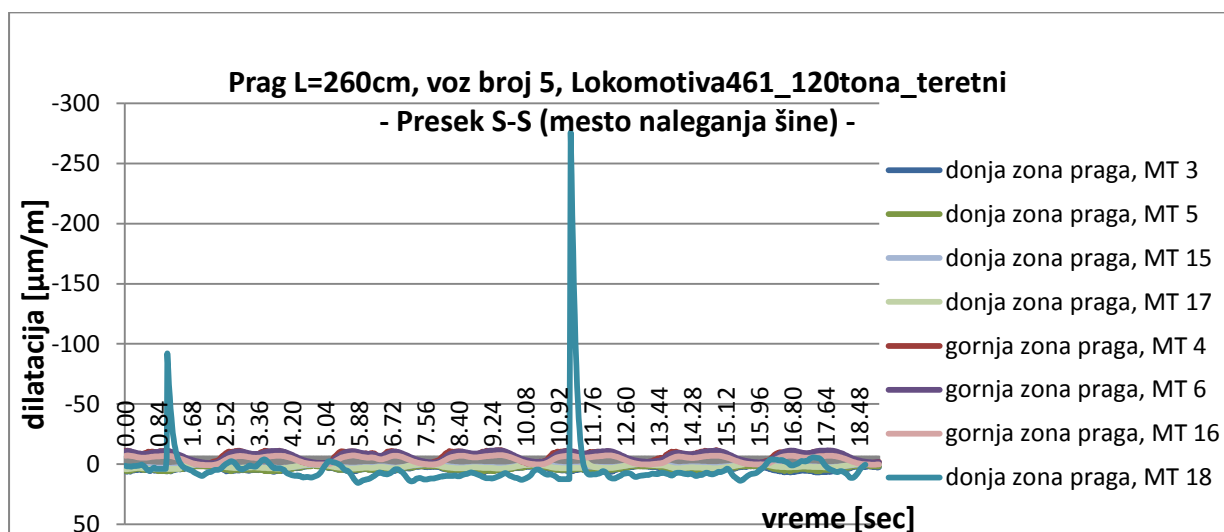
Slika 130. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=260cm, voz br.4, presek S-S



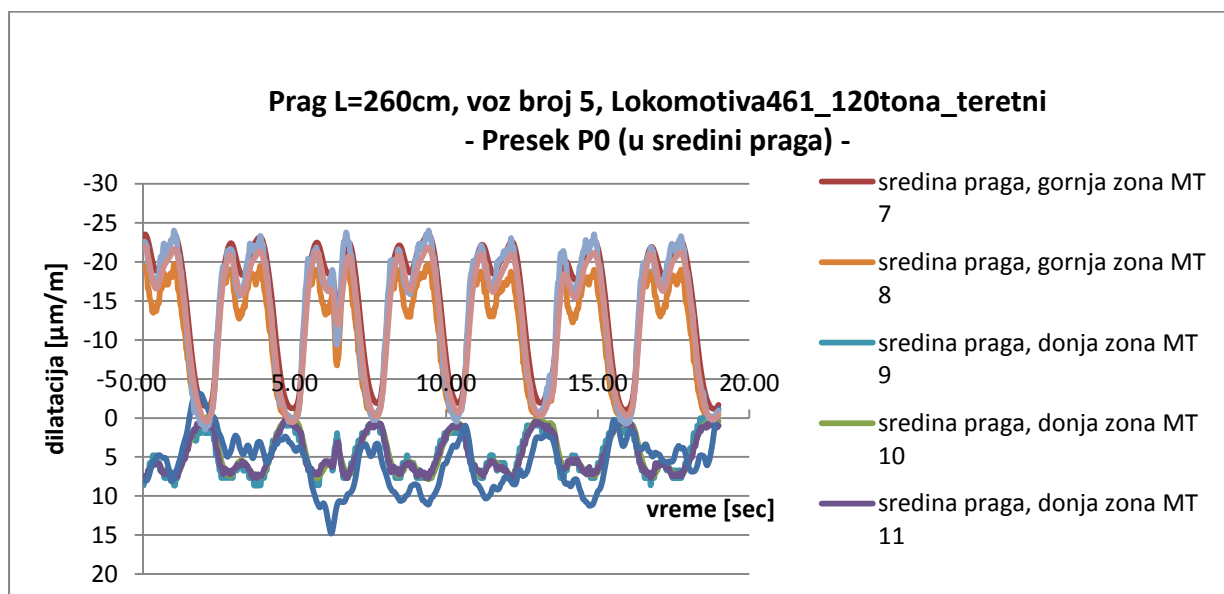
Slika 131. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=260cm, voz br.4, presek P0



Slika 132. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=260cm, voz br.5, presek P15



Slika 133. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=260cm, voz br.5, presek S-S



Slika 134. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=260cm, voz br.5, presek P0

Komentar dijagrama sa ispitivanja praga B70, L=260 cm, na temperaturi od 33-36°C

U toku vršenja eksperimenta, 27.08.2014.godine, u realnim ambijentalnim "in situ" uslovima eksploatacije prednapregnutog betonskog železničkog praga B70, L=260 cm, ugrađenog u kolosek, eksperimentalno su izmereni i, uz pomoć merne opreme i instrumenata, snimljeni podaci o veličinama dilatacija u P0, S-S i P15 presecima ispitivanoga praga. U toku trajanja eksperimenta, zabeleženo je 5 prolazaka vozova (str 130) sa lokomotivama različitog osovinskog opterećenja. Temperatura vazduha pri ispitivanju je iznosila 33-36°C.

Pregledom dobijenih dijagrama dilatacija/vreme (slike 120.-134.) dolazi se do jasnih zaključaka:

- U preseku P15, pri realnom opterećenju od Dresine (šinobus za radnike) zabeležene su dilatacije (slika 120.) veoma niskih vrednosti, manjih od 2 mikrodilatacija [$\mu\text{m/m}$]. Pri prolasku lokomotive 461, teške 120 tona, zabeležene su dilatacije takođe veoma niskih vrednosti (slika 129. i 132.), manjih od 5 mikrodilatacija [$\mu\text{m/m}$].
- U preseku S-S, u svih 5 slučajeva prolaska kompozicija, nisu zabeležene dilatacije (slike 130. i 133.) veće od 25 mikrodilatacija [$\mu\text{m/m}$].
- Na dijagramima za oba preseka (P15 i S-S) jasno se uočava harmonično stanje napona sa pojavom jednog incidentnog naponskog stanja, u odgovarajućoj sekundi eksperimenta, istovremeno za oba preseka.

Incidentni slučaj se javlja u svih 5 slučajeva prolazaka vozova, pri svim opterećenjima. Pri najvećem opterećenju, pri prolasku putničke i teretne kompozicije sa lokomotivom od 120 tona, na dijagramima (slika 129., 130., 132., 133.) se takođe uočava incidentno ponašanje i naponsko stanje u presecima P15 i S-S.

Razlozi ovakvog ponašanja praga odnosno izgleda dijagrama mogu biti različiti. Uzrok može biti nedovoljno podbijen prag ali i oštećenje na šini. Nepravilnost na točku se eliminiše kao uzrok i ne može se uzeti u obzir jer je bilo više različitih lokomotiva a pojava je ista.

U prilog sumnji da je uzročnik pojave incidentnog stanja napona neadekvatna posteljica može ići i zapažanje sa samog ispitivanja koje govori o prevelikim vibracijama koloseka i velikim pomeranjima i "odskakanjima" samog praga od podloge. Ova pojava je svakako van propisa i nedozvoljena je sa stanovišta bezbednosti putnika i roba u železničkom saobraćaju ali je treba prihvatiti kao realnost i kao realnu sliku stanja železničke infrastrukture. I to je, svakako, jedan od razloga za ispitivanje u realnim ambijentalnim uslovima eksploatacije koje je najbolje za utvrđivanje incidentnih stanja koje standardima nije predviđeno.

- U preseku P0, u sredini raspona, u svih 5 slučajeva prolaska kompozicija, nisu zabeležene dilatacije (slike 131. i 134.) veće od 30 mikrodilatacija [$\mu\text{m/m}$]. Harmonikum u grafiku, bez pojave bilo kakvih nepravilnosti, ukazuje na dobar prijem opterećenja i ravnomerno prenošenje istoga na podlogu, za razliku od stanja podloge ispod preseka P15 i S-S.

1.2.b) Ispitivanje praga B70, L=260 cm, $t_v=8-10^{\circ}\text{C}$, $t_b=8^{\circ}\text{C}$ (30.10.2014. godine)

Ponovljeno ispitivanje praga B70, L=260 cm, pod dejstvom eksploatacionog opterećenja, pri niskim temperaturama, izvršeno je dana 30.10.2014.godine sa početkom povezivanja opreme u 13h i završetkom ispitivanja u 15.30h.

U toku ispitivanja, spoljašnja temperatura vazduha je iznosila od 8 do 10°C , uz beleženje temperature betona na površini praga od oko 8°C .



Slika 135. Povezivanje mernih traka i sačinjavanje zapisnika

Zabeležen je prolazak 2 kompozicije i to:

1. 14:35h: Kompozicija, putnički voz sa lokomotivom oznake 444, težine 80 tona,
2. 14:50h: Teretni voz sa lokomotivom oznake 661 i težine 112 tona.



Slika 136. Trenutak nailaska i prolaska putničkog i teretnog voza preko ispitivanog praga

Posle prolaska svakog od vozova, vršeno je merenje temperature betona na površini praga.

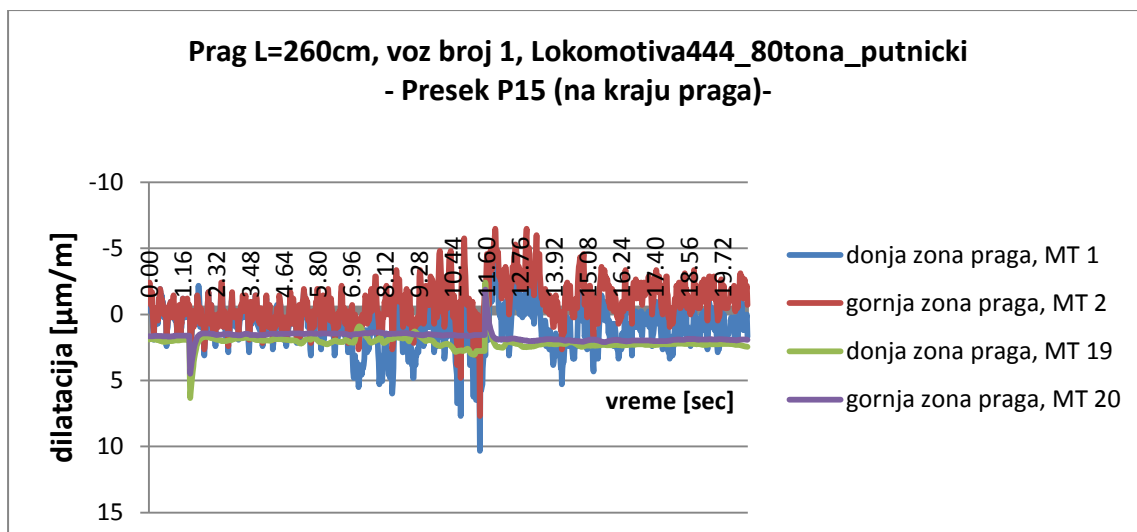


Slika 137. Merenje temperature betona na površini ispitivanog praga posle prolaska kompozicije

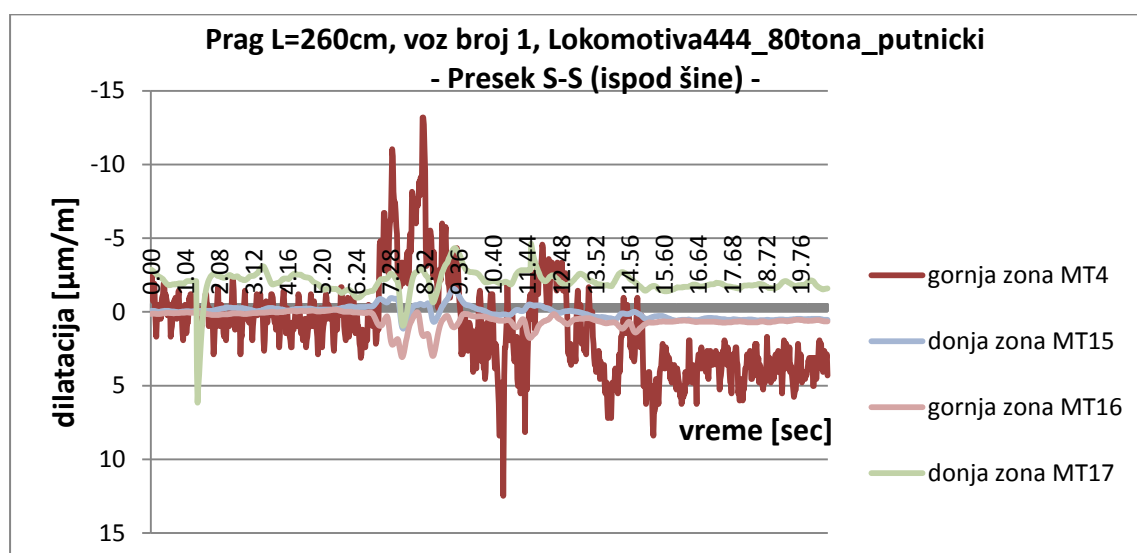
Zabeleženi su rezultati sa 20 mernih traka i dati su u tabeli, grupisani prema preseku u kome su zabeleženi. Na osnovu rezultata, izrađeni su grafikoni i dati su u nastavku.

Tabela T18: Tabela prikaz rezultata merenja pri prolasku voza br. 1- Putnički voz _lokomotiva 444_80 tona

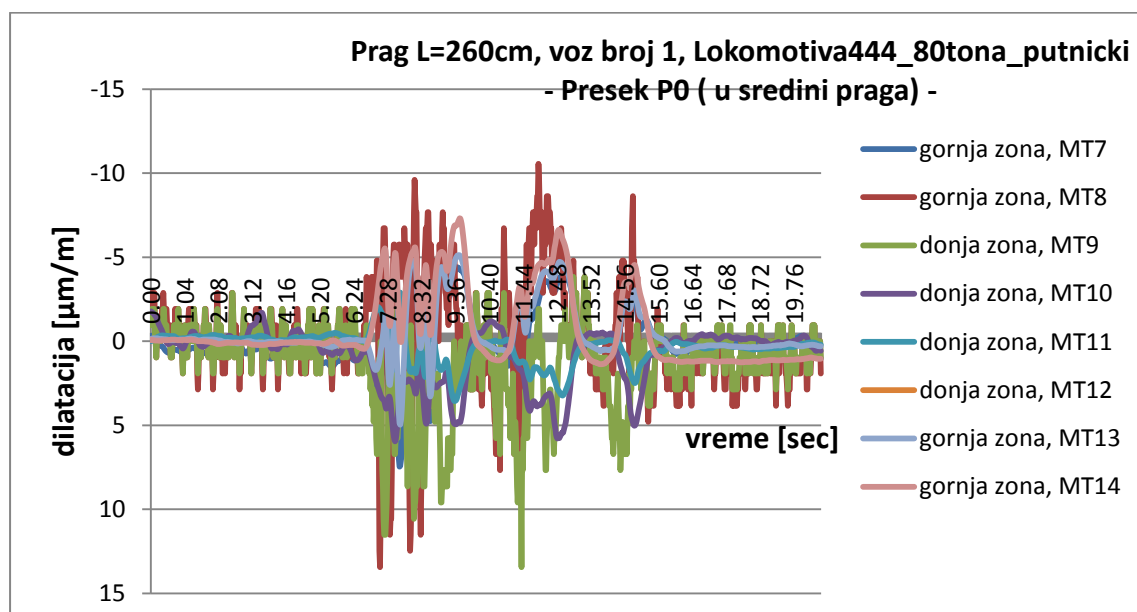
PRAG 260cm - VOZ 1 - 14.35h_Lokomotiva 444_80tona_putnički												Ispitivanje vršeno 30.10.2014.godine												spoljšanja temperatura vazduha: 09h-6°C 14h-12°C											
Rbr	MT	MT1	MT2	MT3	MT4	MT5	MT6	MT7	MT8	MT9	MT10	MT11	MT12	MT13	MT14	MT15	MT16	MT17	MT18	MT19	MT20														
Pozicija MT		PRESEK P15				PRESEK S-S (MESTO OSLANJANJA ŠINE)				PRESEK PO (SREDINA PRAGA)				PRESEK S-S (MESTO OSLANJANJA ŠINE)				PRESEK P15																	
Time		OZNAKA INSTRUMENTA I BROJ KANALA NA INSTRUMENTU																																	
S8, MGC		S8 CH 0	S8 CH 1	S8 CH 2	S8 CH 3	S8 CH 4	S8 CH 5	MGC-11	S8 CH 6	S8 CH 7	MGC-12	MGC-13	MGC-14	MGC-15	MGC-16	MGC-17	MGC-18	MGC-21	MGC-22	MGC-23	MGC-24														
[sec]		[mD]	[µm/m]	[mD]	[mD]	[mD]	[µm/m]	[µm/m]	[mD]	[mD]	[µm/m]	[mD]	[µm/m]	[mD]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]														
		Merna traka u GORNJEM POJASU praga																																	
		Merna traka u DONJEM POJASU praga																																	
0	-0.72	-0.96	2.64	-0.96	3183.12	-1.68	-0.33333	-1.92	-0.96	-1.76667	0	-0.13333	-0.06667	-0.06667	0.13333	-2.86667	-0.7	1.9	1.66667																
0.02	-1.68	-2.4	0.72	-2.4	3181.92	-3.84	-0.31667	-2.88	-1.92	-1.73333	-0.025				-0.15	-0.09167	-0.06667	0.11667	-2.83333	-0.68333	1.875	1.66667													
0.04	-0.24	-0.96	2.64	-0.96	3183.12	-1.68	-0.28333	-1.92	-0.96	-1.70833	-0.05				-0.15833	-0.08333	-0.06667	0.11667	-2.8	-0.675	1.875	1.66667													
0.06	-0.48	-0.72	2.64	-0.72	3183.36	-1.44	-0.23333	-0.96	-0.96	-1.675	-0.08333				-0.16667	-0.06667	-0.06667	0.11667	-2.76667	-0.65833	1.875	1.66667													
0.08	-0.72	-0.72	2.64	-0.96	3183.12	-1.44	-0.19167	-1.92	-0.96	-1.63333	-0.11667				-0.16667	-0.06667	-0.06667	0.11667	-2.73333	-0.65	1.875	1.66667													
0.1	-1.44	-1.68	1.44	-1.92	3182.4	-2.88	-0.15	-2.88	-1.92	-1.59167	-0.13333				-0.16667	-0.06667	-0.06667	0.11667	-2.7	-0.65	1.875	1.66667													
0.12	0.24	-0.24	3.6	-0.24	3183.6	-0.24	-0.1	-0.96	0	-1.53333	-0.15				-0.16667	-0.05	-0.58333	0.11667	-2.65833	-0.65	1.875	1.66667													
0.14	1.2	0.48	4.8	0.72	3184.32	0.96	-0.05833	0.7	0	-1.48333	-0.18333				-0.16667	-0.03333	-0.05	0.11667	-2.625	-0.65	1.88333	1.65													
0.16	1.92	1.44	5.76	1.68	3185.04	2.4	0	0.96	0.96	-1.41667	-0.2				-0.16667	-0.03333	-0.03333	0.13333	-2.56667	-0.64167	1.9	1.64167													
0.18	0.96	0.48	4.56	0.48	3184.32	0.96	0.04167	0	0	-1.31667	-0.225				-0.16667	-0.03333	-0.03333	0.13333	-2.525	-0.61667	1.9	1.64167													
0.2	0.72	0.24	4.08	0	3183.84	0.24	0.09167	0	0	-1.21667	-0.25				-0.16667	-0.03333	-0.01667	0.13333	-2.46667	-0.59167	1.90833	1.63333													
0.22	-0.24	-0.48	2.88	-0.48	3183.36	-0.96	0.13333	-0.96	-0.96	-1.10833	-0.25833				-0.15	-0.03333	-0.01667	0.13333	-2.425	-0.55833	1.90833	1.63333													
0.24	0.48	0.48	4.32	0.48	3184.32	0.72	0.18333	0	0	-1.01667	-0.28333				-0.13333	-0.03333	0	0.13333	-2.39167	-0.55	1.91667	1.61667													
0.26	0.24	0.24	4.08	0.24	3184.32	0.24	0.21667	0	0	-0.93333	-0.3				-0.13333	-0.025	-0.00833	0.13333	-2.36667	-0.525	1.91667	1.61667													
0.28	-0.24	-0.24	3.12	-0.48	3183.6	-0.72	0.25	-0.96	0	-0.86667	-0.31667				-0.13333	-0.03333	-0.01667	0.13333	-2.35833	-0.50833	1.93333	1.625													
0.3	0.72	0.48	4.32	0.48	3184.32	0.48	0.25	0	0	-0.775	-0.325				-0.13333	-0.03333	-0.025	0.125	-2.325	-0.475	1.94167	1.63333													
0.32	-0.48	-0.48	3.12	-0.48	3183.36	-0.72	0.28333	-0.96	-0.96	-0.7	-0.34167				-0.13333	-0.05	-0.03333	0.11667	-2.29167	-0.45833	1.95833	1.63333													
0.34	-0.72	-1.2	2.4	-0.96	3183.12	-1.68	0.3	-1.92	-0.96	-0.60833	-0.35				-0.13333	-0.05	-0.04167	0.10833	-2.25833	-0.425	1.96667	1.63333													
0.36	-1.2	-1.2	2.16	-1.2	3182.88	-1.92	0.33333	-1.92	-0.96	-0.51667	-0.35				-0.11667	-0.05833	-0.05	0.10833	-2.225	-0.39167	1.98333	1.63333													
0.38	-1.92	-1.92	1.2	-1.92	3182.4	-3.12	0.38333	-2.88	-1.92	-0.40833	-0.34167				-0.11667	-0.05833	-0.05833	0.10833	-2.16667	-0.34167	2	1.63333													
0.4	-1.44	-1.68	1.68	-1.92	3182.64	-2.88	0.43333	-1.92	-1.92	-0.28333	-0.33333				-0.11667	-0.05833	-0.06667	0.1	-2.1	-0.30833	2.01667	1.63333													
0.42	-0.72	-0.72	2.88	-0.72	3183.36	-1.2	0.49167	-0.96	-0.96	-0.18333	-0.33333				-0.125	-0.05833	-0.06667	0.1	-2.04167	-0.26667	2.03333	1.63333													
0.44	-1.44	-1.2	2.4	-1.2	3183.12	-1.68	0.54167	-1.92	-0.96	-0.09167	-0.33333				-0.11667	-0.06667	-0.06667	0.08333	-1.99167	-0.225	2.04167	1.64167													
0.46	-0.72	-0.96	2.64	-0.96	3182.88	-1.68	0.58333	-1.92	-0.96	-0.00833	-0.33333				-0.11667	-0.06667	-0.06667	0.075	-1.94167	-0.19167	2.05	1.65833													
0.48	-0.96	-0.72	3.12	-0.72	3183.12	-1.2	0.625	-1.92	-0.96	0.06667	-0.33333				-0.1	-0.06667	-0.06667	0.06667	-1.9	-0.175	2.06667	1.66667													
0.5	0.24	0	4.08	0.24	3183.84	0.24	0.65	-0.96	0	0.125	-0.31667				-0.1	-0.06667	-0.06667	0.06667	-1.85833	-0.15	2.075	1.66667													



Slika 138. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=260cm, voz br.1, presek P15



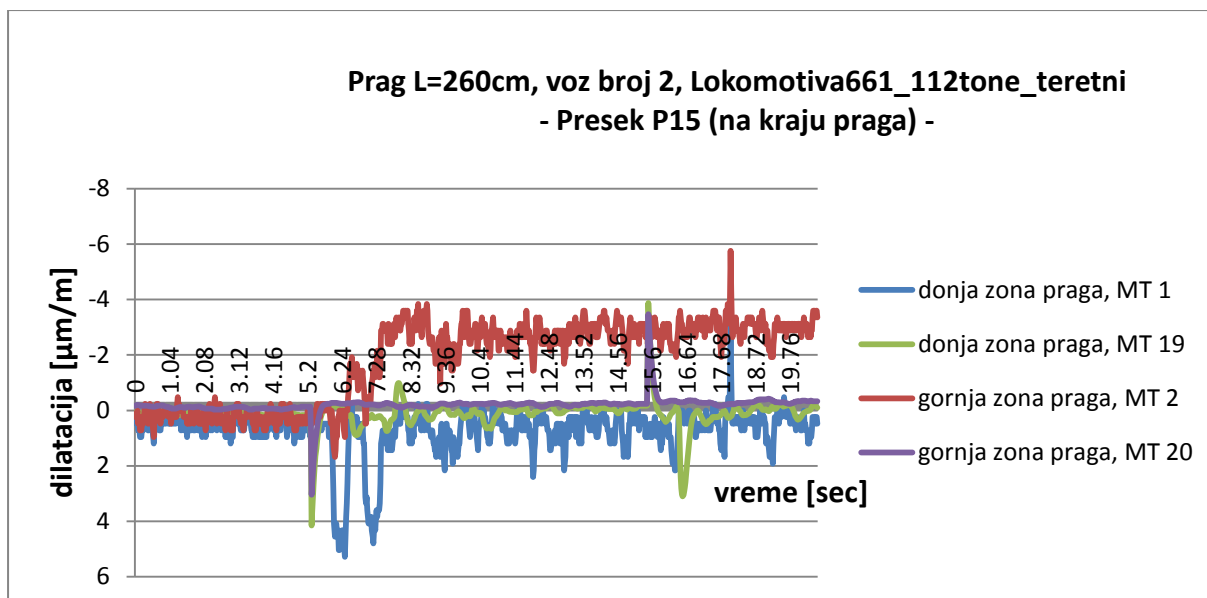
Slika 139. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=260cm, voz br.1, presek S-S



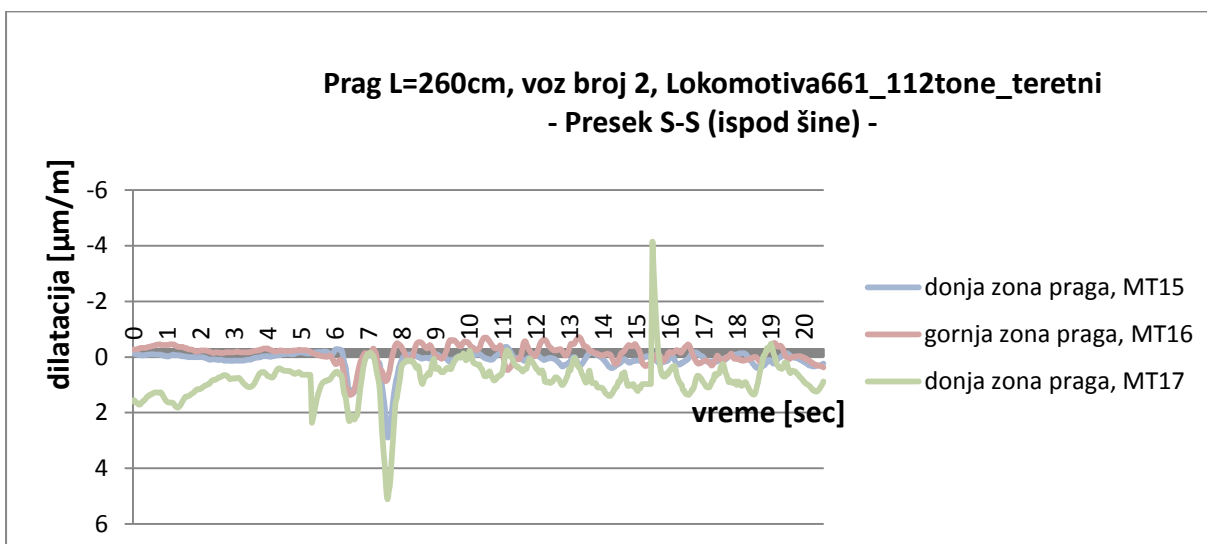
Slika 140. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=260cm, voz br.1, presek P0

Tabela T19: Tabela prikaz rezultata merenja pri prolasku voza br. 2- Teretni voz_lokomotiva 661_112tone

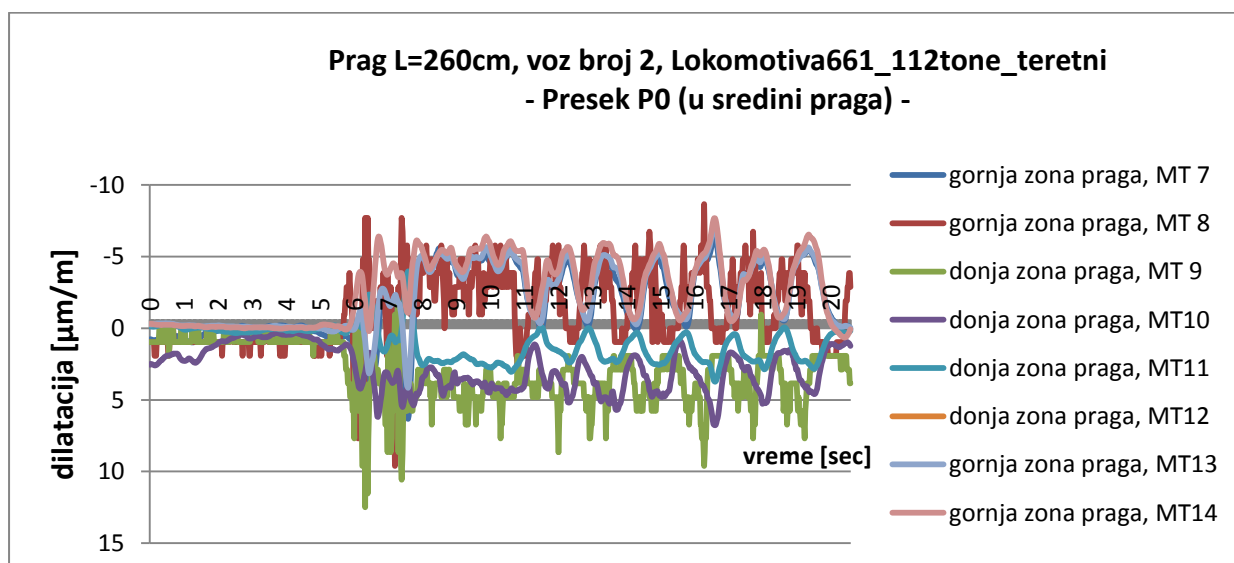
PRAG 260cm - VOZ 2 - 14.50h_Lokomotiva 661_112 tona_teretni													Ispitivanje vršeno 30.10.2014.godine								spoljšnja temperatura vazduha: 09h-6°C 14h-12°C							
Rbr	MT	MT1	MT2	MT3	MT4	MT5	MT6	MT7	MT8	MT9	MT10	MT11	MT12	MT13	MT14	MT15	MT16	MT17	MT18	MT19	MT20							
Pozicija MT	PRESEK P15		PRESEK S-S (MESTO OSLANJANJA ŠINE)										PRESEK PO (SREDINA PRAGA)								PRESEK S-S (MESTO OSLANJANJA ŠINE)				PRESEK P15			
	S8 CH 0	S8 CH 1	S8 CH 2	S8 CH 3	S8 CH 4	S8 CH 5	S8 CH 6	S8 CH 7	MGC-11	MGC-12	MGC-13	MGC-14	MGC-15	MGC-16	MGC-17	MGC-18	MGC-21	MGC-22	MGC-23	MGC-24								
[mD]	[µm/m]	[mD]	[mD]	[mD]	[mD]	[µm/m]	[µm/m]	[mD]	[mD]	[mD]	[µm/m]	[mD]	[µm/m]	[mD]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]							
[sec]	[mD]	[µm/m]	[mD]	[mD]	[mD]	[µm/m]	[µm/m]	[mD]	[mD]	[mD]	[µm/m]	[mD]	[µm/m]	[mD]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]							
Merna traka u GORNJEM POJASU praga													Merna traka u DONJEM POJASU praga															
0	0.24	0.24	0.24	0.48	3186	0.48	0.8	0.96	0.96	2.56667	-0.13333	-0.26667	-0.3	-0.13333	-0.26667	1.6	0.9	0.06667	-0.16667									
0.02	0.48	0.24	0.48	0.48	3186.24	0.72	0.76667	0.96	0.96	2.48333	-0.125	-0.26667	-0.3	-0.13333	-0.26667	1.55	0.875	0.06667	-0.18333									
0.04	0.48	0.24	0.48	0.48	3186	0.72	0.8	0.96	0.96	2.5	-0.11667	-0.26667	-0.3	-0.125	-0.26667	1.575	0.875	0.06667	-0.19167									
0.06	0.24	0	0.24	0.24	3186	0.72	0.825	0.96	0.96	2.50833	-0.11667	-0.26667	-0.29167	-0.1	-0.26667	1.6	0.88333	0.06667	-0.2									
0.08	0.72	0.48	0.72	0.72	3186.24	0.96	0.83333	0.96	0.96	2.53333	-0.1	-0.28333	-0.28333	-0.1	-0.26667	1.625	0.9	0.075	-0.19167									
0.1	0.72	0.24	0.48	0.48	3186.24	0.96	0.84167	0.96	0.96	2.56667	-0.1	-0.29167	-0.275	-0.09167	-0.26667	1.64167	0.91667	0.08333	-0.19167									
0.12	0.72	0.24	0.72	0.72	3186.24	1.2	0.84167	0.96	0.96	2.58333	-0.1	-0.3	-0.26667	-0.08333	-0.26667	1.675	0.93333	0.08333	-0.18333									
0.14	0.96	0.72	1.2	0.96	3186.48	1.68	0.84167	1.92	0.96	2.6	-0.11667	-0.3	-0.25833	-0.08333	-0.275	1.68333	0.95	0.09167	-0.175									
0.16	0.96	0.72	1.2	0.96	3186.72	1.92	0.83333	1.92	0.96	2.6	-0.125	-0.30833	-0.25	-0.08333	-0.3	1.70833	0.96667	0.1	-0.16667									
0.18	0.96	0.72	1.2	1.2	3186.72	1.92	0.81667	1.92	0.96	2.58333	-0.13333	-0.30833	-0.25	-0.06667	-0.3	1.70833	0.95833	0.10833	-0.16667									
0.2	0.72	0.48	0.96	0.96	3186.48	1.44	0.80833	0.96	0.96	2.56667	-0.15	-0.31667	-0.24167	-0.06667	-0.31667	1.70833	0.95	0.10833	-0.16667									
0.22	0.72	0.24	0.48	0.48	3186.24	0.72	0.8	0.96	0.96	2.51667	-0.16667	-0.31667	-0.24167	-0.06667	-0.325	1.675	0.91667	0.11667	-0.16667									
0.24	0.72	0.48	0.72	0.48	3186.24	0.96	0.78333	0.96	0.96	2.475	-0.175	-0.325	-0.23333	-0.06667	-0.33333	1.64167	0.90833	0.11667	-0.16667									
0.26	0.48	0.24	0.48	0.48	3186.24	0.96	0.775	0.96	0.96	2.41667	-0.2	-0.33333	-0.23333	-0.05833	-0.33333	1.625	0.88333	0.125	-0.16667									
0.28	0.24	0	0.24	0	3186	0.48	0.75	0.96	0	2.35	-0.2	-0.33333	-0.23333	-0.05833	-0.33333	1.59167	0.85	0.125	-0.16667									
0.3	0.24	-0.24	0	0	3185.76	0.24	0.74167	0	0	2.29167	-0.225	-0.33333	-0.225	-0.06667	-0.33333	1.575	0.84167	0.11667	-0.16667									
0.32	0	0	0	0	3185.76	0	0.71667	0	0	2.24167	-0.23333	-0.33333	-0.21667	-0.06667	-0.33333	1.55	0.825	0.11667	-0.16667									
0.34	0.48	0.24	0.24	0.24	3186	0.48	0.71667	0.96	0.96	2.23333	-0.23333	-0.33333	-0.21667	-0.06667	-0.33333	1.53333	0.81667	0.11667	-0.16667									
0.36	0.48	0.24	0.48	0.48	3186	0.72	0.70833	0.96	0.96	2.2	-0.23333	-0.33333	-0.225	-0.06667	-0.33333	1.50833	0.8	0.10833	-0.16667									
0.38	0.72	0.48	0.96	0.72	3186.48	1.2	0.675	0.96	0.96	2.14167	-0.24167	-0.33333	-0.23333	-0.075	-0.33333	1.475	0.775	0.1	-0.16667									
0.4	0.72	0.48	0.72	0.72	3186.24	0.96	0.64167	0.96	0.96	2.1	-0.25	-0.33333	-0.23333	-0.08333	-0.34167	1.44167	0.75	0.1	-0.15833									
0.42	0.24	0	0.24	0.24	3185.76	0.24	0.61667	0.96	0	2.05	-0.25	-0.33333	-0.23333	-0.08333	-0.35	1.425	0.74167	0.1	-0.15									
0.44	0.24	-0.24	0.24	0.24	3185.76	0.24	0.60833	0.96	0	2.00833	-0.25833	-0.33333	-0.24167	-0.08333	-0.36667	1.40833	0.71667	0.1	-0.15									
0.46	0.24	0	0.24	0.48	3186	0.48	0.575	0.96	0	1.98333	-0.26667	-0.34167	-0.24167	-0.09167	-0.36667	1.39167	0.70833	0.1	-0.15									
0.48	0.48	0.24	0.48	0.48	3186.24	0.96	0.54167	0.96	0.96	1.94167	-0.26667	-0.33333	-0.24167	-0.09167	-0.36667	1.36667	0.69167	0.1	-0.15									



Slika 141. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=260cm, voz br.2, presek P15



Slika 142. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=260cm, voz br.2, presek S-S



Slika 143. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=260cm, voz br.2, presek P0

Komentar dijagrama sa ispitivanja praga B70, L=260 cm, na temperaturi od 8-10°C

I u toku vršenja ponovljenog eksperimenta, 30.10.2014.godine, pri temperaturi vazduha od 8-10°C, u realnim ambijentalnim "in situ" uslovima eksploatacije prednapregnutog betonskog železničkog praga B70, L=260 cm, ugrađenog u kolosek, eksperimentalno su izmereni i mernim instrumentima snimljeni podaci o veličinama dilatacija u presecima P0, S-S i P15 ispitivanoga praga. U toku trajanja eksperimenta, zabeleženo je 2 prolaska vozova (str 144.) sa lokomotivama težine 80 i 112 tona, različitog osovinskog opterećenja.

Pregledom dobijenih dijagrama dilatacija/vreme dolazi se do jasnih zaključaka:

- U slučaju sva tri posmatrana preseka prednapregnutog betonskog železničkog praga, pod opterećenjem bilo kojih od lokomotiva, zabeležene su dilatacije veoma niskih vrednosti (slike 138.-143.) , manjih od 10 mikrodilatacija [$\mu\text{m}/\text{m}$].
- Na dijagramima za oba preseka (P15 i S-S) jasno se uočava harmonično stanje napona (slika 141., 142.) sa pojavom jednog incidentnog naponskog stanja (slika 141.) pri prolasku lokomotive 661 težine 112 tona, ovog puta manje izraženog.
- U preseku P0, u sredini raspona praga, u oba slučaja prolaska kompozicija, nisu zabeležene dilatacije (slike 140. i 143.) veće od 10 mikrodilatacija [$\mu\text{m}/\text{m}$]. Harmonikum u grafiku, bez pojave bilo kakvih nepravilnosti, ukazuje na dobar prijem opterećenja i ravnomerno prenošenje istoga na podlogu, za razliku od stanja podloge ispod preseka P15 i S-S.

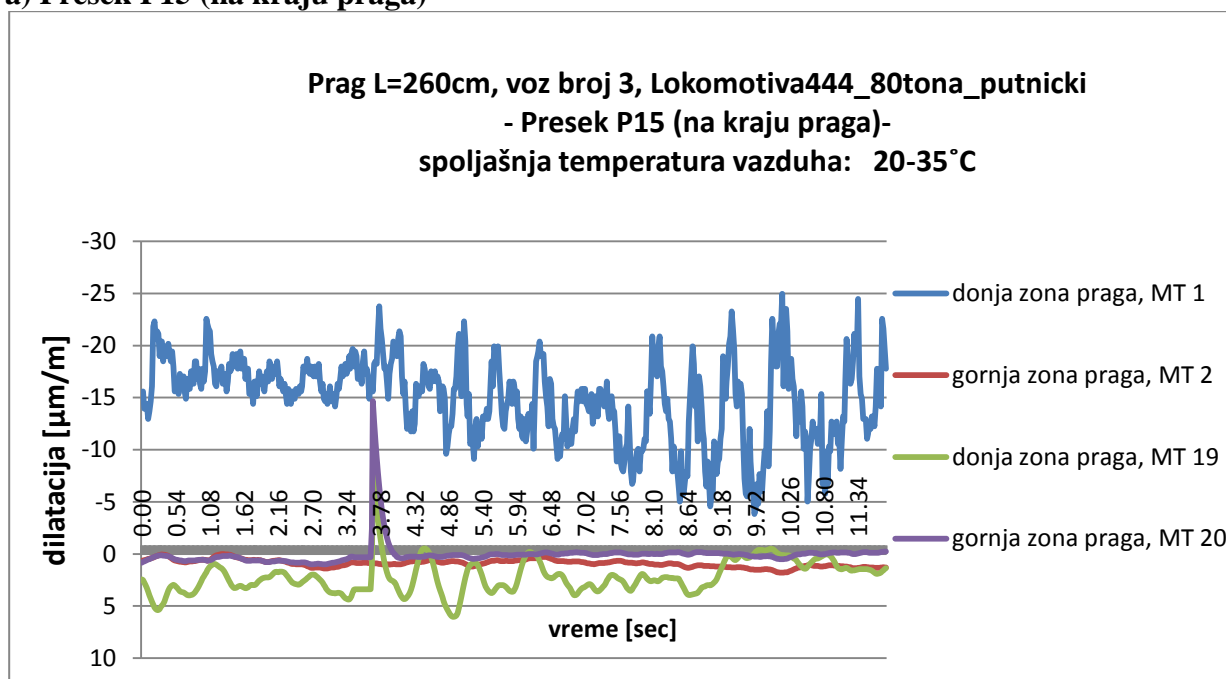
1.3. Uporedna analiza grafikona dobijenih na osnovu izmerenih dilatacija u pragu L=260cm pri realnom opterećenju u ambijentalnim letnjim i zimskim uslovima eksploatacije

U cilju sagledavanja uticaja temperature vazduha na ponašanje prednapregnutog betonskog praga B70 u eksploataciji, pri realnom opterećenju, izvršićemo uporednu analizu grafikona dobijenih ispitivanjem na visokim letnjim i niskim zimskim temperaturama.

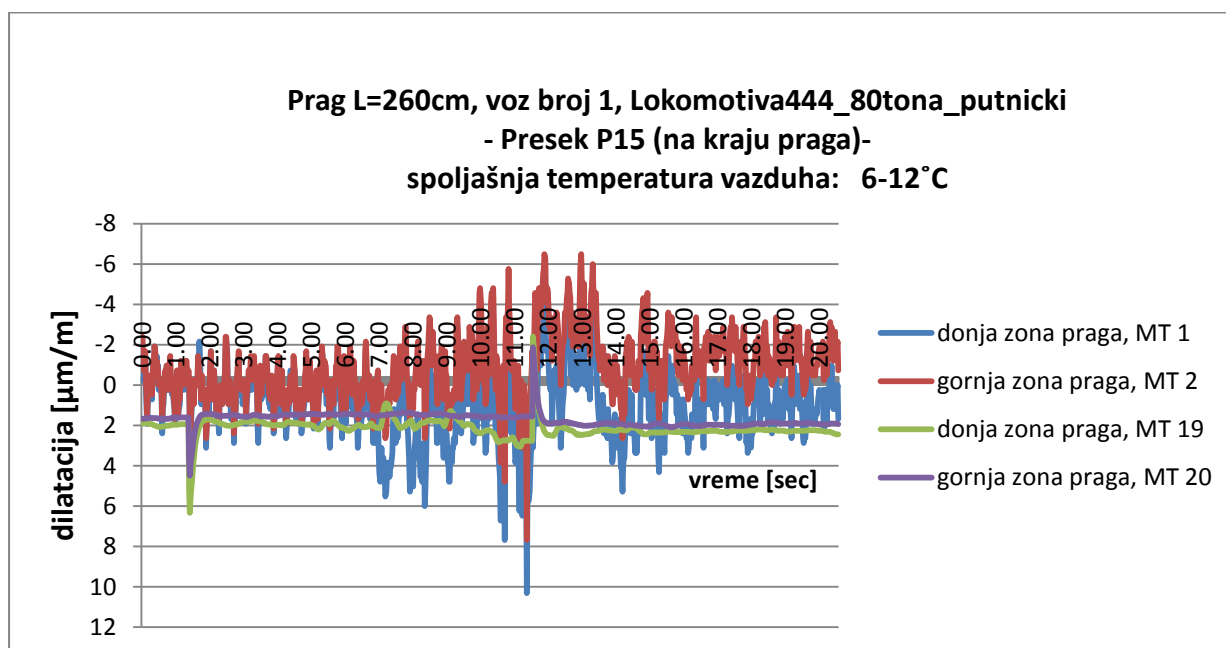
Temperatura vazduha u hladu pri ispitivanju: 20-35°C (6-12°C)

Temperatura pri ispitivanju na površini prednapregnutog betonskog praga: 19,8-43,8°C (8-11°C)

a) Presek P15 (na kraju praga)

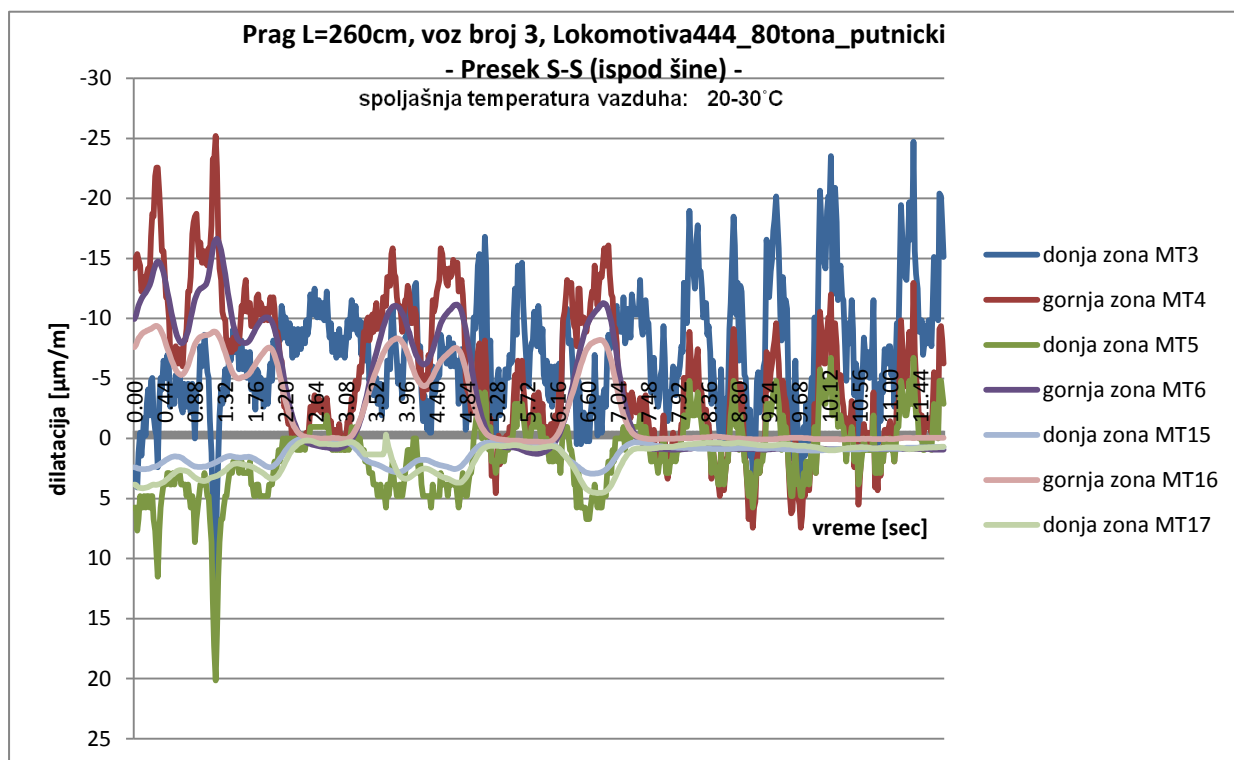


Slika 144. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=260cm, voz br.3, presek P15

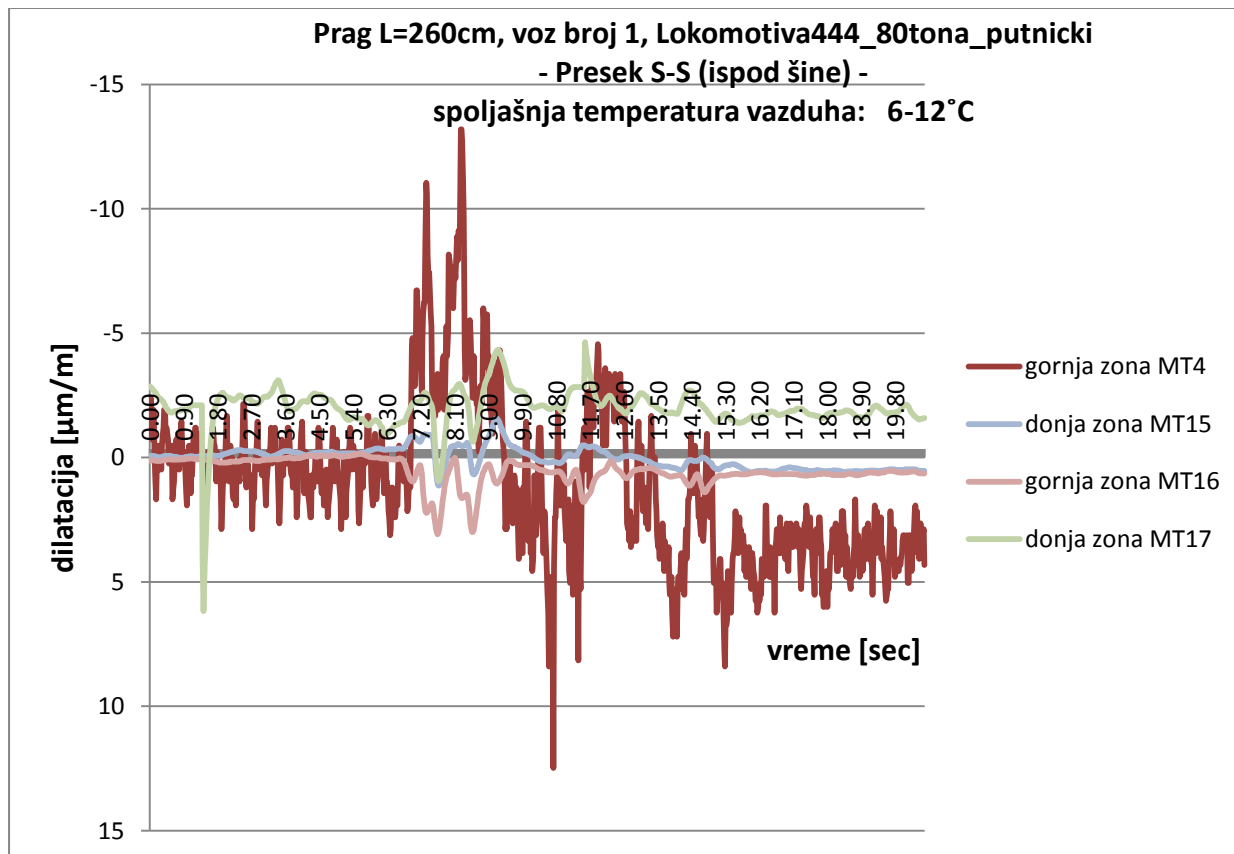


Slika 145. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=260cm, voz br.1, presek P15

b) Presek S-S (na mestu naleganja šina)

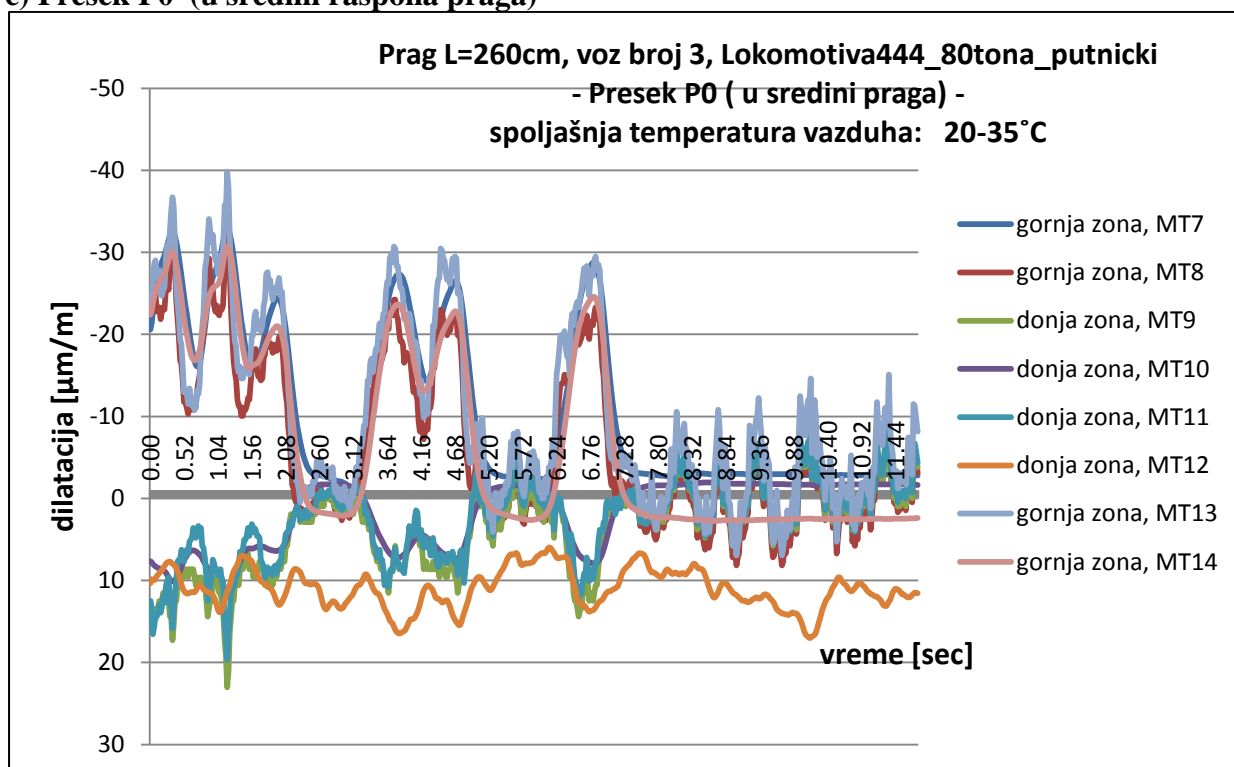


Slika 146. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=260cm, voz br.3, presek S-S

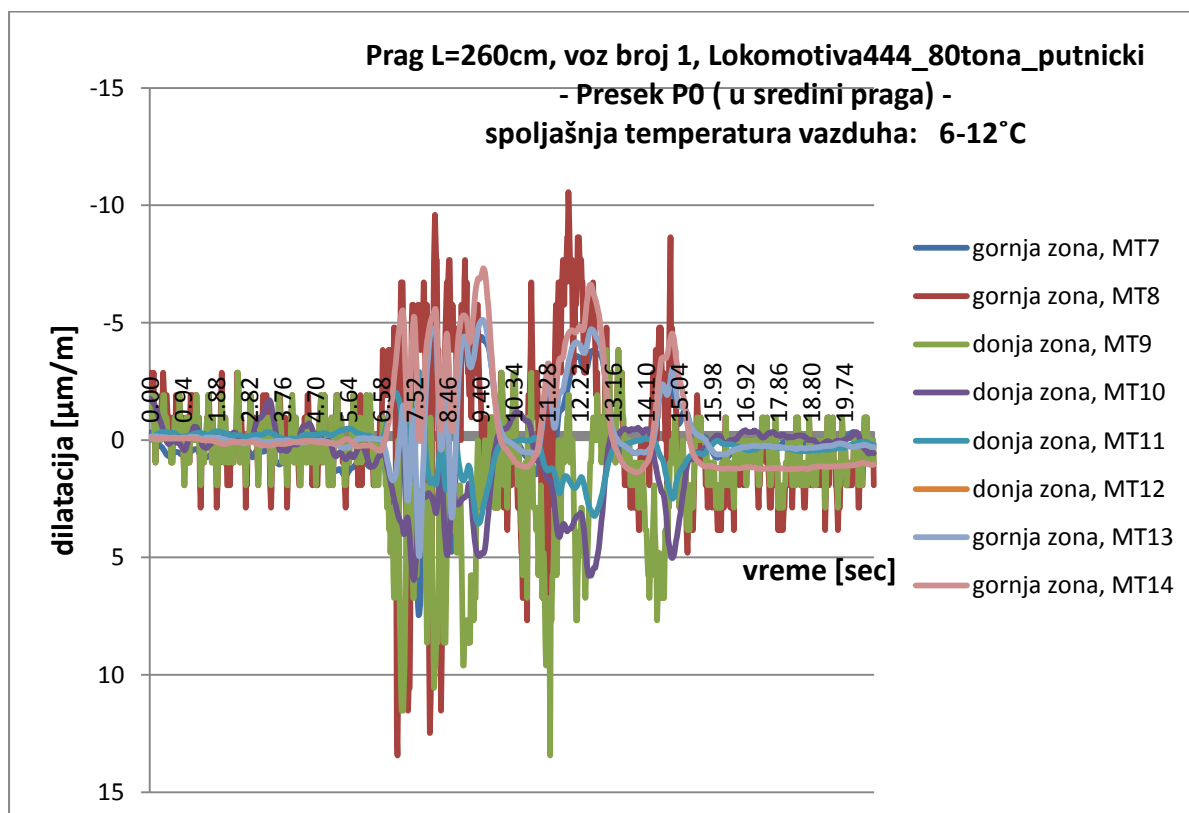


Slika 147. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=260cm, voz br.1, presek S-S

c) Presek P0 (u sredini raspona praga)



Slika 148. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=260cm, voz br.3, presek P0



Slika 149. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=260cm, voz br.1, presek P0

Komentar uporednih dijagrama sa ispitivanja praga B70, L=260 cm

Uticaj temperature vazduha na ponašanje prednapregnutog betonskog praga B70 u eksploataciji, pri realnom opterećenju, je značajan. Kako bi se utvrdilo koliki je taj uticaj, izvršeno je prvo ispitivanje pri visokim temperaturama (27.08.2014.god.) i drugo pri niskim temperaturama vazduha (30.10.2014.god.). Posmatrani su dijagrami (slike 144.-149.) dobijeni sa ova dva ispitivanja posle čega su doneti sledeći zaključci:

- U preseku P15, pri realnom opterećenju od lokomotive 444 teške 80 tona, zabeležene su dilatacije (slika 144. i 145.) veoma niskih vrednosti. Pri temperaturi vazduha od 35°C, zabeležene su dilatacije od maksimalnih 25 mikrodilatacija (slika 144) dok su pri temperaturi vazduha od oko 10°C, zabeležene dilatacije od maksimalnih 10 mikrodilatacija (slika 145).
- U preseku P15 se, pod realnim opterećenjem, u oba slučaja, javljaju incidentna stanja napona (slika 144. i 145.), što ukazuje na nepravilnosti u oslanjanju praga na podlogu ili na nepravilnosti oblika šina,
- U preseku S-S nisu zabeležene dilatacije (slike 146. i 147.) veće od 25 mikrodilatacija i to pri visokim temperaturama vazduha.
- U svim presecima upoređivanih dijagrama, jasno je uočena pojava smanjenih dilatacija odnosno smanjenih napona u ambijentalnim uslovima eksploatacije pragova sa niskom temperaturom vazduha, čime je dokazan značajan uticaj temperaturnih promena na naponsko stanje prednapregnutih betonskih pragova.
- U preseku S-S, ispod šina, evidentna je pojava incidentnog slučaja (slike 146. i 147.) sa istim uzrocima koji su izazvali njegovu pojavu i u preseku P15. Najverovatniji uzrok incidentnog slučaja je neadekvatna posteljica i prevelike vibracije i vertikalno pomeranje koloseka i praga.
- U preseku P0, u sredini raspona, u svim vremenskim uslovima, nisu zabeležene dilatacije (slike 148. i 149.) veće od 40 mikrodilatacija [$\mu\text{m/m}$]. Harmonikum u grafiku, bez pojave bilo kakvih nepravilnosti, ukazuje na dobar prijem opterećenja i ravnomerno prenošenje istoga na podlogu, za razliku od stanja podloge ispod preseka P15 i S-S.
- I u preseku P0 je evidentno smanjena veličina dilatacija u pragu pri hladnijem vremenu i nižim temperaturama vazduha.

1.4. Kontrola dobijenih napona u pragu L=260 cm pri realnom opterećenju u ambijentalnim uslovima eksploatacije

Zbog kompleksnosti problema određivanja napona iz izmerenih dilatacija a zbog nemogućnosti pouzdanog i tačnog određivanja modula elastičnosti ugrađenog prednapregnutog betonskog praga, ovakva kontrola dobijenih napona nije pouzdana. I pored toga, ovde navodimo i vršimo ovu kontrolu ali isključivo zbog orijentacionog sagledavanja i procene ponašanja praga pri realnom ambijentalnom opterećenju. Dilatacije izmerene u ambijentalnim uslovima sa toplijim vremenom odnosno višim temperaturama vazduha i površine prednapregnutog betonskog praga su veće pa njih uzimamo u proračun, što je na strani sigurnosti.

Temperatura vazduha u hladu pri ispitivanju: 30-35°C

Temperatura pri ispitivanju na površini prednapregnutog betonskog praga: 39,2-29,7°C

a) Presek P14 (na kraju praga)

Ukupan napon u donjem vlaknu (za izmerenu maksimalnu vrednost dilatacije uzimajući u obzir svih 5 snimljenih nailazaka vozova):

$$\sigma_d = E_b \times \varepsilon = 41379,00 \text{ MPa} \times 5,52 \frac{\mu\text{m}}{\text{m}} \times 10^{-5} = 2,28 \text{ MPa} < f_{zs} = - 6.5 \text{ MPa}$$

Ukupan napon u gornjem vlaknu (za izmerenu maksimalnu vrednost dilatacije uzimajući u obzir svih 5 snimljenih nailazaka vozova):

$$\sigma_g = E_b \times \varepsilon = 41379,00 \text{ MPa} \times 15,49 \frac{\mu\text{m}}{\text{m}} \times 10^{-5} = 6,41 \text{ MPa} < \sigma_r = 19.10 \text{ MPa}$$

b) Presek S-S (na mestu naleganja šina)

Ukupan napon u donjem vlaknu (za izmerenu maksimalnu vrednost dilatacije uzimajući u obzir svih 5 snimljenih nailazaka vozova):

$$\sigma_d = E_b \times \varepsilon = 41379,00 \text{ MPa} \times 13,44 \frac{\mu\text{m}}{\text{m}} \times 10^{-5} = 5,56 \text{ MPa} < f_{zs} = - 6.5 \text{ MPa}$$

Ukupan napon u gornjem vlaknu (za izmerenu maksimalnu vrednost dilatacije uzimajući u obzir svih 5 snimljenih nailazaka vozova):

$$\sigma_g = E_b \times \varepsilon = 41379,00 \text{ MPa} \times 28,73 \frac{\mu\text{m}}{\text{m}} \times 10^{-5} = 11,89 \text{ MPa} < \sigma_r = 19.10 \text{ MPa}$$

c) Presek P0 (u sredini raspona praga)

Ukupan napon u donjem vlaknu (za izmerenu maksimalnu vrednost dilatacije uzimajući u obzir svih 5 snimljenih nailazaka vozova):

$$\sigma_d = E_b \times \varepsilon = 41379,00 \text{ MPa} \times 20,67 \frac{\mu\text{m}}{\text{m}} \times 10^{-5} = 8,55 \text{ MPa} > f_{zs} = - 6.5 \text{ MPa}$$

Ukupan napon u gornjem vlaknu (za izmerenu maksimalnu vrednost dilatacije uzimajući u obzir svih 5 snimljenih nailazaka vozova):

$$\sigma_g = E_b \times \varepsilon = 41379,00 \text{ MPa} \times 35,28 \frac{\mu\text{m}}{\text{m}} \times 10^{-5} = 14,60 \text{ MPa} < \sigma_r = 19.10 \text{ MPa}$$

1.5. Zaključak o stanju ugrađenog prednapregnutog betonskog praga B70, L=260cm, opterećenim realnim opterećenjem u zimskim i letnjim ambijentalnim uslovima

Na osnovu izmerenih i mernim instrumentima zabeleženih dilatacija u presecima P0, S-S i P15 eksperimentalno ugrađenog praga u kolosek pruge u neposrednoj blizini stanice u Stalaću, kontrolom dobijenih napona je utvrđeno da su naponi u navedenim presecima u granicama dozvoljenih sa značajnim koeficijentom sigurnosti.

U jednom slučaju, u donjem vlaknu preseka P0 u sredini ispitivanoga praga, izmerene dilatacije su pokazale prekoračenje napona i to pri prolasku teretnog voza broj 4 sa lokomotivom 461, težine 120 tona. Pri prolasku voza broj 5, sa istom lokomotivom 461 koja je vukla takođe teretnu kompoziciju, zabeležene su znatno niže vrednosti dilatacija tj. napona. Ovaj podatak je posebno analiziran i, prilikom sledećeg ispitivanja praga pri hladnom vremenu, posebna pažnja je posvećena ovom mernom mestu, kako bi se mogla uočiti jasnija slika i kako bi pokušali da utvrdimo tačne uzroke za registrovanje nešto većih dilatacija tj. napona u ovom preseku. Kako nisu utvrđeni jasni razlozi za pojavu većih dilatacija pod istim opterećenjem, sistemom eliminacije, zaključak je da je mogući razlog ove pojave različita brzina kretanja lokomotiva iste težine.

S obzirom da je brzina kretanja lokomotive veoma važan faktor koji utiče na način preraspodele opterećenja i na intenzitet vertikalne komponente opterećenja na šine i prag, u daljem bavljenju ovom problematikom, posebnu pažnju treba posvetiti ispitivanju uticaja brzine kretanja lokomotive na prednapregnuti betonski prag u eksploataciji.

Spoljašnja temperatura vazduha značajno utiče na sve elemente koloseka. Analizom grafika trenutnih dilatacija u prednapregnutom betonskom pragu u trenutku nanošenja eksploatacionog opterećenja u ambijentalnim uslovima pri visokim i niskim temperaturama vazduha, jasno se zaključuje da su dilatacije značajno smanjene u hladnom periodu. Temperatura i vlažnost vazduha utiču na termičku dilataciju odnosno skupljanje i promenu vrednosti modula elastičnosti šina, pričvrsnog pribora, betona, žica za prednaprezanje, posteljice...

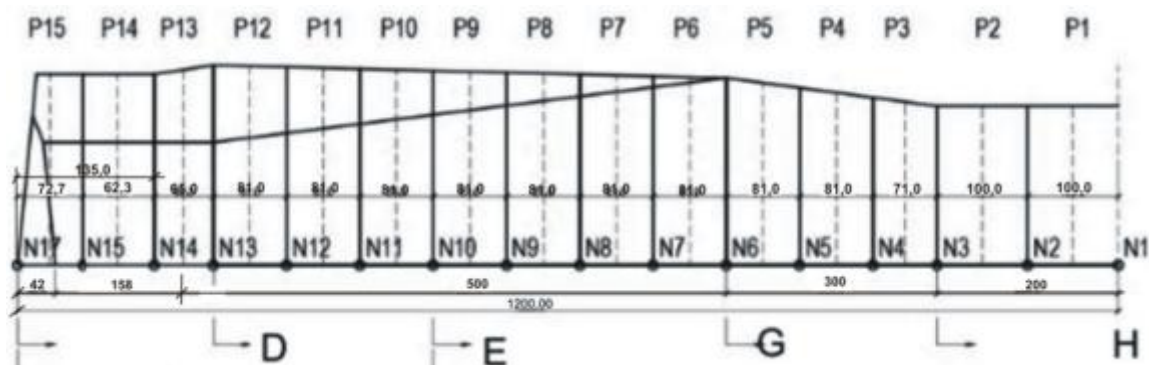
Detaljnim pregledom ugrađenog prednapregnutog betonskog praga posle merenja dilatacija u toku delovanja eksploatacionog opterećenja, nisu primećene bilo kakve prsline na površini praga. Treba napomenuti i podatak da je prag ugrađen u kolosek 24.07.2014.godine i da se do 27.08.2014.godine, kada je izvršeno prvo merenje dilatacija pod eksploatacionim opterećenjem, u ambijentalnim uslovima, prag nalazio u eksploataciji već punih 35 dana. Na pragu, dakle, nema uočenih oštećenja površine niti ima zaostalih prslina.

Zaključak na osnovu vizuelnog pregleda i analize dobijenih dijagrama dilatacija u karakterističnim presecima praga izloženom realnom opterećenju u ambijentalnim uslovima je da je prag u potpunosti spreman da prihvati i na podlogu prenese projektovano opterećenje. Primedba koju treba otkloniti se odnosi na loše stanje posteljice ispod praga. Celu deonicu treba sanirati i izvršiti podbijanje, posebno jer se radi o ulazu u železničku stanicu u Stalaću na kome počinje skretnica pa je taj deo koloseka posebno osetljiv.

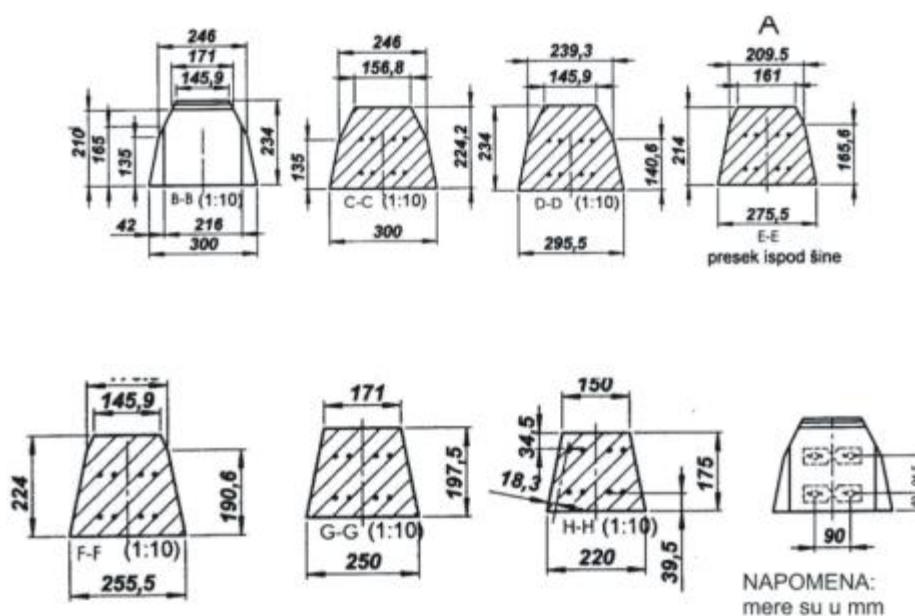
Predlog za budući rad u cilju još detaljnijeg utvrđivanja ponašanja praga pod eksploatacionim opterećenjem jeste ispitivanje koje će podrazumevati sačinjavanje video snimka visoke rezolucije i to u trenutku prolaska voza a u cilju utvrđivanja eventualne pojave prslina koje ne zaostaju posle rasterećenja (F_{rr}) jer vizuelnim pregledom posle prolaska voza nisu uočene prsline koje ostaju i posle rasterećenja ($F_{r0,05}$, $F_{r0,5}$), kao i ispitivanje uticaja brzine kretanja lokomotive na prednapregnuti betonski prag u eksploataciji.

2. OZNAČAVANJE MERNIH MESTA I NJHOVO OSIGURANJE U F-CIJI VREMENA SA ISPITIVANJEM PREDNAPREGNUTOG BETONSKOG PRAGA B70, L=240 CM U AMBIJENTALNIM USLOVIMA EKSPLOATACIJE

2.1. Pozicioniranje i postavljanje mernih traka na žice za prednaprezanje, betoniranje, ugrađivanje u kolosek i ambijentalno "in-situ" ispitivanje prednapregnutog betonskog praga **B70, L=240 cm**, u toku dejstva eksploatacionog opterećenja



Slika 150. Oznake poprečnih preseka prednapregnutog praga B70, L=240 cm



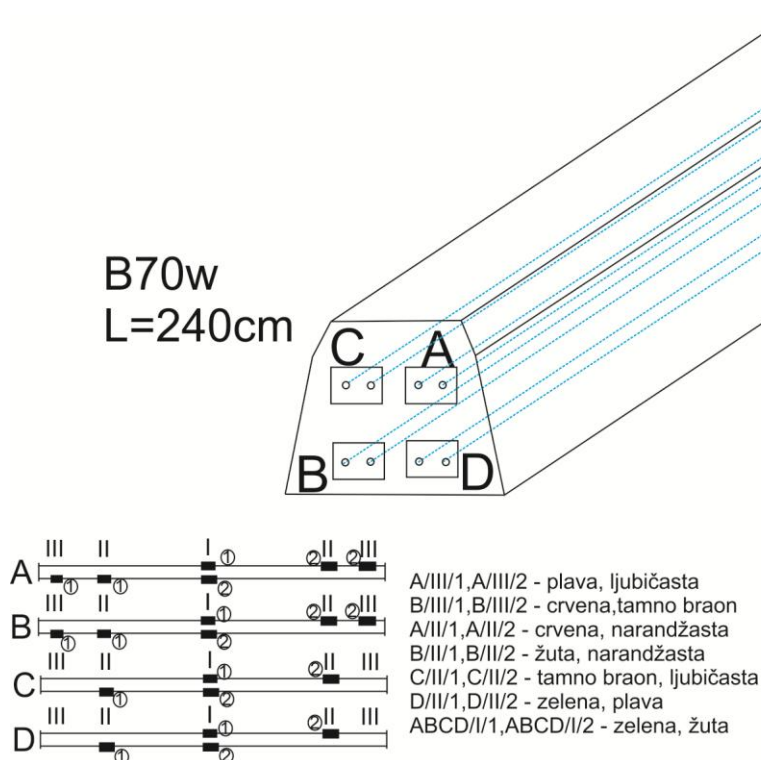
Slika 151. Poprečni preseki prednapregnutog betonskog praga B70, l=240cm

Kao i u slučaju praga dužine L=260 cm, i kod praga L=240 cm, mesta postavljanja mernih traka su žice za prednaprezanje u presecima **P0** (sredina raspona praga), **E-E** (mesto naleganja šine) i **P14** (~15cm od spoljašnje betonske površine praga) jer se radi o presecima u kojima se javljaju karakteristični uticaji i jer je za te preseke izvršen i MKE proračun. Prag se prednapreže sa 4(četiri) para žica za prednaprezanje, gde je svaki par žica označen slovima A, B, C i D.

Pri postavljanju mernih traka na žice za prednaprezanje praga B70-W-240 korišćena je analogija sa pragom L=260 cm. Na parovima žica za prednaprezanje označenim slovima A i B, postavljeno je po 3 merne trake na jednoj i 3 merne trake na drugoj žici, sa suprotnom orijentacijom u odnosu na osu simetrije praga odnosno žica, dok je na parovima žica za prednaprezanje označenim slovima C i D, postavljeno po 2 merne trake na jednoj i 2 merne trake na drugoj žici, takođe sa suprotnom orijentacijom u odnosu na osu simetrije praga odnosno žica.

Na ovaj način je i na žice ovog praga postavljeno 20 mernih traka raspoređenih na svih 8 žica za prednaprezanje. Izvodi mernih traka-elektroprovodnici su izvedeni na isti način do donje površine praga (gornje površine u kalupu pri betoniranju), naizmenično levo i desno od vertikalne ose praga, u cilju što manjeg slabljenja preseka.

Izvodi mernih traka su, u ovom slučaju, označeni tako što su žice u **preseku P0** (u sredini raspona praga) označeni rimskim brojem I, u **preseku E-E** (na mestu naleganja šine) rimskim brojem II dok su žice u presecima **P14** (na krajevima praga) označene rimskim brojem III. Merne trake na jednoj strani praga su još označene brojem 1, a na drugoj strani brojem 2 (slika 113). Izvodi mernih traka se takođe razlikuju se po boji izolatora i pri betoniranju se smeštaju u kutije od čeličnog kutijastog profila koji se pri betoniranju fiksiraju na gornjoj betonskoj površini u ravni gornje ivice kalupa praga, uz obezbeđenje od prodiranja betona u prostor predviđen za izvode mernih traka.

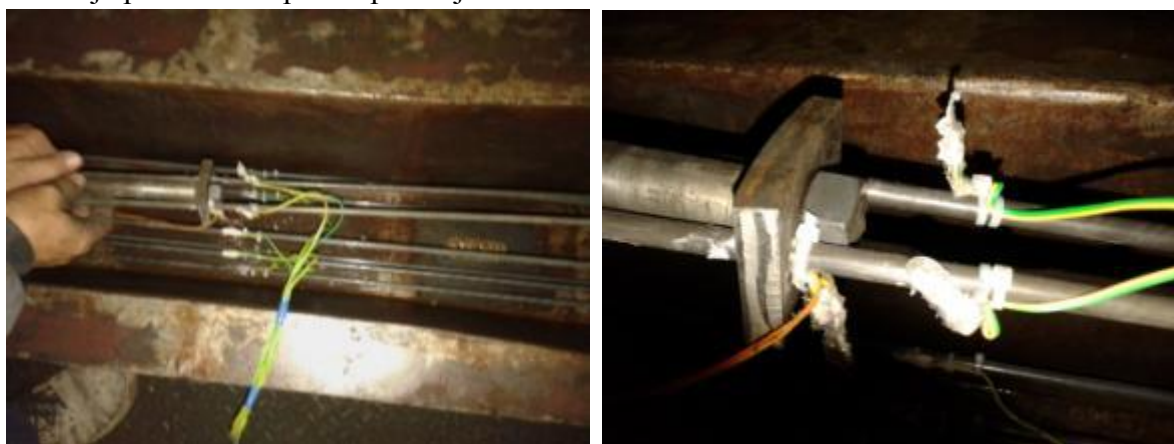


Slika 152. Raspored mernih traka duž prednapregnutog praga B70, L=240 cm



Slika 153. Montaža žica za prednaprezanje sa mernim trakama u kalup prednapregnutog betonskog praga B70, l=240cm

Posle postavljanja sva 4 para žica za prednaprezanje u kalup, izvršeno je unošenje početne sile prednaprezanja. U toku ovog postupka, došlo je do pucanja matice vijka (zavrtnja) preko koga se prenosi sila prednaprezanja na žice. Tada su oštećene merne trake sa oznakama A/III/1, B/III/1, B/II/1, D/I/1 i D/I/2. Merna traka B/III/1 je potpuno uklonjena. Ponovljeno je unošenje početne sile prednaprezanja.



Slika 154. Pucanje zavrtnja i oštećenje pojedinih mernih traka

Posle završenog betoniranja, desilo se i pucanje glave za unošenje sile prednaprezanja odnosno jedne matice što je uzrokovalo nepravilno unošenje sile u prag u svežem stanju. Ovo se može iskoristiti za sagledavanje ponašanja praga koji nije proizveden uz poštovanje svih propisanih normi a koji se realno mogu naći u eksploataciji.



Slika 155. Prag B70, $L=240\text{cm}$, montiran u kolosek u blizini betonjerke u Stalaću



Slika 156. Izvodi mernih traka, prag B70, $L=240\text{cm}$, montiran u kolosek u blizini betonjerke u Stalaću



Slika 157. Merenje otpora mernih traka postavljenih u prag B70, $L=240\text{cm}$ (multo čitanje)

Tabela T20: Oznake mernih instrumenata, kanala na njima i kablova za povezivanje sa rezultatima merenja otpora u mernim trakama, prag B70, L=240 cm

Prag B70, L= 240 cm - montiran u neposrednoj blizini betonjerke u Stalaću									
Temperatura vazduha u trenutku merenja otpora:							Bez opterećenja:		35 °C
							Pri opterećenju:		37 °C
Kontrolno merenje otpora instrumenta (Ω):							0,7 Ω		
Rbr MT	Oznaka merne trake - kombinacija boja žica na izvodu mernih traka	Oznake kanala na instrumentima i veza sa mernim trakama (MT)						Izmerena vrednost otpora (Ω) po montaži praga - bez opterećenja (nulto čitanje)	
		instrument	kanal	kabl	instrument	kanal	kabl		
1.	A/III/1 - plava,ljubičasta	S8	CH 0	3	MGC	1.1	37	neispravna	
2.	B/III/1 - crvena, tamno braon	/	/	/	/	/	/	neispravna-uklonjena pri betoniranju	
3.	A/II/1 - crvena, narandžasta	S8	CH 1	12	MGC	1.2	3S	120,7	
4.	B/II/1 - žuta, narandžasta	/	/	/	/	/	/	neispravna	
5.	C/II/1 - tamno braon, ljubičasta	S8	CH 2	7	MGC	1.3	2S	121,5	
6.	D/II/1 - zelena, plava	S8	CH 3	9	MGC	1.4	1S	122,0	
7.	A/I/1 - zelena, žuta	MGC	1.1	6B	MGC	1.5	5B	120,5	
8.	A/I/2 - zelena, žuta	MGC	1.2	8B	MGC	1.6	6B	120,8	
9.	C/I/1 - zelena, žuta	MGC	1.3	7B	MGC	1.7	3B	120,5	
10.	C/I/2 - zelena, žuta	MGC	1.4	3B	MGC	1.8	8B	122,0	
11.	B/I/1 - zelena, žuta	MGC	1.5	2B	MGC	2.1	7B	122,0	
12.	B/I/2 - zelena, žuta	S8	CH 4	4	S8	CH 0	7	121,9	
13.	D/I/1 - zelena, žuta	/	/	/	/	/	/	neispravna	
14.	D/I/2 - zelena, žuta	/	/	/	/	/	/	neispravna	
15.	A/II/2 - crvena, narandžasta	S8	CH 5	11	S8	CH 1	11	120,7	
16.	B/II/2 - žuta, narandžasta	S8	CH 6	1	S8	CH 2	8	121,8	
17.	C/II/2 - tamno braon, ljubičasta	MGC	1.6	5B	MGC	2.2	2B	121,9	
18.	D/II/2 - zelena, plava	S8	CH 7	8	S8	CH 3	10	122,2	
19.	A/III/2 - plava,ljubičasta	MGC	1.7	1B	MGC	2.3	4B	121,6	
20.	B/III/2 - crvena, tamno braon	MGC	1.8	4B	MGC	2.4	1B	121,8	
Datum merenja:		27.08.2014. god.			30.10.2014. god.		14.08.2014.god.		
Napomena: Na kablovima za povezivanje MT i nstrumenata su postavljeni kompenzatori temperaturnih razlika									

2.2.a) Ispitivanje praga B70, L=240 cm, $t_v=20-34^{\circ}\text{C}$, $t_b=19,8-43,6^{\circ}\text{C}$, 27.08.2014.godine

Ispitivanje praga B70, L=240 cm, pod dejstvom eksploatacionog opterećenja, je izvršeno dana 27.08.2014.godine sa početkom u ranim jutarnjim satima i završetkom u 12.30h.

U toku ispitivanja, spoljašnja temperatura vazduha je iznosila od 20 do 34°C , uz beleženje temperature betona na površini praga od $19,8$ do čak $43,6^{\circ}\text{C}$.



Slika 158. Povezivanje mernih traka i merni instrumenti

Zabeležen je prolazak 4 kompozicije i to:

1. 9.27h: Putnički voz sa lokomotivom oznake 711, teškom 109 tona,
2. 11.30h: Brzi putnički voz sa lokomotivom oznake 461, teškom 120 tona,
3. 11.55h: Putnički voz sa lokomotivom oznake **711**, teškom **109** tona,
4. 12.10h: Teretni voz sa lokomotivom oznake 441, teškom 78 tona.



Slika 159.a) i 159.b) Trenutak nailaska i prolaska teretnog voza preko ispitivanog praga

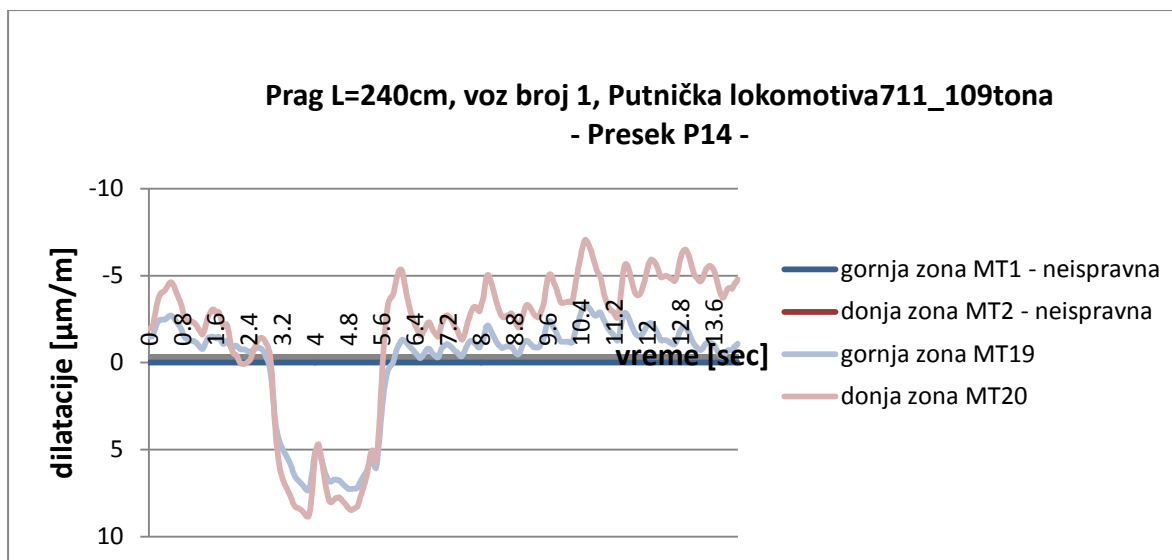
Posle prolaska svakog od vozova, vršeno je merenje temperature betona na površini praga.



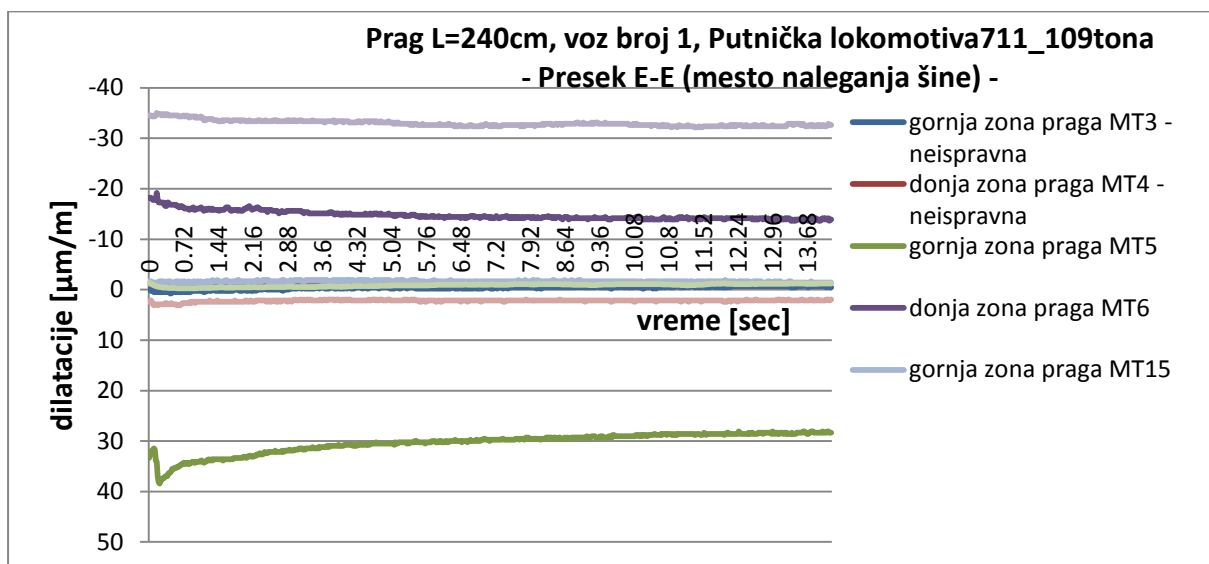
Slika 160a) i 160b) Merenje temperature betona na površini ispitivanog praga posle prolaska kompozicije

Tabela T21: Tabelarni prikaz rezultata merenja pri prolasku voza br. 1_Putnička lokomotiva711 109tona

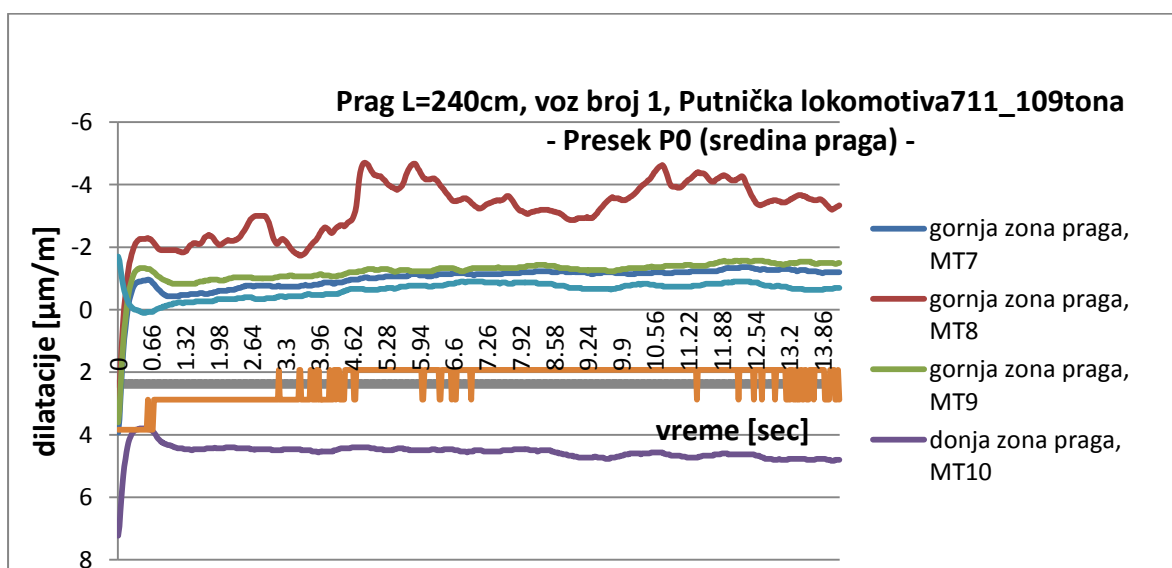
162



Slika 161. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=240cm, voz br.1, presek P14



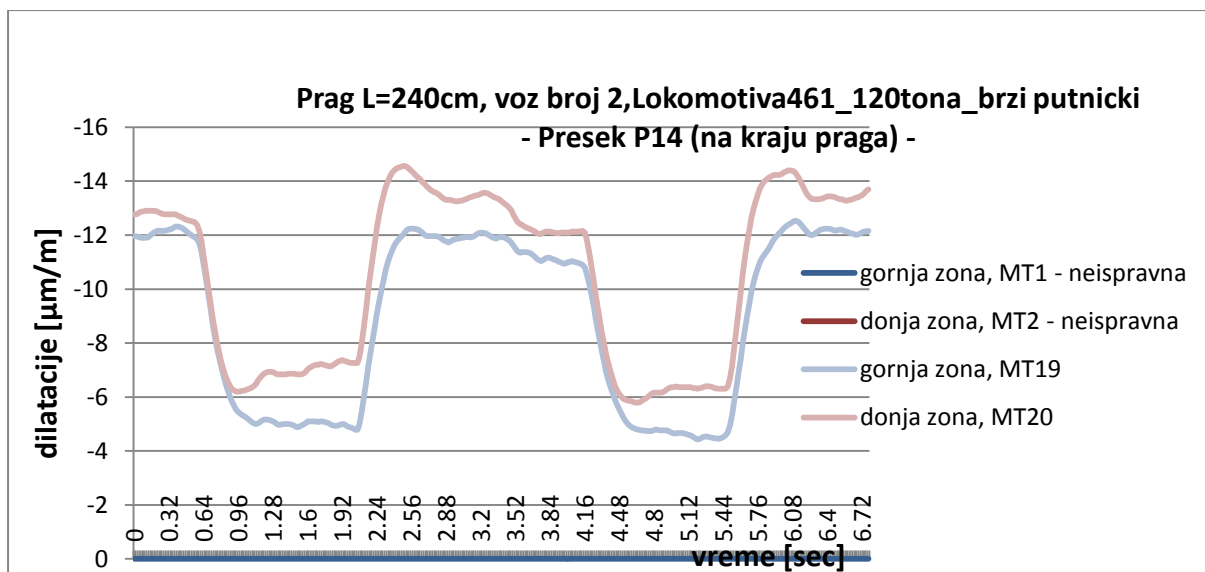
Slika 162. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=240cm, voz br.1, presek E-E



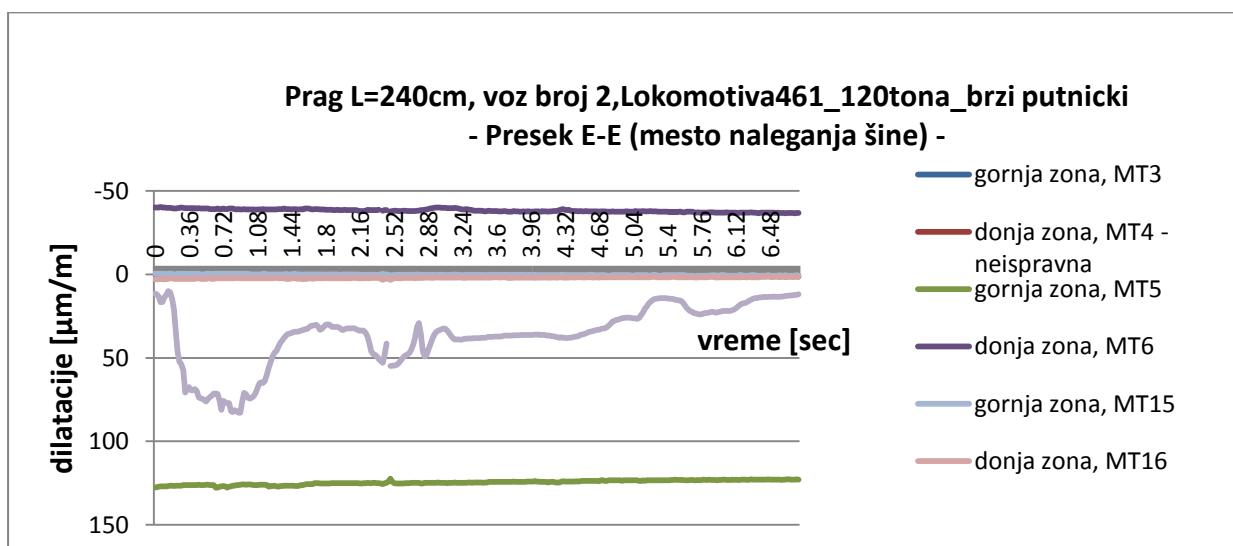
Slika 163. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=240cm, voz br.1, presek P0

Tabela T22: Tabelarni prikaz rezultata merenja pri prolasku voza br.
2_Lokomotiva461_120tona_brzi putnicki

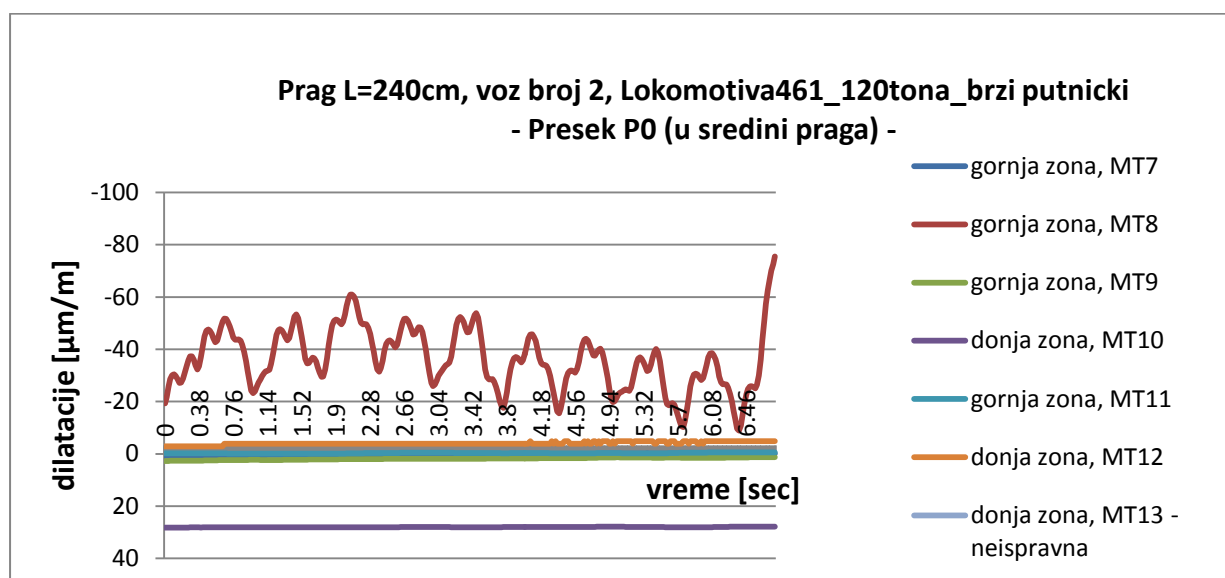
PRAG 240cm - VOZ 2 - 11.30_Lokomotiva461_120tona_brzi putnicki																					
Rbr/MT	MT1	MT2	MT3	MT4	MT5	MT6	MT7	MT8	MT9	MT10	MT11	MT12	MT13	MT14	MT15	MT16	MT17	MT18	MT19		
Pozicija MT	PRESEK P 14				PRESEK E-E (MESTO OSLANJANJA ŠINE)				PRESEK PO (SREDINA PRAGA)											PRESEK E-E (MESTO OSLANJANJA ŠINE)	PRESE
Time S/M/GC	S8 CH 0	neispravna MT	S8 CH 1	neispravna MT	S8 CH 2	S8 CH 3	MGC-11	MGC-12	MGC-13	MGC-14	MGC-15	S8 CH 4	neispravna MT	neispravna MT	S8 CH 5	S8 CH 6	MGC-16	S8 CH 7	MGC-17		
[sec]	[mD]		[mD]		[mD]	[mD]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[mD]		[mD]	[mD]	[µm/m]	[mD]	[µm/m]		
OZNAKA INSTRUMENTA I BROJ KANALA NA INSTRUMENTU																					
Mema traka u GORNJEM POJASU praga																					
Channel 1	Channel 2	Channel 3	Channel 4	Channel 5	Channel 12	Channel 13	Channel 14	Channel 15	Channel 16	Channel 6	Channel 7	Channel 8	Channel 17	Channel 9	Channel 18						
mD	mD	mD	mD	mD	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	mD	mD	µm/m	mD	µm/m	mD	µm/m	mD	µm/m		
neispravna	neispravna																				
0	0	2.16	127.44	-40.08	0.80000001	-19.2666669	2.7	28.2	-0.16666667	-2.88	-0.24	2.88	-6538.9001	11.52	-11.96667						
0.02	0	1.92	127.44	-40.08	0.80000001	-21.5666669	2.7	28.2	-0.16666667	-2.88	-0.24	2.88	-6541.2667	12	-11.95833						
0.04	0	2.16	127.2	-40.08	0.80000001	-25.7483336	2.7	28.225	-0.16666667	-2.88	-0.24	2.88	-6545.3917	13.2	-11.93333						
0.06	0	1.92	126.96	-40.32	0.77500001	-28.616667	2.675	28.23334	-0.15833334	-2.88	-0.24	2.64	-6547.9667	16.8	-11.90833						
0.08	0	2.16	126.96	-40.08	0.76666668	-30.116667	2.6666667	28.23334	-0.13333333	-2.88	-0.24	2.88	-6549.0251	16.56	-11.89167						
0.1	0	1.92	126.96	-40.08	0.76666668	-30.3833337	2.85	28.23334	-0.13333333	-2.88	-0.24	2.88	-6548.7584	13.68	-11.9						
0.12	0	1.92	126.96	-39.84	0.74166667	-29.8250003	2.6333334	28.23334	-0.13333333	-2.88	0	2.88	-6547.5667	12.24	-11.90833						
0.14	0	2.16	126.72	-39.84	0.73333334	-28.6000003	2.6333334	28.2	-0.13333333	-2.88	-0.24	2.64	-6545.6667	10.08	-11.96667						
0.16	0	1.92	126.48	-39.84	0.72500001	-27.116667	2.6333334	28.2	-0.13333333	-2.88	-0.24	2.4	-6543.5501	10.8	-12.04167						
0.18	0	1.92	126.48	-39.6	0.70000001	-27.2583336	2.6083334	28.2	-0.13333333	-2.88	-0.24	2.4	-6543.0834	14.64	-12.1						
0.2	0	2.16	126.72	-39.36	0.69166667	-28.716667	2.6	28.175	-0.13333333	-2.88	0	2.64	-6543.9667	21.36	-12.14167						
0.22	0	2.16	126.48	-39.36	0.66666667	-30.8250003	2.6	28.166667	-0.13333333	-2.88	0	2.64	-6545.5584	35.28	-12.16667						
0.24	0	1.92	126.48	-39.6	0.66666667	-33.3333337	2.6	28.166667	-0.13333333	-2.88	-0.24	2.64	-6547.5834	46.32	-12.16667						
0.26	0	1.92	126.48	-39.84	0.65000001	-35.8333337	2.6	28.158334	-0.15833334	-2.88	-0.24	2.64	-6549.6667	52.32	-12.15						
0.28	0	1.92	126.48	-40.08	0.63333334	-37.3250004	2.575	28.13334	-0.16666667	-2.88	-0.24	2.64	-6550.8001	54	-12.16667						
0.3	0	1.92	126.24	-39.84	0.63333334	-37.2583337	2.5666667	28.13334	-0.16666667	-2.88	-0.24	2.64	-6550.4167	57.6	-12.175						
0.32	0	1.92	126.24	-39.6	0.63333334	-35.9250004	2.5666667	28.13334	-0.2	-2.88	-0.24	2.64	-6548.8001	70.8	-12.2						
0.34	0	1.92	126.24	-39.6	0.63333334	-33.8083337	2.5666667	28.13334	-0.2	-2.88	-0.24	2.64	-6546.5167	68.64	-12.225						
0.36	0	1.92	126.24	-39.6	0.63333334	-32.2583337	2.5666667	28.13334	-0.2	-2.88	-0.24	2.64	-6548.8834	67.44	-12.275						
0.38	0	1.92	126.24	-39.6	0.63333334	-33.4500004	2.5666667	28.141667	-0.2	-2.88	-0.24	2.64	-6544.80251	69.36	-12.325						
0.4	0	1.92	126.24	-39.6	0.63333334	-37.0250004	2.5666667	28.166667	-0.18333334	-2.88	-0.24	2.64	-6549.5751	69.36	-12.325						
0.42	0	1.92	126.24	-39.6	0.63333334	-41.2916671	2.5666667	28.13334	-0.16666667	-2.88	-0.24	2.64	-6553.7834	68.64	-12.3						
0.44	0	1.92	126.24	-39.36	0.63333334	-44.9333338	2.5833334	28.13334	-0.16666667	-2.88	-0.24	2.4	-6557.3667	69.84	-12.26667						
0.46	0	1.92	126	-39.6	0.63333334	-47.0333339	2.5333334	28.13334	-0.16666667	-2.88	-0.24	2.4	-6559.3584	73.68	-12.21667						
0.48	0	1.92	126.24	-39.36	0.63333334	-47.6166672	2.5333334	28.13334	-0.16666667	-2.88	-0.24	2.64	-6559.8501	74.16	-12.14167						
0.5	0	1.92	126.24	-39.36	0.60833334	-47.1083339	2.5166667	28.13334	-0.175	-2.88	0	2.64	-6552.751	74.64	-12.075						
0.52	0	1.92	126.24	-39.36	0.60000001	-45.8750005	2.5	28.13334	-0.2	-2.88	0	2.64	-6557.9917	75.12	-12.01667						
0.54	0	1.68	126	-39.36	0.60000001	-44.1666672	2.4916667	28.13334	-0.2	-2.88	-0.24	2.64	-6556.2167	76.08	-11.95833						
0.56	0	1.68	126	-39.36	0.60000001	-42.7083338	2.4666667	28.13334	-0.2	-2.88	-0.24	2.4	-6554.6751	74.64	-11.91667						
0.58	0	1.68	126.24	-39.12	0.60000001	-43.3250005	2.4416667	28.13334	-0.2	-2.88	-0.24	2.4	-6555.1667	73.44	-11.84167						
0.6	0	1.92	126.24	-39.12	0.59166667	-45.4833338	2.425	28.13334	-0.19166667	-2.88	0	2.64	-6557.2084	72.72	-11.675						
0.62	0	1.68	126.24	-39.12	0.58333334	-48.2666672	2.4	28.13334	-0.16666667	-2.88	-0.24	2.64	-6559.8584	71.28	-11.33333						
0.64	0	1.68	127.68	-39.12	0.60000001	-50.6833339	2.4	28.13334	-0.16666667	-2.88	-0.24	2.4	-6562.1501	71.28	-10.9						
0.66	0	1.68	127.68	-39.36	0.60000001	-51.7666672	2.375	28.13334	-0.15833334	-3.84	-0.24	2.4	-6563.0917	71.52	-10.4						
0.68	0	1.68	127.68	-39.36	0.60000001	-51.7666672	2.375	28.13334	-0.15833334	-3.84	-0.24	2.4	-6563.0917	71.52	-10.4						



Slika 164. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=240cm, voz br.2, presek P14



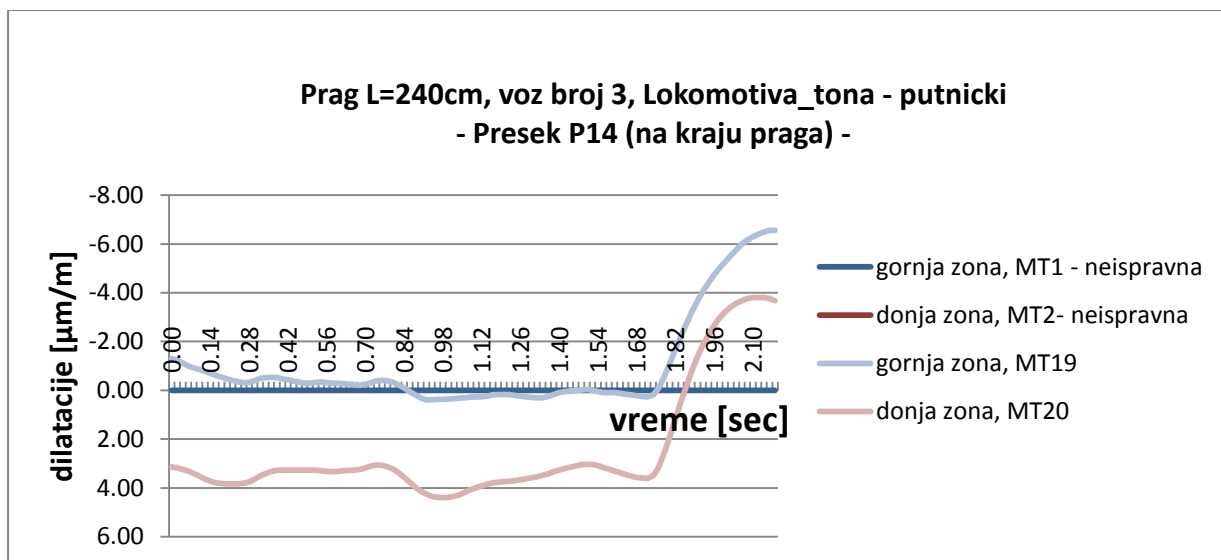
Slika 165. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=240cm, voz br.2, presek E-E



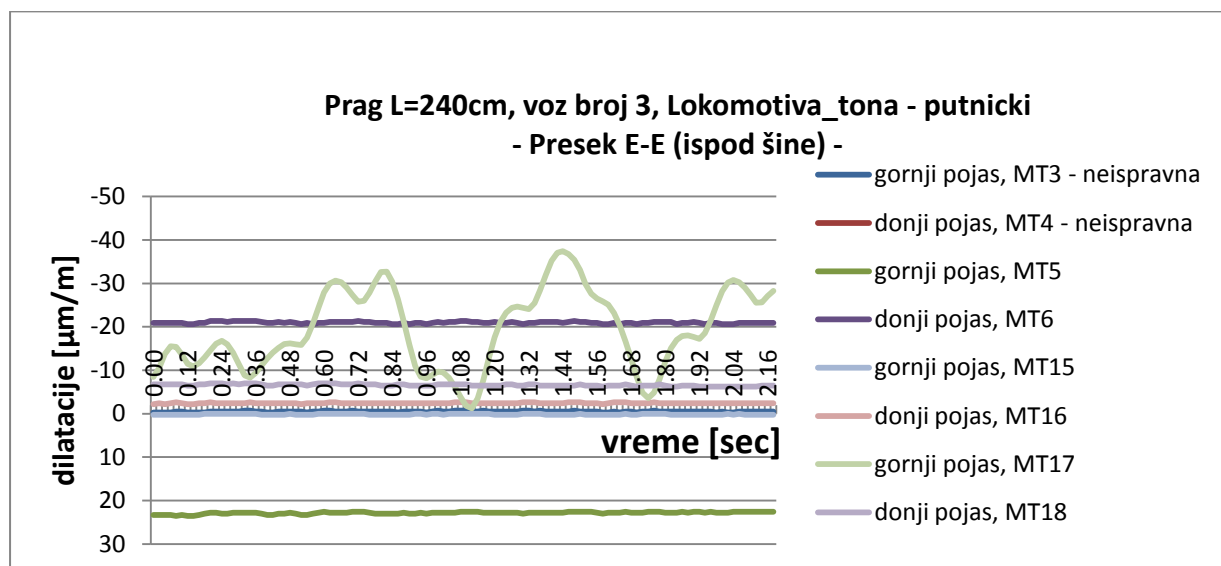
Slika 166. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=240cm, voz br.2, presek P0

Tabela T23: Tabelarni prikaz rezultata merenja pri prolasku voza br. 3- Lokomotiva_tona - putnicki

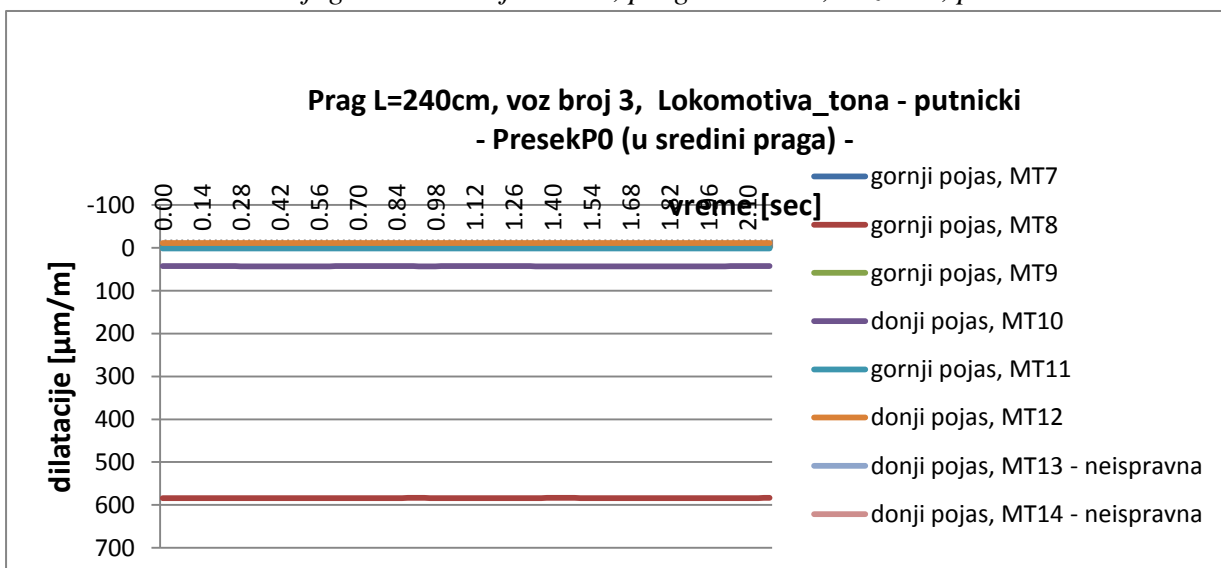
PRAG 240cm - VOZ 3 - 11.55h - Lokomotiva_tona - putnicki																			
Rbr MT	MT1	MT2	MT3	MT4	MT5	MT6	MT7	MT8	MT9	MT10	MT11	MT12	MT13	MT14	MT15	MT16	MT17	MT18	MT19
Pozicija	PRESEK P14				PRESEK E-E (MESTO OSLANJANJA ŠINE)				PRESEK PO (SREDINA PRAGA)				PRESEK E-E (MESTO OSLANJANJA ŠINE)				PRESEK E-E (MESTO OSLANJANJA ŠINE)		
Time																			
ss, msc	S8 CH 0	neispravna	S8 CH 1	neispravna	S8 CH 2	S8 CH 3	MGC-11	MGC-12	MGC-13	MGC-14	MGC-15	S8 CH 4	neispravna	neispravna	S8 CH 5	S8 CH 6	MGC-16	S8 CH 7	MGC-17
[sec]	[mD]	MT	[mD]	a MT	[mD]	[mD]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[mD]	MT	[mD]	[mD]	[µm/m]	[mD]	[µm/m]
OZNAKA INSTRUMENTA I BROJ KANALA NA INSTRUMENTU																			
Mezma traka u GORNOJ zoni praga																			
Mezma traka u DONJOJ zoni praga																			
Channel 1 Channel 2					Channel 3					Channel 4 Channel 5					Channel 6				
mD					mD					µm/m					mD				
0	0		-0.24		23.28	-20.88	-1.8	583.86667	0.1	42.833334	1.6	-11.52			0.24	-2.16	-8.4333334	-6.72	-1.3
0.02	0		-0.24		23.28	-20.88	-1.8	583.86667	0.1	42.833334	1.6166667	-11.52			0.24	-2.4	-10.5083333	-6.72	-1.2333333
0.04	0		-0.24		23.28	-20.88	-1.8	583.86667	0.1	42.833334	1.6333334	-11.52			0.24	-2.16	-13.775	-6.72	-1.1083333
0.06	0		-0.24		23.28	-20.88	-1.8	583.86667	0.1	42.833334	1.6333334	-11.52			0.24	-2.4	-15.55	-6.72	-1
0.08	0		-0.48		23.52	-20.88	-1.8	583.86667	0.1333333	42.833334	1.6333334	-11.52			0.24	-2.64	-15.358334	-6.72	-0.916667
0.1	0		-0.48		23.28	-20.88	-1.8	583.86667	0.1333333	42.833334	1.6333334	-11.52			0.24	-2.4	-13.625	-6.72	-0.85
0.12	0		-0.24		23.52	-20.64	-1.8	583.87501	0.1333333	42.833334	1.6333334	-11.52			0.24	-2.16	-11.475	-6.48	-0.766667
0.14	0		-0.24		23.52	-20.64	-1.8	583.90001	0.1666667	42.833334	1.6333334	-11.52			0.24	-2.16	-10.891667	-6.48	-0.691667
0.16	0		-0.24		23.28	-20.88	-1.8	583.90001	0.1666667	42.833334	1.6416667	-11.52			0.24	-2.4	-11.6333333	-6.72	-0.616667
0.18	0		-0.24		23.04	-20.88	-1.8083334	583.90001	0.1666667	42.833334	1.6666667	-11.52			0	-2.4	-12.9333333	-6.72	-0.541667
0.2	0		-0.48		22.8	-21.36	-1.8333334	583.90001	0.1666667	42.866667	1.6666667	-11.52			0	-2.64	-14.5333333	-6.96	-0.475
0.22	0		-0.48		22.8	-21.36	-1.8333334	583.90001	0.1666667	42.866667	1.6666667	-11.52			0	-2.4	-16.115	-6.96	-0.4083333
0.24	0		-0.48		23.04	-21.36	-1.825	583.90001	0.1666667	42.866667	1.6666667	-11.52			0	-2.4	-16.783334	-6.96	-0.35
0.26	0		-0.48		23.04	-21.12	-1.8	583.86667	0.1666667	42.866667	1.6666667	-11.52			0	-2.4	-16	-6.72	-0.3083333
0.28	0		-0.48		22.8	-21.36	-1.8	583.86667	0.1666667	42.891667	1.6666667	-11.52			0	-2.4	-14.066667	-6.96	-0.325
0.3	0		-0.48		22.8	-21.36	-1.8	583.85834	0.1666667	42.9	1.6666667	-11.52			0	-2.4	-11.391667	-6.72	-0.4
0.32	0		-0.72		22.8	-21.36	-1.8	583.83334	0.1666667	42.9	1.65	-11.52			0	-2.4	-8.7916668	-6.96	-0.4833333
0.34	0		-0.72		22.8	-21.36	-1.8	583.83334	0.1666667	42.9	1.6333334	-11.52			0	-2.64	-8.2833334	-6.96	-0.525
0.36	0		-0.48		22.8	-21.36	-1.8	583.83334	0.1666667	42.925	1.6333334	-11.52			0	-2.4	-9.3916668	-6.96	-0.5333333
0.38	0		-0.48		23.04	-21.12	-1.775	583.83334	0.1666667	42.933334	1.6333334	-11.52			0.24	-2.4	-11.075	-6.72	-0.525
0.4	0		-0.24		23.28	-20.88	-1.7666667	583.83334	0.1666667	42.933334	1.6333334	-11.52			0.24	-2.4	-12.75	-6.48	-0.475
0.42	0		-0.24		23.28	-20.88	-1.7666667	583.83334	0.1666667	42.933334	1.6333334	-11.52			0.24	-2.4	-14.016667	-6.48	-0.425
0.44	0		-0.48		23.04	-21.12	-1.7833334	583.83334	0.1666667	42.933334	1.6416667	-11.52			0.24	-2.4	-15.175	-6.72	-0.375
0.46	0		-0.48		23.04	-20.88	-1.7666667	583.83334	0.1666667	42.933334	1.6666667	-11.52			0.24	-2.4	-16.008334	-6.72	-0.3333333
0.48	0		-0.48		22.8	-21.12	-1.7666667	583.83334	0.1416667	42.933334	1.6666667	-11.52			0	-2.4	-16.225	-6.72	-0.3
0.5	0		-0.48		23.04	-20.88	-1.7666667	583.83334	0.1333333	42.933334	1.6666667	-11.52			0.24	-2.4	-15.958334	-6.72	-0.3
0.52	0		-0.48		23.28	-20.64	-1.7666667	583.83334	0.1333333	42.9	1.6666667	-11.52			0.24	-2.16	-15.816667	-6.72	-0.325
0.54	0		-0.24		23.28	-20.88	-1.7666667	583.84167	0.1333333	42.9	1.6666667	-11.52			0.24	-2.4	-17.5	-6.48	-0.3333333
0.56	0		-0.48		23.04	-20.64	-1.7666667	583.86667	0.1333333	42.9	1.6666667	-11.52			0.24	-2.4	-20.691667	-6.72	-0.3083333
0.58	0		-0.48		22.8	-20.88	-1.7666667	583.86667	0.1333333	42.9	1.6666667	-11.52			0	-2.4	-24.458334	-6.96	-0.3
0.6	0		-0.72		22.56	-20.88	-1.7666667	583.84167	0.1333333	42.891667	1.6666667	-11.52			0	-2.4	-27.933334	-6.96	-0.291667
0.62	0		-0.72		22.8	-21.12	-1.7666667	583.83334	0.1333333	42.866667	1.675	-11.52			0	-2.64	-30.008334	-6.96	-0.266667
0.64	0		-0.48		22.8	-21.12	-1.7666667	583.83334	0.1333333	42.866667	1.7	-11.52			0	-2.64	-30.65	-6.96	-0.241667
0.66	0		-0.48		22.8	-21.12	-1.7666667	583.83334	0.1333333	42.866667	1.7	-11.52			0	-2.4	-30.233334	-6.72	-0.2333333
0.68	0		-0.48		22.8	-21.12	-1.7666667	583.83334	0.1333333	42.866667	1.7	-11.52			0	-2.4	-29.041667	-6.72	-0.2083333



Slika 167. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=240cm, voz br.3, presek P14



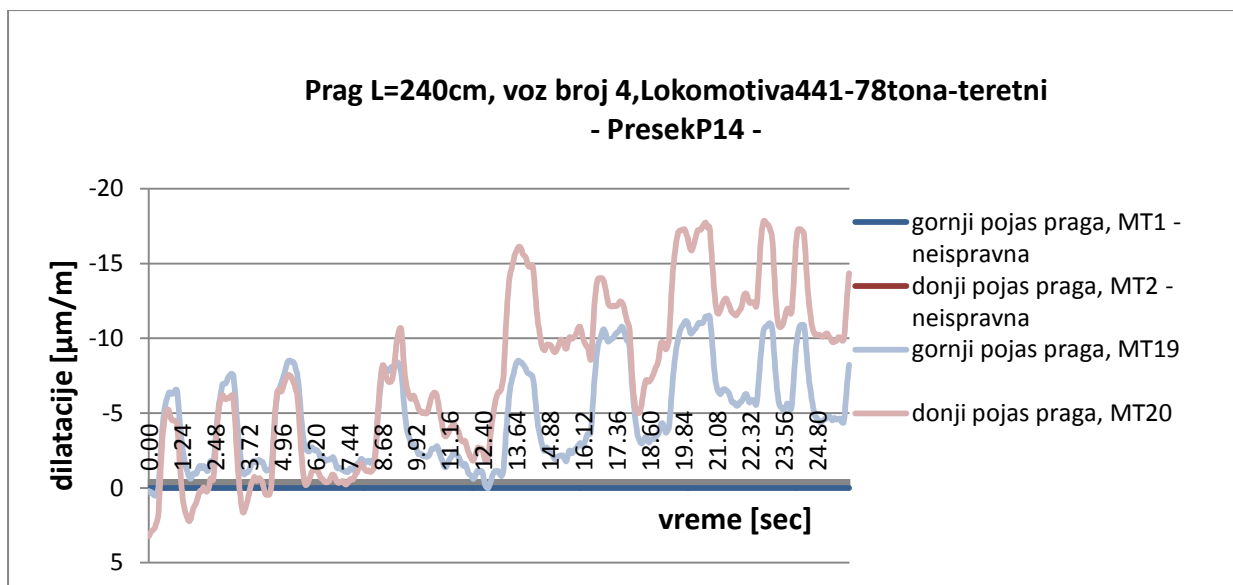
Slika 168. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=240cm, voz br.3, presek E-E



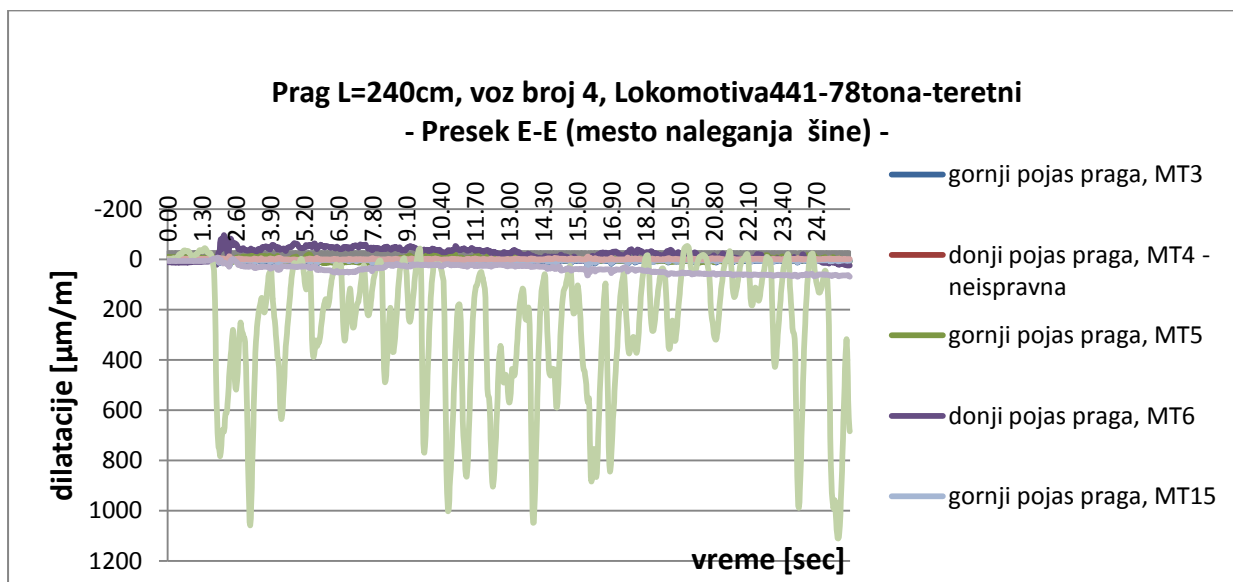
Slika 169. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=240cm, voz br.3, presek P0

Tabela T24: Tabelarni prikaz rezultata merenja pri prolasku voza br. 4- Lokomotiva441-78tona -teretni

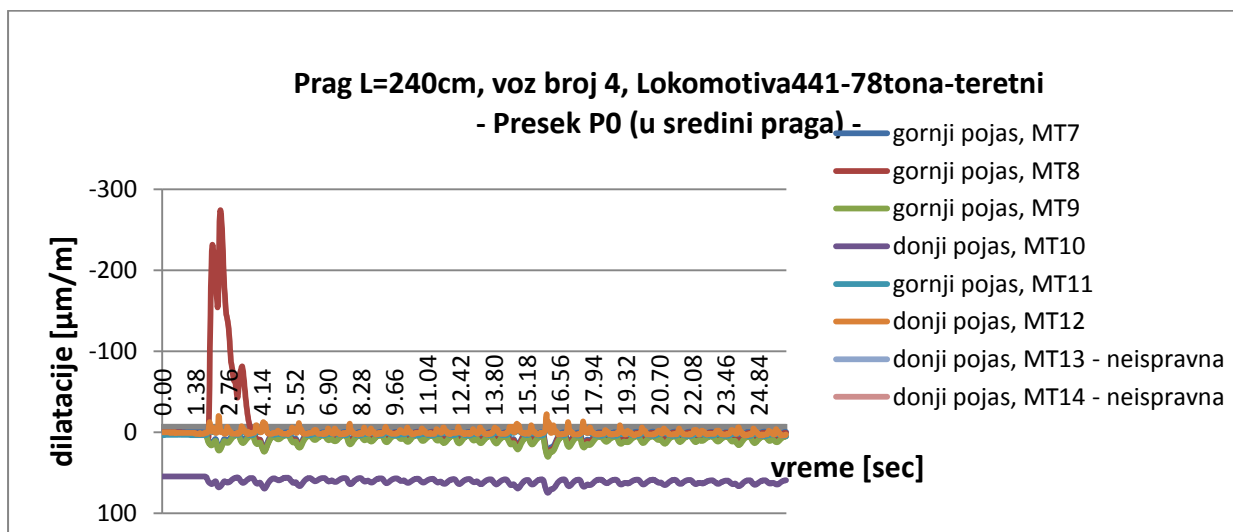
PRAG 240cm - VOZ 4-12.10h - Lokomotiva441-78tona-teretni																													
Rbr	MT	MT1	MT2	MT3	MT4	MT5	MT6	MT7	MT8	MT9	MT10	MT11	MT12	MT13	MT14	MT15	MT16	MT17	MT18	MT19	MT20								
Pozicija	MT	PRESEK P14				PRESEK E-E (MESTO OSLANJANJA ŠINE)				PRESEK PO (SREDINA PRAGA)												PRESEK E-E (MESTO OSLANJANJA ŠINE)				PRESEK P14			
Time		OZNAKA INSTRUMENTA I BROJ KANALA NA INSTRUMENTU																											
[sec]		S8 CH 0	neispravna	S8 CH 1	neispravna	S8 CH 2	S8 CH 3	MGC-11	MGC-12	MGC-13	MGC-14	MGC-15	S8 CH 4	neispravna	neispravna	S8 CH 5	S8 CH 6	MGC-16	S8 CH 7	MGC-17	MGC-18								
		[mD]	MT	[mD]	MT	[mD]	[mD]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[mD]	MT	MT	[mD]	[mD]	[µm/m]	[mD]	[µm/m]								
		Merna traka u GORNJOJ zoni praga																											
		Merna traka u DONJOJ zoni praga																											
		neispravna																											
0	0	4.8		4.8		-9.36	11.76	-0.133333	-0.166667	1.133333	54.566667	3.4	0			3.12	-2.4	1.5	5.76	0.2	3.233334								
0.02	0	4.8		4.8		-9.6	11.76	-0.133333	-0.15	1.133333	54.566667	3.4	0			3.12	-2.64	0.458333	5.76	0.241667	3.183334								
0.04	0	4.8		4.8		-9.36	12	-0.108333	-0.133333	1.133333	54.566667	3.383334	0			3.12	-2.4	-0.625	5.76	0.283333	3.1								
0.06	0	5.04		5.04		-9.36	12	-0.1	-0.133333	1.133333	54.583334	3.366667	0			3.12	-2.4	-0.775	6	0.3	3.016667								
0.08	0	5.04		5.04		-9.36	12	-0.1	-0.133333	1.133333	54.600001	3.366667	0			3.12	-2.4	-0.083333	5.76	0.275	2.941667								
0.1	0	5.04		5.04		-9.36	12	-0.1	-0.1	1.133333	54.600001	3.333334	0			3.12	-2.4	1.158333	5.76	0.3	2.9								
0.12	0	5.04		5.04		-9.12	12	-0.1	-0.1	1.133333	54.600001	3.333334	0			3.12	-2.4	1.933334	6	0.341667	2.866667								
0.14	0	5.28		5.28		-9.12	12	-0.1	-0.1	1.133333	54.625001	3.333334	0			3.12	-2.4	1.175	6	0.383333	2.833334								
0.16	0	5.28		5.28		-9.12	12.24	-0.1	-0.1	1.166667	54.633334	3.333334	0			3.12	-2.4	-0.25	6	0.433333	2.808334								
0.18	0	5.28		5.28		-9.12	12.24	-0.083333	-0.091667	1.166667	54.633334	3.333334	0			3.36	-2.4	-1.858333	6	0.475	2.775								
0.2	0	5.52		5.52		-8.88	12.48	-0.066667	-0.066667	1.166667	54.633334	3.333334	0			3.36	-2.16	-3.533333	6.24	0.508333	2.733334								
0.22	0	5.28		5.28		-8.88	12.48	-0.066667	-0.066667	1.2	54.633334	3.333334	0			3.36	-2.4	-4.8	6	0.533333	2.666667								
0.24	0	5.28		5.28		-8.88	12.24	-0.066667	-0.066667	1.2	54.633334	3.333334	0			3.36	-2.4	-4.733333	6	0.516667	2.558334								
0.26	0	5.28		5.28		-8.88	12.24	-0.066667	-0.066667	1.216667	54.633334	3.333334	0			3.36	-2.4	-3.15	6	0.466667	2.433334								
0.28	0	5.28		5.28		-9.12	12.24	-0.066667	-0.066667	1.233333	54.633334	3.366667	0			3.36	-2.4	-0.6	5.76	0.383333	2.333334								
0.3	0	5.04		5.04		-9.12	12	-0.066667	-0.066667	1.233333	54.666667	3.366667	0			3.12	-2.16	2.116667	5.76	0.3	2.233334								
0.32	0	5.28		5.28		-8.54	12.48	-0.066667	-0.041667	1.241667	54.650001	3.333334	0.96			3.36	-1.92	3.2	6.24	0.233333	2.133334								
0.34	0	5.52		5.52		-8.54	12.48	-0.066667	-0.033333	1.266667	54.633334	3.333334	0.96			3.6	-1.92	1.108333	6.24	0.133333	1.966667								
0.36	0	5.52		5.52		-8.54	12.72	-0.066667	-0.025	1.266667	54.633334	3.325	0.96			3.6	-2.16	-3.466667	6.24	-0.15	1.591667								
0.38	0	5.28		5.28		-8.88	12.24	-0.066667	0	1.266667	54.633334	3.3	0			3.36	-2.16	-9.1	6.24	-0.583333	1								
0.4	0	5.28		5.28		-8.88	12.48	-0.066667	0	1.266667	54.633334	3.266667	0			3.36	-2.16	-14.03333	6.24	-1.108333	0.291667								
0.42	0	5.28		5.28		-9.12	12	-0.066667	0.033333	1.266667	54.633334	3.233334	0			3.36	-2.16	-17.525	6	-1.658333	-0.458333								
0.44	0	5.52		5.52		-8.88	12.48	-0.066667	0.033333	1.266667	54.633334	3.2	0			3.36	-2.16	-19.74167	6.24	-2.2	-1.208333								
0.46	0	5.52		5.52		-8.54	12.72	-0.066667	0.033333	1.266667	54.600001	3.158333	0			3.6	-2.16	-20.96667	6.24	-2.741667	-1.916667								
0.48	0	5.52		5.52		-8.4	12.72	-0.066667	0.033333	1.266667	54.600001	3.166667	0.96			3.6	-2.16	-21.40833	6.48	-3.3	-2.583334								
0.5	0	5.76		5.76		-8.4	12.96	-0.066667	0.041667	1.266667	54.600001	3.083334	0.96			3.6	-1.92	-21.21667	6.48	-3.833333	-3.158334								
0.52	0	5.76		5.76		-8.54	12.72	-0.066667	0.066667	1.3	54.600001	3.066667	0.96			3.6	-2.16	-21.7	6.48	-4.3	-3.633334								
0.54	0	5.52		5.52		-8.88	12.48	-0.066667	0.066667	1.3	54.600001	3.033334	0			3.36	-2.16	-24.11667	6.24	-4.683333	-4.016667								
0.56	0	5.52		5.52		-8.88	12.72	-0.066667	0.066667	1.3	54.600001	3.033334	0.96			3.6	-2.16	-27.64167	6.48	-5	-4.308334								
0.58	0	5.76		5.76		-8.54	12.72	-0.066667	0.066667	1.3	54.633334	3.033334	0.96			3.6	-1.92	-31.46667	6.48	-5.25	-4.5500001								
0.6	0	5.76		5.76		-8.4	12.72	-0.066667	0.066667	1.3	54.633334	3.025	0.96			3.6	-1.92	-34.39167	6.48	-5.475	-4.7500001								
0.62	0	5.76		5.76		-8.4	12.72	-0.066667	0.066667	1.3	54.633334	3	0.96			3.84	-1.92	-35.85833	6.48	-5.65	-4.901667								
0.64	0	5.76		5.76		-8.4	12.72	-0.066667	0.083333	1.308333	54.633334	3	0.96			3.84	-1.92	-36.075	6.48	-5.8	-5.016667								
0.66	0	5.76		5.76		-8.54	12.48	-0.066667	0.1	1.333333	54.633334	2.991667	0.96			3.84	-1.92		6.48	-5.916667	-5.1000001								



Slika 170. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=240cm, voz br.4, presek P14



Slika 171. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=240cm, voz br.4, presek E-E



Slika 172. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=240cm, voz br.4, presek P0

Komentar dijagrama sa ispitivanja praga B70, L=240 cm, na temperaturi od oko 30°C

Kao i u slučaju prednapregnutog betonskog železničkog praga B70, L=260 cm, 27.08.2014.godine je izvršen i eksperiment na pragu dužine L=240 cm, u realnim ambijentalnim "in situ" uslovima eksploatacije. Prag sa ugrađenim mernim trakama je ugrađen u kolosek posle čega je podvrgnut realnom opterećenju pri čemu su mereni i snimljeni podaci o veličinama dilatacija u P0, E-E i P14 presecima ispitivanoga praga. U toku trajanja eksperimenta, zabeležen je prolazak 4 kompozicije (str 161) sa lokomotivama različitog osovinskog opterećenja. Temperatura vazduha pri ispitivanju je iznosila 28-34°C.

Pregledom dobijenih dijagrama dilatacija/vreme (slike 161.-172.) dolazi se do jasnih zaključaka:

- Svi dijagrami, za sve preseke reprezentnog praga (P0, E-E i P14) i za sva opterećenja, su harmoničnog oblika, bez pojave incidentnih stanja napona. Ovo ukazuje na znatno bolje stanje železničke infrastrukture na mestu ugradnje ovog reprezentativnog praga (pruga u pravcu) nego što je to bio slučaj kod praga dužine 260cm (početak skretnice na ulasku u železničku stanicu).
- U preseku P14, pri realnom opterećenju od Lokomotive 461 teške 120 tona, zabeležene su male vrednosti dilatacija (slika 164.), manje od 15 mikrodilatacija [$\mu\text{m}/\text{m}$]. Pri prolasku lokomotive 441, teške 78 tona, zabeležene su dilatacije (slika 170.), manje od 18 mikrodilatacija.
- Presek P0 je presek u sredini praga je presek u kome je merna traka MT8 zabeležila uvećane dilatacije u odnosu na sve druge merne trake (slike 163., 166. i 172.). Postojala je sumnja da se radi o izolovanom incidentnom slučaju opterećenja ali konačan zaključak je da se radi, pošto nijedna od preostalih 5 ispravnih mernih traka nisu zabeležile ovaj fenomen, o neispravnosti merne trake MT8. Ostale merne trake su zabeležile dilatacije do maksimalnih 29 mikrodilatacija što je znatno ispod dozvoljenih i projektom predviđenih vrednosti. Merne trake MT13 i MT14 su neispravne.

2.2.b) Ispitivanje praga B70, L=240 cm, $t_v=6-12^\circ\text{C}$, $t_b=4-11^\circ\text{C}$, 30.10.2014.godine

Ponovljeno ipitivanje praga B70, L=240 cm, pod dejstvom eksploatacionog opterećenja, u zimskim uslovima, izvršeno je dana 30.10.2014.godine sa početkom u 8:00h i završetkom u 12.30h.

U toku ispitivanja, spoljašnja temperatura vazduha je iznosila od $6-12^\circ\text{C}$, uz beleženje temperature betona na površini praga od $4-11^\circ\text{C}$.



Slika 173a) i 173b). Povezivanje mernih traka i merni instrumenti

Zabeležen je prolazak 2 kompozicije i to:

1. 11.35h: Brzi putnički voz sa lokomotivom oznake 444, teškom 80 tona,
2. 11.55h: Putnički voz sa lokomotivom oznake 441, teškom 78 tona,



Slika 174. Trenutak nailaska i prolaska putničkog voza preko ispitivanog praga

Posle prolaska svakog od vozova, vršeno je merenje temperature betona na površini praga.

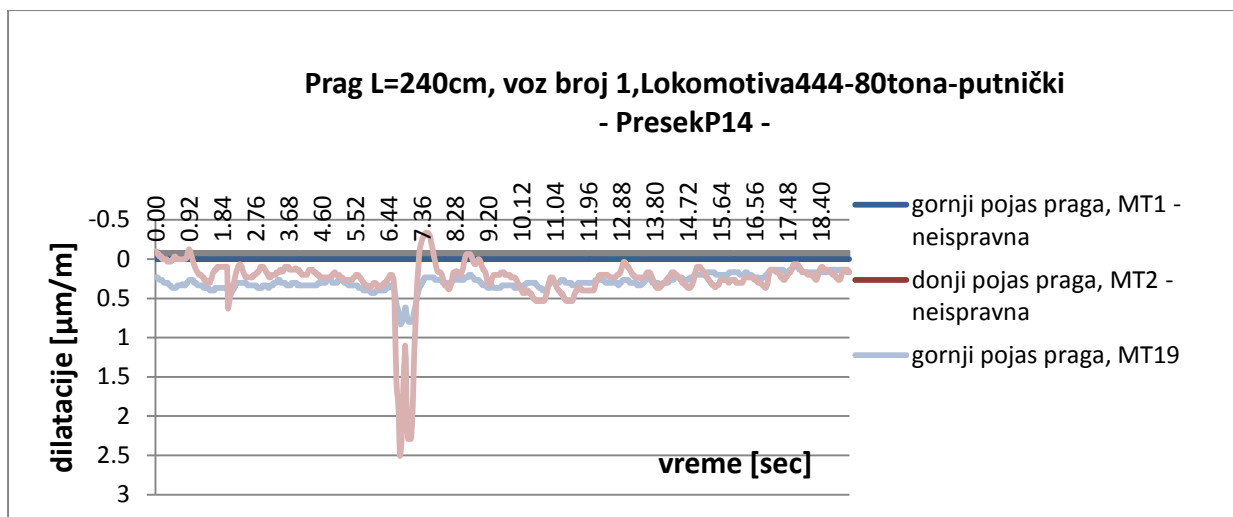


Slika 175a) i 175b) Merenje temperature betona na površini ispitivanog praga posle prolaska kompozicije

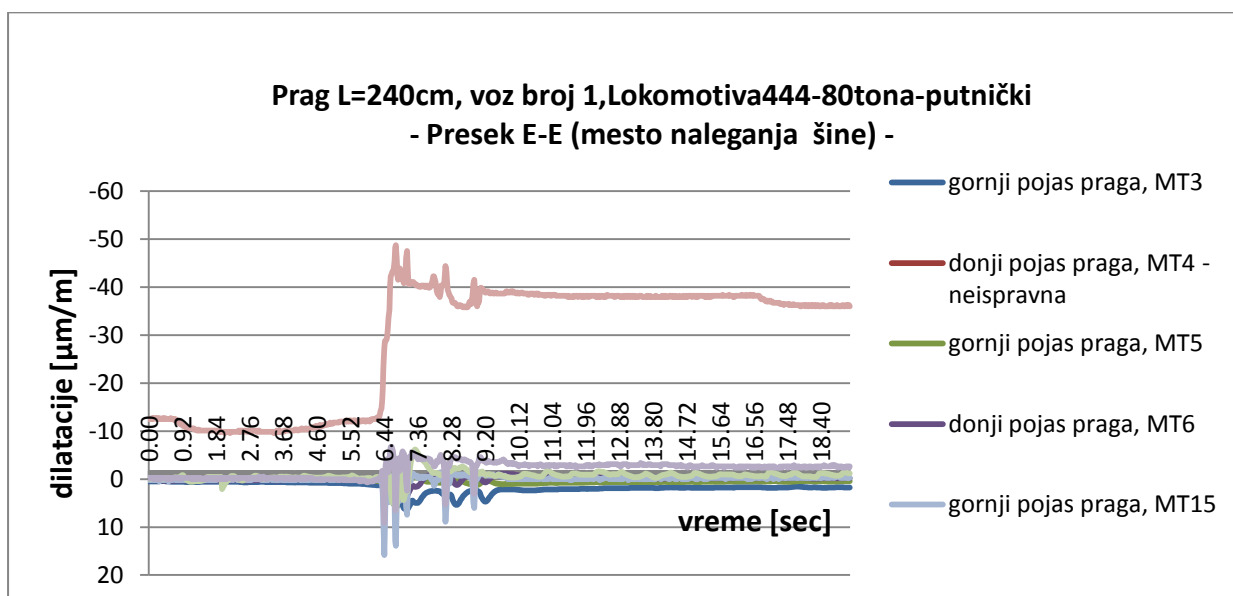
Zabeleženi su rezultati sa 16 mernih traka i dati su u tabeli, grupisani prema preseku u kome su zabeleženi. Na osnovu rezultata, izrađeni su grafikoni i dati su u nastavku.

Tabela T25: Tabelarni prikaz rezultata merenja pri prolasku voza br. 1_Putnička lokomotiva 444_80tona

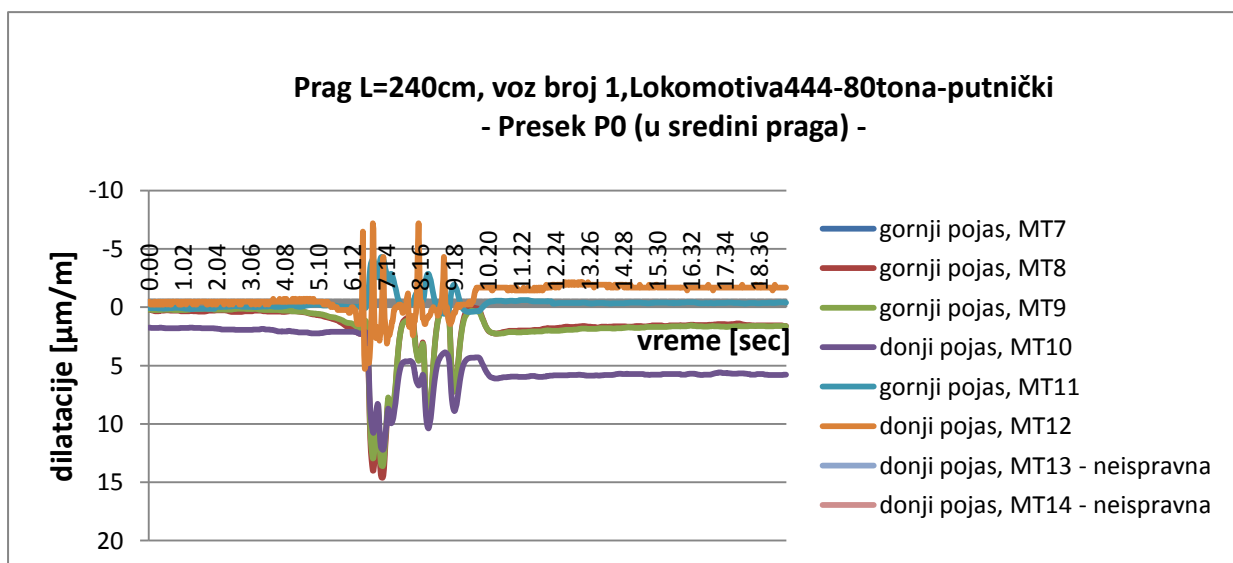
PRAG 240cm (u blizini betonjerke u Stalaču) - VOZ 1 - 11.35h_Lokomotiva 444_80tona_putnički Ispitivanje vršeno 30.10.2014.godine spoljašnja temperatura vazduha: 09h-6°C 14h-12°C																										
Rbr	MT	MT1	MT2	MT3	MT4	MT5	MT6	MT7	MT8	MT9	MT10	MT11	MT12	MT13	MT14	MT15	MT16	MT17	MT18	MT19	MT20					
Pozicija MT	PRESEK P14				PRESEK E-E (MESTO OSLANJANJA ŠINE)				PRESEK PO (SREDINA PRAGA)												PRESEK E-E (MESTO OSLANJANJA ŠINE)				PRESEK P14	
OZNAKA INSTRUMENTA I BROJ KANALA NA INSTRUMENTU																										
Time																										
S8, MGC	S8 CH 0	neispravn a MT	S8 CH 1	neispravn a MT	S8 CH 2	S8 CH 3	MGC-11	MGC-12	MGC-13	MGC-14	MGC-15	S8 CH 4	neispravn a MT	S8 CH 5	S8 CH 6	MGC-16	S8 CH 7	MGC-17	MGC-18							
[sec]	[mD]	[mD]	[mD]	[mD]	[mD]	[mD]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[mD]	[mD]	[mD]	[µm/m]	[mD]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]						



Slika 176. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=240cm, voz br.1, presek P14



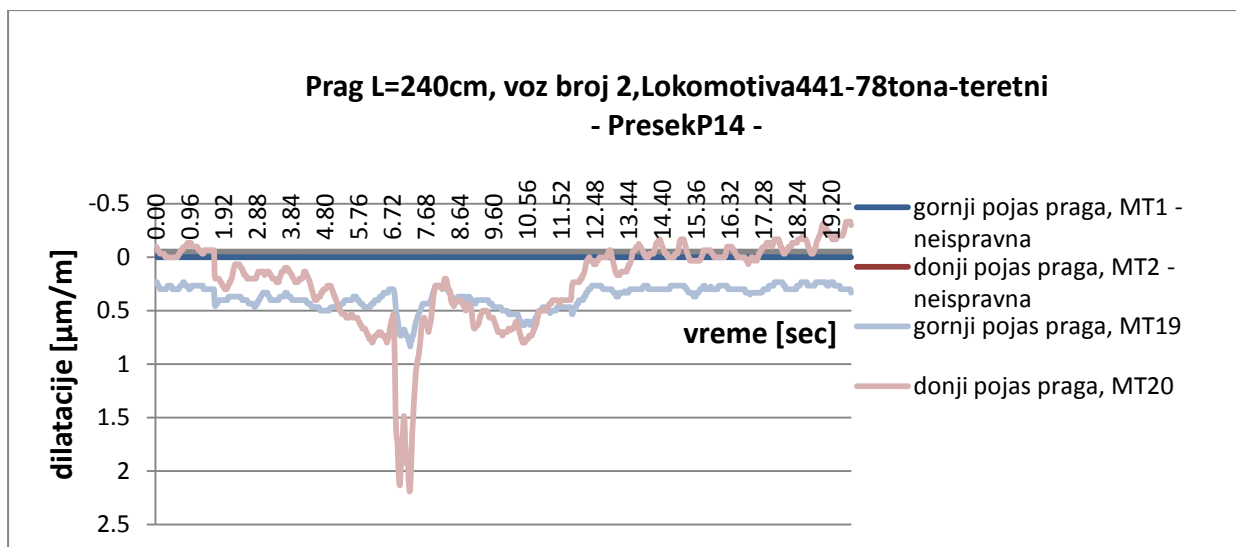
Slika 177. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=240cm, voz br.1, presek E-E



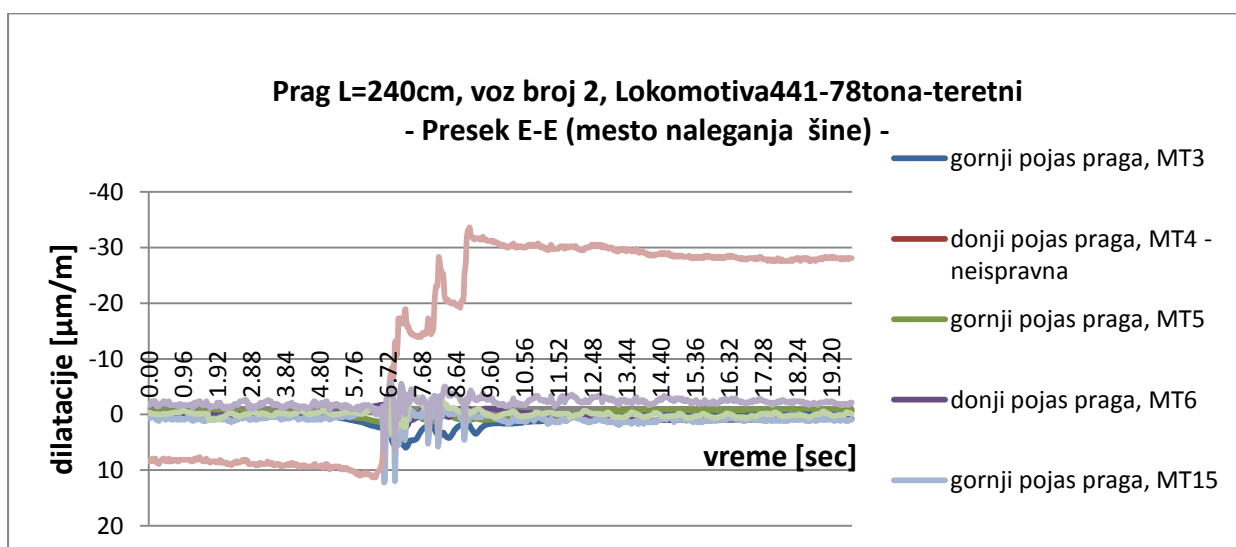
Slika 178. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=240cm, voz br.1, presek P0

Tabela T26: Tabelarni prikaz rezultata merenja pri prolasku voza br. 2_Teretna lokomotiva441_78tona

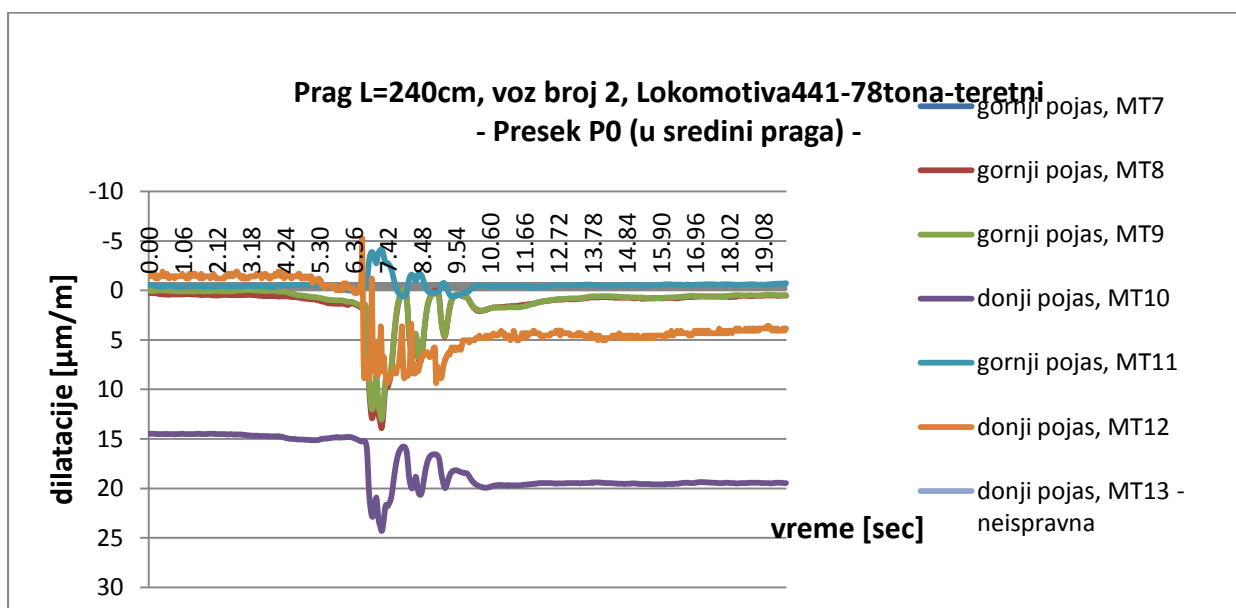
PRAG 240cm (u blizini betonjerke u Stalaču) - VOZ 2 - 11.55h Lokomotiva 441_78tona teretni Ispitivanje vršeno 30.10.2014.godine spoljašnja temperatura vazduha: 09h-6°C 14h-12°C																								
Rbr	MT	MT1	MT2	MT3	MT4	MT5	MT6	MT7	MT8	MT9	MT10	MT11	MT12	MT13	MT14	MT15	MT16	MT17	MT18	MT19	MT20			
Pozicija MT	PRESEK P14		PRESEK E-E (MESTO OSLANJANJA ŠINE)					PRESEK PO (SREDINA PRAGA)										PRESEK E-E (MESTO OSLANJANJA ŠINE)					PRESEK P14	
	S8 CH 0	neispravna MT	S8 CH 1	neispravna MT	S8 CH 2	S8 CH 3	MGC-11	MGC-12	MGC-13	MGC-14	MGC-15	S8 CH 4	neispravna MT	neispravna MT	S8 CH 5	S8 CH 6	MGC-16	S8 CH 7	MGC-17	MGC-18				
[sec]	[mD]		[mD]		[mD]		[μm/m]	[μm/m]	[μm/m]	[μm/m]	[μm/m]	[mD]			[mD]	[mD]	[μm/m]	[mD]	[μm/m]	[μm/m]				
OZNAKA INSTRUMENTA I BROJ KANALA NA INSTRUMENTU																								
Time		Merna traka u GORNJOJ zoni praga										Merna traka u DONJOJ zoni praga												
S8, MGC		-0.23333		-0.46667	0	0.266667	0.033333	14.46667	-0.56667	-1.44					0.72	8.4	-0.36667	-1.68	0.233333	-0.1				
	0.02	-0.23333		-0.46667	0	0.266667	0.033333	14.46667	-0.56667	-1.44					0.72	8.4	-0.325	-1.68	0.233333	-0.1				
	0.04	-0.23333		-0.46667	0	0.266667	0.033333	14.46667	-0.56667	-1.68					0.48	8.4	-0.24167	-1.92	0.233333	-0.075				
	0.06	-0.23333		-0.46667	0	0.266667	0.033333	14.46667	-0.54167	-1.68					0.24	8.16	-0.16667	-2.16	0.258333	-0.06667				
	0.08	-0.23333		-0.46667	0	0.3	0.066667	14.46667	-0.53333	-1.68					0.24	8.16	-0.125	-2.4	0.266667	-0.06667				
	0.1	-0.23333		-0.46667	0	0.3	0.066667	14.46667	-0.53333	-1.44					0.48	7.92	-0.09167	-2.4	0.275	-0.05				
	0.12	-0.23333		-0.48333	0.01667	0.3	0.066667	14.46667	-0.53333	-1.68					0.48	8.16	-0.1	-2.4	0.3	-0.03333				
	0.14	-0.25		-0.5	0.03333	0.3	0.066667	14.46667	-0.5	-1.44					0.48	8.4	-0.1	-2.16	0.3	-0.03333				
	0.16	-0.26667		-0.5	0.03333	0.3	0.066667	14.46667	-0.5	-1.68					0.48	8.16	-0.09167	-2.4	0.3	-0.03333				
	0.18	-0.26667		-0.5	0.03333	0.3	0.066667	14.475	-0.49167	-1.68					0.24	7.92	-0.06667	-2.4	0.3	-0.03333				
	0.2	-0.26667		-0.51667	0.03333	0.3	0.033333	14.5	-0.46667	-1.2					0.96	8.4	-0.05833	-1.68	0.3	-0.03333				
	0.22	-0.26667		-0.53333	0.03333	0.3	0.033333	14.5	-0.45	-1.2					0.96	8.64	-0.03333	-1.44	0.3	-0.03333				
	0.24	-0.24167		-0.53333	0.03333	0.333333	0.033333	14.5	-0.43333	-1.2					0.96	8.64	-0.03333	-1.44	0.3	-0.03333				
	0.26	-0.25		-0.53333	0.03333	0.333333	0.025	14.5	-0.43333	-1.44					0.96	8.64	-0.025	-1.68	0.3	-0.01667				
	0.28	-0.26667		-0.50833	0.06667	0.333333	0	14.5	-0.40833	-1.2					1.2	8.88	0	-1.44	0.3	0				
	0.3	-0.26667		-0.5	0.06667	0.358333	0	14.5	-0.4	-1.44					0.72	8.4	0.008333	-1.68	0.3	0				
	0.32	-0.26667		-0.5	0.06667	0.366667	0	14.5	-0.4	-1.44					0.48	8.4	0.008333	-1.92	0.283333	0				
	0.34	-0.28333		-0.5	0.06667	0.366667	0	14.5	-0.4	-1.44					0.48	8.4	-0.00833	-1.92	0.266667	0				
	0.36	-0.3		-0.5	0.06667	0.366667	0	14.5	-0.4	-1.44					0.48	8.16	-0.04167	-1.92	0.266667	0				
	0.38	-0.3		-0.51667	0.06667	0.366667	0	14.5	-0.4	-1.44					0.48	8.16	-0.075	-1.92	0.266667	0				
	0.4	-0.3		-0.53333	0.06667	0.383333	0	14.5	-0.4	-1.68					0.48	7.92	-0.1	-2.4	0.266667	0				
	0.42	-0.3		-0.53333	0.06667	0.4	0	14.5	-0.40833	-1.92					0.48	7.92	-0.13333	-2.4	0.266667	0				
	0.44	-0.3		-0.5	0.06667	0.4	0	14.5	-0.43333	-1.68					0.72	7.92	-0.13333	-2.4	0.266667	0				
	0.46	-0.3		-0.5	0.06667	0.4	0	14.5	-0.43333	-1.44					0.96	8.16	-0.125	-2.16	0.275	0				
	0.48	-0.3		-0.5	0.06667	0.4	0	14.5	-0.43333	-1.44					0.96	8.4	-0.1	-1.92	0.3	0				
	0.5	-0.28333		-0.5	0.06667	0.4	0.025	14.5	-0.43333	-1.44					0.72	8.16	-0.1	-1.92	0.3	0				



Slika 179. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=240cm, voz br.2, presek P14



Slika 180. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=240cm, voz br.2, presek E-E



Slika 181. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=240cm, voz br.2, presek P0

Komentar dijagrama sa ispitivanja praga B70, L=240 cm, na temperaturi od 8-10°C

Ponovljeni eksperiment pri temperaturi vazduha od 8-10°C je izvršen 30.10.2014.godine. U realnim ambijentalnim "in situ" uslovima eksploatacije prednapregnutog betonskog železničkog praga B70, L=240 cm, ugrađenog u kolosek pruge u pravcu, eksperimentalno su izmereni i mernim instrumentima snimljeni podaci o veličinama dilatacija u presecima P0, E-E i P14. U toku trajanja eksperimenta, zabeležen je prolazak 2 kompozicije (str. 171.) sa lokomotivama težine 80 i 78 tona.

Pregledom dobijenih dijagrama dilatacija/vreme dolazi se do sledećih zaključaka:

- U preseku P14 prednapregnutog betonskog železničkog praga L=240cm, pod opterećenjem bilo kojih od lokomotiva, zabeležene su dilatacije veoma niskih vrednosti (slike 176. i 179.) , manjih od 2,5 mikrodilatacija. Jasno su izražene maksimalne amplitude dilatacija u trenutku nailaska lokomotive što ukazuje na dobro stanje posteljice na ovoj deonici pruge.
- Na dijagramima za sva tri preseka (P14, E-E i P0) jasno se uočava harmonično stanje napona (slike 176.-181.) sa jasno izraženim amplitudama dilatacija i bez incidentnih stanja napona.
- U preseku P0, u sredini raspona praga, u oba slučaja prolaska kompozicija, nisu zabeležene dilatacije (slike 178. i 181.) veće od 15 mikrodilatacija [$\mu\text{m/m}$]. Harmonikum u grafiku, bez pojave bilo kakvih nepravilnosti, ukazuje na dobar prijem opterećenja i ravnomerno prenošenje istoga na podlogu.

2.3. Uporedna analiza grafikona dobijenih na osnovu izmerenih dilatacija u pragu L=240 pri realnom opterećenju u ambijentalnim letnjim i zimskim uslovima eksploatacije

U cilju sagledavanja uticaja temperature vazduha na ponašanje prednapregnutog betonskog praga B70 u eksploataciji, pri realnom opterećenju, izvršićemo uporednu analizu grafikona dobijenih ispitivanjem na visokim letnjim i niskim zimskim temperaturama.

Temperatura vazduha u hladu pri ispitivanju: 20-30°C - merenje 27.08.2014.godine

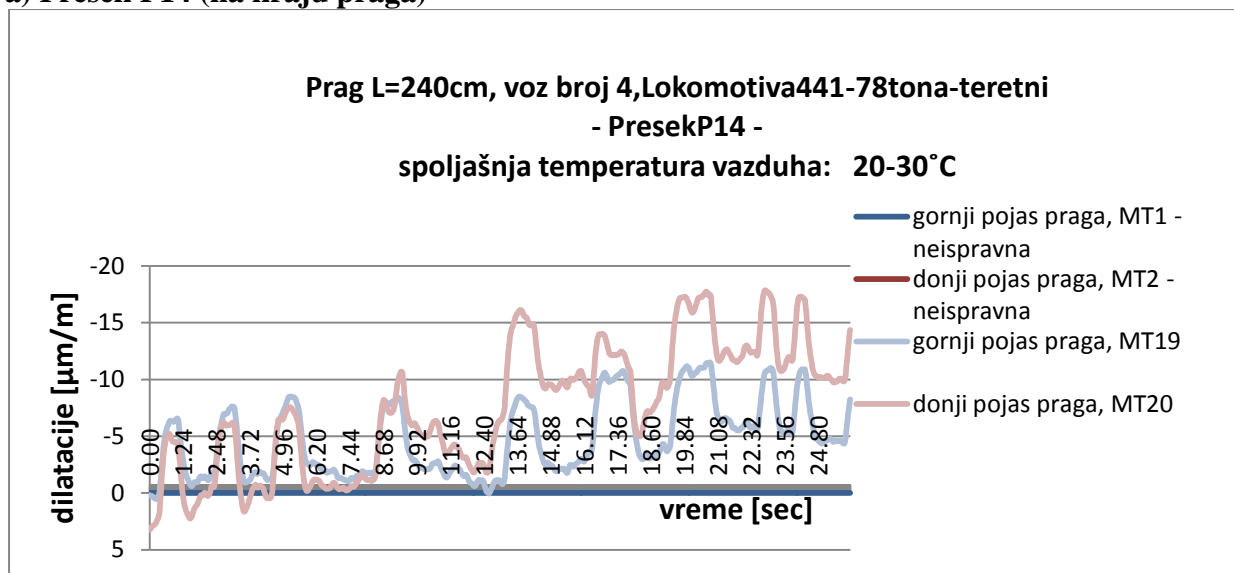
6-12°C - merenje 30.10.2014.godine

Temperatura pri ispitivanju na površini prednapregnutog betonskog praga:

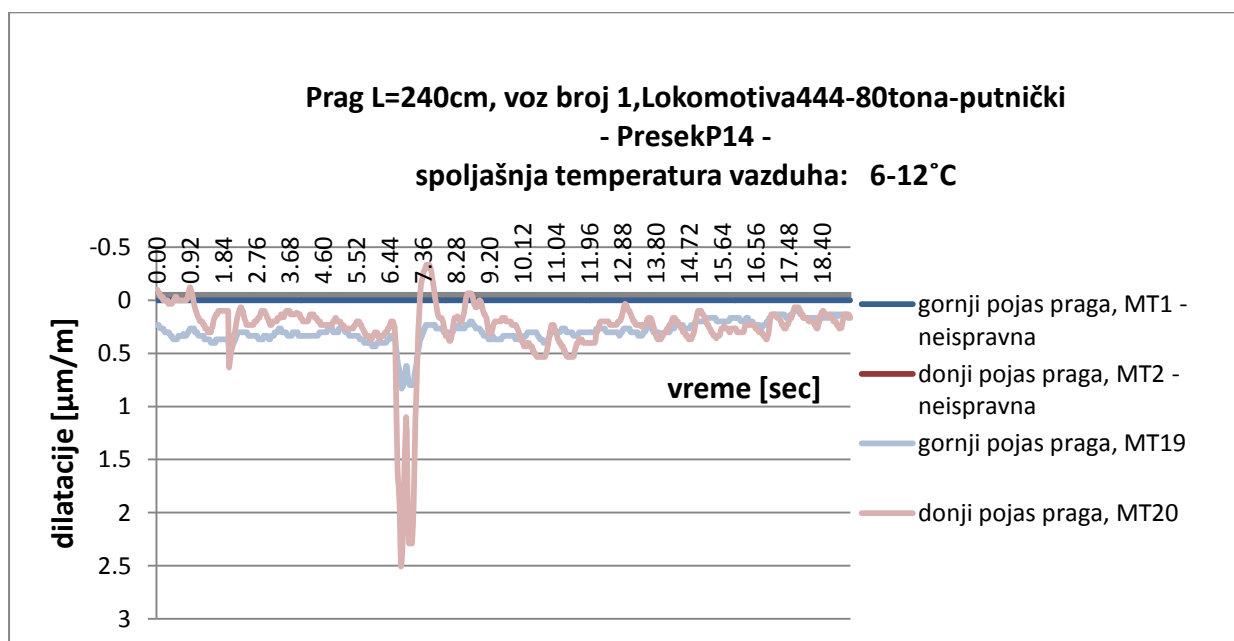
19,8-43,8°C- merenje 27.08.2014.godine

8-11°C- merenje 30.10.2014.godine

a) Presek P14 (na kraju praga)

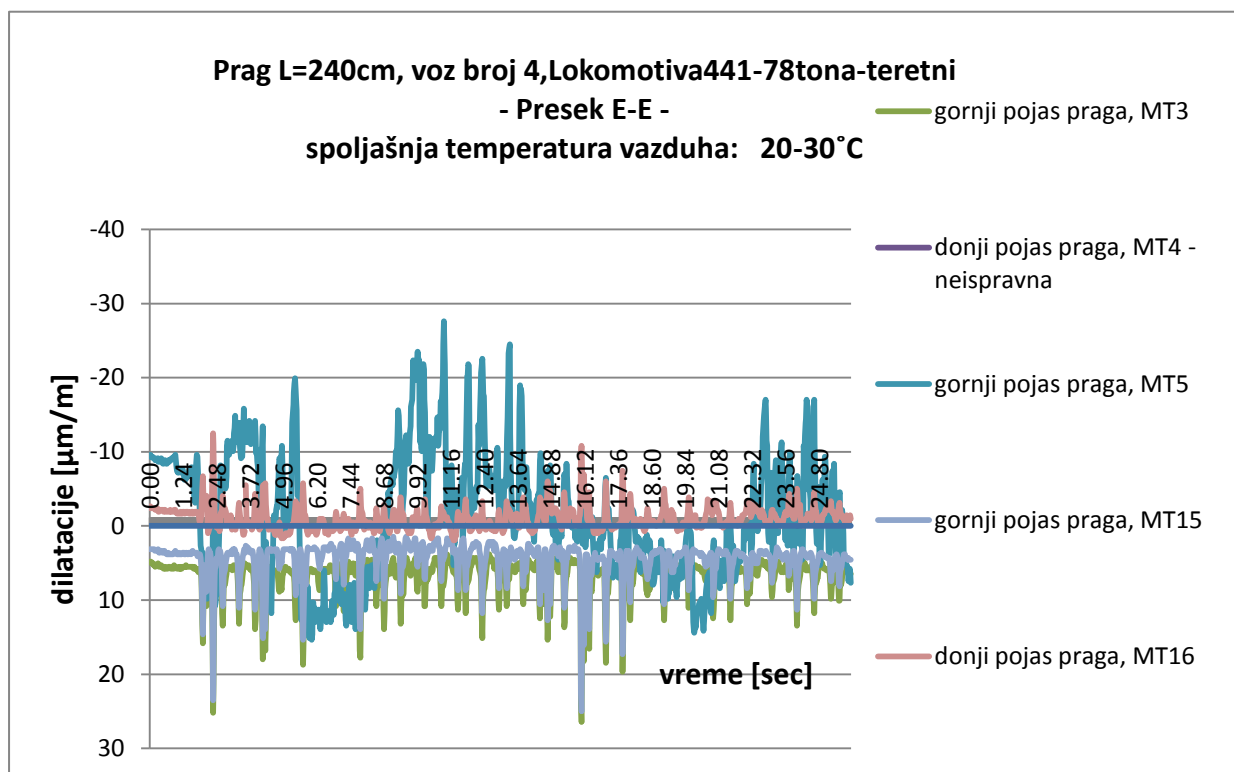


Slika 182. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=240cm, voz br.4, presek P14, 27.08.2014.god.

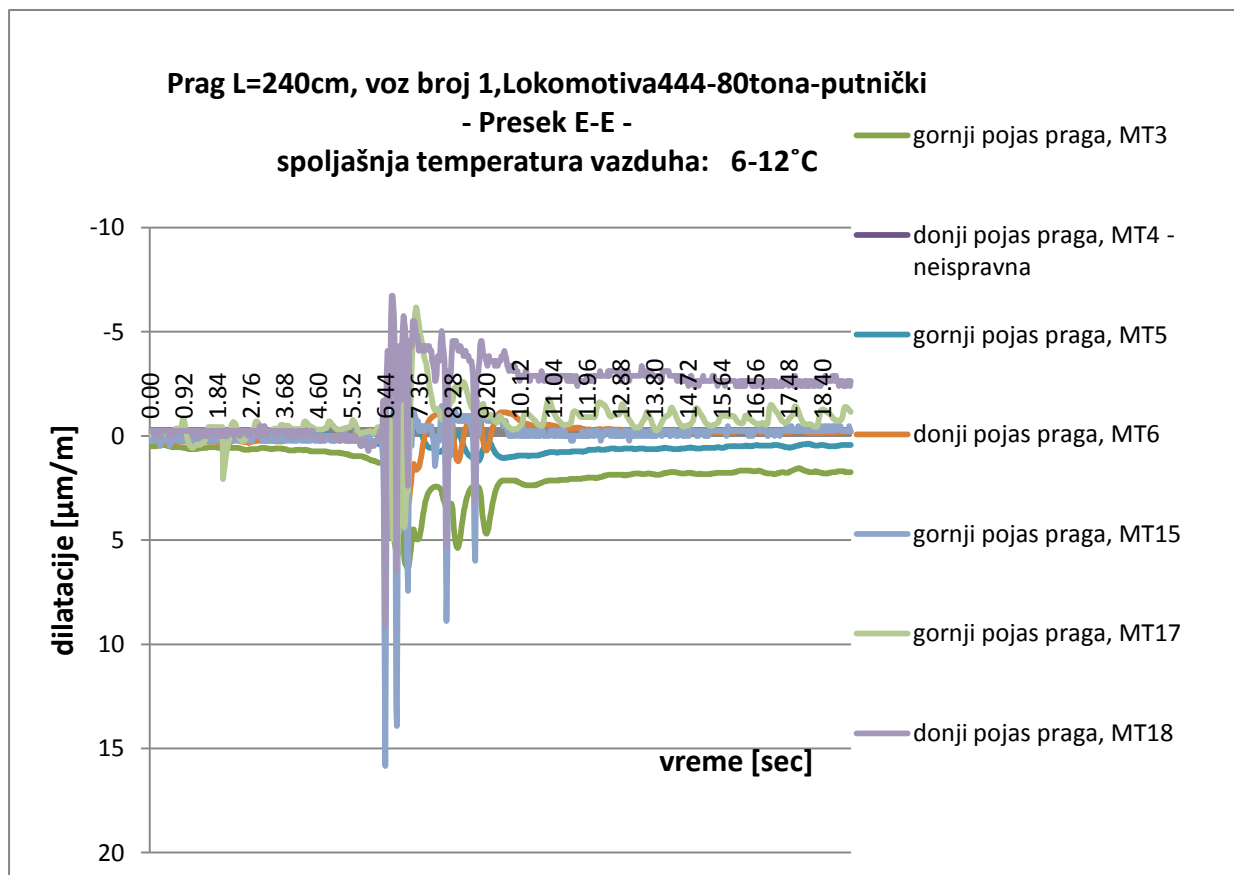


Slika 183. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=240cm, voz br.1, presek P14, 30.10.2014.god.

b) Presek E-E (na mestu naleganja šina)

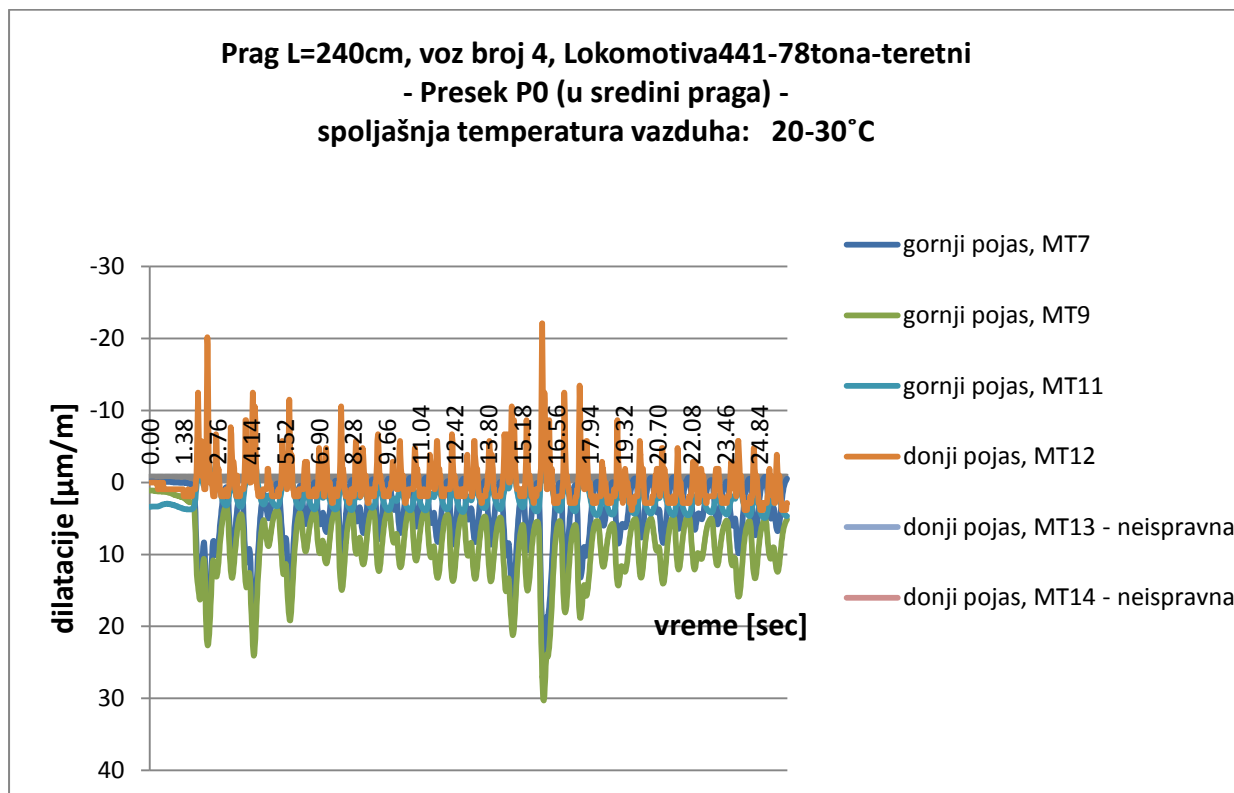


Slika 184. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=240cm, voz br.4, presek E-E, 27.08.2014.god.

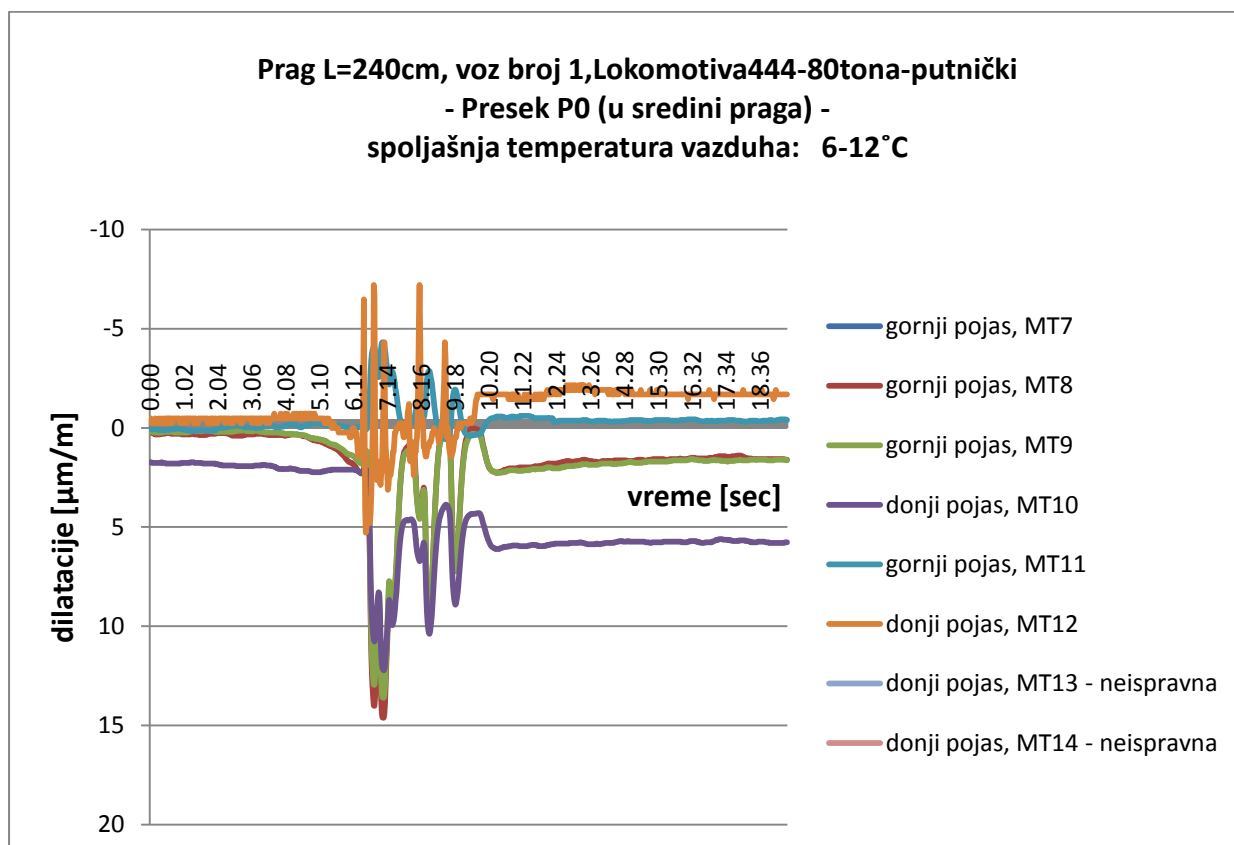


Slika 185. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=240cm, voz br.1, presek E-E, 30.10.2014.god.

c) Presek P0 (u sredini raspona praga)



Slika 186. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=240cm, voz br.4, presek P0, 27.08.2014.god.



Slika 187. Dijagram dilatacija/vreme, prag L=240cm, voz br.1, presek P0, 30.10.2014.god.

Komentar uporednih dijagrama sa ispitivanja praga B70, L=240 cm

Kao i u slučaju praga dužine 260cm, upoređivanjem dobijenih dijagrama dilatacija u pragu u određenom vremenskom intervalu, utvrđeno je da je uticaj temperature vazduha (uz ostale ambijentalne uslove) na ponašanje prednapregnutog betonskog praga B70, L=240 cm, u eksploataciji, pri realnom opterećenju, značajan. U cilju utvrđivanja veličine tog uticaja, izvršeno je prvo ispitivanje pri visokim (27.08.2014.god.) i drugo pri niskim temperaturama vazduha (30.10.2014.god.). Posmatrani su dijagrami (slike 182.-187.), dati po presecima u pragu dobijeni sa ova dva ispitivanja, za isto ili slično opterećenje, posle čega su doneti sledeći zaključci:

- Pri realnom opterećenju od lokomotive 441 teške 78 tona i lokomotive 444 teške 80 tona, u preseku P14, zabeležene su dilatacije (slika 182. i 183.) veoma malih vrednosti. Pri temperaturi vazduha od 35°C, zabeležene su dilatacije od maksimalnih 18 mikrodilatacija (slika 182.), dok su pri temperaturi vazduha od oko 10°C, zabeležene dilatacije od maksimalnih 2,5 mikrodilatacija (slika 183.). Ovo višestruko smanjenje dilatacija pri smanjenju temperature vazduha je sasvim jasan i dovoljan pokazatelj uticaja temperature vazduha na naponsko stanje prednapregnutih betonskih železničkih pragova.
- U preseku P14 praga B70 L=240cm se, pod realnim opterećenjem, u oba slučaja, javljaju incidentna stanja napona koja su znatno manjeg intenziteta nego što je to bio slučaj sa pragom dužine 260cm (slika 182. i 183). Ova činjenica ne ukazuje na dužinu praga kao uzrok smanjenja već ukazuje na to da su nepravilnosti u oslanjanju praga na podlogu ili nepravilnosti oblika šina manje izražene na mestu montaže praga dužine 240cm.
- U preseku E-E su zabeležene dilatacije (slike 184. i 185.) koje nisu veće od 28 mikrodilatacija i to pri visokim temperaturama vazduha. Pri niskim temperaturama, izmerene su dilatacije od 15 mikrodilatacija, što je značajno smanjena vrednost.
- Dakle, u svim presecima upoređivanih dijagrama, jasno je uočena pojava smanjenih dilatacija odnosno smanjenih napona u ambijentalnim uslovima eksploatacije pragova sa niskom temperaturom vazduha, čime je dokazan značajan uticaj temperaturnih promena na naponsko stanje prednapregnutih betonskih pragova.
- U preseku E-E, ispod šina, javlja se incidentni slučaj (slike 184.-187.) sa istim uzrocima koji su izazvali njegovu pojavu i u preseku P14. Najverovatniji uzrok incidentnog slučaja je neadekvatna posteljica i prevelike vibracije i vertikalno pomeranje koloseka i praga.
- U preseku P0, u sredini raspona, u svim vremenskim uslovima, nisu zabeležene dilatacije (slike 186. i 187..) veće od 20 mikrodilatacija [$\mu\text{m/m}$]. Harmonikum u grafiku, bez pojave bilo kakvih nepravilnosti, ukazuje na dobar prijem opterećenja i ravnomerno prenošenje istoga na podlogu, za razliku od stanja podloge ispod preseka P15 i S-S.
- I u preseku P0 praga B70, L=240 cm, evidentno je smanjenje veličine dilatacija u pragu pri hladnijem vremenu i nižim temperaturama vazduha.

2.4. Kontrola dobijenih napona u pragu L=240 cm pri realnom opterećenju u ambijentalnim uslovima eksploatacije

Kao i kod praga dužine 260cm, i u ovom slučaju, zbog kompleksnosti problema određivanja napona iz izmerenih dilatacija a zbog nemogućnosti pouzdanog i tačnog određivanja modula elastičnosti ugrađenog prednapregnutog betonskog praga, ovakva kontrola dobijenih napona nije pouzdana. I pored toga, ovde je navodimo ali isključivo zbog orijentacionog sagledavanja i procene ponašanja praga pri realnom ambijentalnom opterećenju.

Temperatura vazduha u hladu pri ispitivanju: 20-35°C

Temperatura pri ispitivanju na površini prednapregnutog betonskog praga: 19,8-43,8°C

a) Presek P14 (na kraju praga)

Ukupan napon u donjem vlaknu (za izmerenu maksimalnu vrednost dilatacije uzimajući u obzir svih 5 snimljenih nailazaka vozova):

$$\sigma_d = E_b \times \epsilon = 41379,00 \text{ MPa} \times (-14,47) \frac{\mu m}{m} \times 10^{-5} = -5,98 \text{ MPa} < f_{zs} = -6.5 \text{ MPa}$$

Ukupan napon u gornjem vlaknu (za izmerenu maksimalnu vrednost dilatacije uzimajući u obzir svih 5 snimljenih nailazaka vozova):

$$\sigma_g = E_b \times \epsilon = 41379,00 \text{ MPa} \times -4,58 \frac{\mu m}{m} \times 10^{-5} = -1,90 \text{ MPa} < \sigma_r = 19.10 \text{ MPa}$$

b) Presek S-S (na mestu naleganja šina)

Ukupan napon u donjem vlaknu (za izmerenu maksimalnu vrednost dilatacije uzimajući u obzir svih 5 snimljenih nailazaka vozova):

$$\sigma_d = E_b \times \epsilon = 41379,00 \text{ MPa} \times (-17,21) \frac{\mu m}{m} \times 10^{-5} = -7,12 \text{ MPa} > f_{zs} = -6.5 \text{ MPa}$$

Ukupan napon u gornjem vlaknu (za izmerenu maksimalnu vrednost dilatacije uzimajući u obzir svih 5 snimljenih nailazaka vozova):

$$\sigma_g = E_b \times \epsilon = 41379,00 \text{ MPa} \times 38,16 \frac{\mu m}{m} \times 10^{-5} = 15,79 \text{ MPa} < \sigma_r = 19.10 \text{ MPa}$$

c) Presek P0 (u sredini raspona praga)

Ukupan napon u donjem vlaknu (za izmerenu maksimalnu vrednost dilatacije uzimajući u obzir svih 5 snimljenih nailazaka vozova):

$$\sigma_d = E_b \times \epsilon = 41379,00 \text{ MPa} \times -22,08 \frac{\mu m}{m} \times 10^{-5} = \underline{9,14 \text{ MPa}} > f_{zs} = -6.5 \text{ MPa}$$

Ukupan napon u gornjem vlaknu (za izmerenu maksimalnu vrednost dilatacije uzimajući u obzir svih 5 snimljenih nailazaka vozova):

$$\sigma_g = E_b \times \epsilon = 41379,00 \text{ MPa} \times 29,03 \frac{\mu m}{m} \times 10^{-5} = 12,01 \text{ MPa} < \sigma_r = 19.10 \text{ MPa}$$

2.5. Zaključak o stanju ugrađenog prednapregnutog betonskog praga B70, L=240cm, opterećenim realnim opterećenjem u zimskim i letnjim ambijentalnim uslovima

Kao i u slučaju praga B70 L=260cm, i kod praga B70 L=240cm, je na osnovu izmerenih i mernim instrumentima zabeleženih dilatacija u presecima P0, E-E i P14 eksperimentalno ugrađenog praga u kolosek pruge, u neposrednoj blizini fabrike betona u Stalaču, kontrolom dobijenih napona utvrđeno da su naponi u navedenim presecima u granicama dozvoljenih sa značajnim koeficijentom sigurnosti.

I u ovom slučaju, brzina kretanja lokomotive predstavlja veoma važan faktor koji utiče na način preraspodele opterećenja i na intenzitet vertikalne komponente opterećenja na šine i prag. Stoga, i u slučaju praga L=240cm, posebnu pažnju treba posvetiti ispitivanju uticaja brzine kretanja lokomotive na prednapregnuti betonski prag u eksploataciji.

Spoljašnja temperatura vazduha značajno utiče na sve elemente koloseka. Analizom grafika trenutnih dilatacija u prednapregnutom betonskom pragu u trenutku nanošenja eksploatacionog opterećenja u ambijentalnim uslovima pri visokim i niskim temperaturama vazduha, jasno se zaključuje da su dilatacije značajno smanjene u hladnom periodu. Temperatura i vlažnost vazduha utiču na termičku dilataciju odnosno skupljanje i promenu vrednosti modula elastičnosti šina, pričvrstnog pribora, betona, žica za prednaprezanje, posteljice...

Detaljnim pregledom ugrađenog prednapregnutog betonskog praga posle merenja dilatacija u toku delovanja eksploatacionog opterećenja, nisu primećene bilo kakve prsline na površini praga. Treba napomenuti i podatak da je prag ugrađen u kolosek 24.07.2014.godine i da se do 27.08.2014.godine, kada je izvršeno prvo merenje dilatacija pod eksploatacionim opterećenjem, prag nalazio u eksploataciji već punih 35 dana. Na pragu, dakle, nema uočenih oštećenja površine niti ima zaostalih prslina. Do dana drugog ispitivanja, 30.10.2014. godine, ispitivani prag je bio u eksploataciji već preko 3 meseca.

Zaključak na osnovu vizuelnog pregleda i analize dobijenih dijagrama dilatacija u karakterističnim presecima praga izloženom realnom opterećenju u ambijentalnim uslovima je da je prag u potpunosti spreman da prihvati i na podlogu prenese projektovano opterećenje.

I za ovaj ispitivani prag dužine 240cm važi predlog da se za budući rad u cilju još detaljnijeg utvrđivanja ponašanja praga pod eksploatacionim opterećenjem odabere ispitivanje koje će podrazumevati sačinjavanje video snimka visoke rezolucije i to u trenutku prolaska voza a u cilju utvrđivanja eventualne pojave prslina koje ne zaostaju posle rasterećenja (F_{rr}) jer vizuelnim pregledom posle prolaska voza nisu uočene prsline koje ostaju i posle rasterećenja ($F_{r0,05}$, $F_{r0,5}$), kao i ispitivanje uticaja brzine kretanja lokomotive na prednapregnuti betonski prag u eksploataciji.

XII UPOREDNA ANALIZA REZULTATA AMBIJENTALNOG ISPITIVANJA I REZULTATA LABORATORIJSKOG ZAMORNOG I EKSPLOATACIONOG ISPITIVANJA PREDNAPREGNUTIH BETONSKIH ŽELEZNIČKIH PRAGOVA

Za konačnu procenu ponašanja i utvrđivanje kapaciteta nosivosti prednapregnutih betonskih železničkih pragova, neophodno je izvršiti uporednu analizu rezultata dobijenih ispitivanjem pragova u laboratorijskim uslovima sa rezultatima dobijenim laboratorijskim ispitivanjem nakon dejstva zamornog opterećenja u realnim ambijentalnim uslovima eksploatacije (eksploataciono ispitivanje) kao i sa rezultatima dobijenim ispitivanjem u "in situ" ambijentalnim uslovima pri realnom opterećenju (ispitivanje ponašanja praga u trenutku nanošenja realnog opterećenja tj. nailaska kompozicije voza sa karakterističnom lokomotivom).

Najbliže realnim ambijentalnim uslovima opterećenja železničkih pragova, od svih izvršenih laboratorijskih ispitivanja, jeste ispitivanje na zamorno opterećenje pa je, kao takvo, najrelevantnije za poređenje. Ovo ispitivanje podrazumeva statičko ispitivanje pre i posle podvrgavanja prednapregnutog betonskog železničkog praga zamornom opterećenju.

Na kraju postupka zamornog i eksploatacionog ispitivanja, merenjem su dobijene vrednosti sila $F_{r0,05}$ i F_{rB} koje su u granicama dozvoljenih vrednosti za slučaj dejstva statičkog opterećenja na prag posle izlaganja praga zamornom opterećenju kao i posle izlaganja eksploatacionom ambijentalnom opterećenju, što su pokazale i vrednosti globalnih statičkih koeficijenata sigurnosti koje su veće od zahtevanih vrednosti:

$$\begin{aligned} (k_{1s,sr}^{zamorno\ opterećenje} = 1,887) &< (k_{1s,sr}^{eksploataciono\ opterećenje} = 2,25) > \mathbf{1,80} \\ (k_{2s,sr}^{zamorno\ opterećenje} = 2,772) &> (k_{2s,sr}^{eksploataciono\ opterećenje} = 2,75) > \mathbf{2,50} \end{aligned}$$

Sprovedenim ispitivanjima je jasno pokazano da postoji značajna rezerva u kapacitetu nosivosti prednapregnutih betonskih železničkih pragova jer su globalni statički koeficijenti sigurnosti k_{1s} i k_{2s} znatno iznad zahtevanih vrednosti.

Što se tiče rezultata dobijenih u postupku zamornog i eksploatacionog ispitivanja, posle upoređivanja, jasno je zaključiti da su oni približnih vrednosti, posebno kada se radi o kapacitetu nosivosti pragova pri maksimalnom intenzitetu opterećenja, pri sili F_{rB} .

Za razliku od relativno jednostavnog upoređivanja rezultata zamornog i eksperimentalnog ispitivanja, upoređivanje zamornog i ispitivanja u realnim uslovima eksploatacije odnosno ponašanja praga u trenutku nanošenja realnog opterećenja u ambijentalnim uslovima eksploatacije je puno kompleksniji problem. Naime, pri ambijentalnom ispitivanju, gotovo je nemoguće dostići da prag pretrpi 2.000.000 ciklusa opterećenja da bi dobijeni rezultati bili uporedivi.

Takođe, u slušaju demontaže pragova prethodno izloženim ambijentalnom ispitivanju i njihovom podvrgavanju laboratorijskom statičkom ispitivanju, mogli bi odrediti sile $F_{r0,05}$ i F_{rB} i globalne statičke koeficijente sigurnosti k_{1s} i k_{2s} koje bi mogli uporediti sa vrednostima dobijenim pri zamornom ispitivanju, ali, tada se radi o podvrgavanju pragova ekstremnim uslovima a ne realnim ambijentalnim uslovima eksploatacije što nam nije cilj.

XIII ISPITIVANJE PREDNAPREGNUTIH BETONSKIH SKRETNIČKIH PRAGOVA NA UTICAJ STATIČKOG I DINAMIČKOG OPTEREĆENJA DO LOMA (OPCIONO)

Prednapregnuti betonski skretnički pragovi[8] su relativno novi proizvod fabrike pragova iz Stalaća koja je u vlasništvu preduzeća "Putevi" iz Užica. U cilju prijema pragova u eksploataciju, neophodno je izvršiti ispitivanja prema odredbama Uputstava železnice [7][8].

Obavezno ispitivanje za dokaz projekta jeste ispitivanje ponašanja pri statičkom opterećenju i ispitivanje ponašanja pragova na zamor. Dinamičko ispitivanje je opciono i vrši se isključivo na zahtev kupca.

Statičko ispitivanje se vrši za pozitivni i negativni moment savijanja, za preseke na mestu naleganja šine i za sredinu raspona, u normalnom i obrnutom položaju. Na jednom pragu se može izvršiti samo jedno ispitivanje. Za statičko ispitivanje je potrebno najmanje 6 pragova, za presek na mestu oslanjanja šine, za presek u sredini praga u normalnom i za isti presek u obrnutom položaju, po dva praga[41].

Ispitivanje na zamor se vrši na pragu maksimalne dužine do 3,0m.

1. ISPITIVANJE PREDNAPREGNUTIH BETONSKIH SKRETNIČKIH PRAGOVA NA UTICAJ STATIČKOG OPTEREĆENJA [41]

1.1. Presek na mestu oslanjanja šine

Tabela T27. Rezultati statičkog ispitivanja skretničkog praga za presek na mestu oslanjanja šine

Sila ispitivanja / opterećenje [kN]		OPTEREĆENJE NA MESTU NALEGANJA ŠINE - pozitivni projektni momenat na mestu naleganja šine Ispitivanje 08.02.2014.							
		SP-I/1 L=2,6m	SP-I/2 L=3,4m	SP-I/3 L=4,0m	SP-II/1 L=2,6m	SP-5 L=3,4m	SP-6 L=4,0m	K _{xs, sr}	K _{xs, doz}
STATIČKO ISPITIVANJE	F _{b0}	132,50	132,50	132,50	132,50	132,50	132,50		
	F _{br}	195,00	205	225	185	215	240		
	F _{b 0,05}	365	380	360		365	345		
	F _{b 0,5}	405	0	460	380	460			
	F _{bB}	614	650	480	450	550	530	K _{xs, sr}	K _{xs, doz}
	k _{b1S}	2,754	2,86	2,86	2,603	2,75	2,603	2,736	1,80
	k _{b2S}	4,64	4,90	3,62	3,39	4,15	4,0	4,116	2,50

F_{b0} - Početno pozitivno opterećenje ispitivanja skretničkog praga[kN],

F_{b0n} - Početno negativno opterećenje ispitivanja skretničkog praga[kN],

1.2. Presek u sredini raspona, za pozitivan moment. Prag u normalnom položaju.

Tabela T28. Rezultati statičkog ispitivanja skretničkog praga za presek u sredini raspona

Sila ispitivanja / opterećenje [kN]	NEGATIVNI PROJEKTNII MOMENAT - prag u obrnutom položaju - Opterećenje je u sredini raspona praga		
	Skretnički prag (L=4,00m) 15.02.2014	Skretnički prag (L=3,40m) 15.02.2014	Skretnički prag (L=2,60m) 15.02.2014
$F_{con,n}$			
$F_{bon} = F_{con}$	113,71	113,71	113,71
$F_{bon} = F_{con}$	117	116,50	118
$F_{bBn} = F_{cBn}$	125	119	125
$F_{crn} > F_{con}$	117,0>113,71	116,50>113,71	118>113,71

1.3. Presek u sredini raspona, za negativan moment. Prag u obrnutom položaju.

Tabela T29. Rezultati statičkog ispitivanja skretničkog praga za presek u sredini raspona

Sila ispitivanja / opterećenje [kN]	POZITIVNI PROJEKTNII MOMENAT - prag u normalnom položaju - Opterećenje je u sredini raspona praga		
	Skretnički prag (L= 2,60m) 15.02.2014.	Skretnički prag (L=3,40m) 15.02.2014.	Skretnički prag (L=4,00m) 15.02.2014
$F_{bo,n} = F_{co,n}$	5,0	5,0	5,0
$F_{bo} = F_{co}$	56,85	56,85	56,85
$F_{br} = F_{cr}$	75	70	75,00
$F_{bBn} = F_{cBn}$	115	120	100
$F_{b,0,05n} = F_{r,0,05}$			
$F_{cr} > F_{co}$	75,0> 56,85	70,0> 56,85	75,0> 56,8

2. ISPITIVANJE PREDNAPREGNUTIH BETONSKIH SKRETNIČKIH PRAGOVA NA UTICAJ DINAMIČKOG OPTEREĆENJA DO LOMA-OPCIONO ISPITIVANJE [22]

(sa dinamičkim ispitivanjem prednapregnutog betonskog praga B70 radi uporedne analize)

A) Predmet ispitivanja

Cilj ispitivanja je da se verifikuje nosivost pragova i to dva tipa:

1. Prednapr. bet. pragovi za skretnice različitih dužina (2.6, 3.4 i 4.0 m) i,
 2. Obični prednapregnuti betonski pragovi za prugu u pravcu tipa B70, za normalni kolosek.
- Program i tok ispitivanja je načinjen prema specifikaciji projektanta.

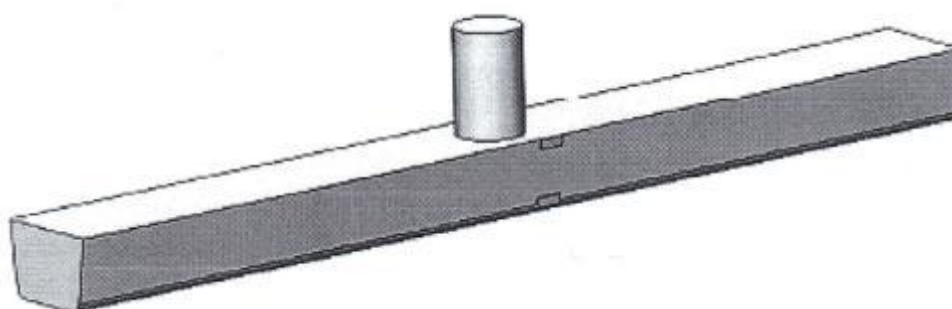
B) Podaci o uzorcima za ispitivanje

Naručilac ispitivanja je dostavio program ispitivanja i 8 uzoraka pragova obeleženih sa SP-x (skretnički pragovi) i PB70-x (pragovi za prugu u pravcu). Prema zahtevu naručioca, treba izvršiti ispitivanje ponašanja uzoraka pod opterećenjem od minimalne sile do sile koja izaziva lom. Ispitivanje se vrši od minimalne sile do definisane sile u tri ciklusa a zatim se vrši rasterećenje. Minimalna sila je određena od strane projektanta i iznosi 50 kN za pozitivno (normalno) opterećenje i 5kN za negativno opterećenje praga. Tok ispitivanja pozitivnog

opterećenja (prag u normalnom položaju) je definisan standardom za ispitivanje betonskih pragova dok je tok ispitivanja negativnog momenta (obrnut položaj praga) proizvod analogije koju je postavio prof.dr Dragoljub Drenić. Na slikama 1 i 2 su prikazani načini povezivanja mernih traka prema zahtevu projektanta.



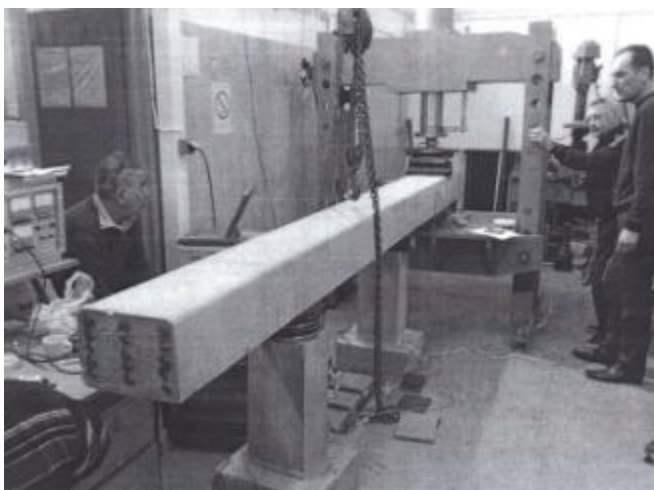
Slika 188. Prag u normalnom položaju - pozitivni moment



Slika 189. Prag u obrnutom položaju - negativni moment

C) Ispitivanje uticaja dinamičke sile do loma uzoraka [53]

Svaki ispitivani uzorak je opterećen silom preko postavljenog sistema za raspodeljivanje sile a prag je oslonjen preko prihvatnog nosača (slika 190). Hidraulični cilindar ostvaruje silu preko merne ćelije sile C6 500 kN proizvođača Hotinger Balidwin Messtechnik (HBM) na računaru Apple McIntosh 520c pomoću softvera BEAM ver 3.1 proizvođača Hotinger Balidwin Messtechnik (HBM).



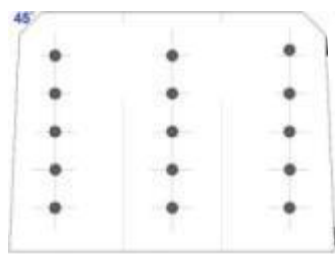
Slika 190. Načini oslanjanja i opterećenja praga



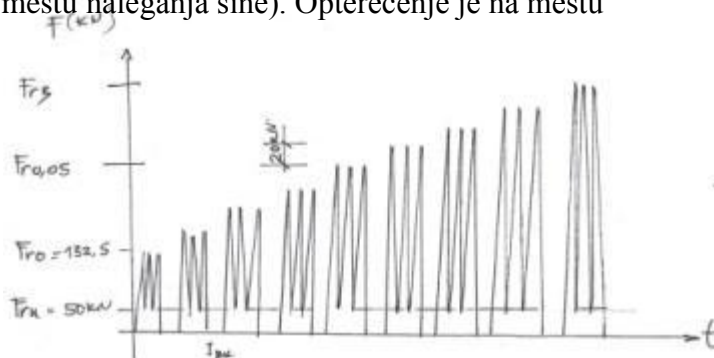
Slika 191. Merna oprema

D) Rezultati i grafički prikaz rezultata merenja

1. Skretnički prag SP-1 (L= 2,60m): Dinamičko ispitivanje [51] preseka na mestu oslanjanja šine -(pozitivni projektni momenat na mestu naleganja šine). Opterećenje je na mestu naleganja šine.



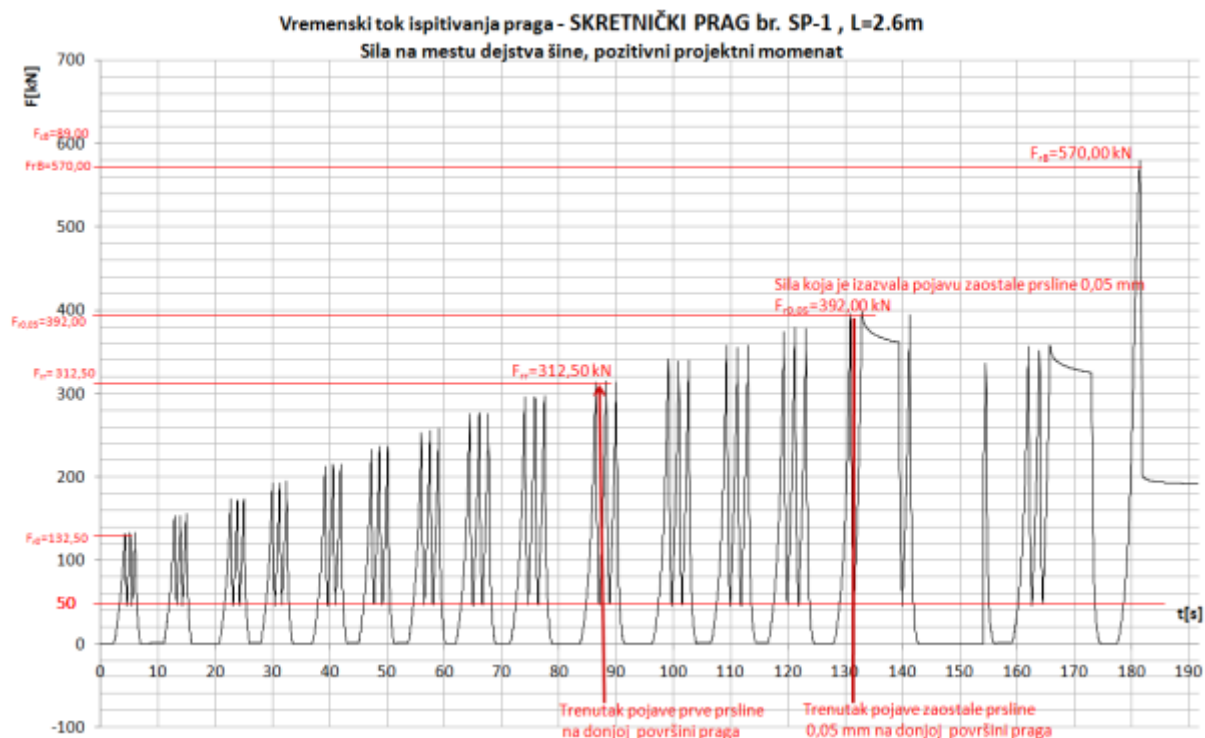
Sl.192. Mesto postavljanja mernih traka



Sl.193. Šema nanošenja dinamičkog opterećenja

Računska početna sila ispitivanja preseka skretničkog praga za pozitivan momenat na mestu naleganja šine:

$$F_{r0} = 4 \frac{M_{dr}}{L_r - 0,1} = 4 \frac{16,58}{1,5 - 0,1} = 132,64 \text{ kN}$$



Slika 194. Vremenski tok dinamičkog ispitivanja skretničkog praga SP-1 sa karakterističnim silama i prirastom u vremenu

Rezultati merenja na presi:

$$F_{r0} = 132,50 \text{ kN}$$

$$F_r = 312,50 \text{ kN}$$

$$F_{r0,05} = 392,00 \text{ kN}$$

$$F_{RB} = 570 \text{ kN}$$

Rezultati merenja ultrazvukom:

$$t_1 = 2890 \text{ } \mu\text{sec}$$

$$t_2 = 1104 \text{ } \mu\text{sec}$$

$$t_3 = 2810 \text{ } \mu\text{sec}$$

$$V_1 = 260 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 260 \text{ m/s}$$

$$V_3 = 260 \text{ m/s}$$

$$\sigma_1 = 61,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = 61,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3 = 61,8 \text{ MPa}$$

$$E_{d1} = 39,5 \text{ GPa}$$

$$E_{d2} = 39,2 \text{ GPa}$$

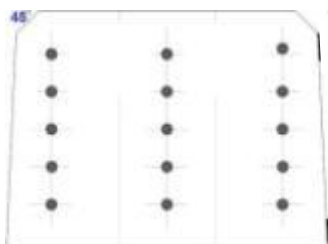
$$E_{d3} = 37,4 \text{ GPa}$$

$$k_{1d} = \frac{F_{r0,05}}{F_{r0}} = \frac{392,00}{132,64} = 2,955$$

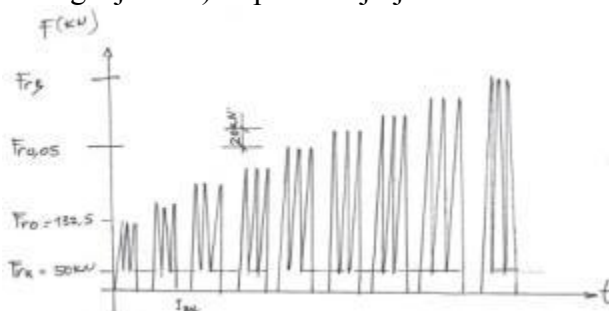
$$k_{2d} = \frac{F_{RB}}{F_{r0}} = \frac{570,00}{132,64} = 4,297$$

Ultrazvukom je izmerena čvrstoća betona veća od projektom zahtevane od 60 MPa.

2. Skretnički prag SP-2 (L= 3,40m): Dinamičko ispitivanje preseka na mestu oslanjanja šine - (pozitivni projektni momenat na mestu naleganja šine). Opterećenje je na mestu naleganja šine.



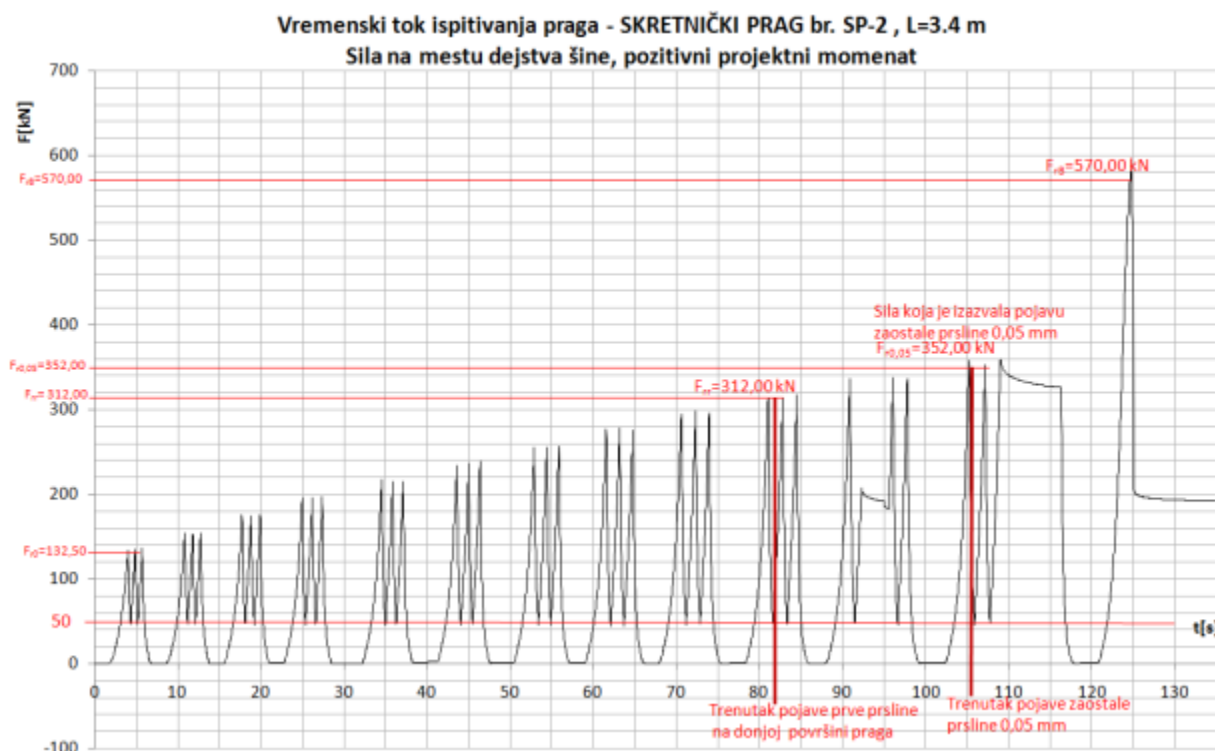
Sl.195. Mesto postavljanja mernih traka



Sl.196. Šema nanošenja dinamičkog opterećenja

Računska početna sila ispitivanja preseka skretničkog praga za pozitivan momenat na mestu naleganja šine:

$$F_{r0} = 4 \frac{M_{dr}}{L_r - 0,1} = 4 \frac{16,58}{1,5 - 0,1} = 132,64 \text{ kN}$$



Slika 197. Vremenski tok dinamičkog ispitivanja skretničkog praga SP-2 (sila-vreme)

Rezultati merenja na presi:

$$F_{r0} = 132,50 \text{ kN}$$

$$F_{rr} = 312,00 \text{ kN}$$

$$F_{r0,05} = 352,00 \text{ kN}$$

$$F_{rB} = 570 \text{ kN}$$

Rezultati merenja ultrazvukom:

$$t_1 = 1447 \text{ } \mu\text{sec}$$

$$t_2 = 1104 \text{ } \mu\text{sec}$$

$$t_3 = 2810 \text{ } \mu\text{sec}$$

$$V_1 = 606 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 260 \text{ m/s}$$

$$V_3 = 260 \text{ m/s}$$

$$\sigma_1 = 62,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = 61,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3 = 61,8 \text{ MPa}$$

$$E_{d1} = 39,1 \text{ GPa}$$

$$E_{d2} = 38,8 \text{ GPa}$$

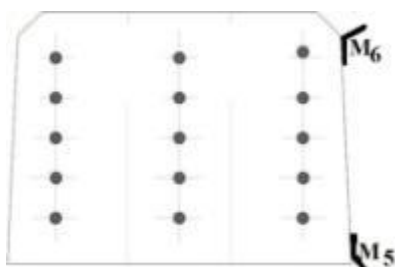
$$E_{d3} = 37,9 \text{ GPa}$$

$$k_{1d} = \frac{F_{r0,05}}{F_{r0}} = \frac{352,00}{132,64} = 2,654$$

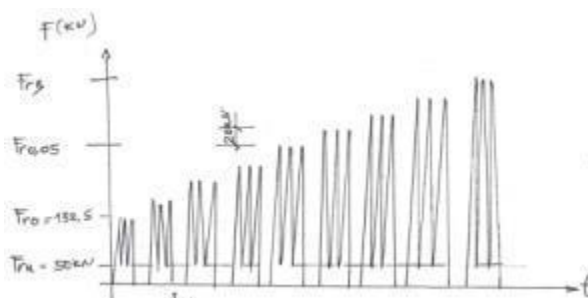
$$k_{2d} = \frac{F_{rB}}{F_{r0}} = \frac{570,00}{132,64} = 4,297$$

Ultrazvukom je izmerena čvrstoća betona veća od projektom zahtevane od 60 MPa.

3. Skretnički prag SP-4 (L= 4,00m): Dinamičko ispitivanje preseka na mestu oslanjanja šine - (pozitivni projektni momenat na mestu naleganja šine). Opterećenje je na mestu naleganja šine.



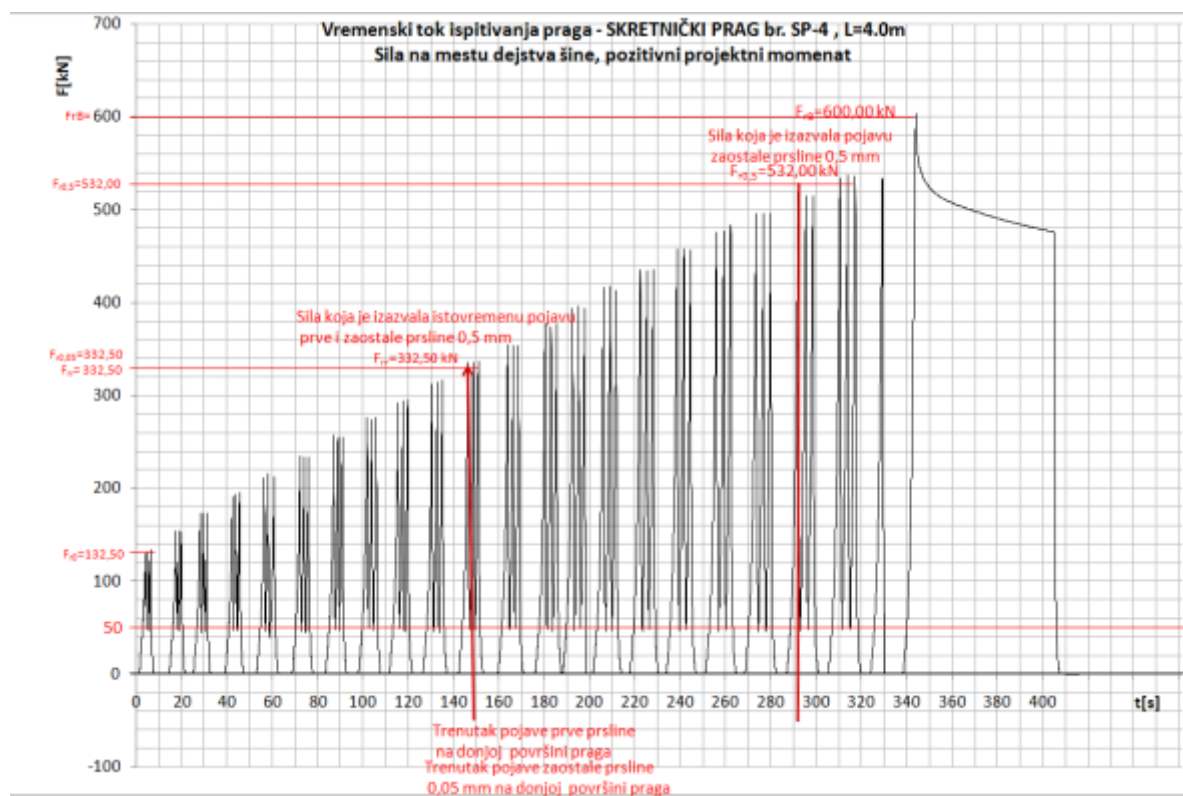
Sl.198. Mesto postavljanja mernih traka



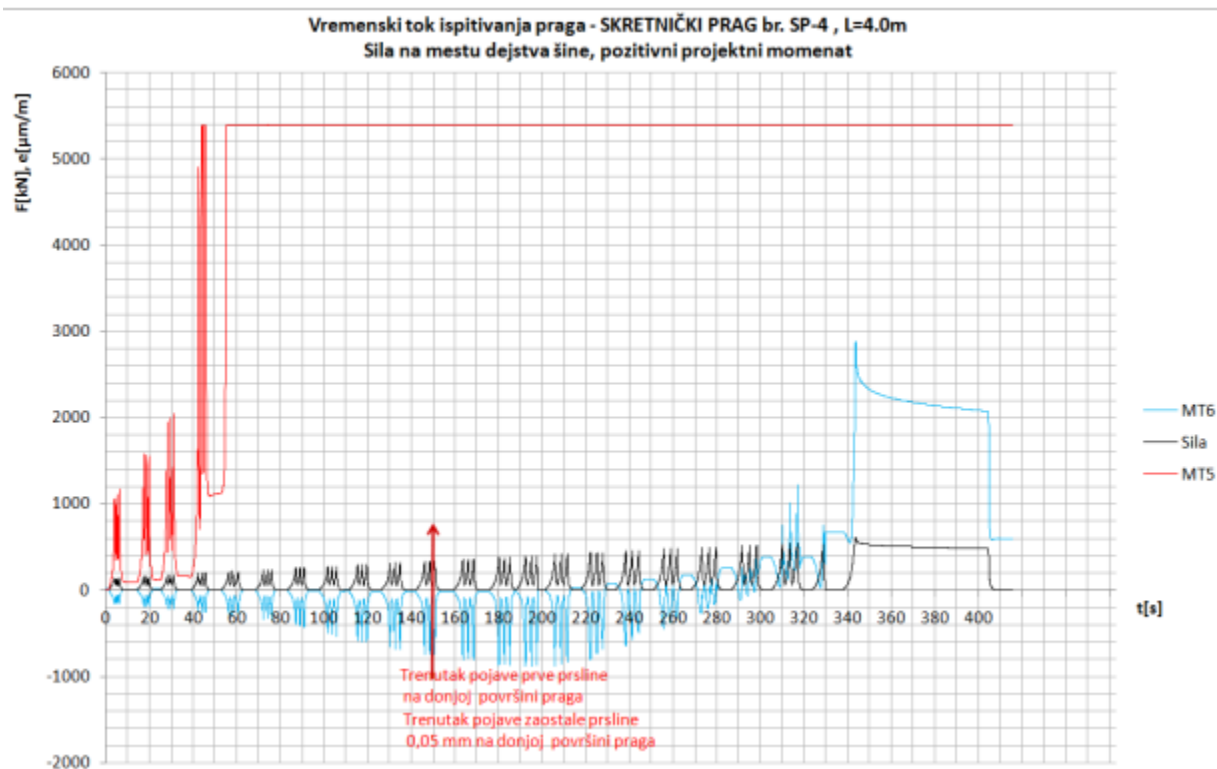
Sl.199. Šema nanošenja dinamičkog opterećenja

Računska početna sila ispitivanja preseka skretničkog praga za pozitivan momenat na mestu naleganja šine:

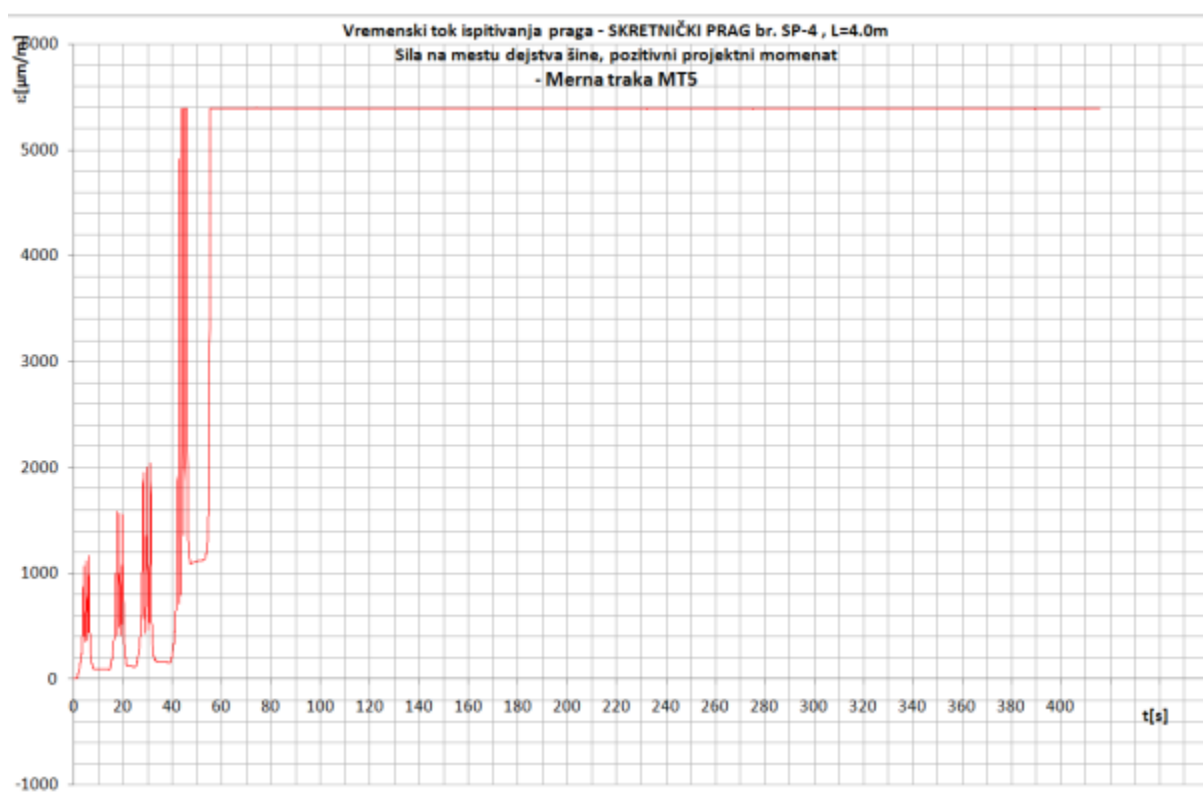
$$F_{r0} = 4 \frac{M_{dr}}{L_r - 0,1} = 4 \frac{16,58}{1,5 - 0,1} = 132,64 \text{ kN}$$



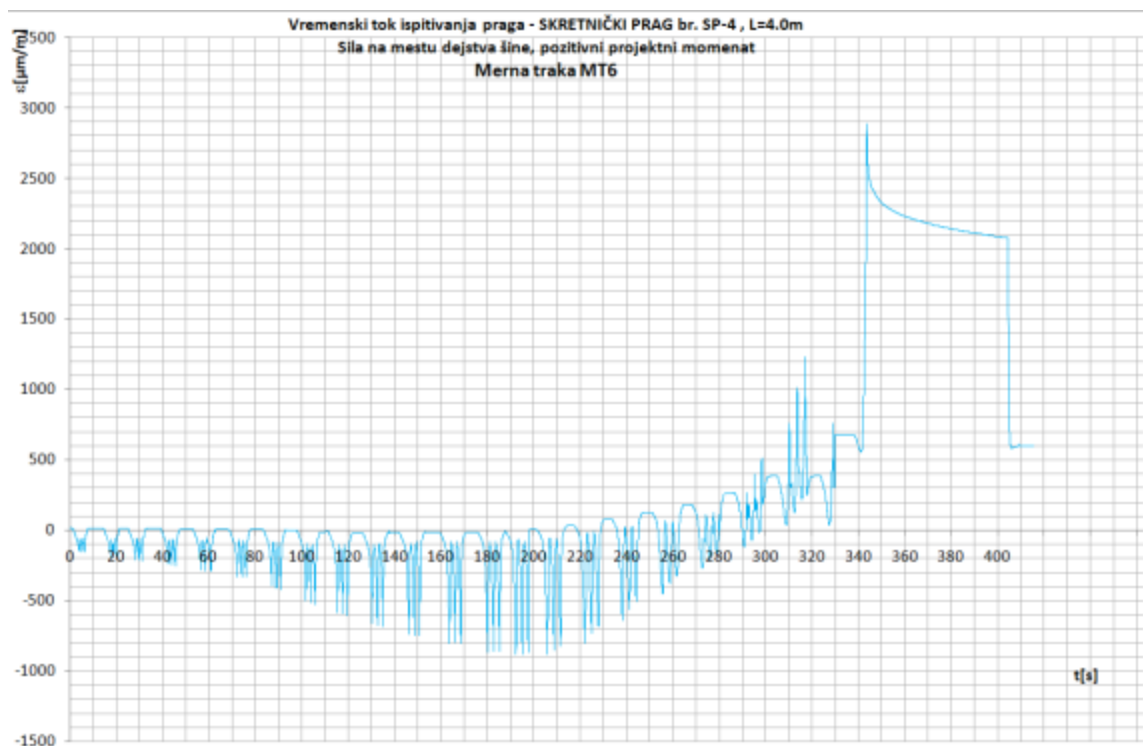
Slika 200. Vremenski tok promene sile u toku dinamičkog ispitivanja skretničkog praga SP-4, sila je na mestu dejstva šine



Slika 201. Vremenski tok dinamičkog ispitivanja skretničkog praga SP-4 (sila, dilatacija, vreme), sila je na mestu naleganja šine, merne trake MT5 i MT6



Slika 202. Vremenski tok povećanja dilatacija usled dinamičkog ispitivanja skretničkog praga SP-4, sila je na mestu naleganja šine, merna traka MT5



Slika 203. Vremenski tok promene dilatacija usled dinamičkog ispitivanja skretničkog praga SP-4, sila je na mestu naleganja šine, MT6

Rezultati merenja na presi:

$$F_{r0} = 132,50 \text{ kN}$$

$$F_{rr} = 332,50 \text{ kN}$$

$$F_{r0,05} = 332,50 \text{ kN}$$

$$F_{rB} = 600 \text{ kN}$$

Rezultati merenja ultrazvukom:

$$t_1 = 3250 \text{ μsec} \quad t_2 = 3490 \text{ μsec} \quad t_3 = 3150 \text{ μsec}$$

$$V_1 = 260 \text{ m/s} \quad V_2 = 658 \text{ m/s} \quad V_3 = 189 \text{ m/s}$$

$$\sigma_1 = 61,2 \text{ MPa} \quad \sigma_2 = 59,5 \text{ MPa} \quad \sigma_3 = 62,50 \text{ MPa}$$

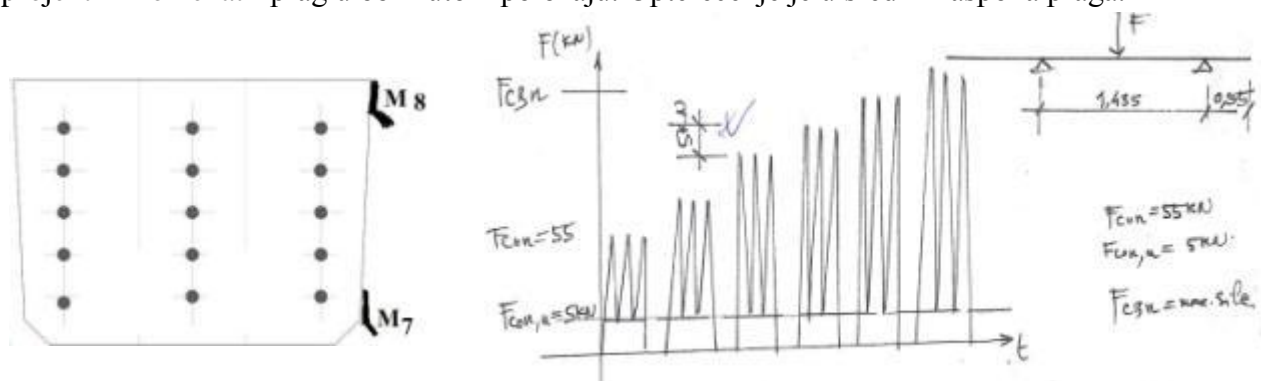
$$E_{d1} = 38,3 \text{ GPa} \quad E_{d2} = 38,4 \text{ GPa} \quad E_{d3} = 40,20 \text{ GPa}$$

$$k_{1d} = \frac{F_{r0,05}}{F_{r0}} = \frac{332,50}{132,64} = 2,507$$

$$k_{2d} = \frac{F_{rB}}{F_{r0}} = \frac{600,00}{132,64} = 4,524$$

Ultrazvukom je izmerena čvrstoća betona veća od projektom zahtevane od 60 MPa.

4. Skretnički prag SP-3 (L= 4,00m): Dinamičko ispitivanje preseka u sredini praga za negativni projektni momenat - prag u obrnutom položaju. Opterećenje je u sredini raspona praga.

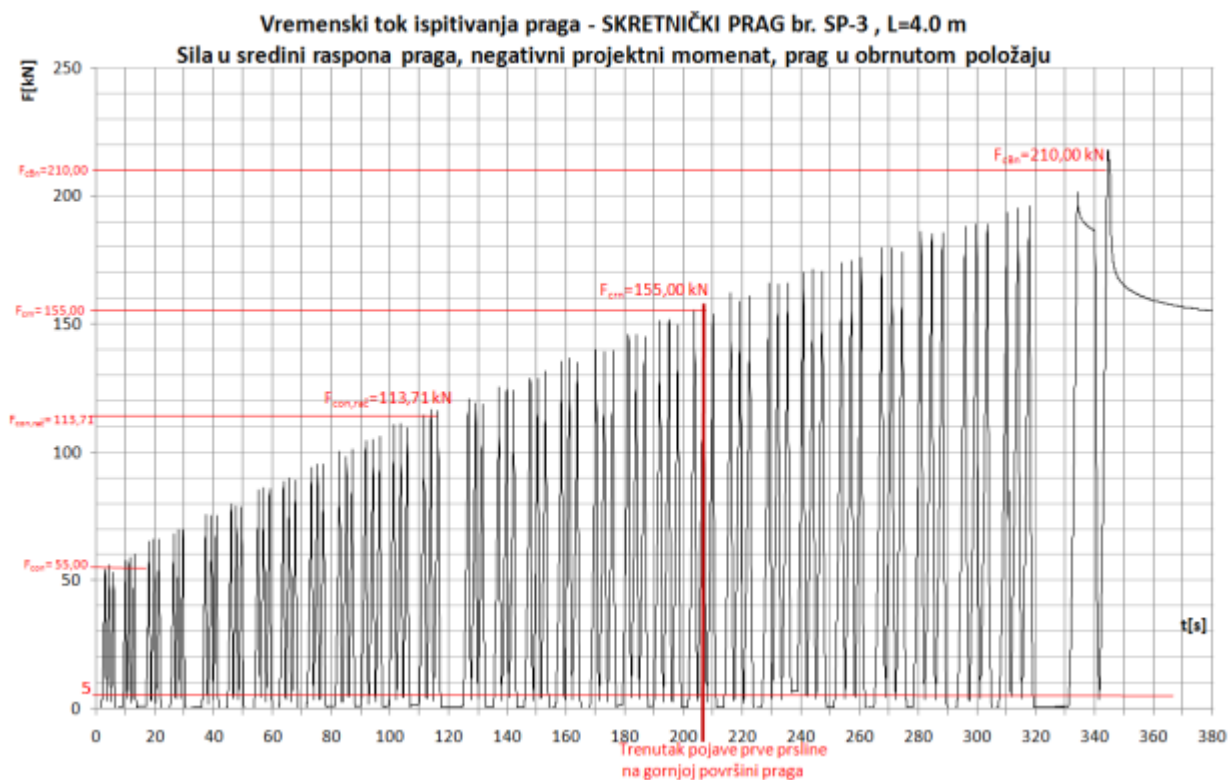


Sl.204. Mesto postavljanja mernih traka

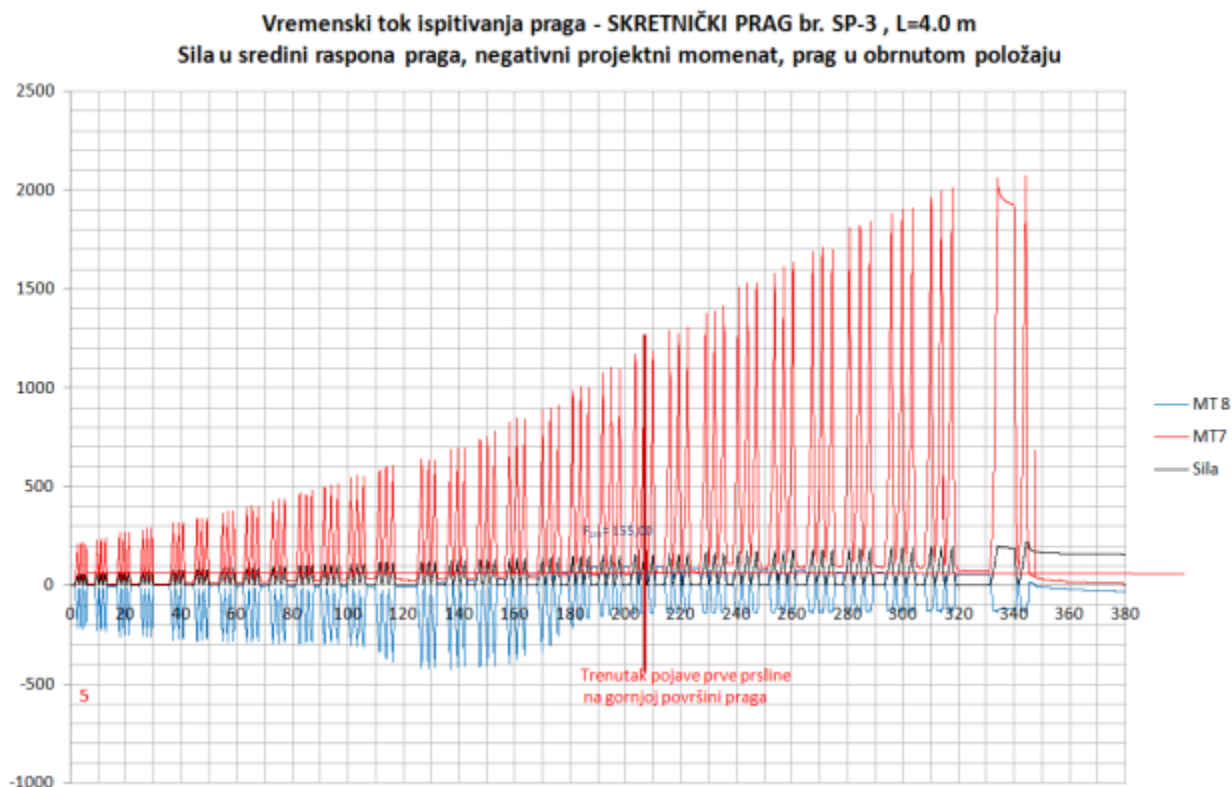
Sl.205. Šema nanošenja dinamičkog opterećenja

Računska početna sila ispitivanja preseka u sredini skretničkog praga za negativni projektni momenat - prag u obrnutom položaju:

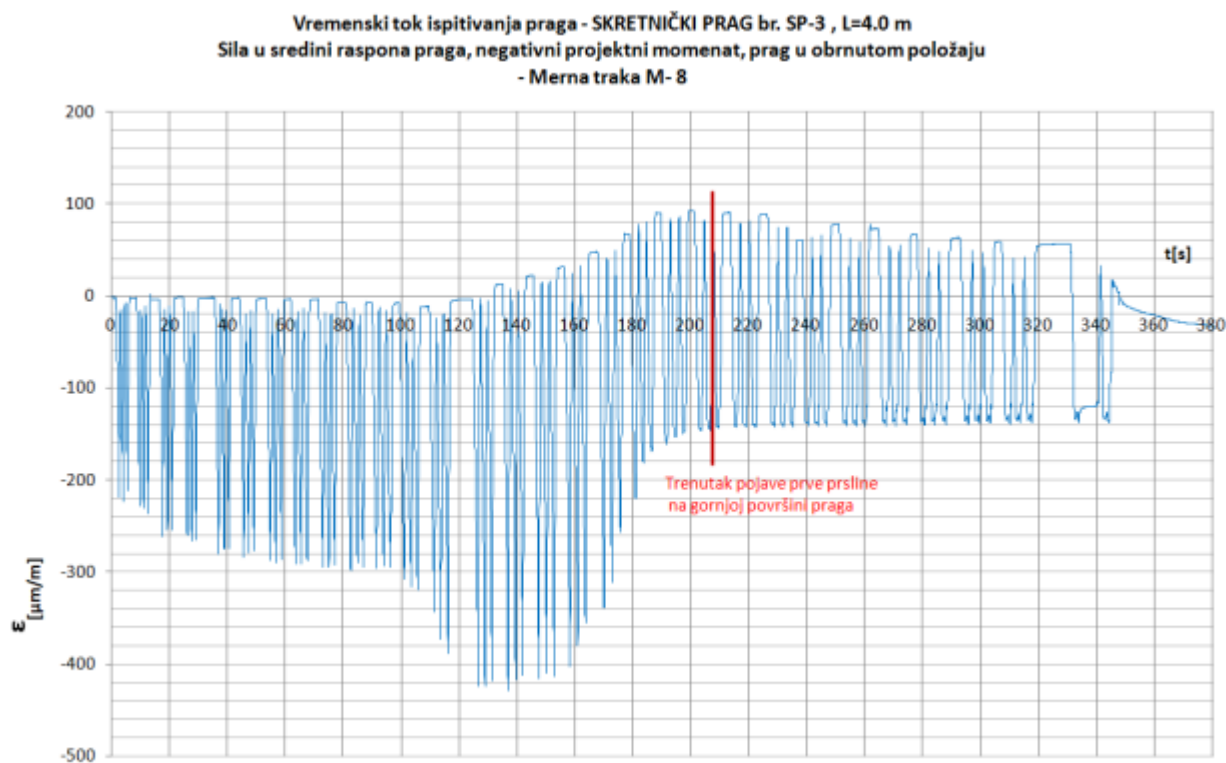
$$F_{con} = 4 \frac{M_{dcn}}{L_r - 0,1} = 4 \frac{39,80}{1,5 - 0,1} = 113,71 \text{ kN}$$



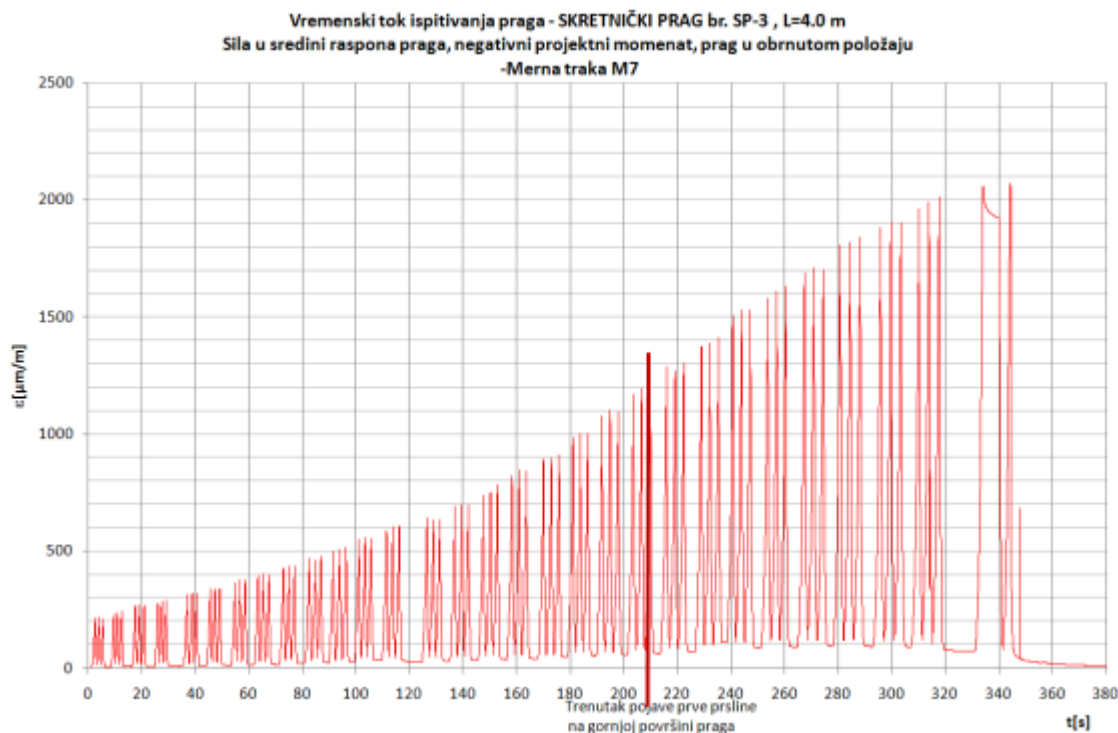
Slika 206. Vremenski tok ispitivanja praga pri dinamičkom ispitivanju skretničkog praga SP-3, sila je u sredini raspona praga, prag u obrnutom položaju



Slika 207. Vremenski tok ispitivanja praga pri dinamičkom ispitivanju skretničkog praga SP-3(sila, dilatacije, vreme), sila je u sredini raspona praga, prag u obrnutom položaju



Slika 208. Vremenski tok ispitivanja praga pri dinamičkom ispitivanju skretničkog praga SP-3(dilatacije, vreme), sila je u sredini raspona praga, prag u obrnutom položaju, MT8



Slika 209. Vremenski tok povećanja dilatacija pri dinamičkom ispitivanju skretničkog praga SP-3, sila je u sredini raspona praga, MT7

Rezultati merenja na presi:

$$F_{con,n} = 5,0 \text{ kN}$$

$$F_{con} = 55,0 \text{ kN}$$

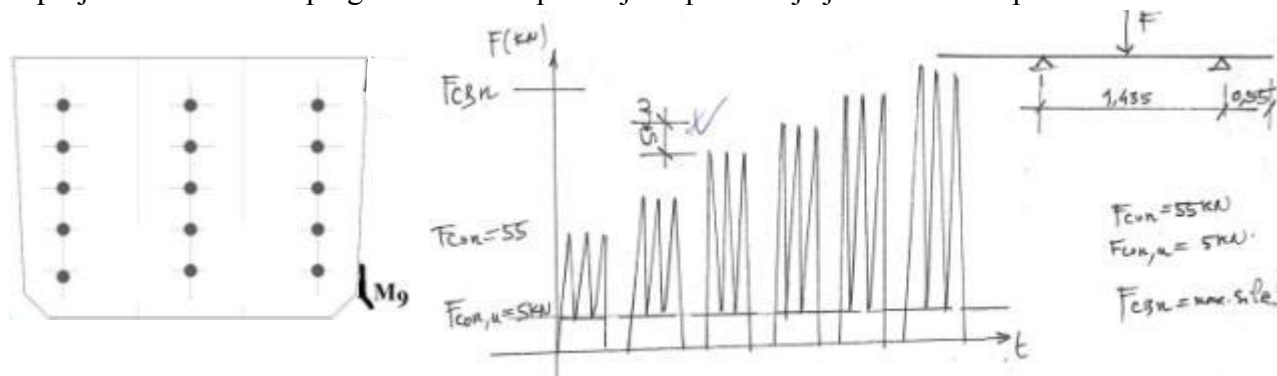
$$F_{cm} = 155,00 \text{ kN}$$

$$F_{cBn} = 210,00 \text{ kN}$$

$$F_{crn} = F_{crn} = 155,00 \text{ kN} > F_{con} = 113,71 \text{ kN}$$

- Za početnu silu ispitivanja je uzeta manja vrednost od računске zbog uporedne analize skretničkog sa pragom B70
- opterećenje koje na gornjoj površini u sredini praga izaziva prvu prslinu, negativni moment savijanja

5. Skretnički prag SP-5 (L= 2,60m): Dinamičko ispitivanje preseka u sredini praga za negativni projektni momenat - prag u obrnutom položaju. Opterećenje je u sredini raspona.

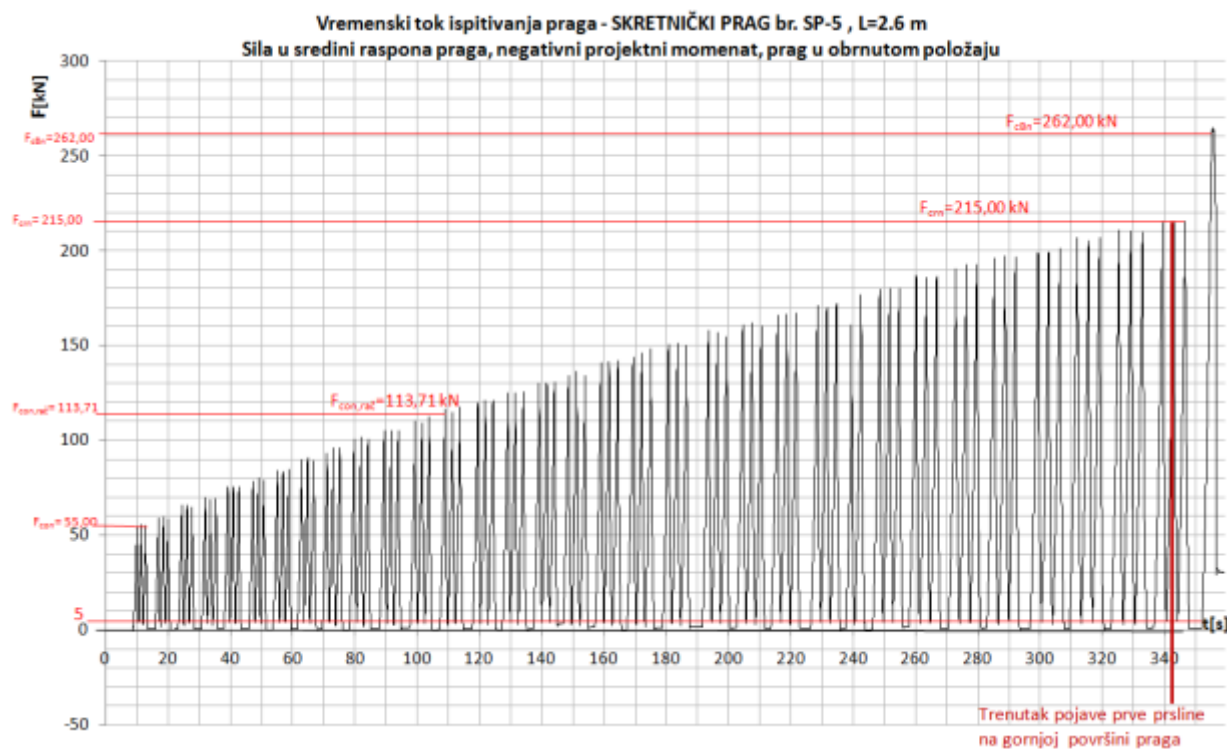


Sl.210. Mesto postavljanja mernih traka

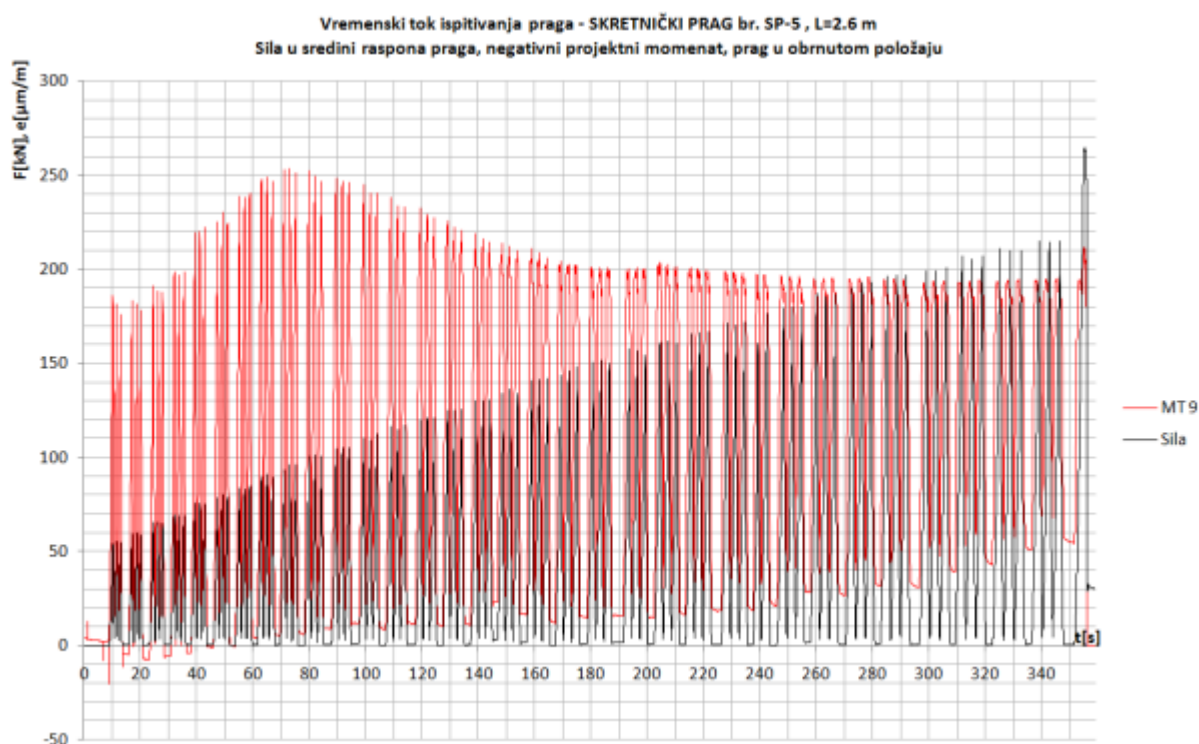
Sl.211. Šema nanošenja dinamičkog opterećenja

Računska početna sila ispitivanja preseka u sredini skretničkog praga za negativni projektni momenat - prag u obrnutom položaju:

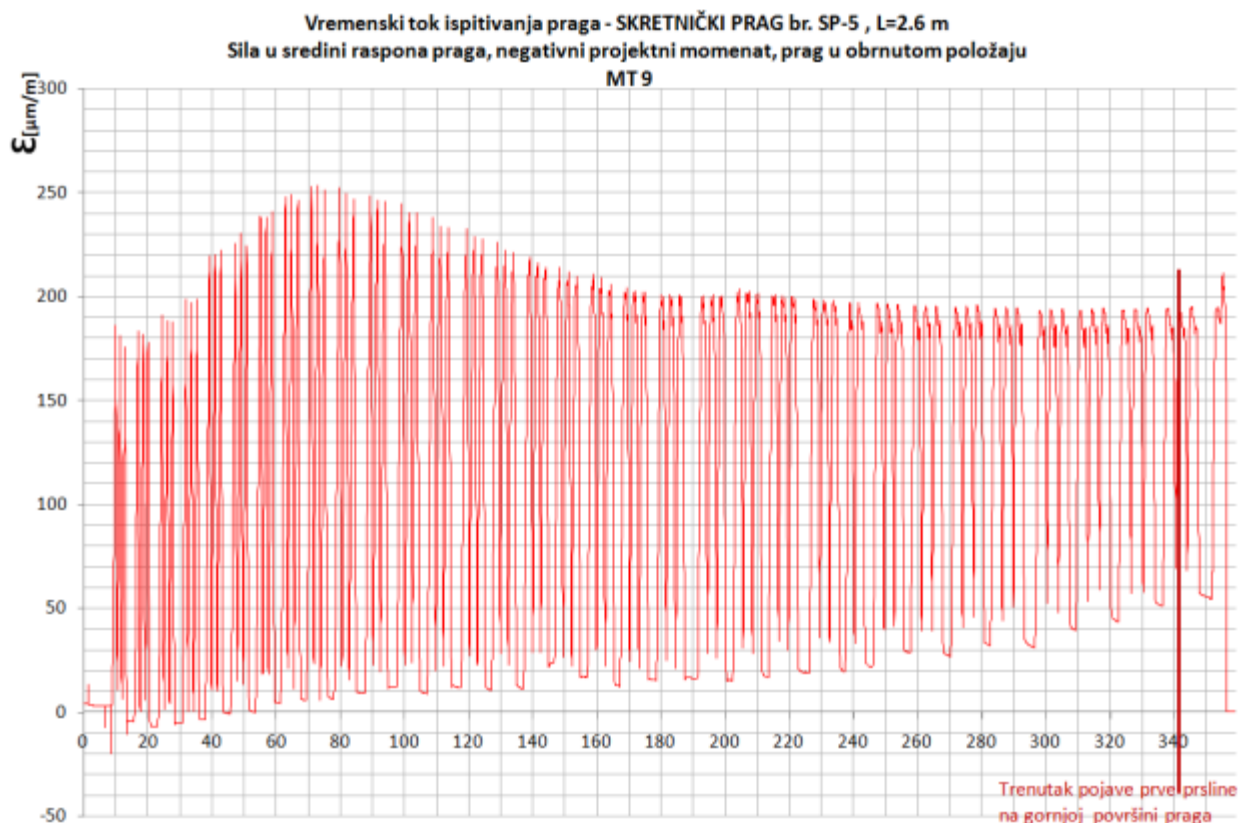
$$F_{con} = 4 \frac{M_{dcn}}{L_r - 0,1} = 4 \frac{39,80}{1,5 - 0,1} = 113,71 \text{ kN}$$



Slika 212. Vremenski tok ispitivanja skretničkog praga SP-5, sila je u sredini raspona praga



Slika 213. Vremenski tok ispitivanja skretničkog praga SP-5, sila je u sredini raspona, prag u obrnutom položaju (sila, dilatacije, vreme), merna traka MT9



Slika 214. Vremenski tok ispitivanja skretničkog praga SP-5, sila je u sredini raspona, prag u obrnutom položaju (dilatacija, vreme), merna traka M9

Rezultati merenja na presi:

$$F_{con,n} = 5,0 \text{ kN}$$

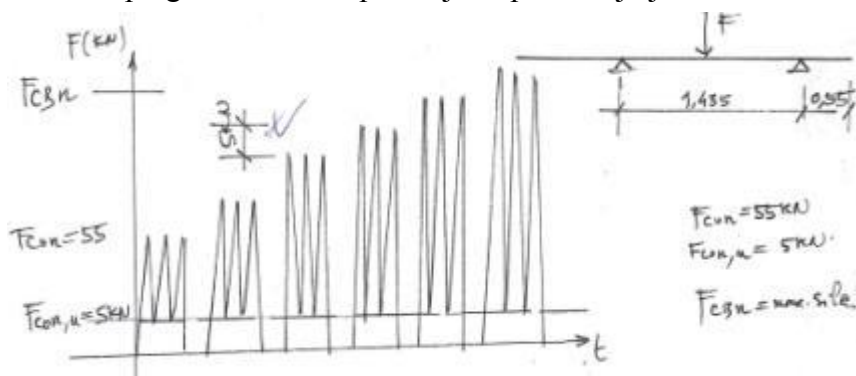
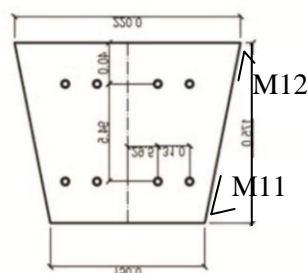
$$F_{con} = 55,0 \text{ kN} \quad - \text{ Za početnu silu ispitivanja je uzeta manja vrednost od računске zbog uporedne analize skretničkog sa pragom B70}$$

$$F_{cm} = 215,00 \text{ kN} = F_{crn} \quad - ? \text{ (oznake)}$$

$$F_{cBn} = 262,00 \text{ kN}$$

$$F_{crn} = F_{con,r} = 215,00 \text{ kN} > F_{con} = 113,71 \text{ kN}$$

6. Prednapregnuti betonski prag PB70-6 (L= 2,60m): Dinamičko ispitivanje preseka u sredini praga za negativni projektni momenat - prag u obrnutom položaju. Opterećenje je u sredini raspona.

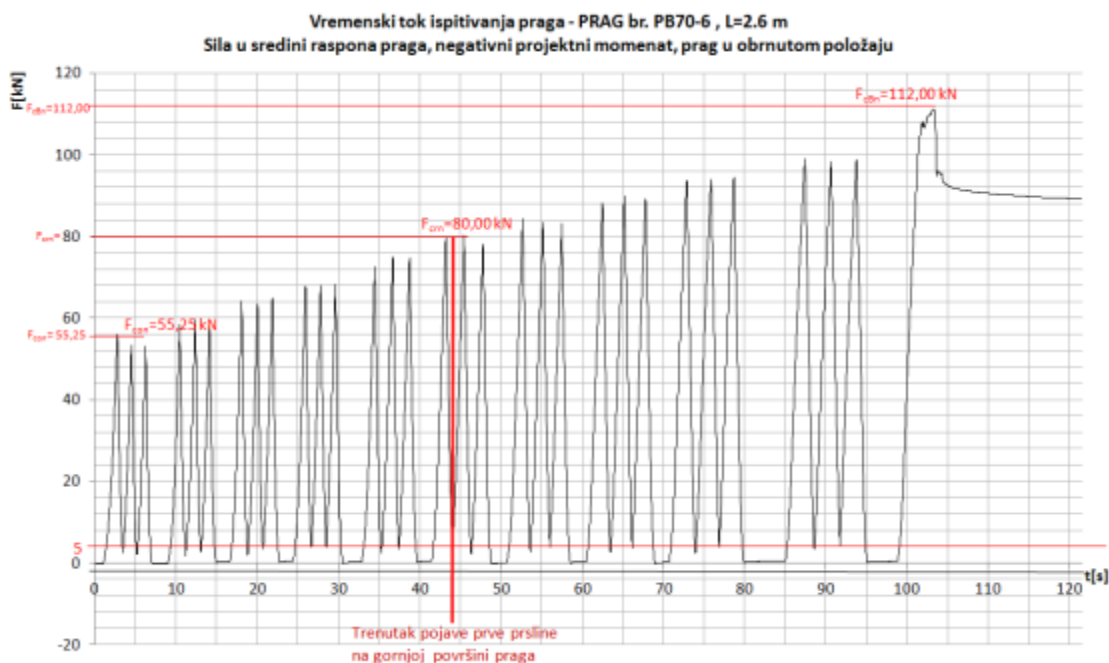


Sl.215. Poprečni presek u sredini raspona

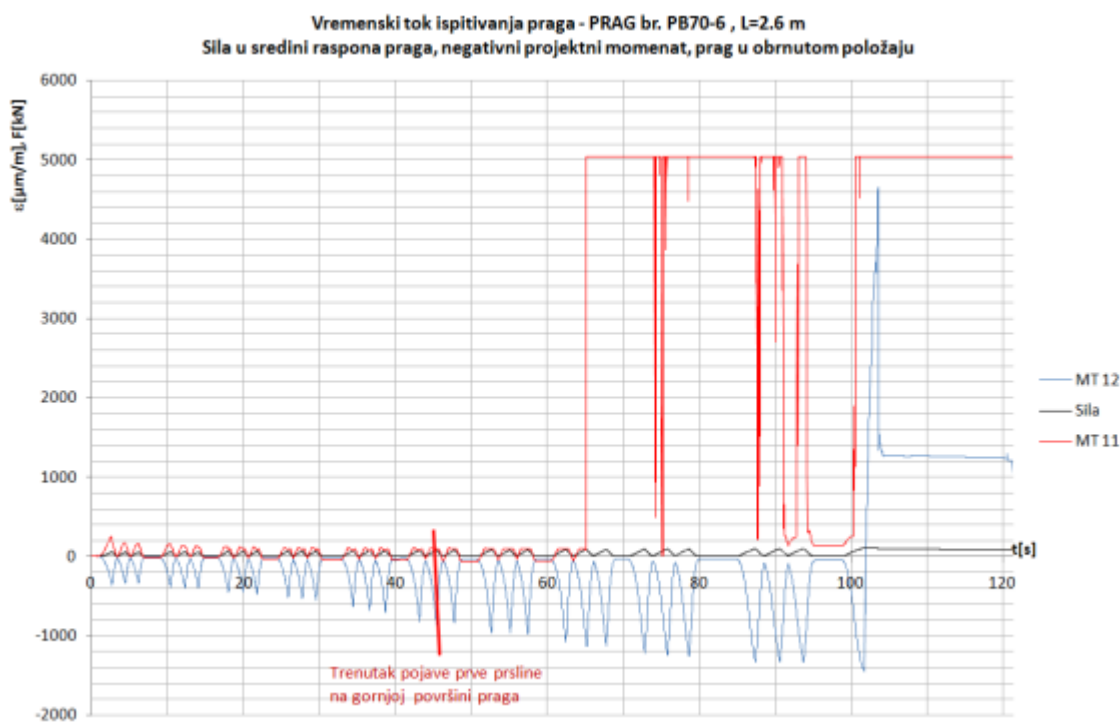
Sl.216. Šema nanošenja dinamičkog opterećenja

Računska početna sila ispitivanja preseka u sredini praga B-70 za negativni projektni momenat -
prag u obrnutom položaju:

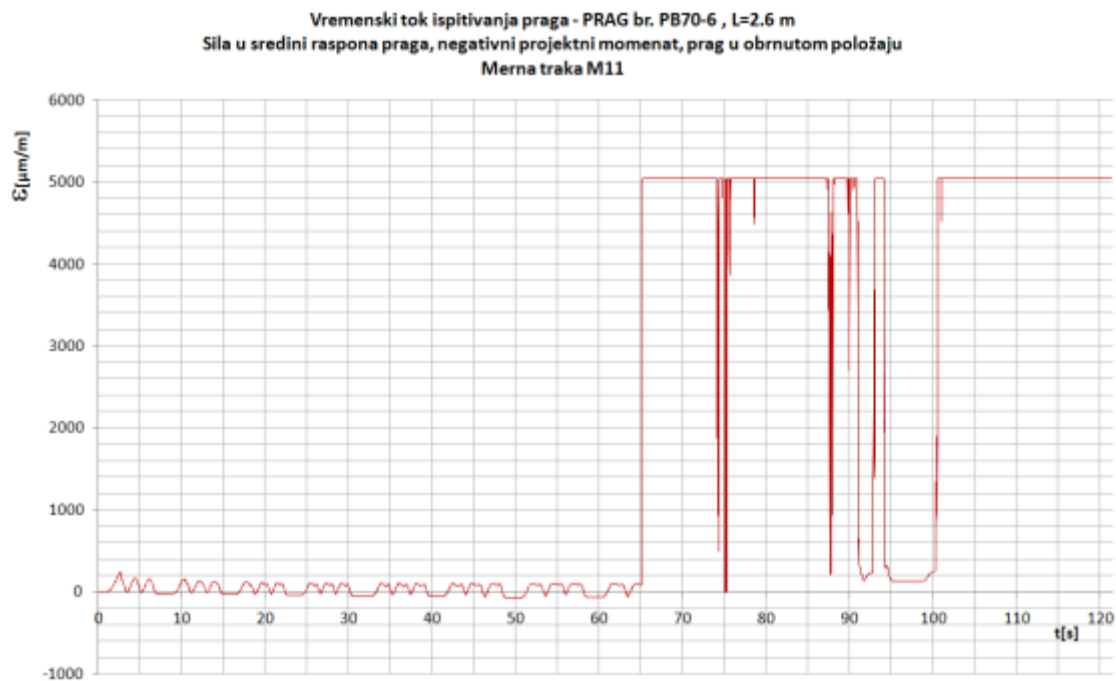
$$F_{con} = 4 \frac{M_{dcn}}{L_r - 0,1} = 4 \frac{19,34}{1,5 - 0,1} = 55,25 \text{ kN}$$



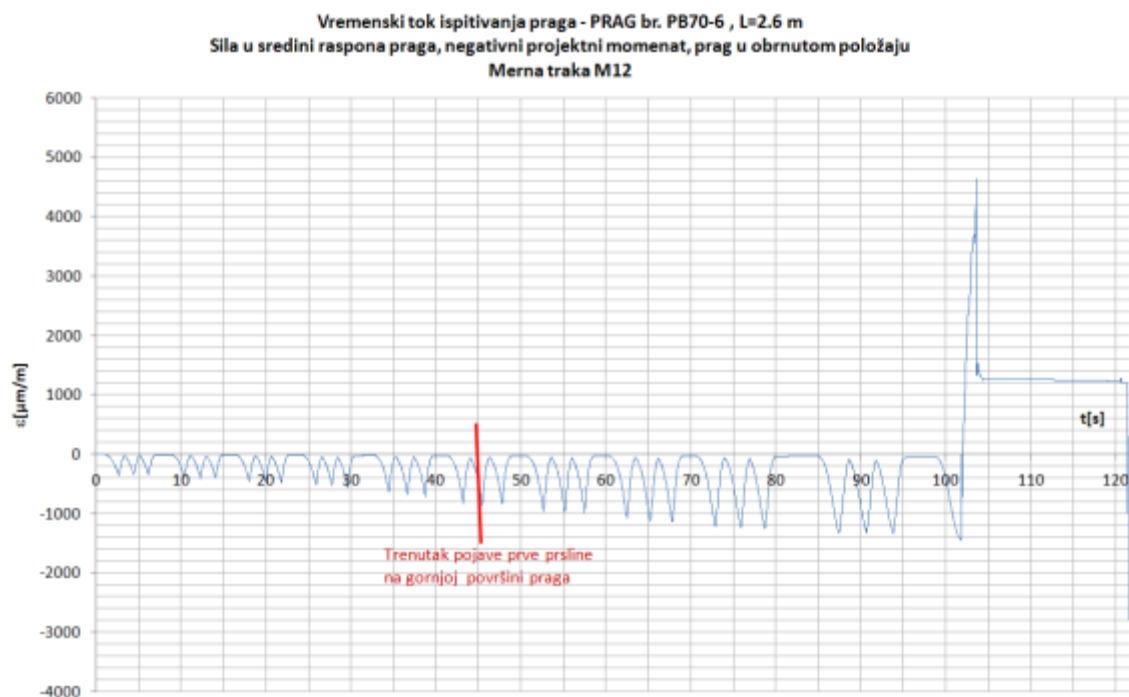
Slika 217. Vremenski tok ispitivanja praga PB70-6, sila je u sredini raspona, prag u obrnutom položaju (sila, vreme)



Slika 218. Vremenski tok ispitivanja praga PB70-6, sila je u sredini raspona, prag u obrnutom položaju (sila, dilatacije, vreme), merne trake MT11, MT12



Slika 219. Vremenski tok ispitivanja praga PB70-6, sila je u sredini raspona, prag u obrnutom položaju (dilatacije, vreme), merna traka M11



Slika 220. Vremenski tok ispitivanja praga PB70-6, sila je u sredini raspona, prag u obrnutom položaju (dilatacije, vreme), merna traka M12

Rezultati merenja na presi:

$$F_{\text{con},n} = 5,0 \text{ kN}$$

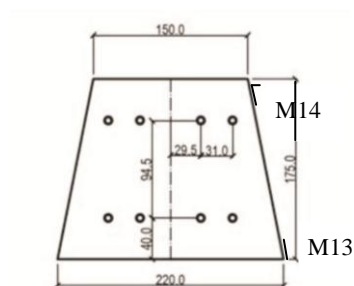
$$F_{\text{con}} = 55,25 \text{ kN}$$

$$F_{\text{cm}} = 80,00 \text{ kN} = F_{\text{crn}}$$

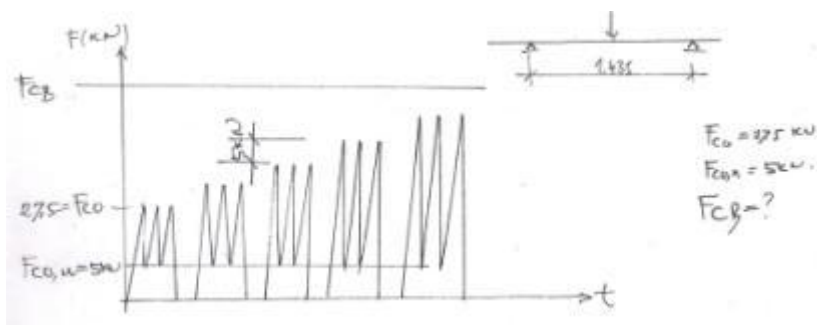
$$F_{\text{cBn}} = 112,00 \text{ kN}$$

$$F_{\text{crn}} = F_{\text{con},r} = 80,00 \text{ kN} > F_{\text{con}} = 55,25 \text{ kN}$$

7. Prednapregnuti betonski prag PB70-7 (L= 2,60m): Dinamičko ispitivanje preseka u sredini raspona praga za pozitivni projektni momenat - prag u normalnom položaju. Opterećenje je u sredini raspona praga.



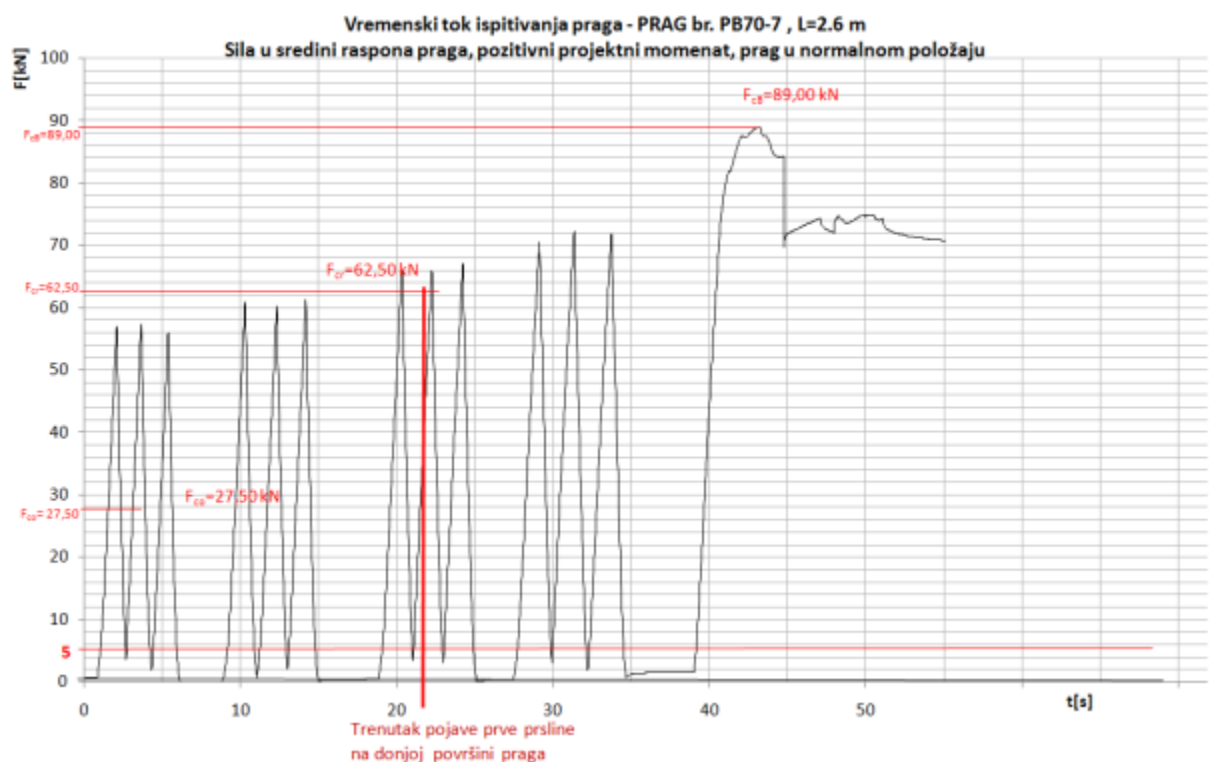
Sl.221. Poprečni presek u sredini raspona



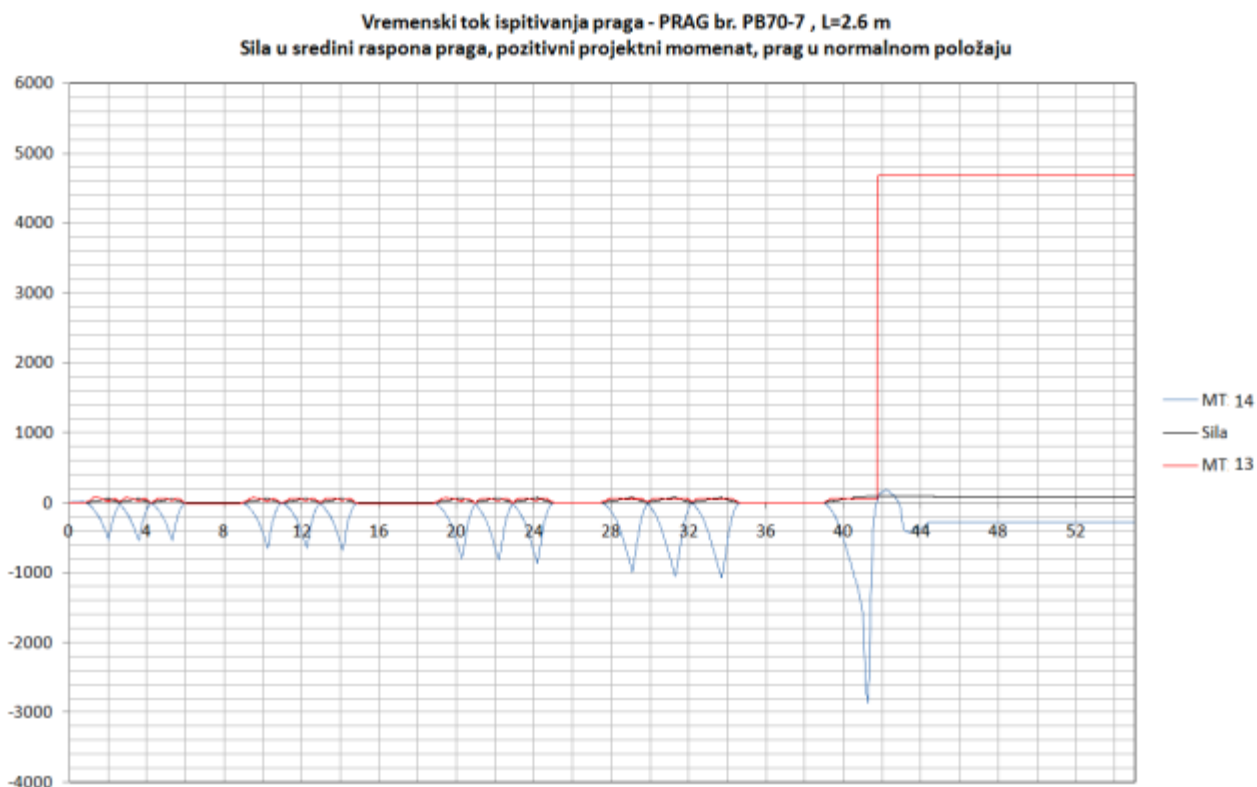
Sl.222. Šema nanošenja dinamičkog opterećenja

Računska početna sila ispitivanja preseka u sredini praga B-70 za pozitivni projektni momenat - prag u normalnom položaju:

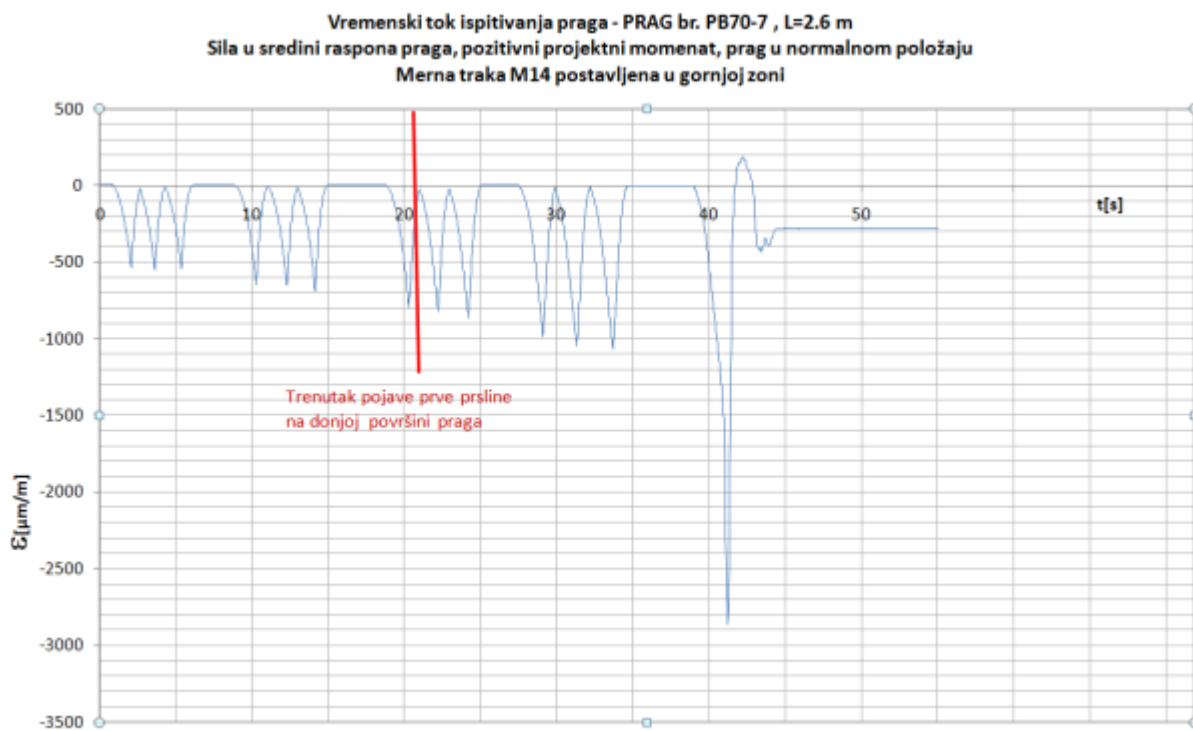
$$F_{co} = 4 \frac{M_{dc}}{L_r - 0,1} = 4 \frac{9,67}{1,5 - 0,1} = 27,63 \text{ kN}$$



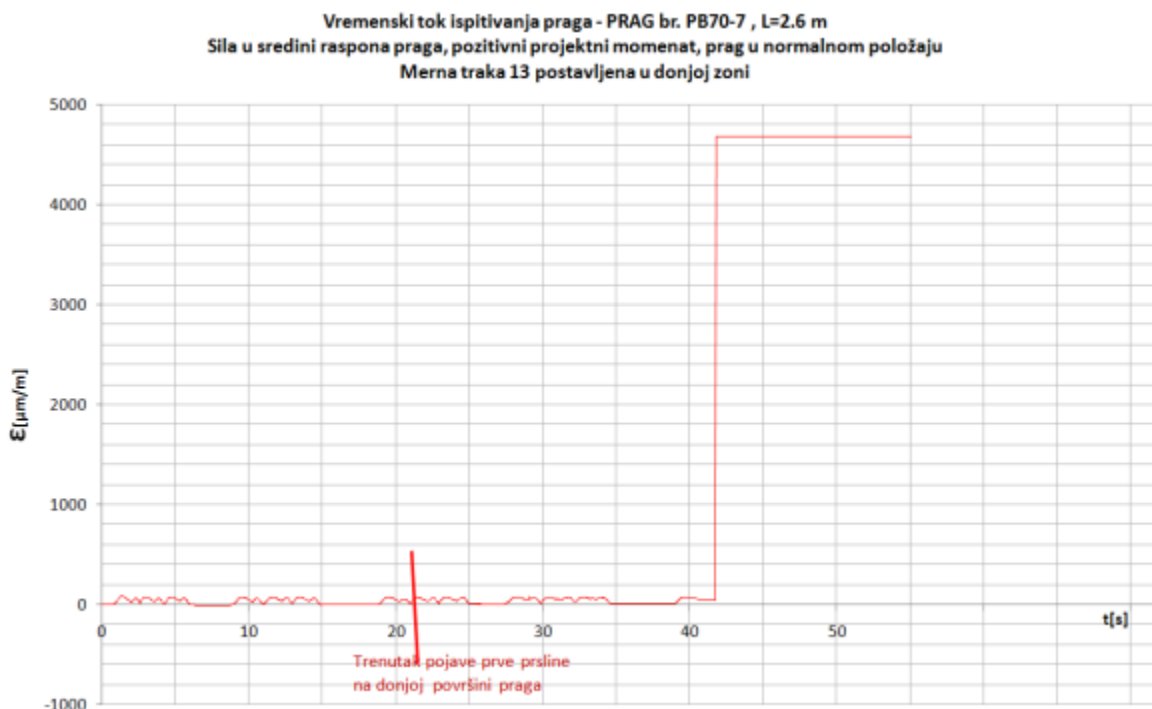
Slika 223. Vremenski tok ispitivanja praga PB70-7(sila, vreme), sila je u sredini raspona, prag u normalnom položaju



Slika 224. Vremenski tok ispitivanja praga PB70-7(sila, dilatacije, vreme), sila je u sredini raspona, prag u normalnom položaju, merne trake M13,MT14



Slika 225. Vremenski tok ispitivanja praga PB70-7(dilatacije, vreme), sila je u sredini raspona, prag u normalnom položaju, merna traka MT14



Slika 226. Vremenski tok ispitivanja praga PB70-7(sila, dilatacije, vreme), sila je u sredini raspona, prag u normalnom položaju, merne trake M13,MT14

Rezultati merenja na presi:

$$F_{co,n} = 5,0 \text{ kN}$$

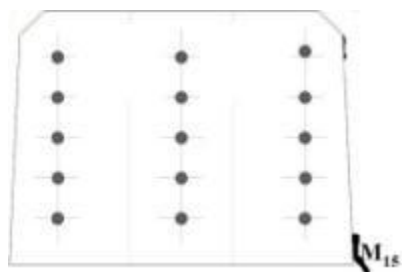
$$F_{co} = 27,50 \text{ kN}$$

$$F_{cr} = 62,50 \text{ kN}$$

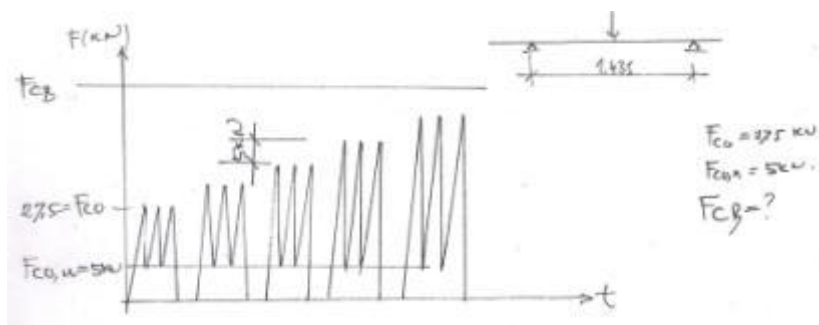
$$F_{cB} = 91,00 \text{ kN}$$

$$F_{cr} = F_{co,r} = 62,50 \text{ kN} > F_{co} = 27,63 \text{ kN}$$

8. Skretnički prag SP-8 (L= 2,60m): Dinamičko ispitivanje preseka u sredini raspona praga za pozitivni projektni momenat - prag u normalnom položaju. Opterećenje je u sredini raspona praga.



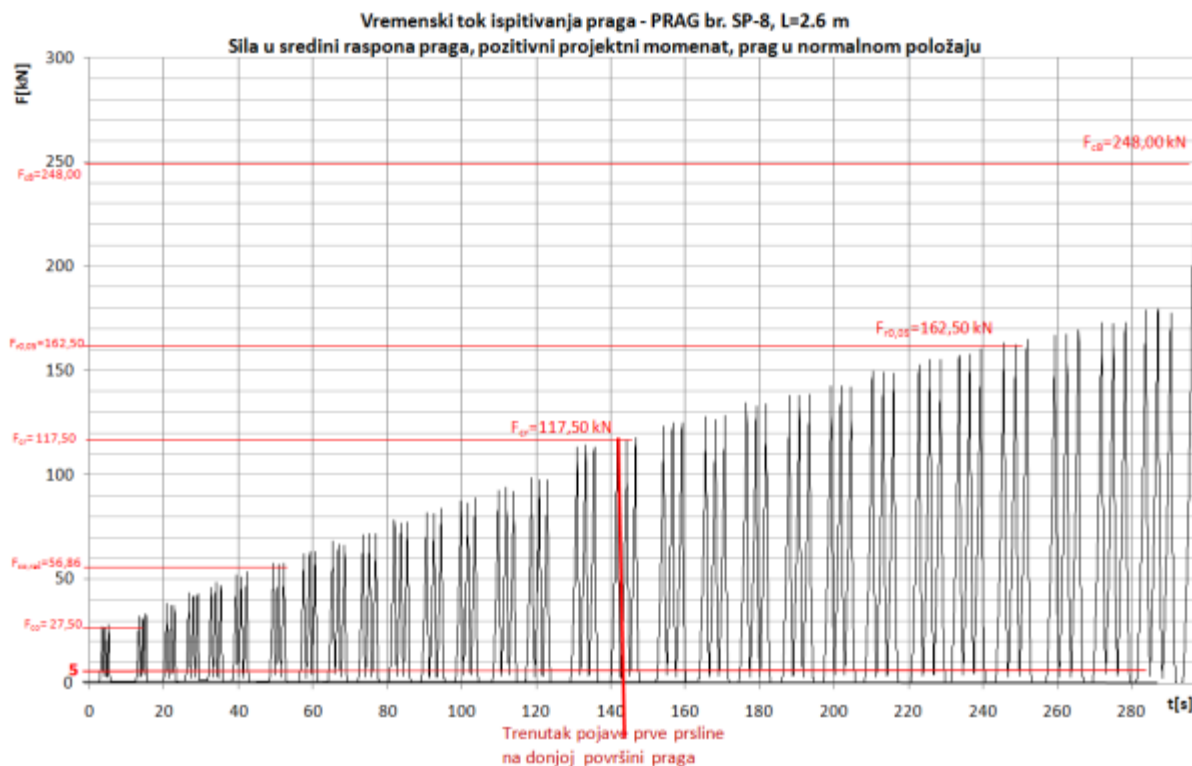
Sl.227. Mesto postavljanja mernih traka



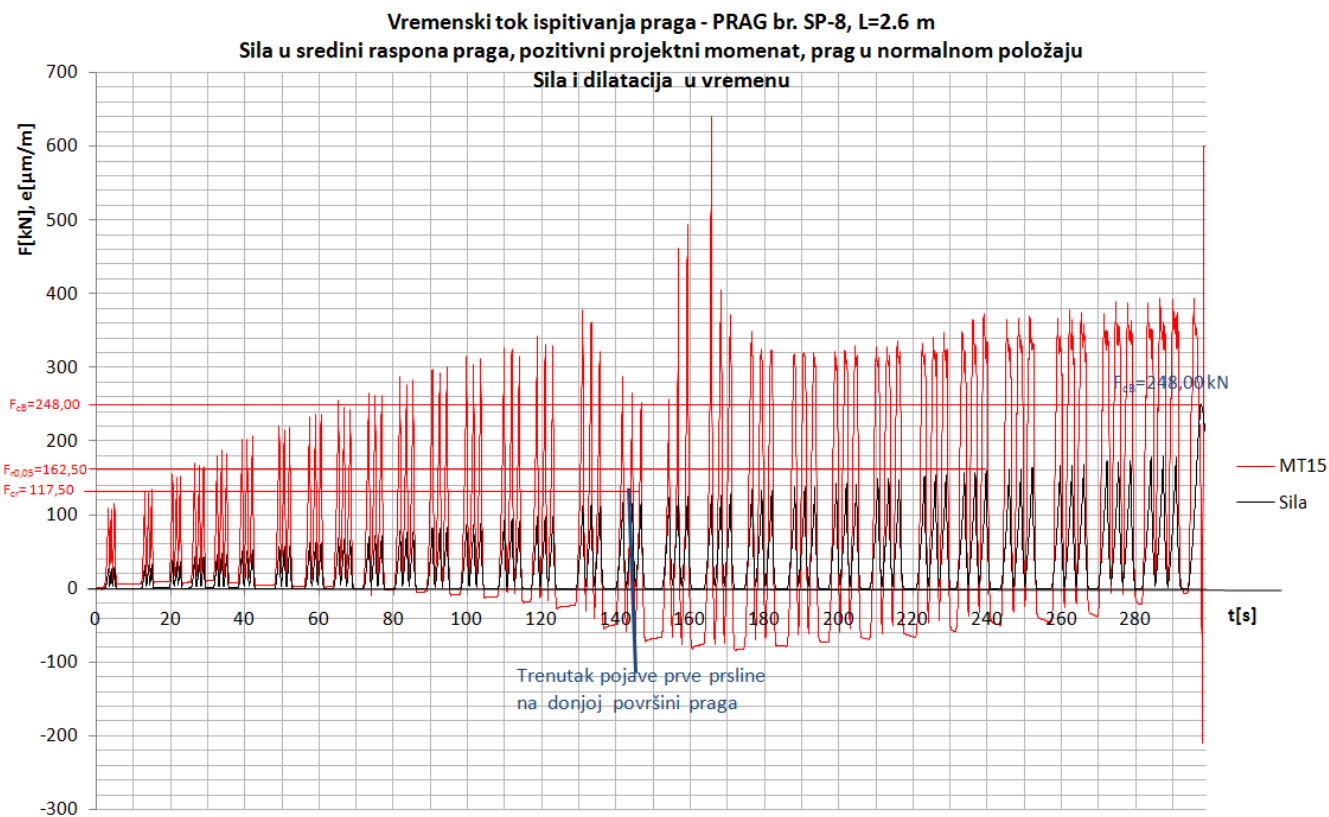
Sl.228. Šema nanošenja dinamičkog opterećenja

Računska početna sila ispitivanja preseka u sredini skretničkog praga za pozitivni projektni momenat - prag u normalnom položaju:

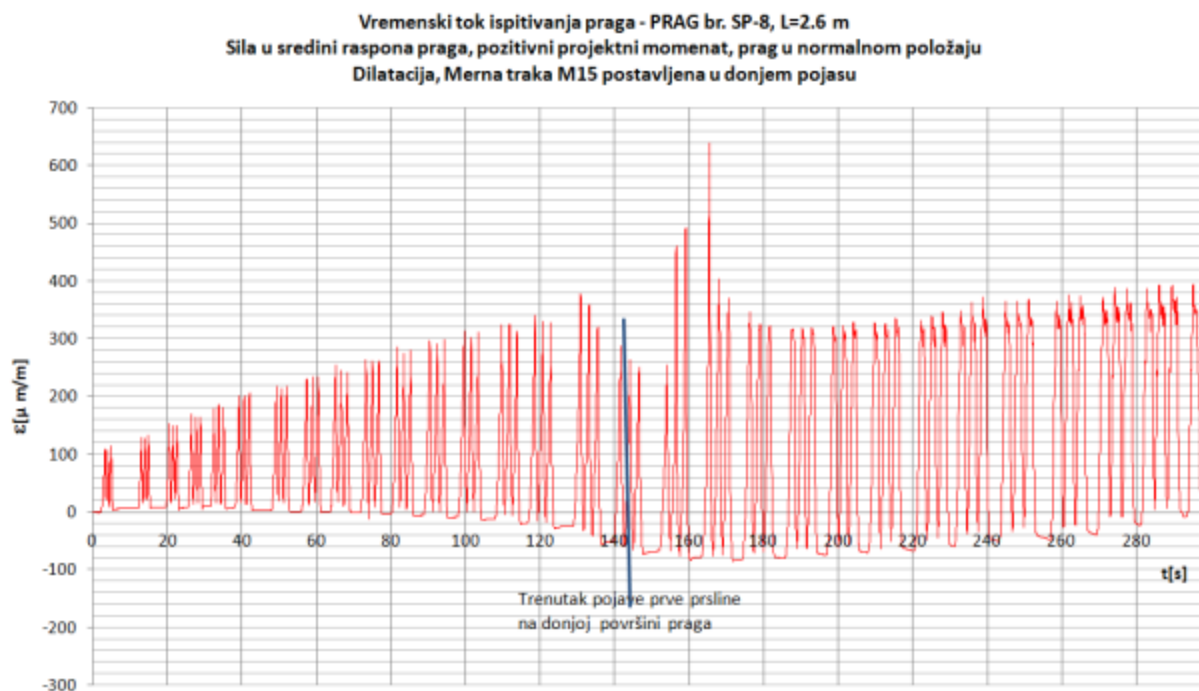
$$F_{co} = 4 \frac{M_{dc}}{L_r - 0,1} = 4 \frac{19,90}{1,5 - 0,1} = 56,86 \text{ kN}$$



Slika 229. Vremenski tok ispitivanja praga SP-8(sila, vreme), sila je u sredini raspona, prag u normalnom položaju



Slika 230. Vremenski tok ispitivanja praga SP-8(sila, dilatacije, vreme), sila je u sredini raspona, prag u normalnom položaju, merna traka M15



Slika 231. Vremenski tok ispitivanja praga SP-8(dilatacije, vreme), sila je u sredini raspona, prag u normalnom položaju, merna traka M15

Rezultati merenja na presi:

$$F_{co,n} = 5,0 \text{ kN}$$

$$F_{co} = 27,50 \text{ kN} \quad - \text{ Za početnu silu ispitivanja je uzeta manja vrednost od računске zbog uporedne analize skretničkog sa pragom B70}$$

$$F_{cr} = 117,50 \text{ kN}$$

$$F_{cB} = 248,00 \text{ kN}$$

$$F_{r,0,05} = 162,50 \text{ kN}$$

$$F_{cr} = F_{co,r} = 117,50 \text{ kN} > F_{co} = 56,86 \text{ kN}$$

3. Tabelarni prikaz rezultata merenja

a) Tabelarni prikaz rezultata merenja zabeleženih pri dinamičkom ispitivanju skretničkih pragova

Tabela T30: Rezultati ispitivanja prednapregnutih betonskih skretničkih pragova na uticaj dimaničkog opterećenja

REZULTATI ISPITIVANJA PREDNAPREGNUTIH BETONSKIH SKRETNIČKIH PRAGOVA NA UTICAJ DINAMIČKOG OPTEREĆENJA												
Sila		OPTEREĆENJE NA MESTU NALEGANJA ŠINE - pozitivni projektni momenat na mestu naleganja šine					POZITIVNI PROJEKTNI MOMENAT - prag u normalnom položaju - Opterećenje je u sredini raspona praga			NEGATIVNI PROJEKTNI MOMENAT - prag u obrnutom položaju - Opterećenje je u sredini raspona praga		
		Skretnički prag SP-1 (L=2,60m)	Skretnički prag SP-2 (L=3,40m)	Skretnički prag SP-4 (L=4,00m)	$K_{xd, sr}$	$K_{xd, doz}$	Prednapregnuti betonski prag PB70-7 (L= 2,60m)	Skretnički prag SP-8 (L=2,60m)		Skretnički prag SP-3 (L=4,00m)	Skretnički prag SP-5 (L=2,60m)	Prednapregnuti betonski prag PB70-6 (L=2,60m)
DINAMIČKO ISPITIVANJE	F_{r0}	132,50 (132,64)	132,50 (132,64)	132,50 (132,64)								
	F_{rr}	312,50	312,00	332,50								
	$F_{r 0,05}$	392,00	352,00	332,50								
	$F_{r 0,5}$			532,00								
	F_{rB}	570,00	570,00	600,00	$K_{xd, sr}$	$K_{xd, doz}$						
	k_{1d}	2,955	2,654	2,507	2,705	1,50						
	k_{2d}	4,297	4,297	4,524	4,373	2,20						
	$F_{con,n}$									5,00	5,00	5,0
	F_{con}									55,00 (113,71)	55,00 (113,71)	55,25
	F_{crn}									155,00	215,00	80,00
	F_{cBn}									210,00	262,00	112,00
	$F_{crn} = F_{con,r} > F_{con}$									155,0>113,71	215,00>113,71	80,0>55,25
	$F_{co,n}$						5,0	5,0				
	F_{co}						27,50	27,50 (56,86)				
	F_{cr}						62,50	117,50				
	F_{cB}						91,00	248				
	$F_{r 0,05}$						-	162,50				
	$F_{cr} = F_{co,r} > F_{co}$						62,50> 27,63	117,50> 56,86				

b) Tabelarni prikaz rezultata merenja zabeleženih pri statičkom ispitivanju skretničkih pragova[41]

Tabela T31: Rezultati ispitivanja prednapregnutih betonskih pragova na uticaje statičkog opterećenja

REZULTATI ISPITIVANJA PREDNAPREGNUTIH BETONSKIH SKRETNIČKIH PRAGOVA NA UTICAJ STATIČKOG OPTEREĆENJA														
Sila ispitivanja / opterećenje [kN]	OPTEREĆENJE NA MESTU NALEGANJA ŠINE - pozitivni projektni momenat na mestu naleganja šine Ispitivanje 08.02.2014.								POZITIVNI PROJEKTNI MOMENAT - prag u normalnom položaju - Opterećenje je u sredini raspona praga			NEGATIVNI PROJEKTNI MOMENAT - prag u obrnutom položaju - Opterećenje je u sredini raspona praga		
	SP- I/1 L=2,6m	SP- I/2 L=3,4m	SP- I/3 L=4,0 m	SP- II/1 L=2,6 m	SP- 5 L=3,4 m	SP-6 L=4,0 m	$K_{xs, sr}$	$K_{xs, doz}$	Skretnički prag (L= 2,60m) 15.02.2014.	Skretnički prag (L=3,40m) 15.02.2014.	Skretnički prag (L=4,00m) 15.02.2014	Skretnički prag (L=4,00m) 15.02.2014	Skretnički prag (L=3,40m) 15.02.2014	Skretnički prag (L=2,60m) 15.02.2014
$F_{b0}=F_{r0}$	132, 50	132, 50	132, 50	132, 50	132, 50	132, 50								
$F_{br} = F_{rr}$	195, 00	205	225	185	215	240								
$F_{b 0,05} = F_{r 0,05}$	365	380	360		365	345								
$F_{b 0,5} = F_{r 0,5}$	405	0	460	380	460									
$F_{bB} = F_{rB}$	614	650	480	450	550	530	$K_{xs, sr}$	$K_{xs, doz}$						
k_{b1S}	2,75 4	2,86	2,86	2,60 3	2,75	2,60 3	2,736	1,80						
k_{b2S}	4,64	4,90	3,62	3,39	4,15	4,0	4,116	2,50						
$F_{con,n}$														
$F_{bon} = F_{con}$												113,71	113,71	113,71
$F_{bBn} = F_{crn}$												117	116,50	118
F_{cBn}												125	119	125
$F_{bBn} = F_{crn} > F_{con} = F_{bon}$												117,0>113,71	116,50>113,71	118>113,71
$F_{bo,n} = F_{co,n}$									5,0	5,0	5,0			
$F_{bo} = F_{co}$									56,85	56,85	56,85			
$F_{br} = F_{cr}$									75	70	75,00			
$F_{bBn} = F_{cB}$									115	120	100			
$F_{b 0,05n} = F_{r 0,05}$														
$F_{br} = F_{cr} > F_{co} = F_{bo}$									75,0> 56,85	70,0> 56,85	75,0> 56,8			

c) Tabela prikaz rezultata merenja zabeleženih pri statičkom ispitivanju pragovala B70

Tabela T32: REZULTATI ISPITIVANJA PREDNAPREGNUTIH BETONSKIH PRAGOVA B70 NA UTICAJ STATIČKOG I DINAMIČKOG OPTEREĆENJA

Sila ispitivanja / opterećenje [kN]		OPTEREĆENJE NA MESTU NALEGANJA ŠINE - pozitivni projektni momenat na mestu naleganja šine							POZITIVNI PROJEKTNI MOMENAT - prag u normalnom položaju - Opterećenje je u sredini raspona praga			NEGATIVNI PROJEKTNI MOMENAT - prag u obrnutom položaju - Opterećenje je u sredini raspona praga			
		PRA G I/1	PRA G I/2	PRA G I/3	PRA G I/4	PRA G I/5	PRA G I/6	K _{xs, sr}	K _{xs, doz}	PRAG II/1	PRAG II/2	PRAG II/3	PRAG III/1	PRAG III/2	PRAG III/3
STATIČKO ISPITIVANJE	F _{r0}	146,50	146,50	146,50	146,50	146,50	146,50								
	F _{rr}	205	201	198	200	195	205								
	F _{r 0,05}	270	268	265	275	280	270								
	F _{r 0,5}	375	360	365	360	365	370								
	F _{rB}	378	375	372	376	375	382	K _{xs, sr}	K _{xs, doz}						
	k _{1S}	1,843	1,829	1,808	1,877	1,91	1,843	1,851	1,80						
	k _{2S}	2,58	2,559	2,539	2,566	2,559	2,607	2,571	2,50						
	F _{con,n}												5,0	5,0	5,0
	F _{con}												55,00	55,00	55,00
	F _{crn}												65	70	70
	F _{cBn}												118	115	118
	F _{crn} > F _{con}												65,0>55,00	70,00>55,00	70,0>55,00
	F _{co,n}									5,0	5,0	5,0			
	F _{co}									27,60	27,60	27,60			
	F _{cr}									45	46,00	40			
	F _{cB}									75	75	77			
F _{r 0,05}															
F _{cr} > F _{co}									45,00> 27,60	46,00> 27,60	40,00> 27,60				
DINAMIČKO ISPITIVANJE		PRA G D/1	PRA G D/2	PRA G D/3	PRA G D/4	PRA G D/5	PRA G D/6								
	F _{r0}	50	50	50	50	50									
	F _{rr}														
	F _{r 0,05}	290	310	250	290	280									
	F _{r 0,5}														
	F _{rB}	530	520	480	490	465		K _{xd, sr}	K _{xd, doz}						
	k _{1d}	1,979	2,11	1,706	1,98	1,91		1,937	1,50						
	k _{2d}	3,61	3,54	3,0	3,34	3,17		3,33	2,20						

d) Uporedna analiza rezultata dobijenih matematičkom metodom i eksperimentalno dobijenih vrednosti napona u donjem i gornjem vlaknu pri sili F_r , $F_{r0,05}$, F_{cr} i F_{crn} (F_{rb})

PREDNAPREZANJE PRESEKA SA 15 UŽADI Ø7MM (UŽE OD 7 ŽICA)	EKSPERIMENTALNO DOBIJENE VREDNOSTI NAPONA U DONJEM I GORNJEM VLAKNU PRI SILI $F_{r\ 0,05}$, F_{cr} i F_{crn} (F_{rB}) I POREĐENJE SA RAČUNSKI DOBIJENIM VREDNOSTIMA										
	PRESEK ISPOD ŠINE				PRESEK U SREDINI PRAGA - prag u normalnom položaju - POZITIVAN MOMENAT			PRESEK U SREDINI PRAGA - prag u obrnutom položaju - NEGATIVAN MOMENAT			
Modul elastičnosti betona, t=28 dana, f_{km} =60 MPa	$E_b= 41379$ MPa										
Ispitivani uzorak praga	SP-1	SP-2	SP-4	Srednja vrednost	PB70-7	SP-8	Srednja vrednost	SP-3	SP-5	PB70-6	Srednja vrednost
Oznaka merne trake - donja zona	MT 1	MT 3	MT 5		MT 13	MT 15		MT 7	MT 9	MT 11	
Eksperimentalno utvrđena dilatacija u donjem vlaknu ϵ_d [µm/m]			+5400 (+5400)	$\epsilon_{d,sr}=$	+90 (+4800)	+380 (+580)	$\epsilon_{d,sr}=$	+1100 (2050)	+200 (+220)	+50 (+4900)	$\epsilon_{d,sr}=$
Eksperimentalno utvrđen napon u donjem vlaknu $\sigma_d=E\epsilon_{d,sr}$ [MPa]	$5400 \times 10^{-8} \times 41379=2,23$ (2,23) MPa				3,72 MPa	15,72		45,5	82,8	20,7	
Računski dobijen napon u donjem vlaknu σ_d [MPa]	2,93				1,53			7,21			
Dozvoljeni napon u donjem vlaknu	fzs = - 6.5 MPa				fzs = - 6.5 MPa			fzs = - 6.5 MPa			
Oznaka merne trake - gornja zona	MT 2	MT 4	MT 6		MT 14	MT 16		MT 8	MT 10	MT 12	
Eksperimentalno utvrđena dilatacija u gornjem vlaknu ϵ_g [µm/m]			-750 (+1200)	$\epsilon_{g,sr}=$	-650 (-2950)	//	$\epsilon_{g,sr}=$	-150 (-140)	//	-100 (+4800)	$\epsilon_{g,sr}=$
Eksperimentalno utvrđen napon u gornjem vlaknu $\sigma_g=E\epsilon_{g,sr}$ [MPa]											
Računski dobijen napon u gornjem vlaknu σ_g [MPa]	-16,58				-18,03			-26,31			
Dozvoljeni napon u gornjem vlaknu	$\sigma_r = 19.10$ MPa				$\sigma_r = 19.10$ MPa			$\sigma_r = 19.10$ MPa			

4. Analiza rezultata dobijenih ispitivanjem skretničkih i pragova B70 - Bauschingerov efekat

Rezultati ispitivanja ponašanja skretničkih prednapregnutih železničkih pragova podvrgnutih statičkom i dinamičkom opterećenju[45] su ukazali na pojavu efekta povećanog kapaciteta nosivosti ispitivanog preseka pri cikličnom-dinamičkom opterećenju[50] u odnosu na kapacitet nosivosti istog preseka istog elementa pri statičkom opterećenju. Ovakva pojava predstavlja fenomen neelastičnog ponašanja prednapregnutog betonskog elementa pri cikličnom opterećenju[26]. Uzročnik ovoj pojavi jeste fenomen nazvan *Bauschingerov efekat* koji se odnosi na specifično ponašanje čelika pri dinamičkom opterećenju i koji predstavlja povećanje granične elastičnosti čelika pri cikličnom opterećenju odnosno uticaj prethodnih deformacija na napone. Ustanovljeno povećanje nosivosti preseka pri dinamičkom opterećenju u odnosu na nosivost pri statičkom možemo posmatrati kroz ponašanje užadi za prednaprezanje i betona kao i kroz dijagram zavisnosti napon-deformacija za određene preseke prednapregnutog železničkog praga.

Koristeći se računski dobijenim dijagramima raspodele napona po visini preseka praga i njegovim poređenjem sa dijagramom raspodele napona po visini preseka praga izvedenim na osnovu ekperimentalno izmerenih dilatacija (dijagram deformacija-napona) i to pri statičkom i pri dinamičkom opterećenju, moguće je utvrditi priraštaj nosivosti posmatranog preseka pri dinamičkom u odnosu na statičko opterećenje.

Pri dinamičkom ispitivanju prednapregnutih betonskih skretničkih pragova, dobijene su vrednosti koeficijenata sigurnosti, k_{1d} i k_{2d} , koje su znatno veće od zahtevanih. Ovaj fenomen je primećen i pri statičkom ispitivanju ali je procentualno manje izražen. Žice i kablovi za prednaprezanje betonskih skretničkih pragova pri dinamičkom opterećenju imaju prirast nosivosti, što bi mogao biti dokaz pojave Bauschingerovog efekta kod žica i užadi i razlog dobijanja visokih vrednosti koeficijenata sigurnosti, k_{1d} i k_{2d} . S obzirom da su vrednosti ovih koeficijenata kod pragova B70 manji nego kod skretničkih pragova, razlog bi mogao biti u tome što je prag B70 armiran žicama a skretnički prag užadima za prednaprezanje.

XIV ISPITIVANJE KOLOSEČNOG PRIČVRSTNOG PRIBORA

1. ISPITIVANJE OTPORNOSTI PRIČVRSTNOG PRIBORA VOSSLOH I PANDROL NA UTICAJ VERTIKALNE SILE ČUPANJA I SILE KOČENJA PREMA EN13481-1 I EN13416-7 [42], [43]

1.1. Predmet i cilj ispitivanja

Cilj ispitivanja je da se utvrdi uticaj sile čupanja i sile kočenja na pričvrstni pribor Vossloh i Pandrol i usklađenost utvrđenih uticaja sa uslovima datim u uputstvu Železnica Srbije br.349 i evropskim normama EN13481-2 koji se odnose na primene na železnici, kolosek odn. železnički gornji stroj i tehničke uslove za sisteme šinskih pričvršćenja za betonske pragove.

Ispitivanje pričvrstnog pribora je obavljeno u maju 2014. godine. Rezultati ispitivanja su dati u nastavku.

1.2. Sistem šinskih pričvršćenja za betonske pragove tipa Vossloh



Slika 232. Priprema za utvrđivanje sile čupanja tirfona za kolosečni pričvrstni pribor tipa Vossloh

Tokom procesa ispitivanja sistema Vossloh (slika 232), utvrđene su sledeće vrednosti:

- Sila čupanja:
 - računska sila čupanja $Z=55,8 \text{ kN}$,
 - izmerena vrednost sile čupanja: $108,50 \text{ kN}$,
 - izmerena vrednost sile čupanja je veća od računске sile čupanja
 $108,50 \text{ kN} > 55,8 \text{ kN}$



Slika 233. Ispitivanje sile čupanja za kolosečni pričvrсни pribor tipa Vossloh

- Sila kočenja:
 - računska sila kočenja: 82,50 kN,
 - izmerena vrednost sile kočenja po čvornoj vezi: 100 kN,
 - izmerena vrednost sile kočenja je veća od računske sile kočenja
 $100 \text{ kN} > 82,50 \text{ kN}$



Slika 234. Ispitivanje sile kočenja za kolosečni pričvrсни pribor tipa Vossloh

Zaključak posle sprovedenog postupka ispitivanja je da ispitivani pričvrсни pribor sistema Vossloh u potpunosti zadovoljava zahteve propisane domaćim i evropskim normativima.

1.3. Sistem šinskih pričvršćenja za betonske pragove tipa Pandrol

Tokom procesa ispitivanja sistema Pandrol, utvrđene su sledeće vrednosti:

- Sila čupanja:
 - računska sila čupanja $Z=55,8 \text{ kN}$,
 - izmerena vrednost sile čupanja: 90 kN ,
 - izmerena vrednost sile čupanja je veća od računске sile čupanja
 $90 \text{ kN} > 55,8 \text{ kN}$



Slika 235. Ispitivanje sile čupanja za kolosečni pričvrсни pribor tipa Pandrol

- Sila kočenja:
 - računska sila kočenja: $82,50 \text{ kN}$,
 - izmerena vrednost sile kočenja po čvornoj vezi: 98 kN ,
 - izmerena vrednost sile kočenja je veća od računске sile kočenja
 $98 \text{ kN} > 82,50 \text{ kN}$



Slika 236. Ispitivanje sile kočenja za kolosečni pričvrsni pribor tipa Pandrol

Zaključak posle sprovedenog postupka ispitivanja je da ispitivani pričvrsni pribor sistema Pandrol u potpunosti zadovoljava zahteve propisane domaćim i evropskim normativima.



Slika 237. Oštećenje vrha čvorne veze kolosečnog pričvrsnog pribora tipa Pandrol pri uticaju maksimalne sile čupanja od 90 kN

2. ISPITIVANJE LONGITUDINALNE SILE OTPORA PRIČVRSSNOG PRIBORA I BETONSKOG PRAGA PREMA EN 13416-1

2.1. Predmet i cilj ispitivanja

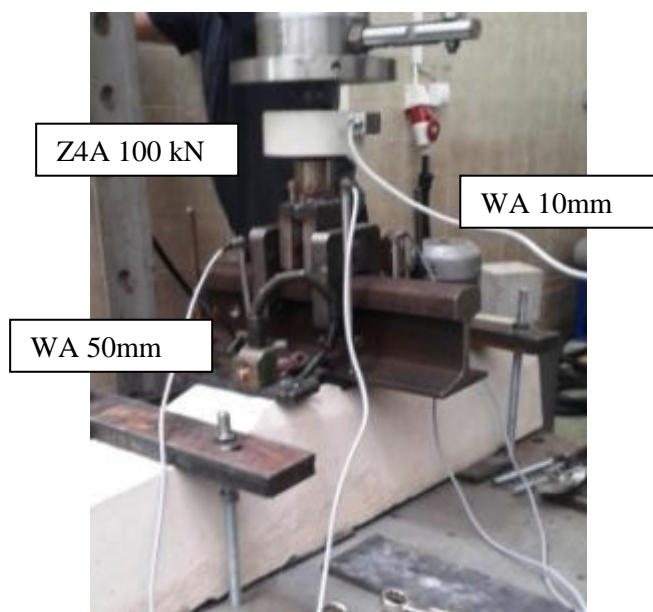
Ispitivanje longitudinalne sile otpora pričvrsnog pribora se vrši u cilju kontrole ispunjenja kriterijuma postavljenih standardom a tiče se utvrđivanja intenziteta sile pri kojoj dolazi do proklizavanja pribora na prednapregnutom betonskom pragu odnosno utvrđivanje intenziteta sile "držanja" praga i pričvrsnog pribora na njemu u slučaju kočenja na koloseku. Metoda ispitivanja je definisana standardom EN13416-1. Standard, takođe, definiše i potrebnu minimalnu silu otpora.

Ispitivanje pričvrsnog pribora je obavljeno u septembru 2014. godine u laboratoriji Mašinskog fakulteta u Nišu. Rezultati ispitivanja su dati u nastavku.

2.2. Opis konstrukcije mernog mesta za ispitivanje longitudinalne sile otpora

Uslovi ispitivanja longitudinalne sile otpora su definisani standardom EN13416-1. Deo šine je potrebno pričvrstiti pričvrsnim priborom, zategnuti tirfene propisanim momentom pritezanja i pri nanošenju sile, zabeležiti pri kojem intenzitetu sile dolazi do proklizavanja pričvrsnog pribora, zajedno sa pragom na koji je pribor montiran. Ispitano je sedam uzoraka pribora i šine. Kolosečni pribor je preko tirfona pritegnut moment ključem sa vrednošću moment pritezanja od 200 Nm.

Merenje intenziteta longitudinalne sile je izvršeno mernim senzorom sile tipa Z4A od 100 kN proizvođača HBM (Hotinger Baddwin Messtechnik - Nemačka). Merenje pomeranja šine je vršeno senzorom pomeranja WA 50mm a merenje pomeranja betonskog praga senzorom pomeranja WA 10mm (slika 238).



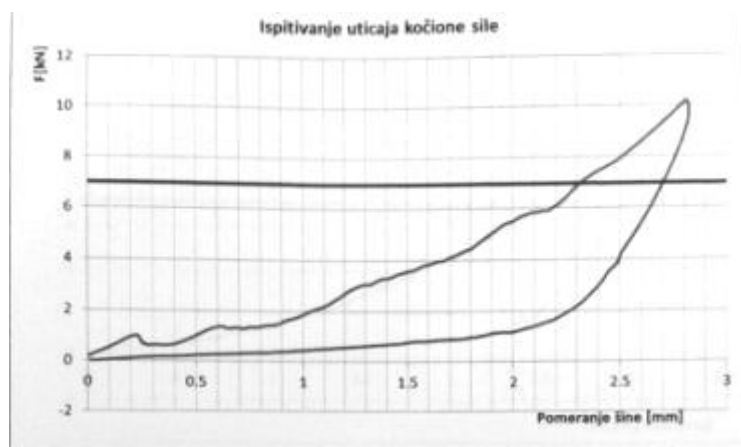
Slika 238. Položaj mernih senzora pri ispitivanju longitudinalne sile

Merenja su pokazala da se prag ne pomera pa su dijagrami u funkciji pomeranja šine. Akvizicija merenjem dobijenijih podataka je ostvarena mernim pojačivačem Quantum MX840 proizvođača HBM (Hotinger Baddwin Messtechnik - Nemačka). Obrada rezultata je izvršena na mernom računaru uz pomoć softvera CATMAN EASY ap. ver 3.5.

Meri se sila pri kojoj dolazi do proklizavanja šine.

2.3. Rezultati ispitivanja longitudinalne sile otpora

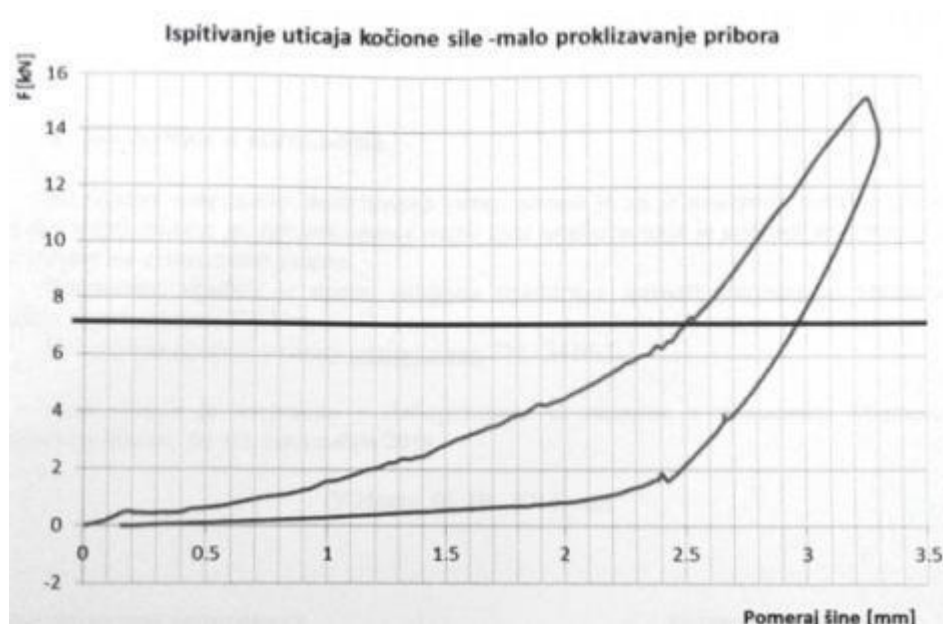
Standard ne definiše kriterijume po kojima se ocenjuje kvalitet spoja ali je rečeno da sila proklizavanja mora biti veća od 7 kN.



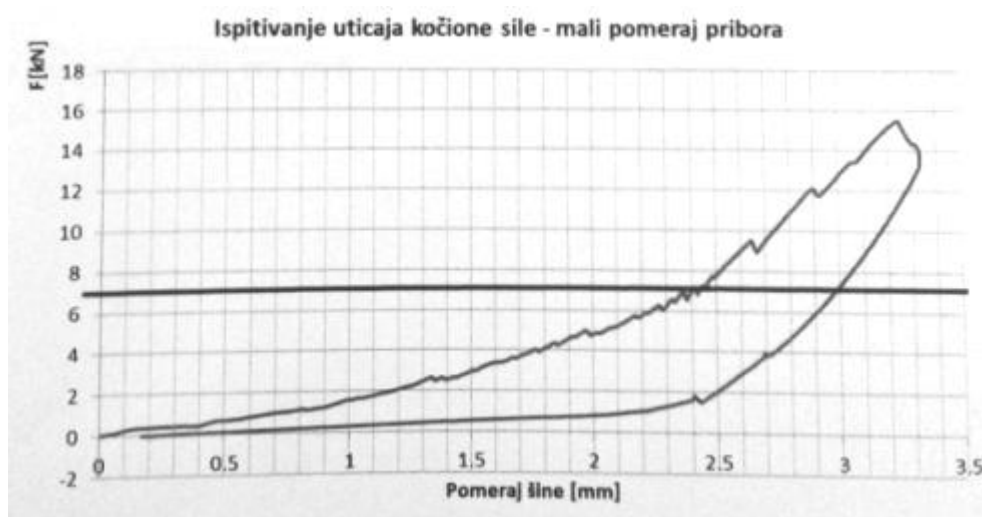
Slika 239. Dijagram sila-pomeranje šine - elastična deformacija



Slika 240. Dijagram sila - pomeranje šine - proklizavanje pribora



Slika 241. Dijagram sila - pomeranje šine - malo proklizavanje šine



Slika 242. Dijagram sila - pomeranje šine - malo proklizavanje šine

Na osnovu zabeleženih vrednosti, utvrđeno je da intenzitet longitudinalne sile pri kojoj dolazi do proklizavanja šine duž pričvrsnog pribora (simulacija uticaja sile kočenja) iznosi 12,0 -13,5 kN. Ova vrednost je znatno veća od standardom propisane minimalne sile pri kojoj ne sme doći do proklizavanja i koja iznosi 7 kN.

2.4. Zaključak

Na osnovu izvršenih ispitivanja na uzorcima, utvrđeno je da srednja vrednost longitudinalne sile otpora pričvrsnog pribora pri kojoj dolazi do proklizavanja šine duž pribora iznosi 12,75 kN što je veće od minimalne vrednosti zahtevane standardom koja iznosi 7kN. Dakle, zaključak je da pričvrсни pribor u svemu **zadovoljava** uslove propisane standardom EN13416-1.

3. ISPITIVANJE OTPORA PRIČVRSTNOG PRIBORA I BETONSKOG PRAGA PREMA KOSOJ SILI NA VRHU ŠINE U SKLADU SA EN13481-1 I EN13416-3,4

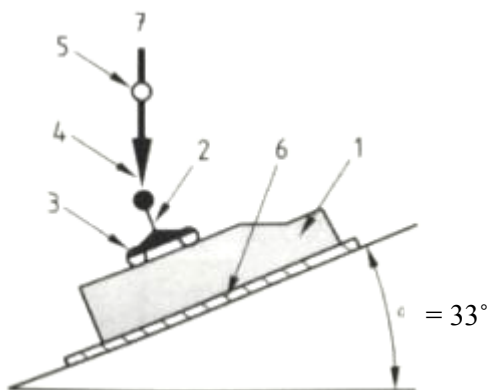
3.1. Predmet i cilj ispitivanja

Ispitivanje otpora pričvrstnog pribora i betonskog praga prema kosoj sili na vrhu šine se vrši u cilju kontrole ispunjenja kriterijuma postavljenih standardima a tiče se utvrđivanja intenziteta sile pri kojoj dolazi do popuštanja pribora na prednapregnutom betonskom pragu odnosno utvrđivanje kapaciteta nosivosti betonskog praga i pribora kada se voz kreće po krivini na koloseku. Metoda ispitivanja je definisana standardom EN13416-4 dok silu koju pribor sa pragom trebaju da izdrže eksplicitno ne definiše ni jedan iz grupe standarda. Standardi se, međutim, koriste za ocenu kolosečnog pričvrstnog pribora koji je montiran na prednapregnuti betonski prag.

Ispitivanje pričvrstnog pribora je obavljeno u septembru 2014. godine u laboratoriji Mašinskog fakulteta u Nišu. Rezultati ispitivanja su dati u nastavku.

3.2. Opis konstrukcije mernog mesta za ispitivanje otpora pričvrstnog pribora na kosu silu na vrhu šine

Uslovi ispitivanja longitudinalne sile otpora su definisani standardom EN13416-4. Deo šine je potrebno pričvrstiti pričvrstnim priborom, zategnuti tirfone propisanim momentom pritezanja (200 Nm) i ustanoviti pri kojoj sili dolazi do popuštanja pričvrstnog pribora montiranog na betonski prag. Ispitivanje se vrši na 3 uzorka.



Slika 243. Princip nanošenja i merenja kose sile na vrhu šine prema EN13416-4

Merenje intenziteta otpora na kosile je izvršeno mernim senzorom sile tipa Z4A od 100 kN proizvođača HBM (Hotinger Baddwin Messtechnik - Nemačka).



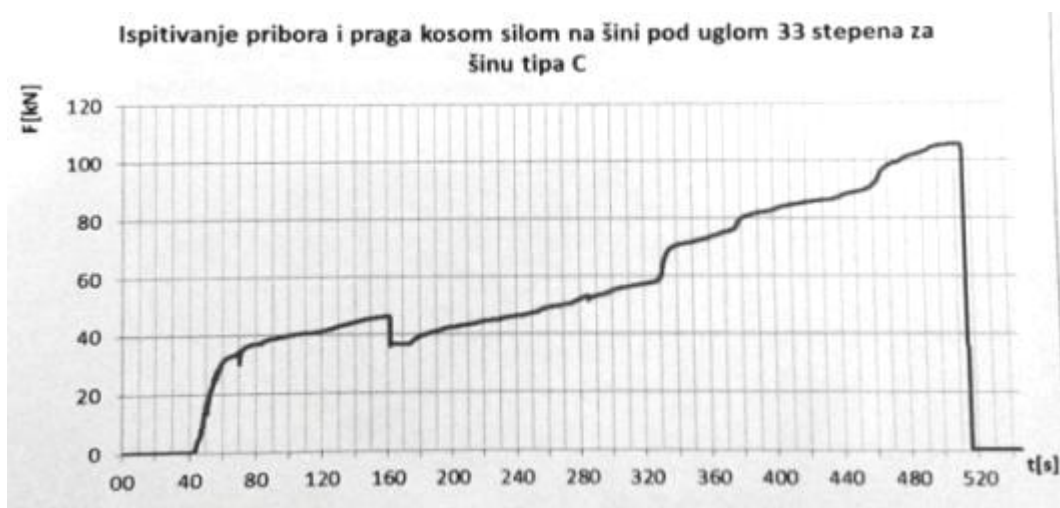
Slika 244. Položaj mernih senzora pri ispitivanju otpora pribora pri kosoj sili

Akvizicija merenjem dobijenijih podataka je ostvarena mernim pojačivačem Quantum MX840 proizvođača HBM (Hotinger Baddwin Messtechnik - Nemačka). Obrada rezultata je izvršena na mernom računaru uz pomoć softvera CATMAN EASY AP ver 3.5. Standardom EN13416-4 je definisano da se meri sila pri kojoj dolazi do popuštanja šine. Nije definisan kriterijum za ocenu kvaliteta veze već samo treba izmeriti silu koju spoj izdržava.

3.3. Rezultati ispitivanja otpornosti prema kosoj sili na vrhu šine



Slika4 245. Dijagram sila-vreme za dejstvo kose sile na vrhu šine



Slika 246. Dijagram sila-vreme za dejstvo kose sile na vrhu šine

Na osnovu izmerenih vrednosti pri ispitivanju otpornosti na kosu silu na vrhu šine, sva tri uzorka pričvrstnog pribora i pragova su "izdržali" silu veću od 108 kN bez ikakve deformacije.



Slika 247. Način ostvarivanja ugla od 33° za dejstvo kose sile na vrhu šine

3.4. Zaključak

U toku izvršenih ispitivanja je ustanovljeno da izmerena kosa sila na šini iznosi 108 kN, pri čemu nema nikakvih deformacija pribora i praga. Dakle, ispitivani pričvrstni pribor u svemu zadovoljava EN13481-1 I EN13416-4,4.

XV ZAKLJUČCI

Osnovni cilj i zadatak istraživanja koja su sprovedena i opisana u okviru ove disertacije jeste sveukupna ocena kvaliteta prednapregnutog betonskog železničkog praga putem utvrđivanja kapaciteta njegove nosivosti i to sprovođenjem svih standardima propisanih ali i standardima nezahtevanih postupaka. Neka od ispitivanja praga poput eksperimentalnog utvrđivanja kapaciteta nosivosti prednapregnutog betonskog železničkog praga u realnim ambijentalnim uslovima eksploatacije nisu zahtevana standardima ali su izvršena kako bi se došlo do što relevantnijih podataka neophodnih za ukupnu ocenu kvaliteta proizvedenog i u kolosek ugrađenog prednapregnutog betonskog železničkog praga.

U ovoj disertaciji su prikazane sve faze neophodne za dobijanje jasne slike o kvalitetu prednapregnutog betonskog železničkog praga za prugu u pravcu i praga za skretnice i ukrštaje, od faze analize, projektovanja, proizvodnje i svih standardima zahtevanih ispitivanja prednapregnutih pragova, sve do eksploatacionog i eksperimentalnog ambijentalnog ispitivanja.

Kao polazna tačka u ovoj studiji, odmah posle pregleda savremenih standarda i zakonske regulative na temu železničkih pragova, navedene su osnove za proračun prednapregnutih betonskih železničkih pragova. Izvršen je prikaz proračuna prednapregnutog betonskog praga B70 za prugu u pravcu, dužine 240 i 260 cm, kao i prikaz proračuna prednapregnutog betonskog skretničkog praga. U okviru proračuna, data je detaljna analiza uticaja na pragove za prugu u pravcu i proračun pritiska šina na pragove za skretnice i ukrštaje.

Značajno mesto u disertaciji zauzima i računsko ispitivanje uticaja krutosti podloge na distribuciju naponskog stanja kod prednapregnutog betonskog železničkog praga tipa B70. Posle detaljne analize dobijenih rezultata i izrade grafika na kojima se pokazuje uticaj krutosti podloge (posteljice) na distribuciju naponskog stanja kod pragova za brze pruge, jasno je pokazano da je krutost posteljice važna zbog smanjenja razlike između minimalnog i maksimalnog momenta u pragu. Zaključeno je da se uz podbijanje $1/3$ raspona praga i sa povećanjem krutosti podloge može znatno uticati na smanjenje napona zatezanja koji se javlja u pragu. Podbijanje se vrši zbog želje da se u konstrukciji železničkog praga izazove naponsko stanje zatezanja koje će primiti čelik za prednaprezanje, a da se izbegne pritisak u središnjem delu praga. Što se tiče vertikalnih deformacija, jasno je pokazano da se one smanjuju sa povećanjem krutosti posteljice (podloge) a da se posle podbijanja te deformacije povećavaju na nepodbijenom delu praga. Razlika u vertikalnim deformacijama praga u toku normalne eksploatacije i posle podbijanja je sve manja sa povećanjem krutosti posteljice.

Posle reči vezanih za vrste obaveznih ispitivanja železničkih pragova i vrste instrumenata koji se koriste pri ispitivanju prednapregnutih betonskih železničkih pragova, u disertaciji je dat prikaz toka laboratorijskih ispitivanja prednapregnutog betonskog praga B70 na uticaj statičkog, dinamičkog i zamornog opterećenja sa eksploatacionim ispitivanjem praga. Rezultati statičkog, dinamičkog i zamornog ispitivanja su pokazali da su ispitivani presezi u potpunosti zadovoljili standardom zahtevane kriterijume.

Tokom ispitivanja pragova na uticaj statičkog opterećenja su ispitivani pragovi u dva preseka, u tri položaja: presek na mestu oslanjanja šine i presek u sredini praga, u normalnom i obrnutom položaju. Za sve ispitivane preseke, pragovi su u potpunosti zadovoljili postavljene kriterijume. Vrednosti udarnih statičkih koeficijenata sigurnosti su iznad zahtevanih minimalnih vrednosti.

Dinamičko ispitivanje je izvršeno za presek na mestu oslanjanja šine, na propisanom broju pragova. Analizom rezultata ispitivanja, uočene su znatno veće vrednosti dinamičkih koeficijenata sigurnosti k_{1d} i k_{2d} od zahtevanih, za razliku od statičkih koeficijenata sigurnosti koji su samo iznad zahtevanih vrednosti. Uzročnik ovoj pojavi jeste fenomen nazvan *Baušingerov efekat* koji se odnosi na specifično ponašanje čelika pri dinamičkom opterećenju i koji predstavlja povećanje granične elastičnosti čelika pri cikličnom opterećenju odnosno uticaj prethodnih deformacija na napone.

Nakon ispitivanja na zamor, na ispitivanom opitnom uzorku (reprezentativnom pragu) nisu otkriveni nikakvi znaci oštećenja koji bi bili posledica ovog ispitivanja. Takođe, srednja vrednost koeficijenta k_3 , dobijena pri ispitivanju na zamorno opterećenje, pokazuje da ispitivani prag B70 u potpunosti zadovoljava kriterijume date u Uputstvu br.349 Železnica Srbije[7], koji se odnose na proizvodnju, kontrolu i prijem jednodelnih prednapregnutih betonskih pragova.

Po sprovedenom eksploatacionom ispitivanju, posle sprovedenih laboratorijskih i zahtevanih ambijentalnih odnosno ispitivanja pragova posle isteka eksploatacionog perioda, izvršeno je upoređivanje dobijenih rezultata pri čemu je ustanovljen visok stepen poklapanja istih. Pri tome, svi dobijeni rezultati su zadovoljili postavljene kriterijume, čime su stvoreni uslovi da predmetni prag dobije dozvolu za korišćenje na prugama Železnice Srbije. Sprovedenim ispitivanjem[21] je ustanovljen i kapacitet nosivosti prednapregnutih betonskih železničkih pragova nakon dejstva zamornog opterećenja u realnim ambijentalnim uslovima eksploatacije. Pokazano je da postoji značajna rezerva u kapacitetu nosivosti prednapregnutih betonskih pragova jer su globalni statički i dinamički koeficijenti znatno iznad zahtevanih vrednosti.

Rezultati eksperimentalnog utvrđivanja kapaciteta nosivosti prednapregnutog betonskog železničkog praga B70 u realnim ambijentalnim "in-situ" uslovima eksploatacije odnosno rezultati ispitivanja prednapregnutog betonskog železničkog praga B70 koje je vršeno u trenutku dejstva eksploatacionog opterećenja, dati su tabelarno posle ispitivanja koje je izvršeno na reprezentativnim pragovima dužine 260 i 240 cm, u dva navrata, u različitim ambijentalnim odnosno uslovima visokih i niskih temperatura vazduha. Posle ugradnje mernih traka i betoniranja, 24.07.2014.godine je izvršena i ugradnja reprezentativnih pragova B70 u dva raspona ($L=260$ i $L=240$ cm). Reprezentativni prag dužine $L=240$ cm je ugrađen u kolosek u neposrednoj blizini proizvodne hale Fabrike betona u Stalaću dok je reprezentativni prag dužine $L=260$ cm ugrađen u kolosek, pred početak skretnice, na ulazu u železničku stanicu u Stalaću. Detaljnim pregledom ugrađenih reprezentativnih prednapregnutih betonskih pragova posle merenja dilatacija u toku delovanja eksploatacionog opterećenja, nisu primećene bilo kakve prsline na površini pragova. Važan je i podatak da su pragovi ugrađeni u kolosek 24.07.2014.godine i da su se do 27.08.2014.godine, kada je izvršeno prvo merenje dilatacija pod eksploatacionim opterećenjem, u ambijentalnim uslovima, pragovi nalazili u eksploataciji već punih 35 dana. Na pragovima, dakle, nisu uočena oštećenja površine niti zaostale prsline.

U disertaciji je data detaljna analiza dobijenih dijagrama u vidu komentara zabeleženih pojava. Na dijagramima je uočeno da je stanje napona u pragu prilično harrnonično uz pojavu

određenih incidentnih stanja napona izazvanih nedovoljno podbijenim pragom ili oštećenjem na šini.

Kao najbolji način prezentacije dobijenih rezultata merenja u ambijentalnim uslovima, u disertaciji je data i uporedna analiza grafikona dobijenih na osnovu izmerenih dilatacija u pragovima pri realnom opterećenju u ambijentalnim letnjim i zimskim uslovima eksploatacije. Izmerene vrednosti dilatacija i izvršena kontrola dobijenih napona jasno pokazuju da je stepen iskorišćenja napona u preseku dosta mali i da je uticaj temperature vazduha na vrednosti izmerenih dilatacija značajan.

Zaključak na osnovu vizuelnog pregleda i analize dobijenih dijagrama dilatacija u karakterističnim presecima reprezentativnih pragova izloženih realnom opterećenju u ambijentalnim uslovima je da su pragovi u potpunosti spremni da prihvate i na podlogu prenesu projektovano opterećenje.

Uporedna analiza rezultata ambijentalnog ispitivanja i rezultata laboratorijskog zamornog i eksploatacionog ispitivanja prednapregnutih betonskih železničkih pragova je neophodna za konačnu procenu ponašanja i utvrđivanje kapaciteta nosivosti prednapregnutih betonskih železničkih pragova. Zamornim i eksploatacionim ispitivanjem su utvrđene vrednosti karakterističnih sila $F_{r0,05}$ (intenzitet opterećenja pri kome se na donjoj površini praga, na mestu oslanjanja šine na prag, javlja prslina širine 0,05 mm, koja ostaje i posle uklanjanja opterećenja), i sile F_{rB} (intenzitet opterećenja koje deluje na mestu oslanjanja šine na prag i koje se ne može više povećavati), koje su u granicama dozvoljenih vrednosti za slučaj dejstva statičkog opterećenja na prag posle izlaganja praga zamornom opterećenju kao i posle izlaganja eksploatacionom ambijentalnom opterećenju, što su pokazale i vrednosti globalnih statičkih koeficijenata sigurnosti koje su veće od zahtevanih vrednosti.

Sprovedenim ispitivanjima je jasno pokazano da postoji značajna rezerva u kapacitetu nosivosti prednapregnutih betonskih železničkih pragova jer su globalni statički koeficijenti sigurnosti k_{1s} i k_{2s} znatno iznad zahtevanih vrednosti.

Što se tiče rezultata dobijenih u postupku zamornog i eksploatacionog ispitivanja, posle upoređivanja, jasno je zaključiti da su oni približnih vrednosti, posebno kada se radi o kapacitetu nosivosti pragova pri maksimalnom intenzitetu opterećenja, pri opterećenju koje deluje na mestu oslanjanja šine na prag i koje se ne može više povećavati. Za razliku od relativno jednostavnog upoređivanja rezultata zamornog i eksperimentalnog ispitivanja, upoređivanje zamornog i ispitivanja u realnim uslovima eksploatacije odnosno ponašanja praga u trenutku nanošenja realnog opterećenja u ambijentalnim uslovima eksploatacije je puno kompleksniji problem. Naime, pri ambijentalnom ispitivanju, gotovo je nemoguće dostići da prag pretrpi 2.000.000 ciklusa opterećenja da bi dobijeni rezultati bili uporedivi. Takođe, u slušaju demontaže pragova prethodno izloženim ambijentalnom ispitivanju i njihovom podvrgavanju laboratorijskom statičkom ispitivanju, mogli bi odrediti sile $F_{r0,05}$ i F_{rB} i globalne statičke koeficijente sigurnosti k_{1s} i k_{2s} koje bi mogli uporediti sa vrednostima dobijenim pri zamornom ispitivanju, ali, tada se radi o podvrgavanju pragova ekstremnim uslovima a ne realnim ambijentalnim uslovima eksploatacije što nam nije bio cilj.

Pored rezultata ispitivanja prednapregnutih betonskih pragova za prugu u pravcu, u ovoj disertaciji su predstavljeni i rezultati dobijeni sprovođenjem ispitivanja prednapregnutih betonskih skretničkih pragova na uticaj statičkog i dinamičkog opterećenja do loma (opciono ispitivanje). Analizom dobijenih rezultata je pokazano da su ispitivani preseki u potpunosti zadovoljili standardom zahtevane kriterijume. I u slučaju skretničkih pragova, pri dinamičkom ispitivanju su uočene znatno veće vrednosti dinamičkih koeficijenata sigurnosti k_{1d} i k_{2d} od zahtevanih, za razliku od statičkih koeficijenata. Pojava efekta povećanog kapaciteta nosivosti ispitivanog preseka pri cikličnom-dinamičkom opterećenju u odnosu na kapacitet nosivosti istog preseka, istog elementa, pri statičkom opterećenju, predstavlja fenomen neelastičnog ponašanja prednapregnutog betonskog elementa pri cikličnom opterećenju[26]. Kako je već navedeno, uzročnik ovoj pojavi jeste fenomen nazvan *Baušingerov efekat* koji se odnosi na specifično ponašanje čelika pri dinamičkom opterećenju i koji predstavlja povećanje granične elastičnosti čelika pri cikličnom opterećenju odnosno uticaj prethodnih deformacija na napone. *Bauschingerov efekat* pri cikličnom dinamičkom opterećenju prednapregnutog betonskog praga odnosno ustanovljeno povećanje nosivosti preseka praga pri dinamičkom opterećenju u odnosu na nosivost pri statičkom možemo posmatrati kroz ponašanje žica i užadi za prednaprezanje i betona kao i kroz dijagram zavisnosti napon-deformacija za određene preseke prednapregnutog železničkog praga.

S obzirom da kolosečni pribor ima značajnu ulogu u načinu i kvalitetu prenošenja opterećenja sa šina na železnički prag, u disertaciji su prikazani i rezultati ispitivanja kolosečnog pričvrsnog pribora koje je izvršeno po tri osnova, i to:

- u cilju utvrđivanja otpornosti pričvrsnog pribora Vossloh i Pandrol na uticaj vertikalne sile čupanja i sile kočenja prema EN13481-1 i EN13416-7,
- u cilju utvrđivanja longitudinalne sile otpora pričvrsnog pribora i betonskog praga prema EN13416-1,
- u cilju utvrđivanja veličine otpora pričvrsnog pribora i betonskog praga prema kosoj sili na vrhu šine u skladu sa EN13481-1 i EN13416-3,4.

Zaključak posle sprovedenih postupaka ispitivanja je da ispitivani pričvrсни pribor ispitivanih sistema u potpunosti zadovoljava zahteve propisane domaćim i evropskim normativima.

Na osnovu svega obrađenog i izloženog u ovoj disertaciji, izvedeni su sledeći opšti zaključci:

- Sačinjen je pregled savremenih evropskih i domaćih standarda i zakonske regulative na temu železničkih pragova,
- Obradene su osnove za proračun prednapregnutih betonskih železničkih pragova što može biti od koristi pri projektovanju budućih pragova za brzine veće od 300km/h,
- Detaljno je prikazan postupak proračuna prednapregnutog betonskog železničkog praga tipa B70 za prugu u pravcu,
- Detaljno je prikazan postupak proračuna prednapregnutog betonskog skretničkog železničkog praga,

- Pokazano je koliki i kakav uticaj ima krutost podloge na distribuciju naponskog stanja kod prednapregnutog betonskog železničkog praga tipa B70,
- Navedene su sve vrste obaveznih ispitivanja prednapregnutih betonskih železničkih pragova propisana evropskim i domaćim standardima i zakonskom regulativom sa detaljnim opisom uslova, metodologije i programa ispitivanja,
- Izvršena su sva standardima propisana laboratorijska i "in situ" ambijentalna ispitivanja kao i opcionalna ispitivanja prednapregnutih betonskih železničkih pragova: statičko, dinamičko, zamorno, eksploataciono, ambijentalno. Navedenim ispitivanjima je dokazana ispunjenost postavljenih kriterijuma za dokazivanje kvaliteta pragova,
- Izvršeno je eksperimentalno utvrđivanje kapaciteta nosivosti prednapregnutog betonskog železničkog praga B70 u realnim ambijentalnim "in-situ" uslovima eksploatacije odnosno ispitivanje u trenutku dejstva eksploatacionog opterećenja pri čemu je dat grafički prikaz rezultata merenja koji su ukazali na pojavu određenih incidentnih stanja napona u pragu izazvanih nedovoljno podbijenim pragom ili oštećenjem na šini kao i da je uticaj temperature vazduha na vrednosti izmerenih dilatacija značajan,
- Donešeni su zaključci na osnovu uporedne analize rezultata ambijentalnog ispitivanja i rezultata laboratorijskog zamornog i eksploatacionog ispitivanja prednapregnutih betonskih železničkih pragova,
- Laboratorijski su ispitani prednapregnuti betonski skretnički pragovi na uticaj statičkog i dinamičkog opterećenja do loma kao opcionog ispitivanja čime je dokazana ispunjenost postavljenih kriterijuma za dokazivanje kvaliteta skretničkih pragova,
- Analizom rezultata ispitivanja je ukazano na pojavu posebnog fenomena kod prednapregnutih betonskih pragova - *Baušingerovog efekta* koji se odnosi na specifično ponašanje čelika pri dinamičkom opterećenju i koji predstavlja povećanje granične elastičnosti čelika pri cikličnom opterećenju odnosno uticaj prethodnih deformacija na napone,
- Prikazani su način i rezultati ispitivanja kolosečnog pričvrsnog pribora na uticaj vertikalne sile čupanja i sile kočenja, longitudinalne sile otpora pričvrsnog pribora i ispitivanje otpora pričvrsnog pribora i betonskog praga prema kosoj sili na vrhu šine, čime je dokazano ispunjenje standardima zahtevanih kriterijuma koji se tiču pričvrsnog pribora,
- Pružena je pomoć u stvaranju uslova za otpočinjanje domaće proizvodnje prednapregnutih betonskih železničkih pragova koji su do sada uvoženi uz mnogobrojne probleme vezane za kvalitet uveženih pragova,

U okviru ove disertacije, teorijske postavke i eksperimentalni rad su, pored postignutih rezultata rada, ukazali i na moguće dalje i nove pravce istraživanja koji bi trebali pružiti odgovore na pitanja koja su ostala nerazjašnjena ili pitanja koja se tek postavljaju pred nama. Pravci budućeg naučno-istraživačkog rada su:

- Utvrđivanje uticaja brzine kretanja lokomotive na prednapregnuti betonski prag u eksploataciji,
- Eksperimentalno utvrđivanje ugiba prednapregnutih betonskih železničkih pragova u ambijentalnim uslovima u trenutku prolaska lokomotive,
- Mogućnost primene ispitivanih prednapregnutih betonskih železničkih pragova za pruge za brzine kretanja od preko 300 km/h i načini unapređenja u cilju ispunjenja postavljenih zahteva,
- Ispitivanje žica i užadi za prednaprežanje betonskih B70 i skretničkih pragova na uticaj dinamičkog opterećenja radi uporedne analize i dokaza Baushingerovog efekta.

XVI LITERATURA

- [1] Meier Hermann. Prof.Dr.Ing. *Grundsatzliches zur Betonschwelle*. Munchen 1957.
- [2] Prud'Homme, M. A, Janin, M. G. *Die Stabilität des mit durchgehend verschweißten Schienen verlegten Gleises*, Revue Générale des Chemins de Fer 2/1968.
- [3] Dr. Bernhard Lichtberger. *EUROPEAN RAILWAY REVIEW*, Research & Testing Department, Plasser & Theurer 2007, issues 3 & 4,
- [4] SL SFRJ 51/71. *Pravilnik o tehničkim merama i uslovima za prednapregnuti beton*. 1971;
- [5] SL SFRJ 41/85 i 21/88. *Pravilnik o tehničkim normativima za čelične žice, šipke i užad za prednaprezanje konstrukcija*. 1988;
- [6] ZJŽ-334. *Uputstvo o proizvodnji, kontroli i prijemu prednapregnutih betonskih pragova na mreži pruga JŽ*. 01.03.2005;
- [7] ZJŽ-349. *Uputstvo za proizvodnju, kontrolu i prijem jednodelnih prednapregnutih betonskih pragova WALTER BAU-AG za mrežu pruga JŽ*. Beograd 01.12.2004; ZJŽ II-3/3:br 92/126-2004.
- [8] ZJŽ-351. *Uputstvo za proizvodnju, kontrolu i prijem predhodnonapregnutih betonskih pragova PFLEIDERER za skretnice i ukrštaje na mreži pruga JŽ*. Beograd 11.05.2005; ZJŽ II-3/3: br 92/-2005.
- [9] PUTEVIINVEST Užice. Tehnički crteži železničkih pragova.
- [10] SISTEM SPB. Tehnička dokumentacija.
- [11] INSTITUT IMS – SPB SUPER. Sistem za prednaprezanje.
- [12] Curić E, *Glavni projekat prednapregnutog praga za brze pruge tipa B70*, Gradjevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu. Niš 2010;
- [13] Curić E, *Glavni projekat prednapregnutog betonskog skretničkog praga L=2600-4700mm*, Gradjevinsko- arhitektonski fakultet u Nišu, Niš 2012;
- [14] Gradjevinsko- arhitektonski fakultet u Nišu. *Izveštaj o ispitivanju prednapregnutog betonskog praga za brze pruge tipa B70*. Niš 2010;
- [15] Saobraćajni institut CIP Beograd, Studija. *Razvoj i uvođenje u proizvodnju i eksploataciju betonskih pragova za skretnice*. Beograd, april 1996;
- [16] Curić E, Drenić D, Vacev T. *Prikaz proračuna prednapregnutog betonskog železničkog praga tipa B70*. PhIDAC2010, Novi Sad 2010;
- [17] Curić E, Drenić D, Vacev T. *Uticaj krutosti podloge na distribuciju naponskog stanja kod prednapregnutog betonskog železničkog praga tip B70*. Nauka + Praksa 2010; (13):13-16.
- [18] Dragoljub Drenić, Enes Curić. *Prikaz ispitivanja prednapregnutog betonskog železničkog praga tipa B70*. Institut IMS, Beograd 2010;
- [19] Enes Curić, Adrijana Savić, Dragoljub Drenić. *Kapacitet nosivosti prednapregnutog betonskog praga nakon dejstva zamornog opterećenja*. GNP2012, Žabljak februar 2012;
- [20] Železnice Srbije. *Program eksploatacionog ispitivanja prethodno napregnutih, jednodelnih betonskih pragova B70*. Beograd, februar 2011;
- [21] Gradjevinsko- arhitektonski fakultet u Nišu. *Kontrolni izveštaj o ispitivanju prednapregnutih betonskih pragova B70 nakon eksploatacije*. jul 2011;
- [22] Gradjevinsko- arhitektonski fakultet u Nišu. *Izveštaj o ispitivanju prednapregnutih betonskih skretničkih pragova na uticaj dinamičkog opterećenja do loma - opciono ispitivanje*. Niš, april 2014;
- [23] http://www.zeleznicesrbije.com/active/sr-latin/home/glavna_navigacija/o_preduzecu/istorijat_zeleznice.html
- [24] Siril Y. *Automating condition monitoring of wooden railway sleepers*. EngineeringIT, October, 2007;
- [25] International union of Railways (UIC), *Railway Technical Publications (ETF). SUWOS Sustainable Wooden railway Sleepers*. Paris, January 2013;

- [26] D. C. Kent, R. Park. *Inelastic behaviour of reinforced concrete members with cyclic loading*. Department of Civil Engineering of the University of Canterbury
- [27] Nebojša Đuranović. *Eksperimentalna analiza konstrukcija mjernim trakama*. Građevinski fakultet Univerziteta Crne Gore, Podgorica 2008;
- [28] Zdenka Popović. *Gornji stroj željeznica*. Građevinski fakultet Univerziteta Crne Gore, Podgorica 2007;
- [29] http://www.zeleznicesrbije.com/active/sr-latin/home/glavna_navigacija/galerija_v04/node_1157100803/node_1157100985.html, poslednja poseta 20.07.2014.god.
- [30] http://www.zeleznicesrbije.com/active/sr-latin/home/glavna_navigacija/galerija_v04/node_1157100803/node_1157101040.html, poslednja poseta 20.07.2014.god.
- [31] <http://www.geografija.hr/clanci/495/zeljeznicom-kroz-proslost-i-sadasnjost-i-dio>, poslednja poseta 20.07.2014.god.
- [32] <http://www.zeleznice.in.rs/forum/viewtopic.php?f=23&t=89>, poslednja poseta 20.07.2014.god.
- [33] <http://www.politika.rs/rubrike/Ekonomija/Za-brze-pruge-414-milijardi-evra.sr.html>, poslednja poseta 20.07.2014.god.
- [34] <http://vozovi.com/forum/viewtopic.php?f=11&p=14780>, poslednja poseta 20.07.2014.god.
- [35] http://impregnacija.rs/wp-content/uploads/2012/06/Untitled_Panorama16_2.jpg, poslednja poseta 20.07.2014.god.
- [36] <http://www.meltongardensupplies.com.au/Sleepers.php>, poslednja poseta 20.07.2014.god.
- [37] <http://skik.hu/media/10000/13072-rail.jpg>, poslednja poseta 20.07.2014.god.
- [38] http://www.zeleznicesrbije.com/active/sr-latin/home/glavna_navigacija/infrastruktura/gradjevinska_delatnost.html, poslednja poseta 20.07.2014.god.
- [39] <http://www.geograph.org.uk/photo/1085368>, poslednja poseta 20.07.2014.god.
- [40] <http://www.railcor.co.za/imgs/img-12.jpg>, poslednja poseta 20.07.2014.god.
- [41] Gradjevinsko- arhitektonski fakultet u Nišu. *Izveštaj o ispitivanju prednapregnutih betonskih skretničkih pragova na uticaj statičkog opterećenja*. Niš, februar 2014;
- [42] Gradjevinsko- arhitektonski fakultet u Nišu. *Izveštaj o ispitivanju sile čupanja i sile kočenja pričvrsnog pribora sistema Vossloh*. Niš, maj 2014;
- [43] Gradjevinsko- arhitektonski fakultet u Nišu. *Izveštaj o ispitivanju sile čupanja i sile kočenja pričvrsnog pribora sistema Pandrol*. Niš, maj 2014;
- [44] http://www.b92.net/news/pics/2012/05/03/15414314544fa2640e5a5a9818764564_640x360.jpg, poslednja poseta 14.09.2014.god.
- [45] J. Taherinezhad, M. Sofi, P. A. Mendis and T. Ngo. *A review of behaviour of prestressed concrete sleepers*. Electronic journal of structural engineering 2013; 13(1).
- [46] Remennikov A, Kaewunruen S. *Investigation of Vibration Characteristics of Prestressed Concrete Sleepers in Free-free and In-situ Conditions*. Proceeding of Australian Structural Engineering Conference, Newcastle, Australia, 2005;
- [47] S. Kaewunruen, Alexander Remennikov. *Experimental and Numerical Studies of Railway Prestressed Concrete Sleepers Under Static and Impact Loads*. University of Wollongong, 2007;
- [48] Allan C. Manalo, Thiru Aravinthan. *Mechanical Behaviour of a New Type of Fibre Composite Railway Sleeper*. APFIS2012, Hokkaido university Japan, 2012;
- [49] Rikard G. *Static and dynamic finite element analysis of concrete sleepers*. Department of structural engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 2000; Licentiate Thesis.
- [50] Foglar, M. *Strain development under cyclic loading*. Ph. D. Thesis, CTU in Prague, Prague, 2008;

- [51] Kaewunruen, S. & Remennikov, A. M. *Progressive failure of prestressed concrete sleepers under multiple high-intensity impact loads*. Engineering Structures 2009; (31):2460-2473.
- [52] Remennikov, A. M. & Kaewunruen, S. *A review on loading conditions for railway track structures due to wheel and rail vertical interactions*. Progress in Structural Engineering and Materials 2008; (15):207-234.
- [53] Sýkorová, J., Bártová, J. & Štemberk, P. *Analysis of Prestressed Concrete Sleeper under Extreme Loading Conditions*. in: Mechanika 2011 - Proceedings of the 16th International Conference, Kauno technologijos universitetas, Kaunas 2011; 282-286.
- [54] Johanna L. *Preliminaries for probabilistic railway sleeper design*. Department of applied mechanics, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, Licentiate Thesis, 2006;
- [55] FIP Commission on Prefabrication. *Concrete railway sleepers*. Chairman of the working party Gylltoft K, FIB state of art report, Thomas Telford, London, 1987;
- [56] Amlan K. S. and Devdas M. *Prestressed concrete structures*. Indian Institute of Technology Madras, online version, 2008;
- [57] Johan S. and Håkan S. *Prestressed concrete structures*. TRITA-BKN. Report 122, Structural design & bridges, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2008;
- [58] Doyle N. F. *Railway track design: a review of current practice*. BHP Melbourne Research Laboratories, Australian Government Publishing Service, Canberra, 1980;
- [59] Douglas, M. & Johnson, H. *Design of prestress concrete structures*. PMO publishing Service, New York, 2004;
- [60] http://www.zeleznicesrbije.com/active/sr-latin/home/glavna_navigacija/galerija_v04/node_1157100803/node_1157101040.html, poslednja poseta 16.12.2014.godine
- [61] <http://vozovi.com/forum/viewtopic.php?f=41&t=1402>, poslednja poseta 16.12.2014.godine
- [62] http://zeleznicesrbije.com/active/sr-latin/home/glavna_navigacija/galerija_v04/node_1157100803/node_1157100985.html, poslednja poseta 16.12.2014.godine
- [63] <http://www.omega.com/literature/transactions/volume3/strain.html>, poslednja poseta 18.12.2014.godine
- [64] <http://www.inhersa.co.za/products/measurement-instrumentation/structural-and-geological-integrity-instruments-and-systems/deformeter>, poslednja poseta 18.12.2014.godine
- [65] <http://www.poyeshyar.com/CNDT.HTM>, poslednja poseta 18.12.2014.godine

PRILOZI

Prilog 1 - Vrste lokomotiva u eksploataciji u toku eksperimentalnog utvrđivanja kapaciteta nosivosti prednapregnutih betonskih železničkih pragova B70 u realnim ambijentalnim "in-situ" uslovima eksploatacije

Izvor: Železnice Srbije.

- Lokomotive na dizel-električni pogon [29]

Seriya JŽ 661



Slika 248. Lokomotiva serije JŽ661[62]

Dizel-električna lokomotiva serije JŽ 661, raspored osovina Co'Co'. Proizvedena je u firmi "General Motors", u SAD. Ove lokomotive su nabavljene u više navrata, počevši od 1960. do 1972. godine. U eksploataciji na prugama "Železnica Srbije". Ukupna masa ove lokomotive iznosi 100-112 tona, sa 16,5 tona osovinskog opterećenja.

Seriya JŽ 664



Slika 249. Lokomotiva serije JŽ664[62]

Dizel-električna lokomotiva serije JŽ 664, raspored osovina Co'Co'. Proizvedena je u firmi "General Motors", u SAD, a kasnije i u kooperaciji sa firmom "Đuro Đaković" iz Slavenskog Broda. Lokomotive su nabavljene u više navrata, od 1972. do 1985. godine. Lokomotiva je skoro identična sa lokomotivom serije JŽ 661, samo veće snage. U eksploataciji na prugama "Železnica Srbije".

Ukupna masa ove lokomotive iznosi 100 tona, sa 16,5 tona osovinskog opterećenja.

- Lokomotive na elektro pogon [30]

Seriya JŽ 441



Slika 250. Lokomotiva serije JŽ441[31]

Elektrolokomotivu serije JŽ 441 izgradila je ujedinjena firma "Traktion-Union" koju su sačinjavale sledeće firme: ASEA iz Švedske, Sesheron iz Švajcarske i Elin-Union iz Austrije. Sklopove je montirala firma Simmering-Graz Pauker iz Austrije. Kasnije je proizvodnju preuzeo "Rade Končar" iz Zagreba po licenci firme ASEA gde su, kao i u fabrici "MIN" iz Niša, urađene mnogobrojne modifikacije. Lokomotive su isporučivane "Železnicama Srbije" od 1970. Raspored osovina Bo'Bo'. U eksploataciji na prugama "Železnica Srbije".

Ukupna masa ove lokomotive iznosi 78 tona, sa 19,5 tona osovinskog pritiska (4 osovine).

Seriya JŽ 444



Slika 251. Lokomotiva serije JŽ444[60]

Modernizovana elektrolokomotiva serije JŽ 441 U eksploataciji na prugama "Železnica Srbije".

Ukupna masa ove lokomotive iznosi 80 tona, sa 20 tona osovinskog pritiska.

Seriya JŽ 461



Slika 252. Lokomotiva serije JŽ461[60]

Šestoosovinske elektrolokomotive serije JŽ461 proizvedene su u fabrici "Electroputere" u Rumuniji (ovaj tip lokomotiva, oznaka CFR 06QEA, predstavlja osnovnu seriju) za potrebe JŽ, a popravljane i modifikovane su u fabrikama "Rade Končar" Zagreb i "MIN" Niš. Lokomotive su isporučivane "Železnicama Srbije" od 1972. Koncept ove lokomotive sličan je seriji JŽ 441, jer potiče od istog isporučioa licencne dokumentacije ASEA Švedska. Raspored osovina Co'Co'. U eksploataciji na prugama "Železnica Srbije". Popularne "Rumunke" smatraju se najsnažnijim, najizdržljivijim i po tehničko-eksploatacionim karakteristikama najboljim lokomotivama Železnica Srbije.

Ukupna masa ove lokomotive iznosi 120 tona, sa 20 tona osovinskog pritiska.

- Dizel-motorni voz

Seriya ŽS 711 [44]



Slika 253. Lokomotiva serije JŽ711[61]

Dizel-motorni voz ruske proizvodnje za putnički saobraćaj na neelektrificiranim prugama. U eksploataciji na prugama "Železnica Srbije". Ukupna masa ovog dizel-motornog voza je 109 tona.