



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET
Zavod za prometnice
Kačićeva 26, 10000 Zagreb
tel./fax.: 01 4639 356

NIKOLA ANDRAŠI

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET ZAGREB**
Zavod za prometnice

NIKOLA ANDRAŠI

**UTJECAJ RAVNOSTI VOZNE POVRŠINE
TRAČNICA NA BUKU TRAČNIČKIH
VOZILA**

Zagreb, 2011.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET
Zavod za prometnice
Kačićeva 26, 10000 Zagreb
tel./fax.: 01 4639 356

NIKOLA ANDRAŠI

Ovaj rad izrađen je u Zavodu za prometnice Građevinskog fakulteta u Zagrebu pod vodstvom prof.dr.sc. Stjepana Lakušića, dipl.ing.građ. i predan je na natječaj za dodjelu rektorove nagrade u akademskoj godini 2010/2011.



SADRŽAJ:

1. UVOD.....	1
2. ISPITIVANJE BUKE.....	2
3. OPIS ISPITNOG MJESTA.....	7
4. GEOMETRIJA KOLOSIJEKA.....	11
4.1. Širina kolosijeka.....	12
4.2. Visinski odnos tračnica.....	15
4.3. Grafički prikaz geometrije kolosijeka.....	16
5. RAVNOST VOZNE POVRŠINE TRAČNICA.....	17
5.1. Grafički prikaz vozne površine.....	19
6. ANALIZA MJERENJA RAZINA BUKE.....	22
7. ZAKLJUČAK.....	34
8. LITERATURA.....	36
9. SAŽETAK.....	37
10. SUMMARY.....	38
11. PRILOZI.....	39



1. UVOD

Iako u povijesnom pogledu problem buke u okolišu i njen štetan utjecaj nisu novost, u novije vrijeme, razvojem tehnologije i samog čovječanstva, ovaj oblik onečišćenja okoliša prepoznat je kao velik problem cjelokupnom europskom i svjetskom društvu. Zaštita od prekomjernog djelovanja buke u okolišu tako je s vremenom postala veoma bitan čimbenik pri projektiranju građevina, strojeva i uređaja.

Rezultat te povećane pažnje prema ovom problemu je niz propisa i direktiva koje moraju zadovoljiti kako novoprojektirani vlakovi i pruge tako i oni stari. Problem buke uzrokovane kretanjem tračničkih vozila biti će detaljnije opisan u nastavku ovoga rada dok nam je za sada dovoljno iznijeti dvije važne činjenice. Prva činjenica je da ovaj problem nije u potpunosti istražen, te da su mjerenja i proračuni buke, za dio europskih zemalja pa tako i za nas, novost. Druga važna činjenica je da su određeni propisi već stupili na snagu, kako u Europskoj uniji tako i kod nas, te ukoliko želimo biti konkurentni našim proizvodima i uopće se sa njima pojaviti na tržištu moramo te propise i zadovoljiti. Novoprojektirana tračnička vozila moraju zadovoljiti sve tehničke zahtjeve koji se na njih postavljaju. Jedan od njih je i zahtjev da se emisijske vrijednosti razina buke, uzrokovane kretanjem vozila u prethodno definiranim uvjetima, nalaze unutar dopuštenih granica. Radi ispunjenja tog zahtjeva potrebno je, dakle, provesti tipsko ispitivanje buke. U radu se analiziraju dva tipska ispitivanja buke novih tračničkih vozila i to na dionici magistralne željezničke pruge M104 "Zagreb gl. kolodvor–Sisak–Novska" za lokomotivu izrađenu u tvornici Gredelj, te na željezničkoj pruzi "Zagreb–Vinkovci" na dionici "Vrpolje–Ivankovo" gdje je provedeno tipsko ispitivanje novog niskopodnog vlaka tvornice KONČAR. Kako bi rezultat ispitivanja bio mjerodavan potrebno je provjeriti prethodno definirane uvjete pod kojima ispitivanje treba biti obavljeno, što podrazumijeva kontrolu stanja gornjeg ustroja kolosijeka na navedenim dionicama. Ovaj rad u tom pogledu ima zadatak ispitati stanje kolosijeka i utvrditi da li može biti mjerodavno za ispitivanje emisijskih razina buke vlakova.

Kontrola stanja gornjeg ustroja sastojala se u vidu provjere geometrije kolosijeka i ravnosti vozne površine tračnica. Ispitivanja vezana za geometriju kolosijeka obavljena su na ispitnom poligonu duljine 100 m preciznim mjerenjem geometrije kolosijeka s digitalnim kolosiječnim mjerilom GRAW DTG-1435, dok se ravnost vozne površine tračnica ispitala na istom ispitnom poligonu digitalnim mjernim uređajem RAILPROF 1000. Rezultati dobiveni prethodnim mjerenjima obrađeni su i provjereni u odnosu na dopuštene vrijednosti, nakon čega su iznesene usporedbe i zaključci.



2. ISPITIVANJE BUKE

O problemu buke u okolišu i njenom štetnom utjecaju na čovjeka ozbiljnije se počelo govoriti 30 tih godina 19-og stoljeća. Zbog same činjenice da je buka svaki neželjeni zvuk u prirodi možemo zaključiti da buka postoji otkad je čovjeka, no tek je razvojem industrije i prometa postala ozbiljan problem za njegovo zdravlje. Povećanjem razina buke u okolišu ona logično postaje izvor nezadovoljstva stanovništva, te javnost postaje sve svjesnija tog problema. To je rezultiralo postupnim uvođenja propisa za ograničavanje razina zvuka, kako na mjestima emisije tako i na mjestima emisije. Jedan od bitnijih dokumenata „Future Noise Policy, European Commission Green Paper“, značajan kao prekretnica u Europskoj politici prema buci u okolišu, upućuje na ozbiljnost ovog problema, uz procjene da je 1996. godine 20% stanovništva zapadne Europe živjelo u područjima ambijentalne buke više od 65 dB, a čak 60% u područjima gdje je razina buke viša od 55 dB [1]. Naravno da su ovakve procjene dovele do niza reakcija, kako javnosti tako i stručnjaka diljem europa, te je uz zajedničku suradnju zemalja članica konačno formirana jedinstvena politika prema buci u okolišu. Rezultat je stigao vrlo brzo i to Direktivom Europske komisije 2002 godine.

„Environmental Directive on the Assessment and Management of Environmental Noise 2002/49EC“, poznatija pod skraćenim nazivom Environmental Noise Directive (END – direktiva 2002/49/EC) donesena je u lipnju 2002. godine. Direktiva vrlo jasno pristupa problemu buke u okolišu, te zahtjeva sprječavanje, izbjegavanje i smanjivanje štetnih posljedica ambijentalne buke. Temeljni zahtjevi direktive su usklađivanje postupaka izrade i izrada karata buke (annexom II propisano je da se za opis razina buke moraju koristiti harmonizirani indikatori buke L_{den} i L_{night}), određivanje ukupnog broja stanovnika izloženih prekomjernim razinama buke, te informiranje javnosti i Europske komisije o postojećem stanju i financiranju mjera (izrada i provođenje akcijskih planova) za upravljanje ambijentalnom bukom. Preciznije, za željezničke uprave i sustave održavanja infrastrukture, izrada karata buke i akcijskih planova znači da moraju razmisliti na koji će način reducirati buku na dopuštene razine. Logično pitanje koje se tada postavlja je koju metodu primijeniti jer kako znamo pojedine zemlje članice Europske unije već su razvile svoje metode proračunavanja razina buke. Kako jedinstvena metoda još nije donesena, od strane Europske komisije propisane su INTERIM metode koje služe izradi karata buke dok se projektima HARMONOISE i IMAGINE ne razvije jedinstvena metoda. Za željeznicu je tako u prijelaznom periodu propisana nizozemska nacionalna metoda. Stoga se u narednim godinama očekuju mnoge promjene i poboljšanja propisa u ovom području. Željezničke



uprave, proizvođači vozila i mjernih uređaja, državne uprave, te razni stručnjaci danas ulažu mnogo sredstava i vremena u cilju poboljšanja i definiranja jedinstvenih normi.

Smetnje i stres, remećenje sna, povišenje krvnog tlaka, smetnje u radu želuca, jetre i pluća, oštećenje ili gubitak sluha, samo su neke od mnogih zdravstvenih tegoba direktno povezani sa prekomjernim razinama buke. Na ozbiljnost problema upućuje i Europska agencija za sigurnost i zdravlje na poslu za koju područje vezano uz kardiovaskularne bolesti počinje već sa ekvivalentnim razinama od 60 dB(A), a iznad 90 dB(A) pojavljuju se ozbiljni psihološki problemi i oštećenje sluha. Svjetska zdravstvena organizacija također daje zabrinjavajuće podatke, pogotovo vezano uz prometnu buku za koju tvrdi da od 70 dB(A) nepovratno uzrokuje oštećenje sluha.

Svi se u biti slažu da buka neminovno negativno utječe na čovjeka no, zanimljivo je to da neće svatko reagirati na isti način za jednake razine intenziteta zvuka, tj. možemo reći da je doživljaj buke dosta subjektivan. Željeznica je tako u određenoj prednosti u odnosu na neke druge vidove prometa; kao primjer možemo uzeti usporedbu sa cestovnim prometom gdje je utvrđeno je da je za iste razine intenziteta zvuka željeznica „ugodnija“ od cestovnog prometa. To je dovelo do većih dopuštenih razina buke uzrokovane željezničkim prometom u odnosu na cestovni, odnosno određeni željeznički bonus, koji u nekim nacionalnim standardima dostiže vrijednosti od 5 dB(A) (Njemačka). Bitno je spomenuti i da prilagodbu ljudskom uhu vršimo već pri samim mjerenjima i proračunima kroz težinski A filtar, namijenjen prilagodbi mjernih uređaja doživljaju ljudskog uha (za izmjerene razine buke kažemo da su A vrednovane te izražavamo u dB(A)).

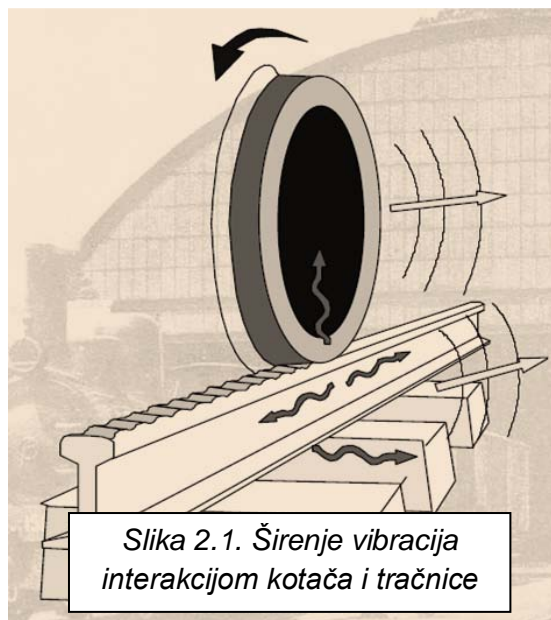
Osnovni izvori buke u okolišu su promet i industrija, koji su prema istraživanjima iz Njemačke 2000. godine činili čak 84% ukupnih smetnji. Najproblematičniji je dakako cestovni promet koji prema istim procjenama uzrokuje 47% smetnji, dok željeznički promet zauzima tek treće mjesto sa 12% smetnji iza zračnog prometa s udjelom od 14% [1]. Iako glavnina europskog stanovništva zapravo trpi posljedice buke nastale od cestovnog prometa, te je udio zračnog i željezničkog prometa nešto manji oni dakako ne mogu biti zanemareni. Naprotiv zbog kompleksnosti razdvajanja utjecaja infrastrukture i vozila, te definiranja jedinstvenih vrijednosti dolazi do poteškoća prilikom definiranja graničnih vrijednosti. Stoga se danas sve više pažnje posvećuje poboljšanjima postojećih propisanih metoda mjerenja i proračuna buke nastale od željezničkog prometa.

Prvi korak u kontroli buke željezničkog prometa je identificirati dominantan izvor, što proizlazi iz činjenice da vibracije u prometu mogu nastati na više lokacija. Dakle, postoji više različitih izvora buke kod željeznice, te u različitim situacijama dominacija izvora može varirati. Smetnje tako mogu biti uzrokovane, na primjer, signalizacijom vlakova prilikom

prelaska križanja u razini ili raznim redovitim operacijama na postajama unutar urbanih sredina. Ovo jesu primjermi tipičnih izvora, no zapravo predstavljaju lokalne probleme koje je u pravilu lakše štititi na mjestima imisije. Vibracije što uzrokuju prekomjerne razine buke pak nastaju konstantno, kretanjem vlakova po željezničkoj pruzi. Takva buka je naš predmet promatranja, a u grubo ju možemo podijeliti na buku nastalu: radom lokomotive, interakcijom kotača i tračnica, te aerodinamičku buku. Bitno je spomenuti i buku uzrokovanu prolaskom vlaka preko mostova, te cviljenje nastalo klizanjem vijenca kotača po rubovima tračnica. Ukoliko se ispituje buka unutra vozila također već navedenom treba dodati, na primjer, rad klima uređaja i ventilatora.

Ipak, najvažniji izvor buke kod željezničkog prometa su obično vibracije uzrokovane interakcijom kotača i tračnice tijekom kotrljanja po ravnom putu. Poseban značaj u toj interakciji dan je neravnosti (hrapavosti) kotača i voznoj površini tračnice.

Ona dakle uzrokuje okomite vibracije kotača i tračničkog sustava s obzirom na njihova dinamička svojstva. Relevantne valne duljine na voznoj površini tračnice kreću se u granicama od 5 – 500 mm, te su glavni izvor problema. No u toj interakciji, neravnost vozne površine tračnica nije jedini problem, te utjecaj hrapavosti kotača tu ima značajan utjecaj. Česta su pojava i oštećenja kotača, sa valnim duljinama 40 – 80 mm, nastala uslijed pritiska čelične papuče kočionog sustava, što značajno doprinosi stvaranju vibracija. U biti najčešća varijanta je neravnost i jednog i drugog elementa interakcije, a učinkovito ispitivanje buke treba uočiti oba problema i predložiti rješenja. Svojevrsan pokazatelj važnosti ovog izvora je i činjenica da je dominantan izvor u području kretanja vlakova brzinama od 40 km/h do 250 km/h. Do 40 km/h kao dominantan izvor smatra se rad motora lokomotive, dok je to za pruge velikih brzina, iznad 250 km/h, aerodinamička buka.



Slika 2.1. Širenje vibracija interakcijom kotača i tračnice

U biti najčešća varijanta je neravnost i jednog i drugog elementa interakcije, a učinkovito ispitivanje buke treba uočiti oba problema i predložiti rješenja. Svojevrsan pokazatelj važnosti ovog izvora je i činjenica da je dominantan izvor u području kretanja vlakova brzinama od 40 km/h do 250 km/h. Do 40 km/h kao dominantan izvor smatra se rad motora lokomotive, dok je to za pruge velikih brzina, iznad 250 km/h, aerodinamička buka.

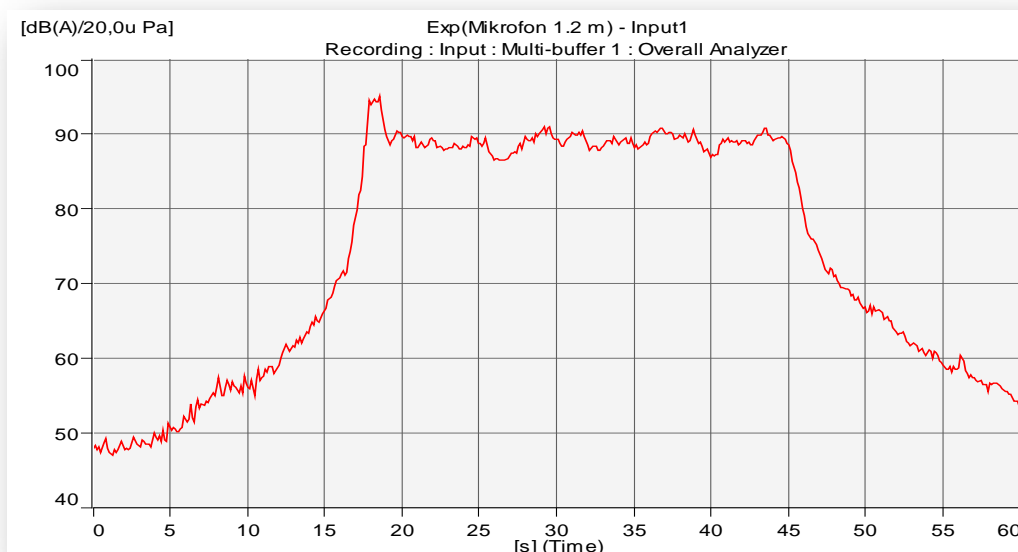
Nakon što smo identificirali dominantan izvor, sljedeće što moramo napraviti je ustanoviti doprinos izvora u ukupnoj razini buke. Kako je već rečeno u interakciji kotača i tračnice vibracije mogu nastati i u jednom i u drugom elementu, stoga je potrebno posvetiti pažnju rješavanju oba slučaja. To je vidljivo iz činjenica da većim utjecajem na smanjenje buke samo jednog elementa rezultat u vidu smanjenja ukupne razine buke neće biti

očekivani. Na primjer, ukoliko oba elementa sudjeluju u ukupnoj razini buke približno jednako, smanjenje od 10 dB(A) na jednom elementu značit će samo smanjenje od 2.5 dB(A) u ukupnom pogledu. Ova činjenica je veoma bitna jer prisiljava na dodatna istraživanja vezana uz ravnost i tračnica i kotača, a ne samo koncentraciju na jedno od njih. [1,3]

Udio buke izazvane i interakcijom kotača i tračnice tijekom kotrljanja po voznoj površini tračnica, u odnosu na ukupnu razinu buke, uvelike, dakle ovisi o stanju vozne površine. Stoga su tipska ispitivanja ovog problema naravno neizbježna. Ovime se u biti želi naglasiti kako nije dovoljno posvetiti pozornost samo konstrukciji vozila, jer tada rezultati mjerenja razina buke ne mogu biti mjerodavni i ne predstavljaju objektivne razine buke koje je uzrokovalo vozilo dokle god se ne uzmu u obzir ostali parametri. Ispitivanje ravnosti vozne površine mora biti provedeno u sklopu ovakvih mjerenja, te se mora uzeti u obzir utjecaj eventualnih nepravilnosti kako bi eventualni zaključci bili uopće mjerodavni. Ravnost vozne površine i njen utjecaj na buku u okolišu biti će detaljno opisani u točki 5 ovog rada.

Na ispitnom poligonu, čiji detaljan opis slijedi u nastavku, provedeno je dakle tipsko ispitivanje vanjske buke uzrokovane kretanjem vozila. Razine buke izmjerene su za dva teretna vlaka, te za novu diesel lokomotivu proizvedenu u pogonu TŽV-a Gredelj. Uređaj za mjerenje buke postavljen je na stacionaži 395+358, na udaljenosti 7.5 m od osi kolosijeka s mikrofonom na visini 1.2 m i 3.5 m.

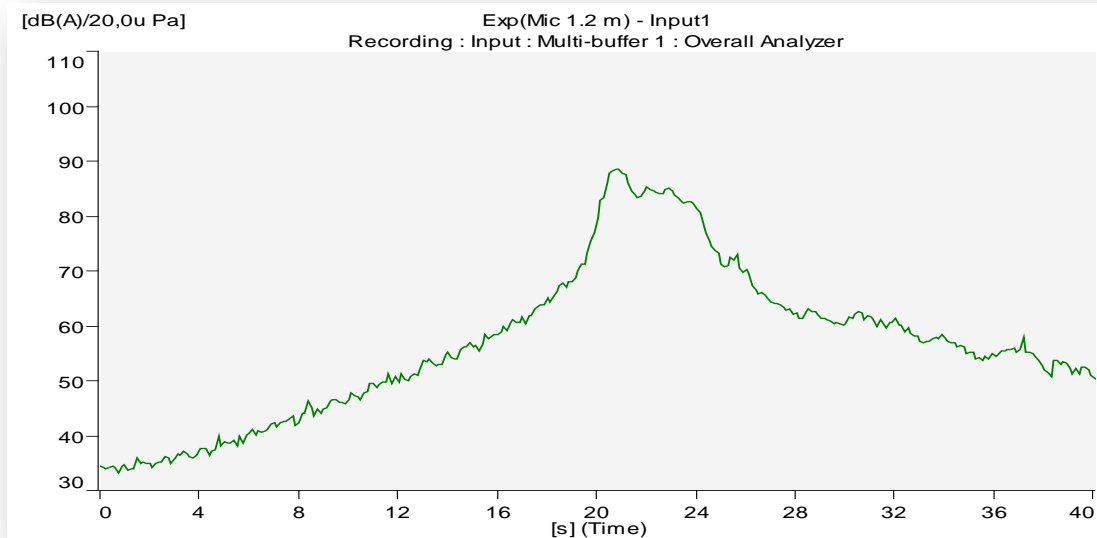
Prvi teretni vlak sastoji se od 33 teretna vagona-cisterne koje je vukla električna lokomotiva serije HŽ 1141, dakle tipična kompozicija za navedenu dionicu pruge. Brzina kretanja vlaka iznosila je 50 km/h, a izmjerena ekvivalentna razina buke ($L_{pAeq@,Tp 7,5 m}$) iznosi 89 dB(A). Cjeloviti prikaz dan je dijagramom razina buke (slika 2.2)



Slika

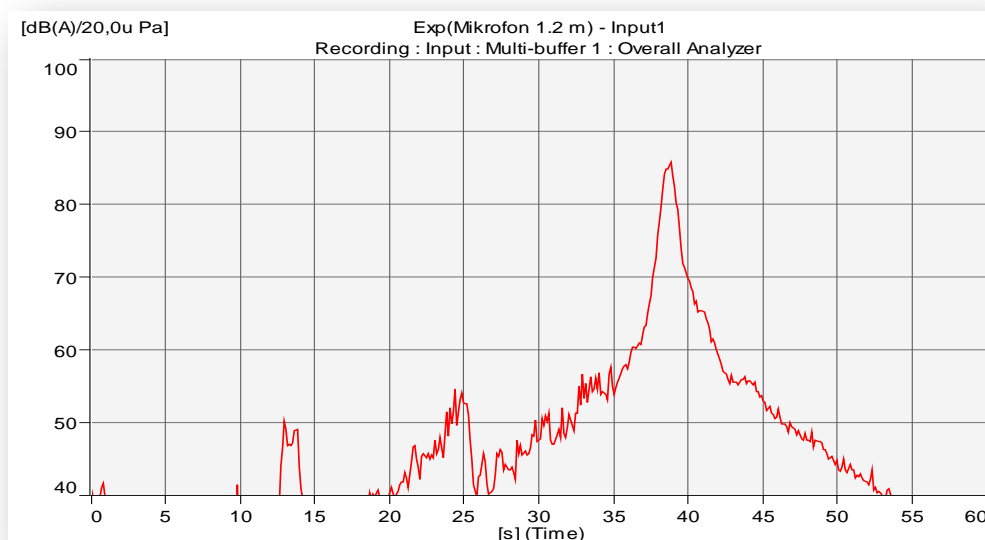
2.2. Grafički prikaz izmjerenih razina buke teretnog vlaka

Drugi teretni vlak sastoji se od 3 nova teretna vagona serije Rgns-z, proizvedena također u pogonu TŽV-a Gredelj, koje je vukla električna lokomotiva serije HŽ 1141. Brzina kretanja vlaka iznosila je 80 km/h, a izmjerena ekvivalentna razina buke ($L_{pAeq@,Tp 7,5 m}$) iznosi 83 dB(A). Cjeloviti prikaz dan je dijagramom razina buke (slika 2.3.)



Slika 2.3. Grafički prikaz izmjerenih razina buke teretnog vagona

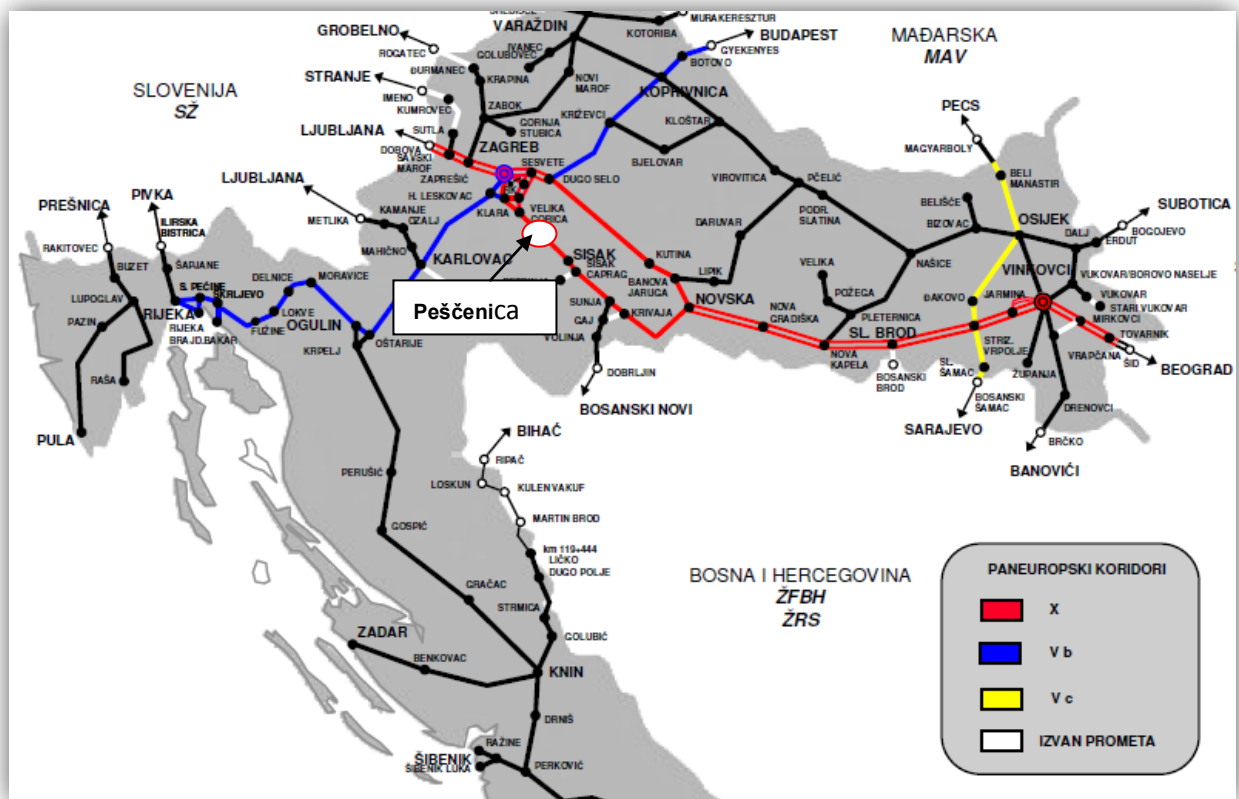
Razine buke izmjerene su i za novu diesel lokomotivu, proizvedenu u pogonu TŽV-a Gredelj. Lokomotiva je ispitana pri brzini vožnje od 80 km/h prilikom čega je dobivena ekvivalentna razina buke ($L_{pAeq@,Tp 7,5 m}$) od 85 dB(A). Također je prikaz dan dijagramom (slika 2.4.)



Slika 2.4. Grafički prikaz izmjerenih razina buke diesel lokomotive

3. OPIS ISPITNOG MJESTA

Za tipsko ispitivanje razina buke uzrokovane kretanjem vozila, odabrana je dionica magistralne željezničke pruge M104 "Zagreb gl.kolodvor–Sisak–Novska". Ova dionica je južni ogranak pruge M101 "Zagreb gl.kolodvor – Dugo Selo – Novska", te se nalazi u sklopu X. paneuropskog koridora (slika 3.1). Jedna je od najstarijih pruga izgrađenih na području Republike Hrvatske, a sagrađena je 1862. godine povezujući Zidani most sa Siskom od kada je pod raznim upravama više puta rekonstruirana i obnavljana.



Slika 3.1. Paneuropski koridori na području RH [4]

Posljednja rekonstrukcija kolosijeka provedena je u ljetu 2008. godine prilikom čega je izveden kapitalan remont gornjeg ustroja promjenom tračnica, pragova, kolosiječnog pribora, zastora, te poboljšanje planuma na dionici od Turopolja do Grede. Takvom rekonstrukcijom, na navedenoj dionici, postignuto je povećanje brzine vožnje sa 70 km/h na maksimalnih 120 km/h.

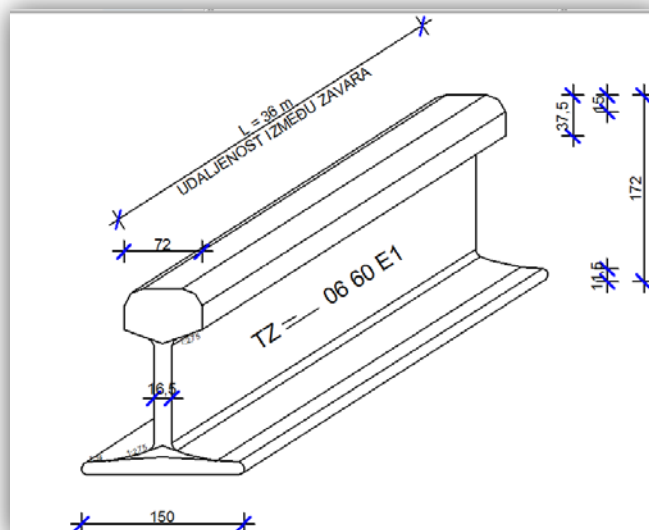
Radi se o jednokolosiječnoj pruzi sa klasičnom kolosiječnom konstrukcijom što znači da se gornji ustroj kolosijeka sastoji od prethodno opisanih elemenata: tračnica, armiranobetonskih pragova, elastičnog pričvršćenja te zastorne prizme od tučenca. Pruga je elektrificirana izmjeničnim sustavom napona 25 kV 50 Hz, nominalne visine kontaktnog vodiča $h_n=5500$ cm, tj. namijenjena je vlakovima čije lokomotive za pogon koriste električnu energiju.

Kao sustav osiguranja prometa koriste se automatski pružni blokovi (APB) odnosno promet uzastopnih vlakova reguliran je automatskim postavljanjem prostornih signala u položaj dozvoljene ili zabranjene vožnje vlaka.

Prugom svakodnevnom prometuju putnički vlakovi: lokalni elektromotorni vlak serije HŽ 6111 (7 pari vlakova -14 prijelaza) i međunarodni vlak Zagreb-Sarajevo čije vagone vuku električne lokomotive serije HŽ 1141 (1 par vlakova - 2 prijelaza), te teretni vlakovi čije vagone također vuku električne lokomotive serije HŽ 1141. Najviše se prometuje naftnim derivatima iz rafinerije u Sisku i željeznom rudačom iz BiH za Srednju Europu - vlakovi težine (1000 – 1500t).

Dozvoljeno opterećenje na dionici je D4 (22.5/8.0), tj. 22.5 t po osovini (225 kN) što odgovara 8.0 t po m` (80 kN/m`). Primijenjen je odgovarajući slobodni profil GB, te profil za kombinirani prijevoz PC 80/410. [4,5]

Tokom rekonstrukcije, ugrađene su tračnice tipa 60 E1 (prema EN 13674 – 1) odnosno UIC 60 (prema UIC Code 860) otporne na trošenje, što je naravno vidljivo i iz oznake TZ — 06 60E1. Dakle, riječ je o tračnicama minimalne vlačne čvrstoće od 880 N/mm^2 i tvrdoće 260 do 300 HB.



S

Slika 3.2. 3D detalj tračnice tipa TZ — 06 60E1



Važeća EN ISO 3095:2005 norma propisuje potrebno stanje ispitnog poligona. Kod mjerenja geometrije kolosijeka i ravnosti vozne površine tračnica radi daljnjeg ispitivanja vanjske buke, određuje minimalnu duljinu ispitnog poligona. Ta duljina treba iznositi najmanje dvije dužine udaljenosti mjernog uređaja od osi kolosijeka i sa lijeve i sa desne strane. Ukoliko je za tu dužinu odabrano 7.5 m, također po propisima iste norme, tada duljina ispitnog poligona iznosi samo 25 m. Naravno da je takav ispitni poligon prekratak, pogotovo za ispitivanja emisijskih razina buke brzih vlakova. Problem je uočen brzo nakon objave norme, nakon čega su pokrenuta istraživanja u svrhu dopune postojećih propisa. Direktivom "Technical specification for interoperability (TSI) for noise aspects of conventional rolling stock (2006/66/EC)", koja je nastala zbog uklanjanja postojećih nedostataka, minimalna duljina poligona za ovakva ispitivanja iznosi 100 m. Također preporuka je i lociranje poligona za ispitivanje u pravcu vidljivog sa položaja mjernog uređaja razina buke. [6,7]

U skladu sa propisima, uređaj za mjerenje buke postavljen je na udaljenosti 7.5 m od osi kolosijeka sa mikrofonom na visini 1.2 m i 3.5 m. Prilikom ispitivanja vlakovi su se kretali ispod maksimalne dopuštene brzine na dionici i to brzinama od 50 km/h i 80 km/h.

Također na ispitnom poligonu uočena su 4 zavora koja su dodatno ispitana zbog činjenice da su to kritična područja u kojima češće dolazi do nepravilnosti, a time i jačih vibracija tračnica. Ispitivanje geometrije kolosijeka i ravnosti vozne površine vršeno je na svakom metru od početne stacionaže 395+308 do završne stacionaže 395+408, što je detaljnije razrađeno u poglavljima 4 i 5. Detaljan nacrt situacije i poprečni presjek poligona dani su u prilogima 1 i 2.

4. GEOMETRIJA KOLOSJEKA

Kontrola geometrije kolosijeka prevedena je preciznim mjerenjem digitalnim kolosiječnim mjerilom GRAW DTG-1435 (slika 4.1). Navedeni uređaj posebno je proizveden za ovakva mjerenja širine tračnica i skretnica, te visinske razlike između lijeve i desne tračnice. Prije samog mjerenja uređaj nije potrebno kalibrirati, a prilikom mjerenja već sadrži potrebnu temperaturnu kompenzaciju. [8]



Slika 4.1. Digitalno kolosiječno mjerilo GRAW DTG-1435

Poligon je podijeljen na ukupno 100 odsječaka duljine 1 m, kako bi se dobila dovoljna količina podataka za ocjenu stanja geometrije kolosijeka. Dakle, prije samog ispitivanja označeni su rubovi voznih površina lijeve i desne tračnice na duljini 50 m od položaja uređaja za ispitivanje buke u oba smjera. Zatim se pristupilo mjerenju geometrije, sa početnim kilometarskim položajem 395+308, u smjeru rasta stacionaže, odnosno iz smjera Siska u smjeru Zagreba. Zatim je na svakih metar duljine, okomito na osi tračnica, položen uređaj koji je očitao širinu kolosijeka i odstupanja visine tračnica. Podaci su potom, odgovarajućim računalnim programom, prebačeni s uređaja na osobno računalo, nakon čega su obrađeni.

4.1. Širina kolosijeka

Kontrola širine kolosijeka, kako je već prethodno opisano, vršena je na svakom 1m¹ i to duljine jednog metra od početne do krajnje stacionaže poligona, odnosno iz smjera Siska prema Zagrebu. Izmjereni podaci prebačeni su s uređaja na računalo te su potom statistički obrađeni. Ukupno je obrađeno 100 izmjerenih podataka vezanih za širinu kolosijeka na temelju čega je utvrđena srednja vrijednost širine kolosijeka, te standardno odstupanje kako je vidljivo u tablicama 1 i 2.

Tablica 1. Odstupanja za temeljnu širinu kolosijeka 1435 mm

Stacionaža	Srednja širina kolosijeka	Najveće suženje	Najveće proširenje	Standardno odstupanje
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
10 m odsječak 395+308 - 395+318	1434.309	-1.7	0.6	-0.69091
10 m odsječak 395+318 - 395+328	1433.864	-1.7	-	-1.13636
10 m odsječak 395+328 - 395+338	1433.636	-2.8	-	-1.36364
10 m odsječak 395+338 - 395+348	1432.027	-4.3	-	-2.97273
10 m odsječak 395+348 - 395+358	1433.509	-2.5	-	-1.49091
10 m odsječak 395+358 - 395+368	1432.491	-3.6	-	-2.50909
10 m odsječak 395+368 - 395+378	1433.127	-2.7	-	-1.87273
10 m odsječak 395+378 - 395+388	1434.918	-2.1	1.1	-0.08182
10 m odsječak 395+388 - 395+398	1432.927	-3.0	-	-2.07273
10 m odsječak 395+398 - 395+408	1433.291	-2.4	-	-1.70909
Zavar (1,2) 395+341	1431.800	-3.2	-	-
Zavar (3,4) 395+377	1433.7	-1.3	-	-
Ukupno: 395+308 - 395+408	1433.4	-4.3	1.1	-1.6



Tablica 2. Odstupanja za temeljnu širinu kolosijeka 1432 mm

Stacionaža	Srednja širina kolosijeka	Najveće suženje	Najveće proširenje	Standardno odstupanje
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
10 m odsječak 395+308 - 395+318	1434.309	-	3.6	2.309091
10 m odsječak 395+318 - 395+328	1433.864	-	2.9	1.863636
10 m odsječak 395+328 - 395+338	1433.636	-	2.9	-1.636364
10 m odsječak 395+338 - 395+348	1432.027	-1.3	2.7	0.027273
10 m odsječak 395+348 - 395+358	1433.509	-	3.0	1.509091
10 m odsječak 395+358 - 395+368	1432.491	-0.6	1.4	0.490909
10 m odsječak 395+368 - 395+378	1433.127	-	2.1	1.127273
10 m odsječak 395+378 - 395+388	1434.918	-	4.1	2.918182
10 m odsječak 395+388 - 395+398	1432.927	-	1.6	0.927273
10 m odsječak 395+398 - 395+408	1433.291	-	1.9	1.290909
Zavar (1,2) 395+341	1431.800	-0.2	-	-
Zavar (3,4) 395+377	1433.7	-	1.7	-
Ukupno: 395+308 - 395+408	1433.4	-1.3	4.1	1.4

Prema važećim pravilnicima o gornjem ustroju kolosijeka (Pravilnik o tehničkim uvjetima za sigurnost željezničkog prometa kojima moraju udovoljavati željezničke pruge i Pravilnik 314 o održavanju pruga i pružnih postrojenja), koji propisuju temeljnu širinu kolosijeka te dopuštena odstupanja u širini kolosijeka, potrebno je provjeriti navedene podatke iz tablice 1. Važeći propisi potrebni za takvu provjeru su:

- Temeljna (standardna) širina kolosijeka, prema Pravilniku o tehničkim uvjetima za sigurnost željezničkoga prometa kojima moraju udovoljavati željezničke pruge, iznosi 1435 mm.
- Kod dionica pruga gdje se vlakovi mogu kretati brzinama ≥ 100 km/h, prema Pravilniku 314 o održavanju pruga i pružnih postrojenja, širina kolosijeka u pravcu i u lukovima polumjera ≥ 2500 m može biti 1432 mm.



- Kod pruga normalnog kolosijeka u eksploataciji, gdje su brzine ≥ 100 km/h, prema Pravilniku 314 o održavanju pruga i pružnih postrojenja, dopuštena odstupanja u širini kolosijeka kreću se od -3 do +5 mm.

Najmanja zabilježena promjena širine kolosijeka po m` iznosi 0.1 mm, dok je najveća zabilježena ona od 1.4 mm. Srednja promjena širine kolosijeka po m` tada iznosi 0.453 mm.

Uvažavanjem svih uvjeta definiranih Pravilnicima, vidljivo je da se navedena ispitna dionica pruge nalazi unutar propisanih vrijednosti samo ukoliko je izvedena sa temeljnom širinom kolosijeka od 1432 mm. Ukoliko se razmatra slučaj da je kolosijek izveden s temeljnom širinom kolosijeka 1435 mm, tada je na dionici prisutno prosječno suženje kolosijeka od 1.6 mm. Prosječno suženje kolosijeka nalazi se dakle, unutar propisanih vrijednosti. Na pojedanim mjestima (najčešće u zonama zavara) suženje je ipak preveliko te prelazi dopuštenu granicu od -3 mm. Ukoliko se razmatra slučaj da je kolosijek izveden sa širinom 1432 mm, tada je na kolosijeku prisutno proširenje od 1.4 mm i kod ovog slučaja kolosijek se nalazi unutar dopuštenih vrijednosti vezanih za širinu kolosijeka. Na temelju procjene izmjerenih podataka, te činjenice da je navedena dionica pruge u pravcu namijenjena kretanju vlakova brzinama ≥ 100 km/h, možemo zaključiti da je riječ o kolosijeku izvedene temeljne širine 1432 mm.

U cilju cjelovite ocjene stanja kolosijeka s obzirom na širinu kolosijeka, potrebno je voditi računa i o kriterijima za kontrolu stanja pruga definiranih Uputstvom 339 – kriteriji za kontrolu stanja pruga. Prema navedenom Uputstvu, ukoliko se suženje odnosno proširenje kolosijeka kreće u granicama do 3 mm, tada na takvom kolosijeku nije potrebno planirati ni izvoditi radove vezanih za širinu kolosijeka te kolosijek spada u razred pruge 1, kategoriju "A". Svrstavanjem ove dionice u 1. kategoriju ujedno potvrđujemo ispravnost širine kolosijeka za potrebno mjerenje razina buke nastale uslijed kretanja vozila. [9,10]



4.2. Visinski odnos tračnica

Jednako kao i kod kontrole širine kolosijeka vršeno je i ispitivanje visinskog odnosa tračnica. Ukupno je, dakle izmjereno 100 podataka, na razmacima duljine jednog metra od početne do krajnje stacionaže poligona, odnosno iz smjera Siska prema Zagrebu, koji su zatim prebačeni s uređaja na računalo te su statistički obrađeni. Utvrđena srednja vrijednost i prosječno odstupanje, uz ostale podatke, vidljivi su u tablici 3. Bitno je međutim još jednom napomenuti da se visinski odnos tračnica promatra u smjeru rasta stacionaže, što znači da izdizanje lijeve tračnice u odnosu na desnu daje pozitivne vrijednosti, dok izdizanje desne tračnice u odnosu na lijevu daje negativne rezultate.

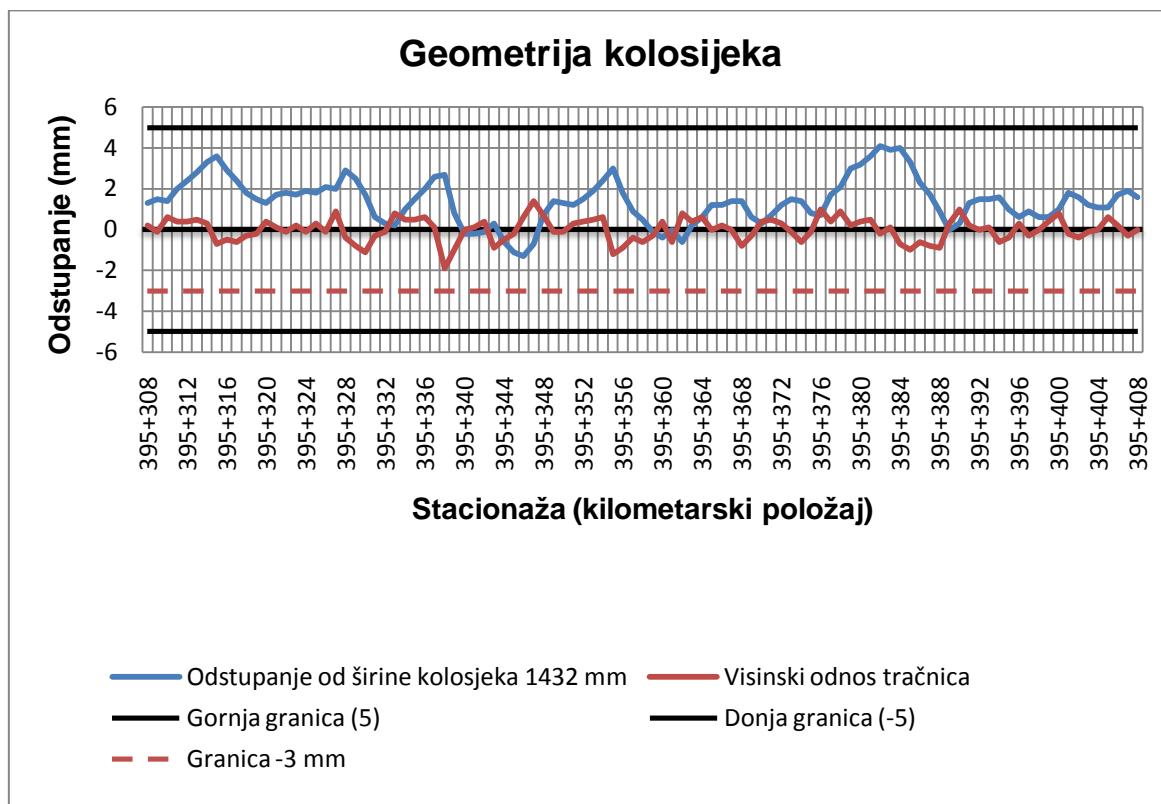
Tablica 3. Visinski odnos tračnica

Stacionaža	Najveće izdizanje lijeve tračnice	Najveće izdizanje desne tračnice	Prosječno odstupanje
	(mm)	(mm)	(mm)
10 m odsječak 395+308 - 395+318	-0.7	0.5	0.018182
10 m odsječak 395+318 - 395+328	-0.4	0.9	0.063636
10 m odsječak 395+328 - 395+338	-1.9	0.8	-0.19091
10 m odsječak 395+338 - 395+348	-1.9	1.4	-0.11818
10 m odsječak 395+348 - 395+358	-1.2	0.7	-0.07273
10 m odsječak 395+358 - 395+368	-0.8	0.6	0.009091
10 m odsječak 395+368 - 395+378	-0.8	0.5	0.145455
10 m odsječak 395+378 - 395+388	-0.9	0.9	-0.19091
10 m odsječak 395+388 - 395+398	-0.9	1.0	-0.02727
10 m odsječak 395+398 - 395+408	-0.4	0.8	0.090909
Zavar (1,2) 395+341	-	0.1	-
Zavar (3,4) 395+377	-	0.4	-
Ukupno: 395+308 - 395+408	-1.9	1.4	0.00297

Prema Pravilniku 314 o održavanju pruga i pružnih postrojenja te Uputstvu 339 o kriterijima za kontrolu stanja pruga dopuštene granične vrijednosti visinskog odnosa tračnica za kolosijeke gdje su brzine ≥ 100 km/h, iznose ± 5 mm. Temeljem propisanih vrijednosti i podataka dobivenih mjerenjem, zaključuje se da su vrijednosti visinskog odnosa tračnica na promatranoj dionici unutar dopuštenih vrijednosti te kolosijek spada u razred pruge 1, kategoriju "A". Svrstavanjem ove dionice u 1. kategoriju ujedno potvrđujemo ispravnost visinskog odnosa tračnica za potrebno mjerenje razina buke nastale uslijed kretanja vozila. [10]

4.4. Grafički prikaz geometrije kolosijeka

Radi jednostavnije preglednosti geometrije kolosijeka izrađen je i grafički prikaz izmjerenih podataka. Na slici su prikazani širina kolosijeka i visinski odnos tračnica, te položaji zavara o kojima se vodilo računa tijekom mjerenja geometrije kolosijeka. Granične vrijednosti za širinu kolosijeka su -3 do +5 mm, što podrazumijeva da se izmjerene širine kolosijeka moraju nalaziti unutar područja od 1429 mm do 1437 mm, za kolosijeke temeljne širine 1432 mm. Granične vrijednosti za visinski odnos tračnica su od -5 do +5 mm, što podrazumijeva da se izmjerene vrijednosti visinskog odnosa tračnica moraju nalaziti unutar ovog područja.



Slika 4.2. Dijagram geometrije kolosijeka



5. RAVNOST VOZNE POVRŠINE TRAČNICA

Neravnine na voznoj površini glave tračnice su široko rasprostranjen problem i gotovo nema željezničke uprave koja se nije s njima susrela. Na voznoj površini tračnica one uzrokuju povećanje dinamičkih djelovanja vozila na kolosijek što dovodi do degradacije kolosijeka (oštećenja kolosiječnog pribora, drobljenja zastora, poremećaji u geometriji kolosijeka) te povećanja buke i vibracija. Nepravilnosti na voznoj površini ne utječu direktno na sigurnost tračničkog prometa, ali uzrokuju nepoželjne smetnje u prostoru jer dolazi do povećanja bučnosti. Razvojem tehnologije i provođenjem sve detaljnijih i preciznijih kontrola ravnosti, moguće je kontrolirati neželjene posljedice ovog problema. Pravodobnom reakcijom, u vidu saniranja problematičnih područja brušenjem, sprječava se daljnje oštećenje vozne površine, a time i smanjuju naknadni troškovi održavanja.

Općenito, mjerenja ravnosti vozne površine tračnica možemo podijeliti na direktna i indirektna. Indirektna metode mjerenja su relativno brze i jeftine, a temelje se na mjerenju nastalih vibracija interakcijom kotača vlaka i vozne površine tračnice. Problem kod te metode mjerenja je taj što teško razdvaja vibracije nastale zbog neravnosti kotača od onih uzrokovanih neravnošću tračnice. Taj nedostatak daje određenu prednost direktnim mjerenjima. Na prethodno detaljno opisanom ispitnom poligonu obavljeno je direktno mjerenje neravnina na voznoj površini, digitalnim uređajem RAILPROF 1000 (oznaka 1000 vezana je za duljinu tračnice u "mm" na kojoj se u jednom mjerenju može provesti snimanje). Uređaj bilježi neravnine na svakih 5 mm, što znači da se na 1 m' kolosijeka dobiva informacija o ravnosti vozne površine na 200 poprečnih presjeka tračnice. Kako bi se kvalitetno provelo snimanje vozne površine, prvo je napravljena podjela svake tračnice na razmaka duljine 1 m nakon čega je uređaj položen na voznu površinu lijeve tračnice na početnom kilometarskom položaju poligona 395+308. Navedeni razmak je ujedno i minimalna duljina, prema EN ISO 3095 normi, koja zadovoljava protokol ovakvog mjerenja. Ispitivanje lijeve tračnice vršeno je u smjeru rasta stacionaže, odnosno iz smjera Siska u smjeru Zagreba. Desna tračnica mjerena je obrnuto, odnosno u smjeru pada stacionaže sa početnim kilometarskim položajem 395+408. Za duljinu od 100 m, ukupno je snimljeno 20.000 podataka za voznu površinu lijeve tračnice, te jednaka količina podataka za voznu površinu desne tračnice. Mjerenjem ravnosti vozne površine ujedno je izmjerena i ravnost unutarnjih rubova tračnica, karakteristično za ispitivanja ravnosti zavara. Navedeni podaci zatim su statistički obrađeni, te prikazani u točki 5.1. Ovakav način mjerenja jedan je od dva osnovna tipa mjerenja ravnosti vozne površine.



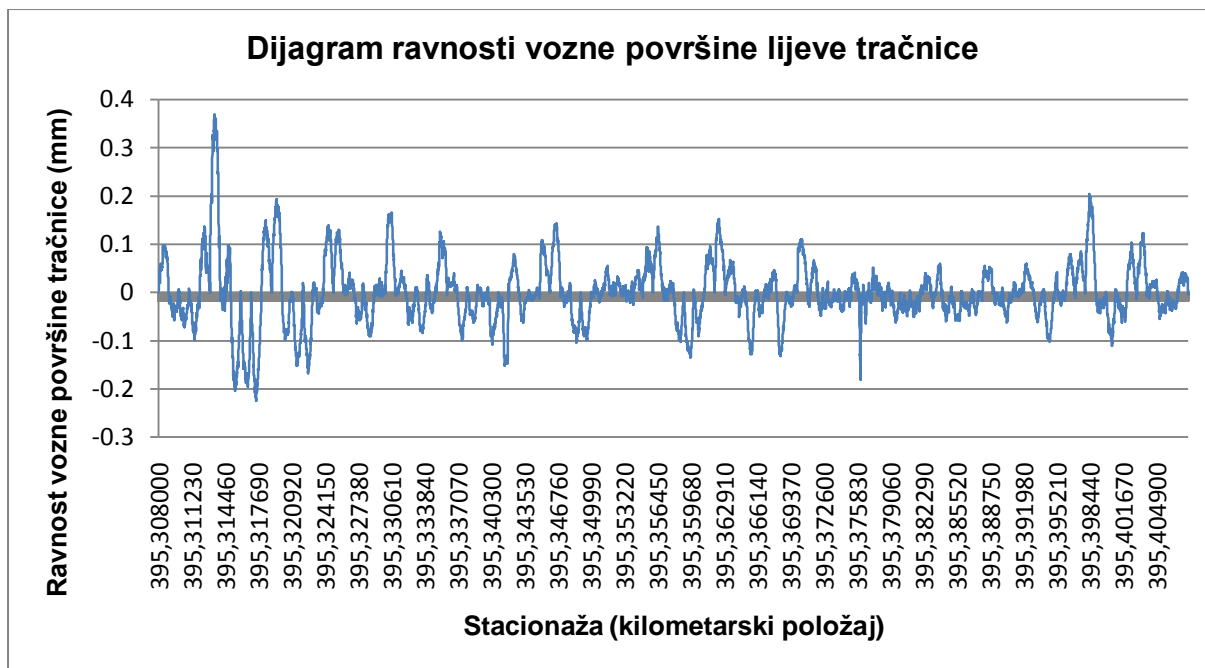
Alternativa ovom načinu mjerenja je nešto brže mjerenje uređajem koji podsjeća na kolica što se kreću po voznoj površini. Kako bi se izbjegle vibracije rada motora ovi uređaji su u pravilu pokretani ručno. Izmjerene vrijednosti potrebno je korigirati u odnosu na brzinu kretanja što uređaji najčešće imaju već ugrađeno. Glavna prednost ovakvog mjerenja je naravno brzina i mogućnost mjerenja većih duljina, no ovaj postupak često zahtjeva i obustavu prometa na promatranoj dionici pruge. Usporedba ove dvije metode napravljena je u Velikoj Britaniji, a razlike u dobivenom utjecaju ravnosti vozne površine na razine buke kreću se od -2 do +2 dB u svakoj od 1/3 oktave za spektar valnih duljina od 3.15 do 250 mm.

Što se tiče indirektno metode, potrebno područje valnih duljina neravnosti vozne površine za predviđanje buke nastale uslijed kretanja vozila po tračnicama možemo jednostavno dobiti iz donosa $f = v/\lambda$ (frekvencija je jednaka omjeru brzine i valne duljine). Očekivano područje frekvencija odnosi se na raspon od 100 – 5000 Hz, gdje je pokazano da je dominantan izvor buke interakcija kotača i tračnice. Niže frekvencije vežemo uglavnom za aerodinamičku buku koja je dodatno smanjena A težinskim filtrom, stoga je u ovom području i zanemarujemo. Prema navedenom rasponu, za različite brzine raspona, potrebne valne duljine neravnosti vozne površine nalaze se u području od 2 do 900 mm, no zbog mogućnosti zanemarivanja nižih frekvencija i spektra frekvencija uzrokovane vožnjom do 40 km/h realno područje djelovanja ipak se kreće u granicama od 5 do 500 mm. [1]

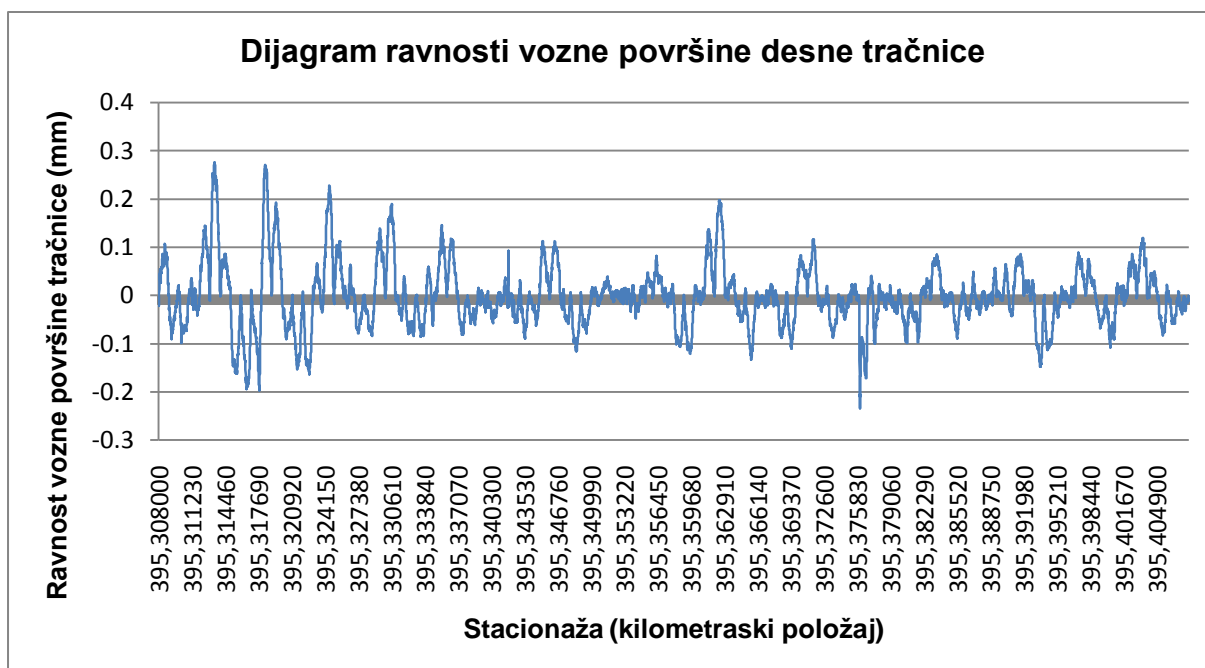
U praksi pak tu granicu često određuje sposobnost mjernog instrumenta, dok je po normi EN ISO 3095:2005 preporuka raspon od 8 do 500 mm. Danas se od mjernih uređaja zahtjeva sposobnost grupiranja valnih duljina u 1/3 oktave za spektar od 3.15 do 250 mm. Potom je tako grupirane podatke potrebno obraditi na način da predstavljaju utjecaj neravnina na povećanje zvuka u decibelima. Sam proces takve obrade iznimno je kompliciran, te bi za njegovo objašnjavanje bilo potrebno upuštanje u složenu problematiku koja nije predmet ovog rada. Mnoge uprave uostalom danas nemaju niti takve uređaje, a niti potrebne računalne programe kojima bi uspjeli pravilno obraditi potrebne podatke. Zato se za potrebnu ravnost vozne površine najčešće propisuju dopuštene granice kretanja valnih visina, kao što je slučaj i u ovom ispitivanju. Upravitelj kolosijeka pristupa brušenju tračnica tek kada se ustanovi da su vertikalne neravnine vozne površine ok 0.2 mm, sa standardnim pripadajućim valnim duljinama u rasponu od 30 do 100 mm. Do tada se vozna površina smatra ravna. [6,11] Korišteni digitalni instrument RAILPROF 1000 svojim karakteristikama odgovara traženim zahtjevima jer daje cjeloviti prikaz visinske neravnosti vozne površine, a valne duljine grupira na raspone sljedeće raspone: 10-30mm, 30-100mm, 100-300mm. Duljina uređaja iznosi 116 cm što mu daje mogućnost da snima 1 m vozne površine, a to je i minimalna duljina prema EN ISO 3095 normi. [12]

5.1. Grafički prikaz ravnosti vozne površine

Kako je prethodno opisano ukupno je prikupljeno 20000 podataka valnih visina po tračnici. Na temelju tih podataka, kako je vidljivo na slikama 5.1 i 5.2, izrađeni su dijagrami vozni površina tračnica. Valne visine lijeve tračnice kreću se u granicama od 0.368 do -0.225 mm, dok se valne visine desne tračnice kreću u granicama od 0.276 do -0.234 mm.

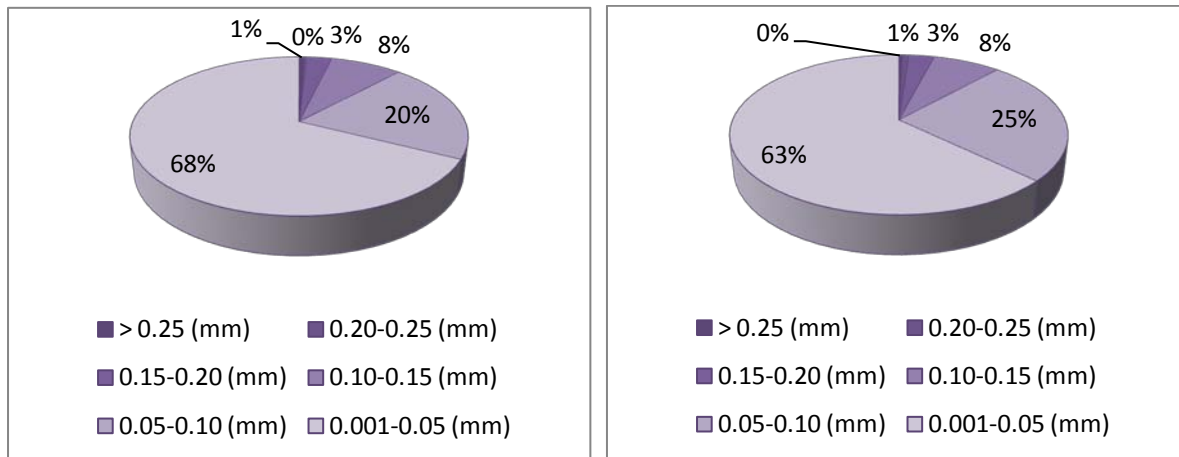


Slika 5.1. Dijagram ravnosti vozne površine lijeve tračnice



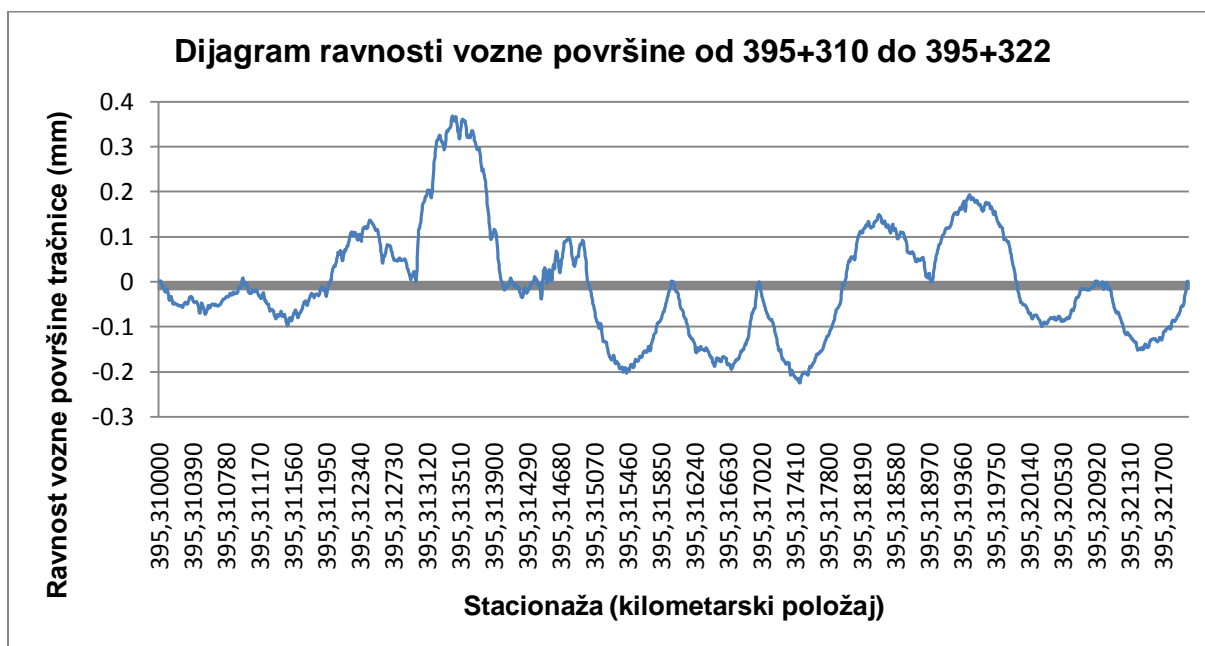
Slika 5.2. Dijagram ravnosti vozne površine desne tračnice

Može se primijetiti da se amplitude neravnina uglavnom kreću od 0.001 do 0.1 mm, preciznije 78 % svih neravnina i za lijevu i za desnu voznu površinu tračnice, kako je vidljivo na slici 5.3. Navedene amplitude uglavnom su vezane za manje valne duljine od 30 do 100 mm i normalna su posljedica eksploatacije kolosijeka, pogotovo u zonama stajališta kao što je slučaj sa promatranim poligonom.



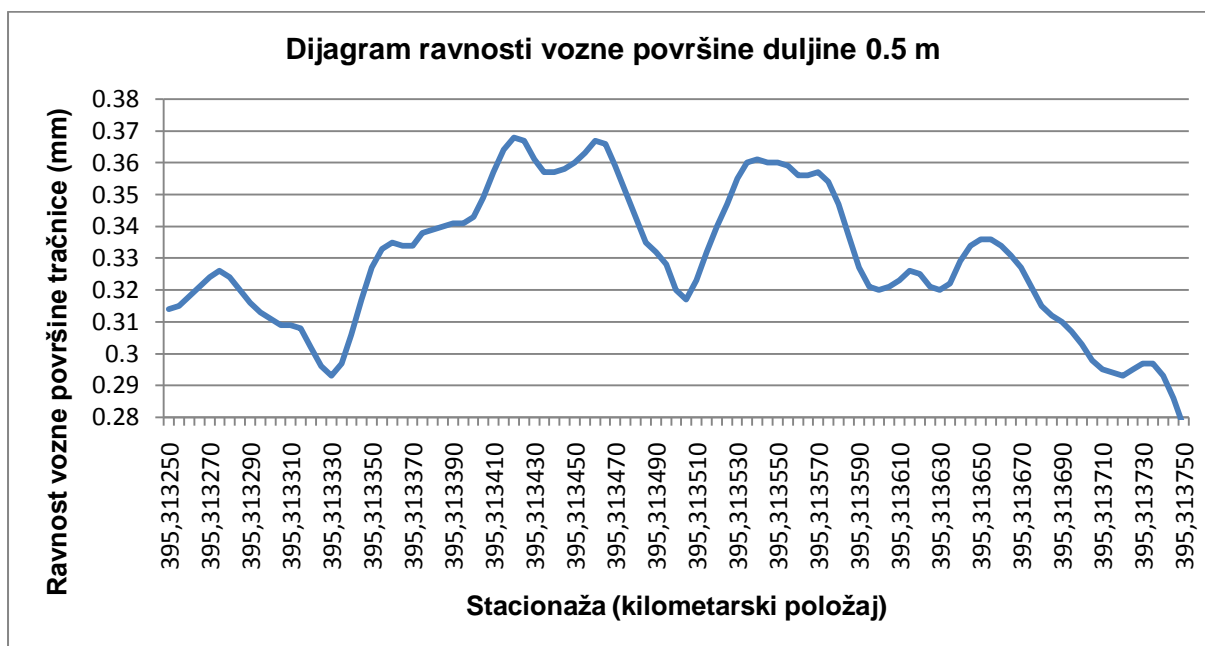
Slika 5.3. Neravnine vozne površine prema amplitudi

Daljnjom analizom vozne površine uočena su značajna odstupanja u području prijelaza ceste preko kolosijeka, te u područjima zavara. Ravnost u područjima zavara posebno je ispitana istim uređajem, no kako ćemo ubrzo vidjeti oni nisu glavni uzrok problema na ispitnom poligonu kako se moglo očekivati, te su dobiveni podaci zasebno obrađeni i prikazani grafički u prilogima 3a., 3b., 3c, 3d. Iako je dakle bilo očekivano da će najveća odstupanja biti u područjima zavara, uobičajeno najkritičnijim mjestima na kolosijeku, maksimalne amplitude neravnina izmjerene su na već prethodno spomenutom križanju. Pošto su nepravilnosti ovalikih razmjera atipične za relativno nove kolosijeke u pravcu zaključeno je da su direktno povezane sa cestovnim prometom. Utjecaj prometovanja cestovnih vozila najvjerojatnije se očituje nanašanjem nečistoće, u obliku sitnih kamenčića i prašine, na voznu površinu tračnica, što prilikom prolaza vozila uzrokuje oštećenja u obliku valova velikih amplituda sa malim valnim duljinama. Problem je prikazan u obliku dijagrama danim slikom 5.4, na kojoj je vidljiva vozna površina lijeve tračnice. Za prikaz je uzeto šire područje nego što je sami prijelaz jer je procijenjeno da može direktno utjecati na ravnost vozne površine i 3 do 5 metara dalje, kao što je i vidljivo na dijagramu.



Slika 5.4. Neravnine vozne površine kritičnog područja

Ovdje je ujedno zabilježena i najveća neravnost, valne visine od 0.368 mm na stacionaži 395+313.420, koja je potom također prikazana slikom 5.5. Na prikazanom segmentu dobro je vidljiv odnos velikih amplituda i malih valnih duljina koji predstavljaju velik problem. Taj problem je najlakše opisati na način da kotač vlaka udara u valove što uzrokuje titranje kotača i tračnice. Takve vibracije mnogo su jače nego one koje nastaju kotrljanjem kotača po ravnijim površinama, a utjecaj i usporedba biti će objašnjeni u daljnjoj točki 6.



Slika 5.5. Neravnine vozne površine na maksimalnim amplitudama



6. ANALIZA MJERENJA RAZINA BUKE

Nakon pregleda stanja vozne površine ustanovljeno je da se na poligonu u određenom području nalazi previše neravnina velikih amplituda, te da ovakav poligon ne bi bio povoljan za ispitivanje emisijskih razina buke uzrokovane kretanjem vlakova. Iako je kolosijek nedavno renoviran i neravnosti većeg dijela kolosijeka su manje od 0.15 mm, smatra se da bi vibracije uzrokovane neravninama dijela kolosijeka prekomjerno utjecale na mjerene razine buke.

Mjerenje buke je ipak izvršeno u svrhu prikazivanja i takvih podataka, te usporedbe rezultata sa mjerenjima na mjerodavnim poligonima. Dijagrami izmjerenih razina buke nalaze se, u prethodno obrađenoj, točki 2 ovog rada. Ako promotrimo dijagram prikazan na slici 2.4. uočavamo da se porast, odnosno pad, razine intenziteta zvuka kreće približno linearno. Ukoliko uzmemo u obzir da je maksimalna razina izmjerena prilikom neposrednog prolaska nove diesel lokomotive serije 2041, a vozilo je vozilo brzinom 80 km/h, tada se izmjerene razine, koje se odnose na ispitni poligon, nalaze unutar područja 4.5s od maksimalne vrijednosti (85.7 dB(A)). Lokomotiva se kretala u smjeru obrnutom rastu stacionaže, što znači da nakon prolaska lokomotive kraj mjernog uređaja, približavajući se kritičnom području ispitnog poligona, izmjerene razine intenziteta zvuka padaju. Pad je dakle približno linearan u prosjeku 0.72 dB(A) po jednom metru dužine. Nekih 3 do 5 metara prije ulaska u samo križanje moguće je primijetiti promjenu nagiba pada razina intenziteta zvuka. U ovom djelu razine padaju u prosjeku 0.28 dB(A) po jednom metru dužine, što je mnogo sporije nego prije promjene. Ako se vratimo natrag na slike 5.1 i 5.2 vidimo da točno u tom području počinju veća odstupanja od ravnosti vozne površine. Na stacionaži 395+338, koja se još ne nalazi u području visoke neravnosti, izmjerena je razina intenziteta zvuka 71.3 dB(A). Prema linearnom odnosu 15 m dalje na stacionaži 395+323 razina intenziteta zvuka trebala bi iznositi približno 60.5 dB(A), dok je stvarno izmjereno 65.5 dB(A). Razlika dakle iznosi čak 5 dB(A), što je veoma mnogo uzevši u obzir da je dB mjerna jedinica izražena kroz logaritamsku funkciju intenziteta zvuka. Promjena razine intenziteta zvuka od 3 dB(A) za ljudsko uho predstavlja osjetno povećanje bučnosti, dok promjena od 6 dB(A) ljudskom uhu predstavlja udvostručenje buke.

Bitno je međutim napomenuti da razlika od 5 dB(A) nije razlika u ukupnoj ekvivalentnoj razini buke, nego samo u toj točki mjerenja. Utjecaj neravnijeg djela vozne površine u ukupnoj ekvivalentnoj razini buke je svakako niži, te pri brzini kretanja od 80 km/h iznosi približno 2 dB(A).



Promatrani problem usmjerio je daljnja istraživanja prema drugom ispitnom poligonu za koji je pretpostavljeno da će udovoljiti prethodno definiranim uvjetima. Ispitni poligon određen je na dionici pruge „Vrpolje – Ivankovo“, koja se također nalazi u sklopu X. paneuropskog koridora kako je vidljivo na slici 3.1. Navedena dionica pruge je dvokolosiječna, što zahtjeva kontrolu stanja gornjeg ustroja oba kolosijeka. Kontrola je provedena u smjeru rasta stacionaže sa početnim kilometarskim položajem 183+8724 do krajnjeg položaja 183+9724. Ispitivanje geometrije i ravnosti vozne površine kolosijeka provedeni su na isti način kao i na ispitnom poligonu dionice "Zagreb gl.kolodvor–Sisak–Novska", prilikom čega su za ispitivanje korišteni isti uređaji.

Provjerom geometrije oba kolosijeka (širine kolosijeka, visinskog odnosa tračnica te promjene širine kolosijeka na 1m) utvrđeno je da se ona nalazi unutar dopuštenih vrijednosti propisanih Pravilnikom 314 te Uputstvom 339 za kolosijeke na kojima se prometuje brzinama većim od 100 km/h. Standardno odstupanje širina kolosijeka iznosi 0.86 mm, a prosječna visinska razlika 1.09 mm, na temelju čega je dionica pruge svrstana u 1. kategoriju.

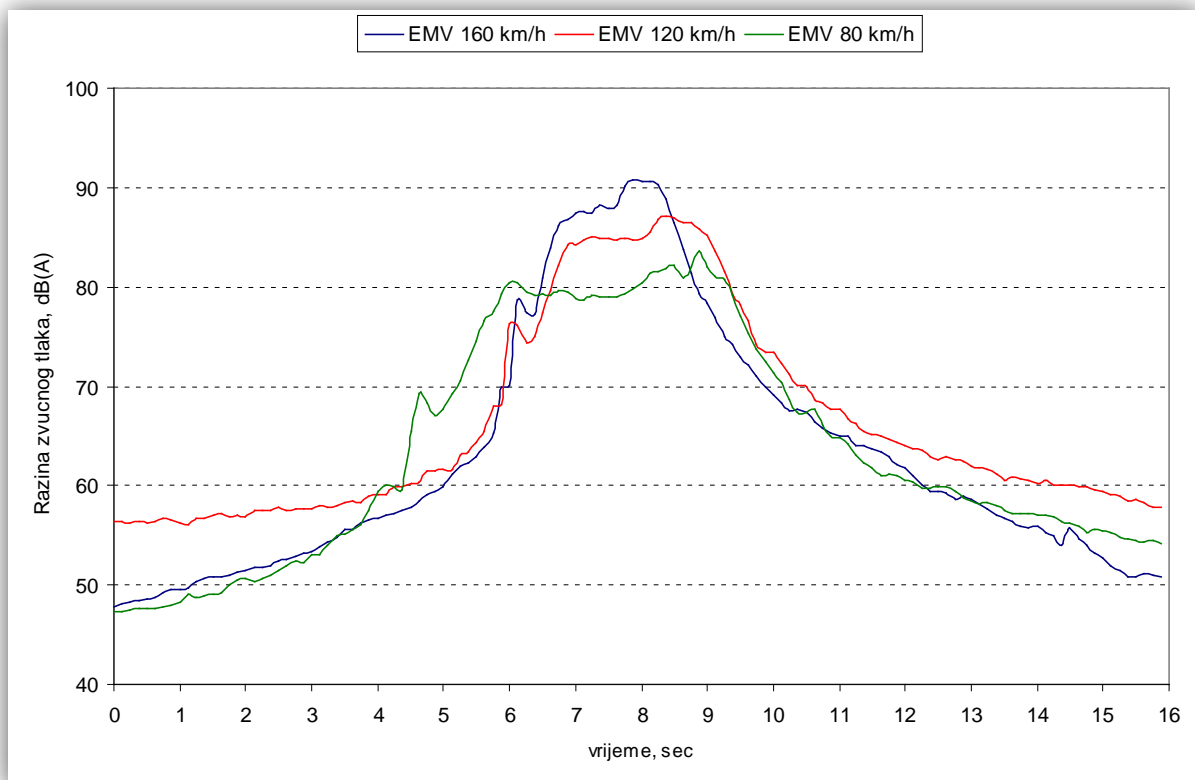
Kontrolom ravnosti vozne površine tračnica ispitnog poligona ustanovljeno je da se vertikalne nepravilnosti vozne površine nalaze unutar 0.1 mm, za neravnine valnih duljina 30 do 100 mm. Ovo je pokazatelj da na kolosijeku još nije potrebno provoditi brušenje vozne površine tračnica. Veće nepravilnosti, veličine neravnina 0.3 mm, ustanovljene su jedino u zonama zavara tračnica koji se nalaze se na svaka 22.5. S obzirom da su veličine neravnina u područjima zavara gotovo jednake na oba ispitna poligona možemo zaključiti da je i jednak njihov doprinos u izmjerenim ekvivalentnim razinama buke.

Na temelju ovih rezultata ispitivanja, ispitni poligon je ocijenjen kao mjerodavan za ispitivanje emisijske buke uzrokovane kretanjem novog elektromotornog vlaka EMV ŽFBH 4412 001 proizvedenog u pogonu tvrtke Končar – Električna vozila d.d., po voznoj površini tračnica ispitnog poligona. Potom je, u skladu sa normom HRN EN ISO 3095:2007 i Direktivom TSI – Noise (2006/66/EC), provedeno tipsko ispitivanje buke u putničkom prostoru, upravljačnicama, te ispitivanje vanjske buke. Iako je stanje gornjeg ustroja kolosijeka usko povezano sa izmjerenim razinama buke u unutarnjem prostoru vlaka, za potrebe daljnje analize utjecaja ravnosti vozne površine obrađeni su podaci dobiveni ispitivanjem vanjske buke. Radi dobivanja što vjerodostojnijih rezultata, na ovom poligonu uređaji za mjerenje razina buke postavljeni su na dvije pozicije. Oba stalka, sa mikrofonom na visini 1.2 i 3.5 m, postavljena su 7.5 m od osi južnog kolosijeka na kojem su se kretali vlakovi. Ekvivalentne vrijednosti razina buke, izmjerene mikrofonom na stalku A, uzete su za usporedbu razina buke na prvom i drugom poligonu. Izmjerene razine mikrofonom na stalku B uzete su drugu usporedbu koja će biti opisana kasnije.

Vanjske vrijednosti ekvivalentnih emisijskih razina intenziteta zvuka mjerene su prilikom kretanja elektromotornog vlaka EMV ŽFBH 4412 001 konstantnim brzinama od 80 km/h, 120 km/h i 160 km/h, za koje su izmjerene sljedeće vrijednosti:

- Vožnja konstantnom brzinom 80 km/h $L_{pAeq, Tp@7,5m} = 80 \text{ dB(A)}$
- Vožnja konstantnom brzinom 120 km/h $L_{pAeq, Tp@7,5m} = 85 \text{ dB(A)}$
- Vožnja konstantnom brzinom 160 km/h $L_{pAeq, Tp@7,5m} = 89 \text{ dB(A)}$

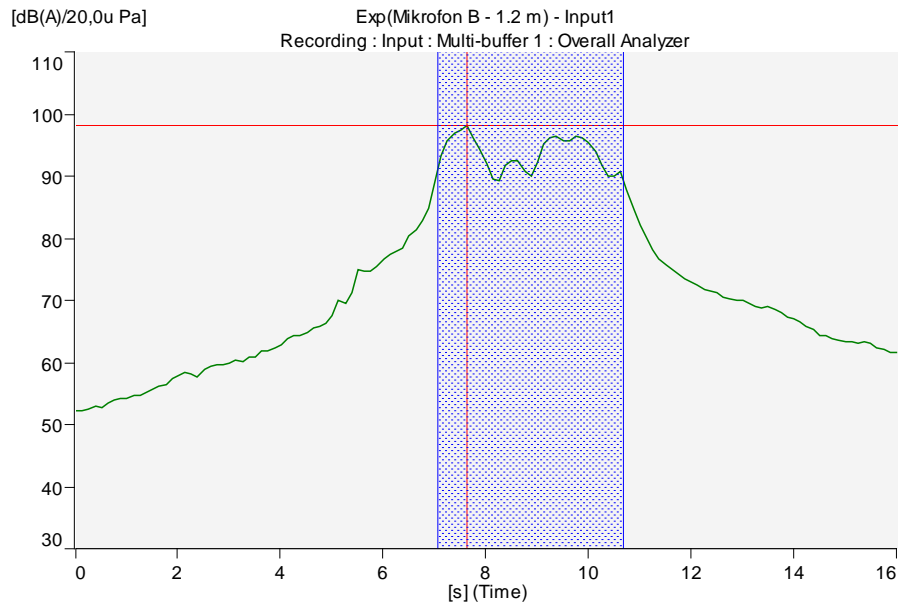
Detaljan prikaz razina zvučnog tlaka dan je dijagramom na slici 6.1.



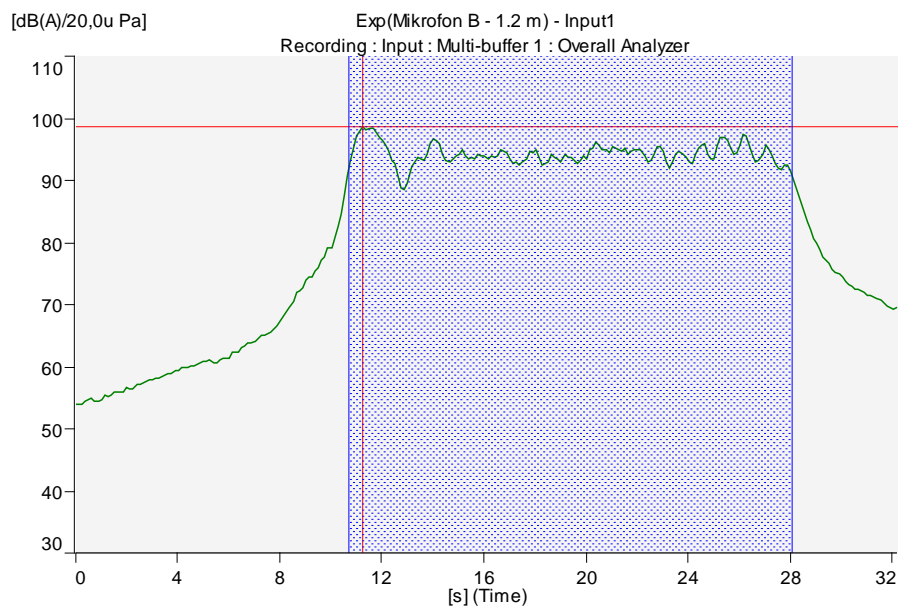
Slika 6.1. Dijagram razina zvučnog tlaka prilikom prolaska vlaka EMV ŽFBH

Vidljivo je da povećanjem brzine kretanja od 40 km/h ukupne emisijske razine intenziteta zvuka rastu između 4 i 5 dB(A). Kako je već ranije ustanovljeno, kontrolom stanja gornjeg ustroja, neravnost vozne površine ima očekivani utjecaj na ukupne razine, te se navedene razine očekuju prilikom normalne eksploatacije vlaka na sličnim kolosijecima. Potrebno je napomenuti da izmjerene razine intenziteta zvuka u sebi naravno sadrže doprinos kotrljanja kotača po voznoj površini, te one ne predstavljaju emisijske vrijednosti samoga vlaka za koje je kasnije utvrđeno da se nalaze unutar propisanih vrijednosti TSI Direktive.

Na poligonu su, osim novog putničkog vlaka, ispitani i zatečeni vlakovi koji prometuju pri normalnoj eksploataciji kolosijeka. Izmjerene su dakle ekvivalentne razine buke za putnički vlak sastavljen od 4 vagona koje vuče električna lokomotiva serije HŽ 1141, te za teretni vlak sastavljen od 24 vagona koje također vuče električna lokomotiva serije HŽ 1141. Dijagrami razina buke, prethodno opisanih vlakova, prikazani su na slikama 6.2. i 6.3.

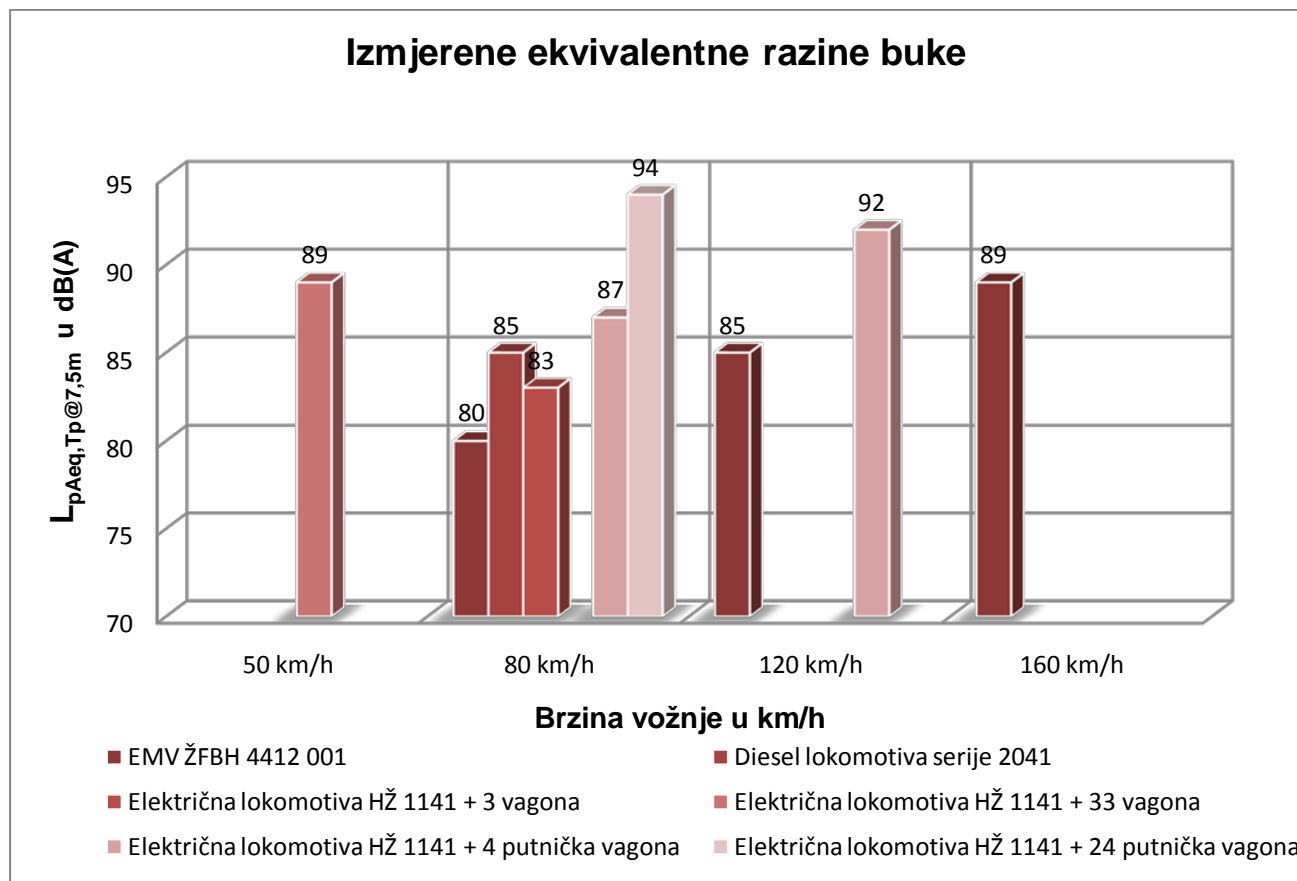


Slika 6.2. Dijagram buke prilikom prolaska vlaka putničkog vlaka (4 vagona)



Slika 6.3. Dijagram buke prilikom prolaska teretnog vlaka (24 vagona)

Ovakve vrijednost, izmjerene na „ravnom“ poligonu, mogu veoma dobro poslužiti za usporedbu sa vrijednostima izmjerenim na voznoj površini veće neravnosti. Na slici 6.4. stupčano su uspoređeni dostupni podaci o emisijskim ekvivalentnim razinama buke vlakova.



Slika 6.4. Dijagram izmjerenih ekvivalentnih razina buke

Potrebno je napomenuti da je za putnički vlak, čije je vagone vukla lokomotiva serije HŽ 1141, izmjerena ekvivalentna razina zvučnog tlaka samo pri kretanju brzinom od 120 km/h. Razina buke za kretanje brzinom od 80 km/h proračunata je na način da se od izmjerene ekvivalentne razine buke oduzeo doprinos kotrljanja kotača. Za proračun se koristi izraz: $L_{pAeq, Tp}(80) = L_{pAeq, Tp}(V) - 30 \log(V/80)$, a za izmjerene parametre jednadžba glasi:

$$L_{pAeq, Tp}(80) = L_{pAeq, Tp}(120) - 30 \log(120/80) = 92 - 30 \log 1.5 = 87 \text{ dB(A)}$$

Naglašava se da je ovaj proračun moguće koristiti jedino ukoliko je ustanovljeno da se odstupanja u ravnosti vozne površine nalaze unutar dopuštenih vrijednosti, kao što je slučaj na ispitnom poligonu gdje je izmjerena ekvivalentna razina buke promatranog vlaka.

Utjecaj brzine vožnje na ekvivalentne razine intenziteta zvuka možda je najbolje vidljiv uspoređujući spori teretni vlak sa brzim putničkim. Uočavamo da lagani putnički vlak pri brzini vožnje od 160 km/h, po ravnoj voznoj površini, emitira jednaku količinu buke kao i teški teretni vlak sa 33 puna vagona-cisterne. Ukoliko pak usporedimo kratak teretni vlak sa novim putničkim, pri istoj brzina vožnje od 80 km/h, vidimo da je razlika u izmjerenim razinama uke svega 3 dB(A). Iz navedenog je vrlo jasno vidljiv velik utjecaj putničkog željezničkog prometa na problem buke u okolišu, što znači da mu je u tom pogledu potrebno posvetiti jednaku pažnju kao i teretnom prometu.

Iako na prvi pogled prikazani podaci ne djeluju povoljno za usporedbu, pomnijim promatranjem moguće je doći do određenih zaključaka vezanih za utjecaj neravnosti vozne površine. Vidljivo je da diesel lokomotiva (slika 6.5.), pri brzini kretanja od 80 km/h, uzrokuje ekvivalentnu razinu buke od 85 dB(A), dok elektromotorni vlak (slika 6.6.) navedenu razinu dostiže tek pri brzini kretanja od 120 km/h. Uspoređujući ova dva vlaka potrebno je uzeti u obzir da vlakovi sa diesel motorima u pravilu uzrokuju nešto veću buku u odnosu na elektromotore. No navedena lokomotiva je remontirana i modernizirana, dok je novi putnički vlak je od nje dulji za 5 m, što znači da se razlika od 5 dB(A) prilikom vožnje istom brzinom, od 80 km/h, nikako ne može pripisati samo radu motora.



6.5. Diesel lokomotiva serije 2041 na poligonu Peščenica



Slika 6.6. EMV ŽFBH 4412 001 na poligonu Vrpolje – Ivankovo

Navedenom u prilog idu i ekvivalentne razine buke putničkog vlaka sastavljenog od 4 putnička vagona koje vuče lokomotiva serije HŽ 1141. Uspoređujući ovaj putnički sa oba dva nova vlaka. Razlika u bučnosti EMV ŽFBH-a i standardnog putničkog vlaka iznosi 7 dB(A) u korist novog, dok je od diesel lokomotive navedeni vlak bučniji samo 2 dB(A), naravno pri istoj brzini vožnje. Razlika od samo 2 dB(A) između lokomotive i vlaka sa 4 vagona, bez obzira na vrstu pogonske vuče, jednostavno nije realna, a nepravilnost se, prema svemu prethodno navedenom, može direktno povezati sa neravnom površinom poligona na kojem je ispitana diesel lokomotiva.

Da ipak barem malo razbijemo monotoniju dokazivanja lošeg stanja vozne površine prvog ispitnog poligona, promatrajući dijagrame moguće je iznijeti i zaključak o dobrom stanju vozne površine drugog ispitnog poligona. Ako se koncentriramo na brzinu vožnje od 120 km/h, razlika emisijskih ekvivalentnih razina buke između novog i starog putničkog vlaka iznosi 7 dB(A). U prethodnom odlomku ustanovljeno je da je jednaka razlika i pri brzinama vožnje od 80 km/h. Ako se pak vratimo malo dalje natrag, ispod dijagrama izmjenjenih ekvivalentnih razina buke, uočavamo da je ekvivalentna razina buke standardnog putničkog vlaka, za brzinu vožnje od 80 km/h, proračunata oduzimanjem utjecaja kotrljanja kotača po voznoj površini. Razlika je ostala jednaka što potvrđuje, kako ispravnost pozitivne ocjene ravnosti vozne površine, tako i samu ispravnost provedene kontrole.



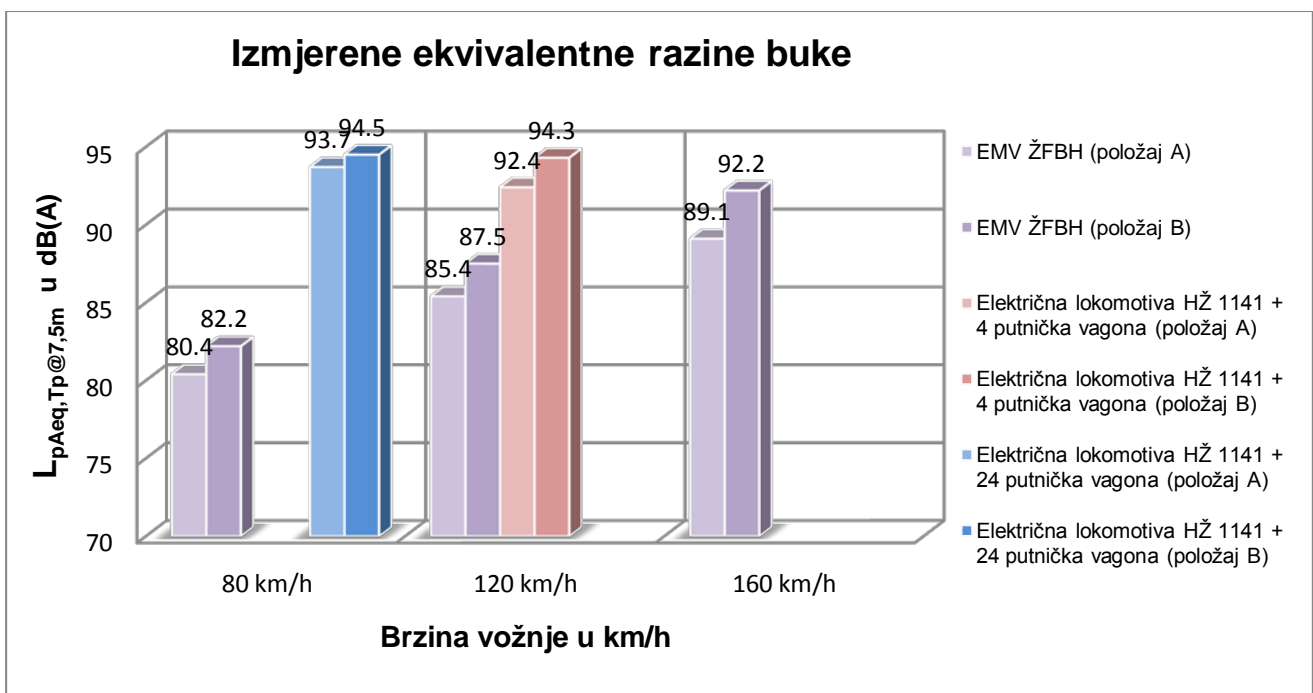
Nadalje, za konačnu ocjenu bučnosti ispitanog vozila mjerodavna je najveća izmjerena vrijednost ekvivalentne razine buke. Kako ona u sebi sadržava i utjecaj kotrljanja kotača po voznoj površini tračnica, potrebno je izmjerene razine buke prilikom kretanja vozila 120 km/h i 160 km/h preračunati na referentnu brzinu od 80 km/h na način da se navedeni utjecaj oduzme. Potom se kao mjerodavna vrijednost za ocjenu bučnosti uzima najveća proračunata razina. Za proračun se koristi izraz $L_{pAeq, Tp}(80) = L_{pAeq, Tp}(V) - 30 \log(V/80)$, te za tražene brzine iznosi:

$$L_{pAeq, Tp}(80) = L_{pAeq, Tp}(120) - 30 \log(120/80) = 85 - 30 \log 1.5 = 79.72 \text{ dB(A)} - \text{ za } 120 \text{ km/h}$$

$$L_{pAeq, Tp}(80) = L_{pAeq, Tp}(160) - 30 \log(160/80) = 89 - 30 \log 2.0 = 79.97 \text{ dB(A)} - \text{ za } 160 \text{ km/h}$$

Prema Direktivi TSI-Noise, ove vrijednosti moraju biti manje od 81 dB(A), na temelju čega zaključujemo da elektromotorni vlak EMV ŽFBH 4412 001 emitira buku unutar dopuštene granice. Zaključak koji slijedi je dakako sasvim jasan. Da je kojim slučajem vlak ispitan na prvom ispitnom poligonu, čija je ravnost vozne površine značajnije lošija u odnosu na drugu, dobili bi se rezultati koji ne bi zadovoljili tražene zahtjeve.

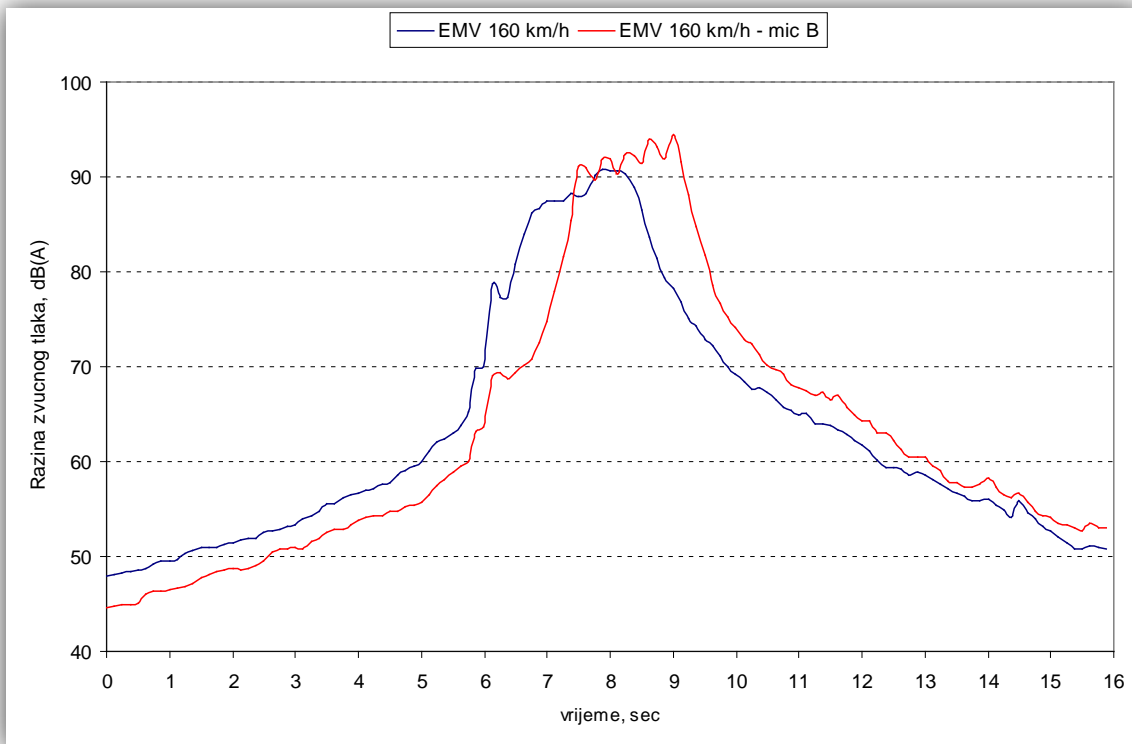
Nakon pregleda podaka o emisijskim razinama buke izmjerenim mikrofonomima na stalku B, utvrđena su velika odstupanja u odnosu na vrijednosti izmjerene na položaju stalka A. Pregledom stanja kolosjeka uočeno je da je stalak B postavljen neposredno blizu ugrađenog izoliranog lijepljenog sastava (kilometarski položaj 183+950). Na tom su položaju zabilježena odstupanja ravnosti vozne površine u vertikalnoj ravnini i do 0.5 mm. Izmjerene vrijednosti na položaju B iz navedenog razloga nemogu poslužiti kao referentne vrijednosti u ocjeni bučnosti ispitanih vozila, no veoma su zanimljive za utvrđivanje utjecaja neravnosti vozne površine na razine buke.



Slika 6.7. Dijagram izmjerenih ekvivalentnih razina buke na položajima A i B

Ekvivalentne razine zvučnog tlaka u prosjeku su porasle za 1.94 dB(A), a maksimalna razlika od 3.1 dB(A) ustanovljena je za elektromotorni vlak EMV ŽFBH 4412 001, prilikom kretanja brzinom 160 km/h. Najmanji porast razina buke, od 0.8 dB(A), utvrđen je za teretni vlak, sastavljen od 24 vagona koje vuče električna lokomotiva serije HŽ 1141, dok je za putnički vlak, sastavljen od 4 vagona i iste lokomotive, utvrđen porast od 1.9 dB(A).

Daljnijim promatranjem vidimo kako porastom brzine vožnje raste i utjecaj neravnina u ukupnim razinama buke. Dok se vlak EMV ŽFBH kretao konstantnom brzinom od 80 km/h, razlika u ekvivalentnim razinama zvučnog tlaka iznosila je 1.8 dB(A). Porastom brzine na 120 km/h razlika se popela na 2.1 dB(A), da bi mjerenjem pri brzini vožnje od 160 km/h dostigla maksimalni porast od 3.1 dB(A) kako je vidljivo na slici 6.8.

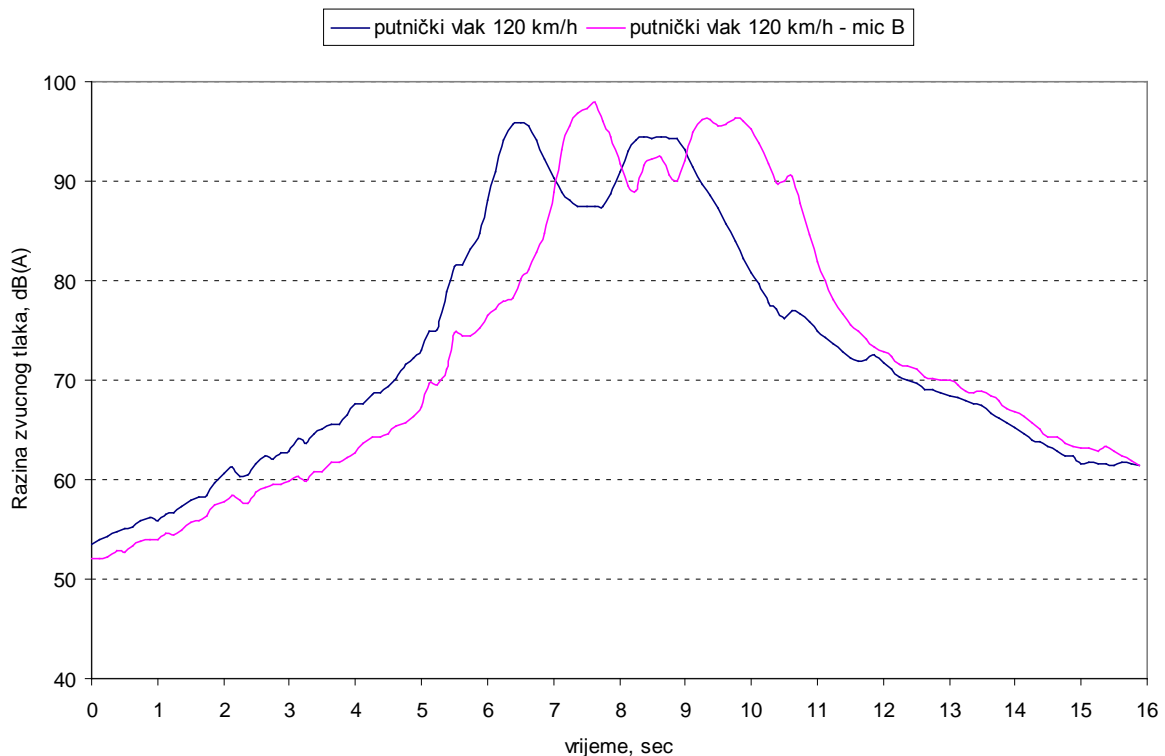


Slika 6.8. Dijagrami izmjerenih ekvivalentnih razina buke na položajima A i B (EMV ŽFBH 4412 001)

Plavom krivuljom prikazano je kretanje razina buke prolaskom vlaka pokraj mjernog uređaja A, a crvena krivulja predstavlja razine buke prolaskom kraj instrumenta B. Dok je plava krivulja očekivanog oblika za ovakva ispitivanja, na crvenoj krivulji jasno je vidljivo da postoji nepravilnost. Kotači prilikom prolaska prijeko kritičnog područja udaraju u neravninu na izoliranom lijepljenom sastavu. To uzrokuje jače vibriranje kotača i tračnice što se očituje u obliku valova (šiljaka) na krivulji. Visine valova kreću se od 2 do 2.5 dB(A), dok su duljine trajanja oko 0.35 s. Promatrani elektromotorni vlak ima 5 osovinskih sklopova što odgovara točno broju valova. S obzirom da se vlak, duljine 75 m, kreće brzinom od 160 km/h, osovinski sklopovi udaraju neravnine svakih 0.34 s, što odgovara duljini valova na dijagramu. Ovime je dakle potkrijepljena tvrdnja da je povećanje ekvivalentnih razina buke isključivo povezano sa neravninama na voznoj površini.

Iste nepravilnosti pojavljuju se i pri brzinama vožnje od 120 km/h i 80 km/h. Valne duljine tada se povećavaju proporcionalno sa smanjenjem brzine, te za brzinu kretanje od 120 km/h iznose 0.45 s. Valne visine se za navedenu brzinu kreću također u rasponu od 2 do 2.5 dB(A). Za brzinu 80 km/h duljine valova dodatno rastu na 0.68 s, no povećavaju se i visine valova koje su tada unutar područja od 3 do 3.5 dB(A). Broj valova jednak je broju osovina isto kao i za brzinu vožnje 160 km/h.

Na idućoj slici 6.9. vidljiva je razlika u razinama zvučnog tlaka za putnički vlak, sastavljen od 4 vagona koje vuče električna lokomotiva serije HŽ 1141, pri brzini kretanja 120 km/h.

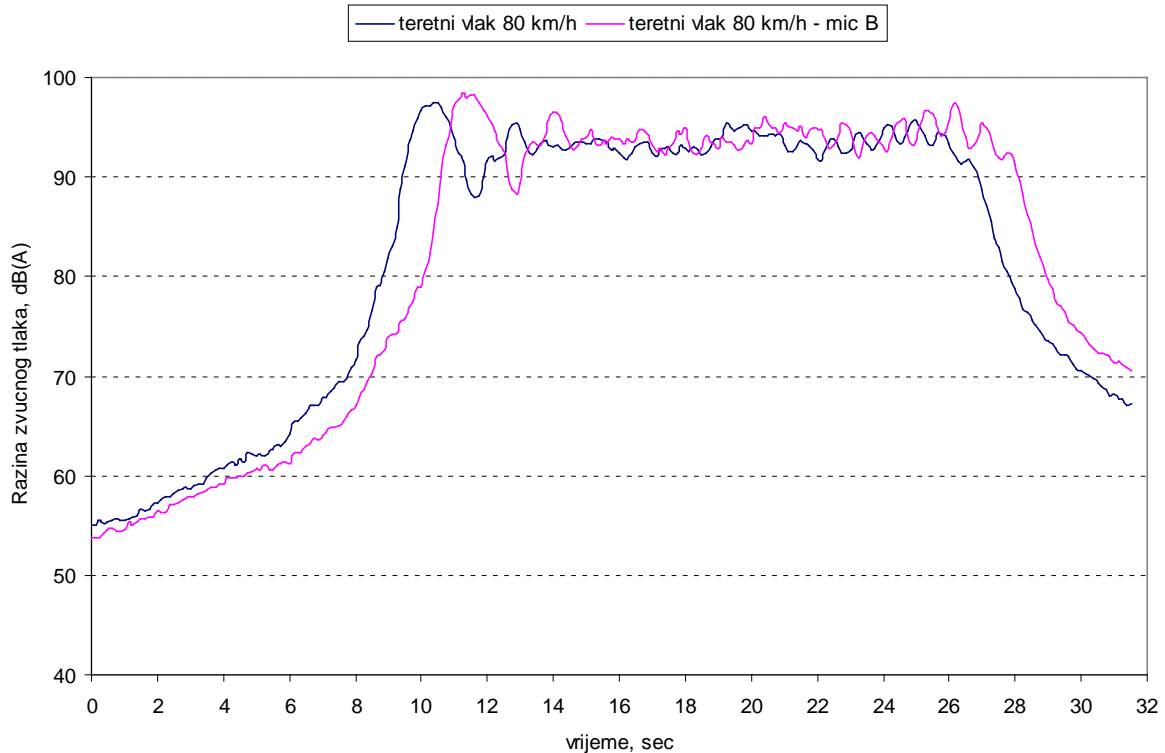


Slika 6.9. Dijagrami izmjerenih ekvivalentnih razina buke na položajima A i B

(HŽ 1141 + 4 putnička vagona)

Krivulje razina zvučnog tlaka, izmjerene mjernim uređajima na položajima A i B, mnogo su sličnije nego što je to kod niskopodnog elektromotornog. Ipak je vidljivo da su razine buke u prolasku pored instrumenata B veće za 1.5 do 2 dB(A). Vidljiv je i nešto dulji val visine 3 dB(A) i duljine 0.8 s. Povećanje razina buke ovog vlaka jednaka kao i kod niskopodnog elektromotornog kada se kreće brzinom od 80 km/h. Iako bi bilo logično da je utjecaj ravnosti na takvo povećanje veći kod prolaska starog putničkog, koji se kreće većom, brzinom to ovog puta nije slučaj.

Sličnu situaciju, ali još nešto izraženiju, možemo primijetiti i na slici 6.10., na kojoj su prikazane razine zvučnog tlaka teretnog vlaka, sastavljenog od 24 vagona koje također vuče električna lokomotiva serije HŽ 1141.



Slika 6.10. Dijagrami izmjerenih ekvivalentnih razina buke na položajima A i B
 (HŽ 1141 + 24 teretna vagona)

Naime novi niskopodni putnički vlak ima samo 5 osovinskih sklopova na razmacima dugačkim 15 m, što je mnogo veći razmak od standardnih razmaka vagona 7.5 do 9 m. Klasični vlakovi naravno imaju i više osovinskih sklopova zbog čega uočeni pravilni valovi kod EMV ŽFBH-a kod njih nisu toliko izraženi. To naravno ne znači da su klasični stari vlakovi manje bučni, naprotiv oni su prilikom kretanja istim brzinama mnogo bučniji nego novi sa većim razmakom osovinskih sklopova. Baš zbog tih uobičajeno nižih razina buke prilikom udara kotača u neravninu na voznoj površini dolazi do većeg odstupanja, te možemo zaključiti da su novi niskopodni vlakovi osjetljiviji na neravnost vozne površine tračnice.



7. ZAKLJUČAK

Kontrola stanja cjelokupnog gornjeg ustroja promatranog ispitnog poligona opisane dionice, dovela je do brojnih zaključaka koji su većinom izneseni u pojedinim dijelovima ovog rada. Stanje gornjeg ustroja kolosijeka igra veoma bitnu ulogu u emitiranju buke u okoliš koja ne smije biti nikako zanemarena. Osim ovog očiglednog utjecaja pokazano je da ono može utjecati i na rezultate ispitivanja tračničkih vozila do te mjere da ukoliko problem nije na vrijeme prepoznat ona ne zadovolje tražene standarde.

Pregledom stanja elemenata gornjeg ustroja kolosijeka (tračnice, kolosiječni pribor, pragovi, zastor) može se zaključiti da su svi kolosiječni elementi propisno ugrađeni, te da nisu uočene nepravilnosti koje bi utjecale na sigurnost odvijanja prometa ili zahtijevale smanjenje brzine kretanja vlakova.

Kontrolom geometrije kolosijeka (širine kolosijeka, visinskog odnosa tračnica te promjene širine kolosijeka na 1m') ustanovljeno je da se na navedenoj dionici radi o kolosijeku izvedenom sa temeljnom širinom 1432 mm za koju se geometrija kolosijeka nalazi unutar dopuštenih vrijednosti propisanih Pravilnikom 314 te Uputstvom 339 za kolosijeke na kojima se prometuje brzinama većim od 100 km/h.

Ispitivanjem ravnosti vozne površine ustanovljeno je da iako je kolosijek nedavno renoviran i neravnosti većeg dijela kolosijeka su manje od 0.15 mm, smatra se da bi vibracije uzrokovane neravninama dijela kolosijeka prekomjerno utjecale na mjerene razine buke. Na kritičnim područjima zavara i križanja ceste sa željezničkom prugom zabilježena su odstupanja do maksimalnih 0.368 mm. Stoga se očekuje se da će u dogledno vrijeme, u cilju sprječavanja daljnjih oštećenja, upravitelj kolosijeka pristupiti sanaciji navedenih područja brušenjem.

Nadalje je utvrđeno kako je razlika u razini intenziteta zvuka, s obzirom na ravnu i neravnu voznu površinu, veoma značajna, te iznosi približno 5 dB(A). Promatrani ispitni poligon zbog neravnosti vozne površine nije mogao poslužiti za detaljno mjerenje emisijskih vrijednosti razina buke nastale kretanjem novog elektromotornog vlaka, EMV ŽFBH 4412 001 proizvedenog u pogonu tvrtke Končar – Električna vozila d.d., te je ispitivanje prebačeno na drugu dionicu koja je uspjela zadovoljiti prethodno definirane uvjete.



Detaljnom analizom dostupnih podataka o razinama buke, izmjerenih na oba ispitna poligona, potvrđen je utjecaj neravnosti vozne površine prvog poligona, dok je za drugi ispitni poligon potvrđeno da izmjerene neravnine nemaju gotovo nikakav utjecaj na izmjerene razine buke. Na temelju toga je zaključeno da su oba ispitna poligona ispravno ocjenjena, te da su provedene kontrole stanja gornjeg ustroja, također na oba ispitna poligona, precizne i mjerodavne.

Promatranjem nepravilnosti u izmjerenim razinama buke, na položaju B drugog ispitnog poligona, dobiven je najbolji uvid u kojoj mjeri neravnina utječe na povećanje razine buke. Izmjerena odstupanja u ravnosti vozne površine na tom su dijelu dostizala su i do 0.5 mm. Rezultati izmjereni na tom položaju nisu korišteni za tipsku ispitivanje vlaka, ali su poslužili za nastavak analize utjecaja vozne površine na razine buke. Daljnjom obradom podataka utvrđeno je da navedena nepravilnost može doprinijeti povećanju ekvivalentne razine buke i do 3 dB(A) ukoliko se vozila kreću brzinom od 160 km/h. Također utvrđeno je da ovakve nepravilnosti imaju mnogo više utjecaja na lakši i brži promet, nego na teretni.

Konačno, iako je u ovaj rad pokrenut sa ciljem samo dokazivanja ispravnosti jednog elementa (ravnost vozne površine tračnica) u velikom svjetskom problemu, on je pokazao koliko je svaki pojedini element značajan, te koliko mu je pozornost i trud potrebno posvetiti kako ne bi uzrokovao još veće produbljivanje problema. Činjenica je da se u svijetu vodi sve veća i veća briga o ovom problemu, stoga smo i mi kao zajednica dužni pravovremeno voditi brigu o stanju naše infrastrukture kako ona ne bi negativno utjecala, ni na nas same, ni na ljude u našem okruženju.



8. LITERATURA

- [1] D. Thompson: Railway Noise and Vibration: mechanisms, modelling and means of control, Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK., first edition 2009.
- [2] V. Dragčević: Prometna buka, Predavanja za studente IV godine Građevinskog fakulteta;
- [3] A Study of European Priorities and Strategies for Railway Noise Abatement, Annex II Retrieval of System Cases
- [4] HŽ Infrastruktura – Izvješće o mreži 2009. godine
- [5] www.hznet.hr
- [6] EN ISO 3095:2005
- [7] "Technical specification for interoperability (TSI) for noise aspects of conventional rolling stock (2006/66/EC)"
- [8] www.graw.com -Specifikacija uređaja GRAW DTG-1435
- [9] Pravilnik o tehničkim uvjetima za sigurnost željezničkog prometa kojima moraju udovoljavati željezničke pruge
- [10] Pravilnik 314 o održavanju pruga i pružnih postrojenja
- [11] METARAIL Project, Final Report for Publication, Authors: M. Wirnsberger (SC), M.G. Dittrich (TNO), J. Lub (NSTO), G. Pollone (IPSE), M. Kalivoda (Psi-A), P.v. Buchem (ERRI), W. Hanreich(ÖBB), P. Fodiman (SNCF), December 1999.
- [12] www.esveld.com - Specifikacija uređaja RAILPROF 1000
- [13] S. Lakušić; Gornji ustroj željeznica; Predavanja za studente IV godine Građevinskog fakulteta; Zagreb, 2006.



9. SAŽETAK

Nikola Andrašić

UTJECAJ RAVNOSTI VOZNE POVRŠINE TRAČNICA NA BUKU TRAČNIČKIH VOZILA

Sa ciljem provođenja tipskog ispitivanja buke uzrokovane kretanjem tračničkih vozila po voznoj površini tračnica provedena je kontrola stanja gornjeg ustroja kolosijeka na ispitnom poligonu dionice željezničke pruge M101 "Zagreb gl.kolodvor – Sisak – Novska", radi cjelovite ocjene stanja kolosijeka i utvrđivanja mogućnosti njegova korištenja za daljnja ispitivanja.

Kontrolom geometrije kolosijeka utvrđeno je da se nalazi unutar dopuštenih vrijednosti, dok su kontrolom ravnosti vozne površine ustanovljena odstupanja veća od dopuštenih vrijednosti. Radi daljnje razrade problematike provedeno je još jedno ispitivanje stanja gornjeg ustroja na poligonu "Vrpolje - Ivankovo". Analizom stanja kolosijeka i vozne površine tračnice, ovaj poligon je odabran kao mjerodavan za tipska ispitivanja tračničkih vozila, gdje je ispitivanje buke jedno od tipskih ispitivanja tračničkih vozila,

Utvrđena odstupanja u ravnosti vozne površine tračnice prvog poligona, usmjerila su na detaljni pregled svih prikupljenih podataka, čija je daljnja obrada i analiza rezultirala donošenjem zaključaka o utjecaju ravnosti vozne površine na razne buke. Dobiveni rezultati istraživanja ukazali su na potrebu za daljnjim praćenjem odnosno redovitom kontrolom stanja gornjeg ustroja željezničke infrastrukture čime bi se postiglo značajno smanjenje emisije buke u okoliš te troškovi održavanja tračnih vozila i kolosijeka.



10. SUMMARY

Nikola Andrašić

INFLUENCE OF RAIL ROUGHNESS ON RAIL VEHICLES NOISE

In order to conduct typical noise measurements caused by rail vehicle movement over the rails' running surface the control of geometry state of the railway track along the test site on the railway line M101 "Zagreb main station - Dugo selo - Novska" has been carried out. Described procedure is necessary to determine track quality and rail roughness for all further measurements.

Geometry measurements analysis concluded that all elements are in tolerant range, while measurements of contact roughness of the rails identified some values outside the range of tolerance. For further problem elaboration another test site has been evaluated on "Vrpolje – Ivankovo" railway line. By evaluating track geometry and rail roughness state, this test site has been determined as valid for conducting typical railway vehicle testing including typical railway vehicle noise testing.

Identified irregularities in rail roughness of the first test site focused the further research on detailed evaluation of all gathered data whose further processing and analysis led to several conclusions on the effect of rail roughness on increased noise levels in the surrounding environment. Research results indicated the need of further monitoring and track control in order to achieve significant reduction of noise pollution and vehicle and track maintenance costs.



11. PROLOZI

Vežano za obrađena poglavlja dani su sljedeći prilozii:

Prilog 1. *Situacijski nacrt ispitnog poligona na dionici "Zagreb gl. kolodvor–Sisak–Novska"*

Prilog 2. *Poprečni presjek ispitnog poligona na dionici "Zagreb gl. kolodvor–Sisak–Novska"*

Prilog 3a. *Zavar lijeve tračnice na kilometarskom položaju 395+338*

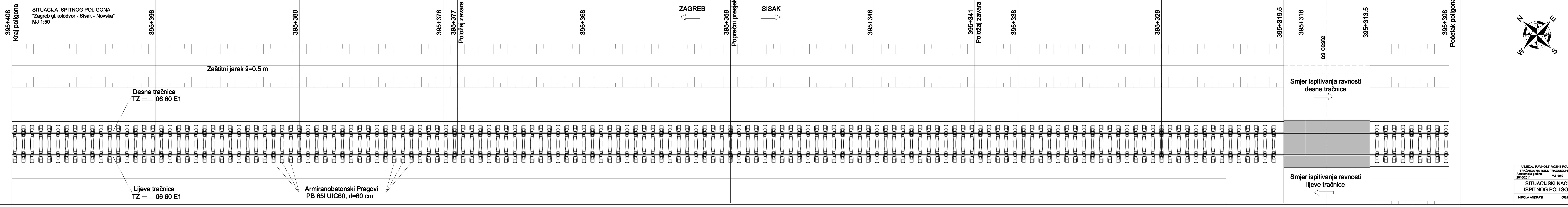
Prilog 3b. *Zavar desne tračnice na kilometarskom položaju 395+338*

Prilog 3c. *Zavar lijeve tračnice na kilometarskom položaju 395+377*

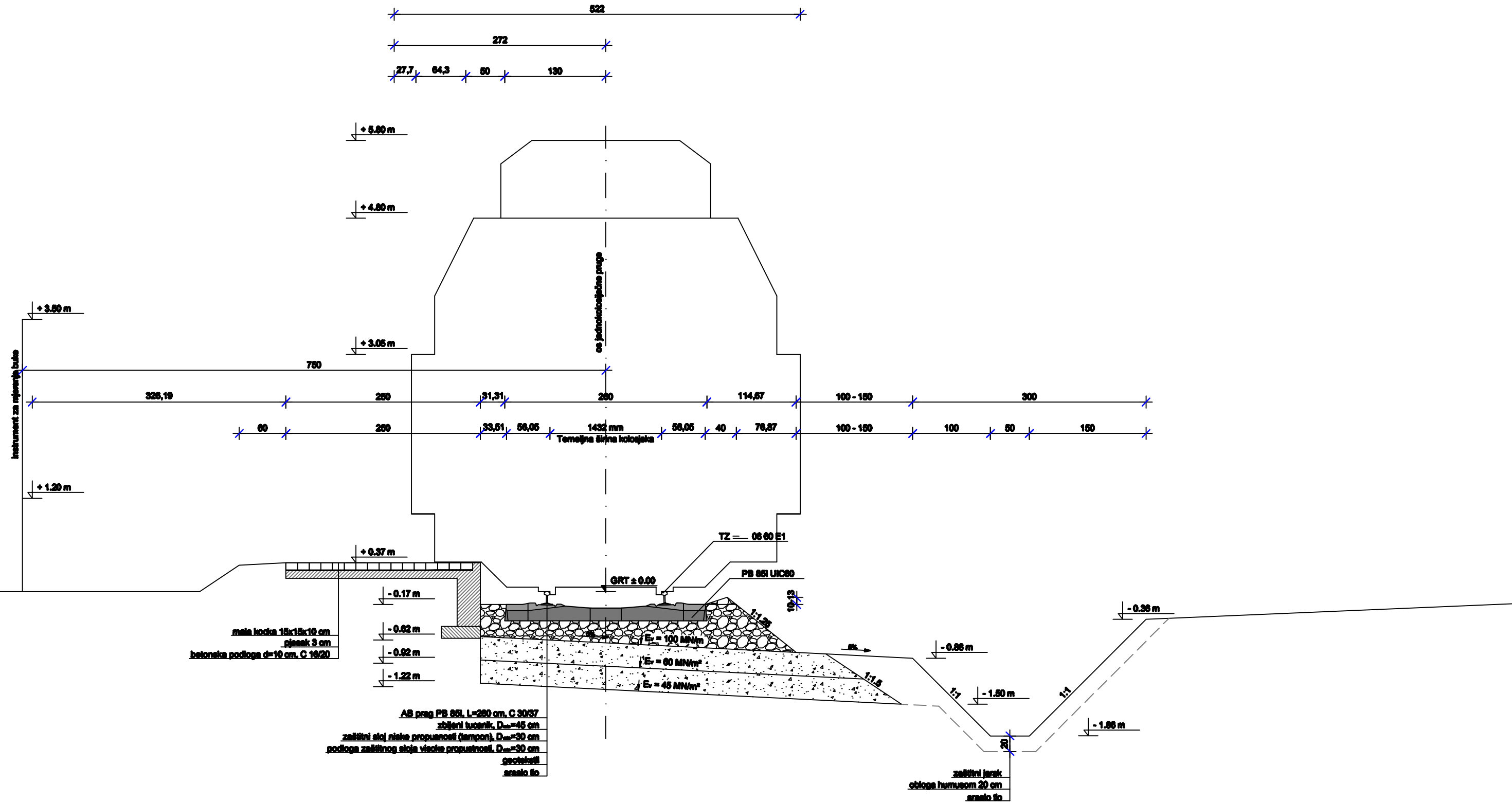
Prilog 3d. *Zavar desne tračnice na kilometarskom položaju 395+377*

Prilog 4. *Situacijski nacrt ispitnog poligona na dionici Vrpolje–Ivankovo"*

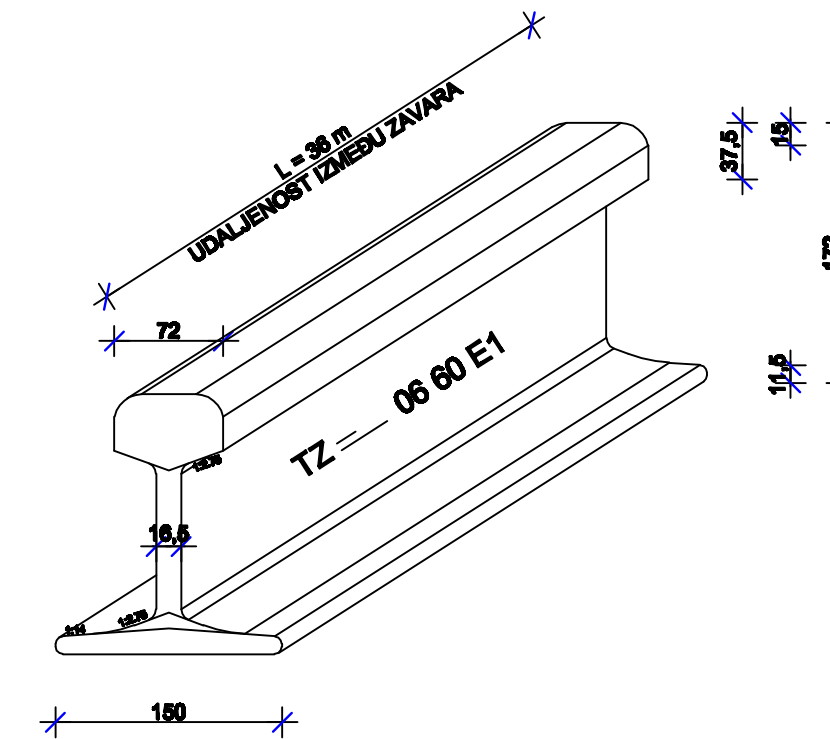
Prilog 5. *Poprečni presjek ispitnog poligona na dionici Vrpolje–Ivankovo"*



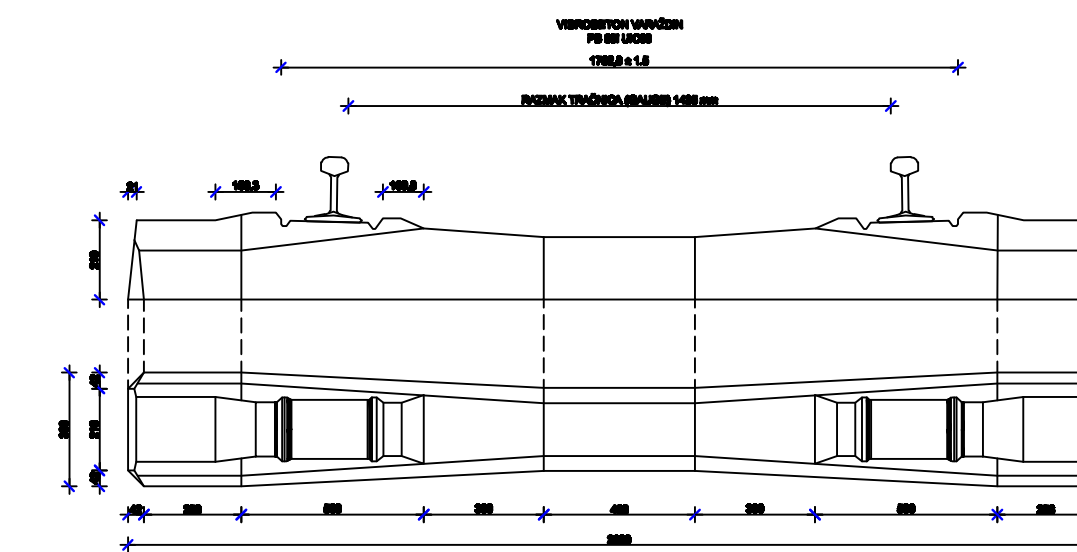
POPREČNI PRESJEK ŽELJEZNIČKE PRUGE NA ISPITNOM POLIGONU
 "Zagreb gl.kolodvor - Sisak - Novska"
 MJ 1:50



DETALJ TRAJČNICE MJ 1:25



DETALJ PRAGA MJ 1:20



UTJECAJ RAVNOSTI VOZNE POVRŠINE
 TRAJČNICA NA BUKU TRAJČNIČKIH VOZILA
 Akademska godina 2010/2011 MJ. 1:50 Prilog br. 2

POPREČNI PRESJEK

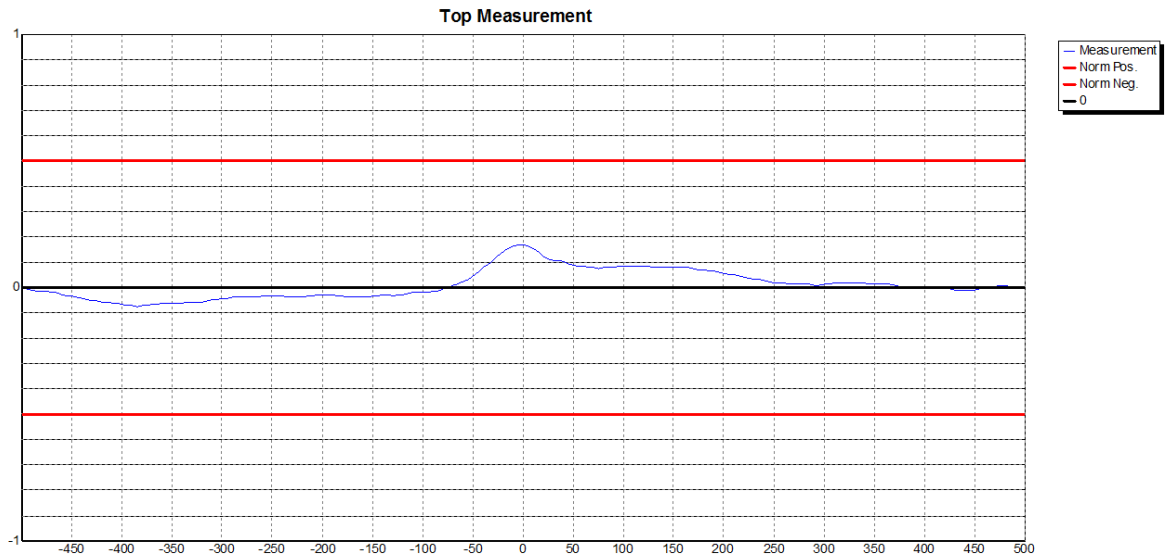
NIKOLA ANDRASI 0082037008

PRILOG 3a.

Zavar lijeve tračnice na kilometarskom položaju 395+338

RAILPROF

University of Zagreb



Weld Number: 1

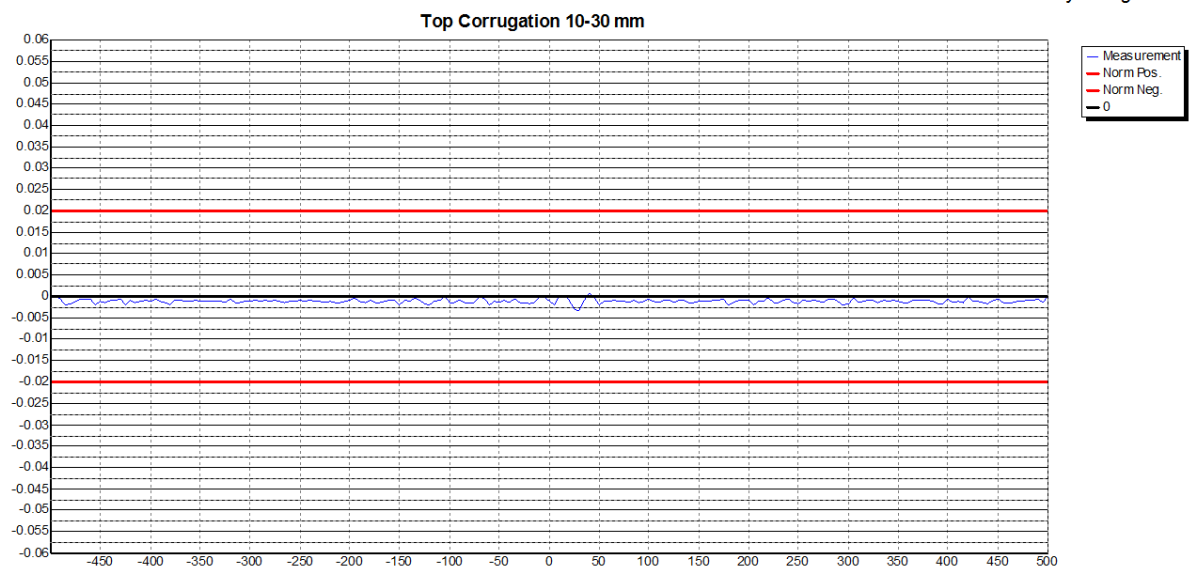
Location Code: Pescenica-zavari

Pos. versine [mm]: 0.17

QI 1.26

RAILPROF

University of Zagreb



Weld Number: 1

Location Code: Pescenica-zavari

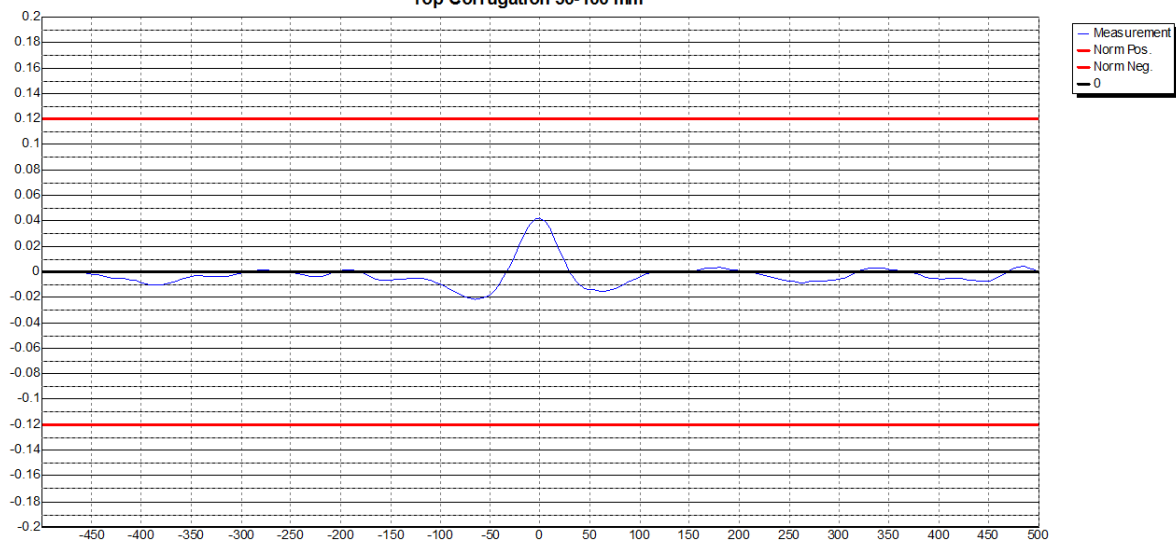
Avg. amplitude [mm]: 0.00

V [km/h] 80

RAILPROF

University of Zagreb

Top Corrugation 30-100 mm



Weld Number: 1

Location Code: Pescenica-zavari

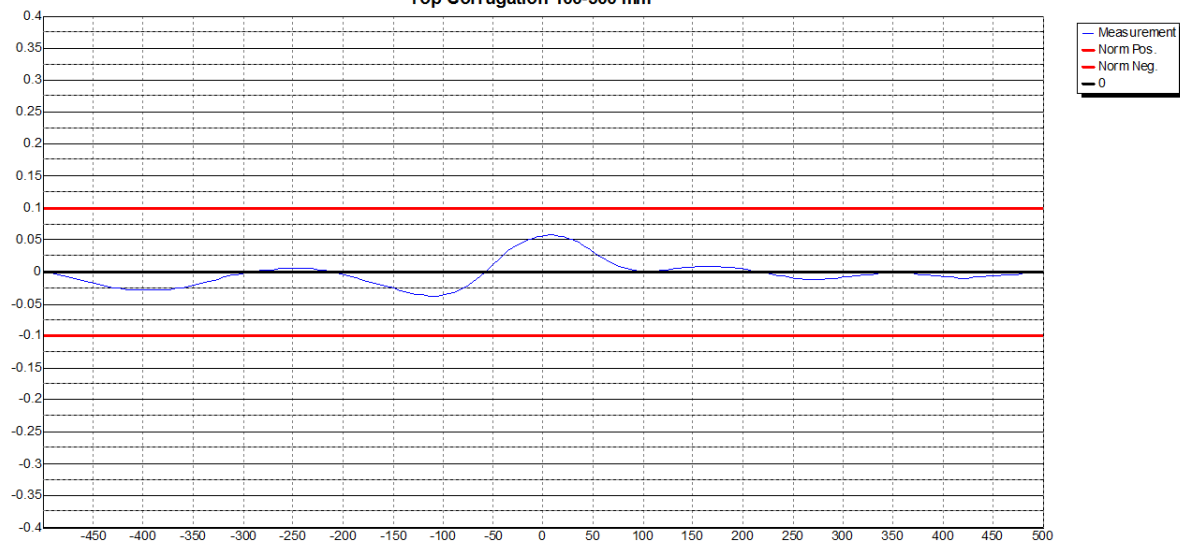
Avg. amplitude [mm]: 0.01

V [km/h] 80

RAILPROF

University of Zagreb

Top Corrugation 100-300 mm



Weld Number: 1

Location Code: Pescenica-zavari

Avg. amplitude [mm]: 0.02

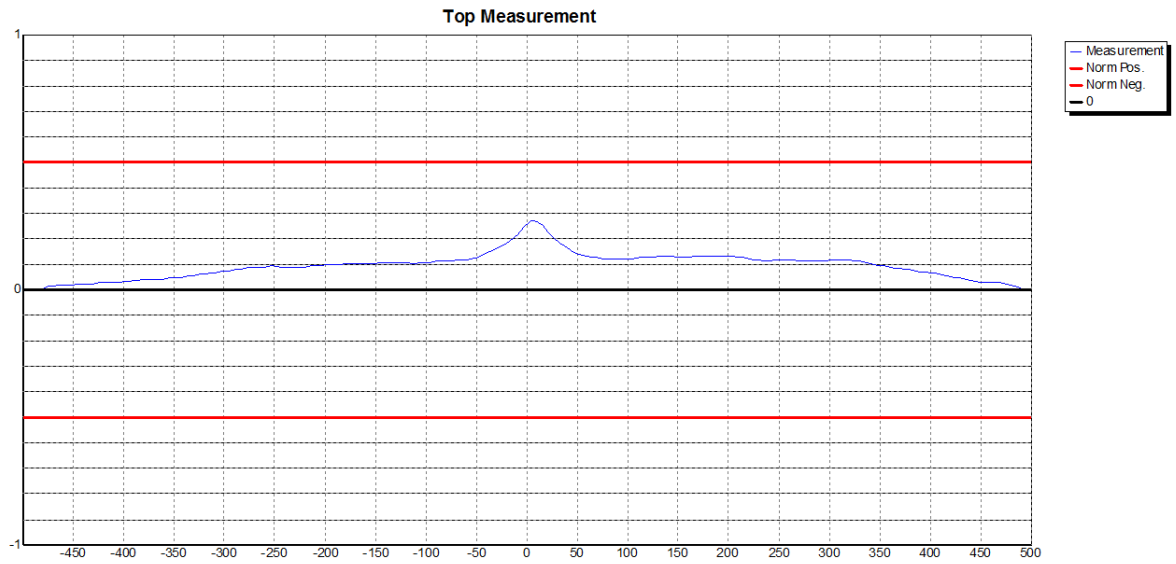
V [km/h] 80

PRILOG 3b.

Zavar desne tračnice na kilometarskom položaju 395+338

RAILPROF

University of Zagreb



Weld Number: 2

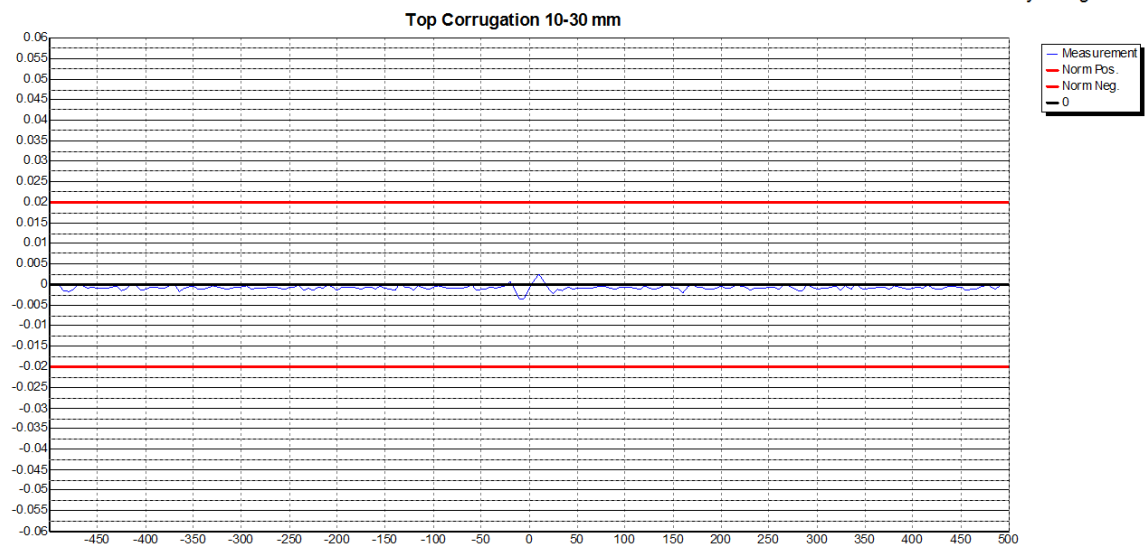
Location Code:Pesčenica-zavari

Pos. versine [mm]: 0.27

QI 1.25

RAILPROF

University of Zagreb



Weld Number: 2

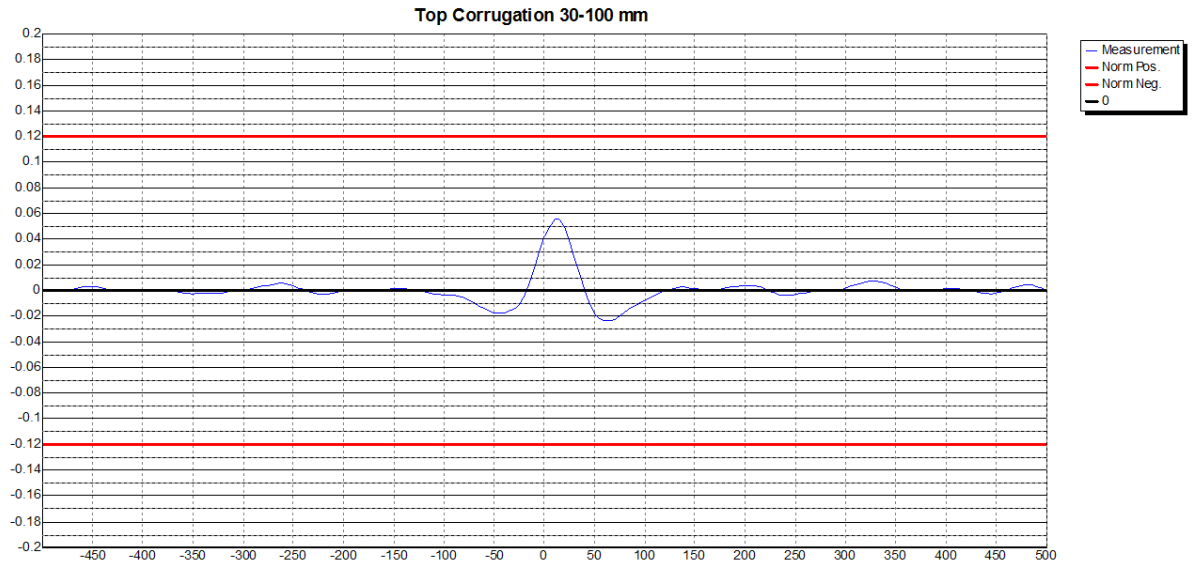
Location Code:Pesčenica-zavari

Avg amplitude [mm]: 0.00

V [km/h] 80

RAILPROF

University of Zagreb



Weld Number: 2

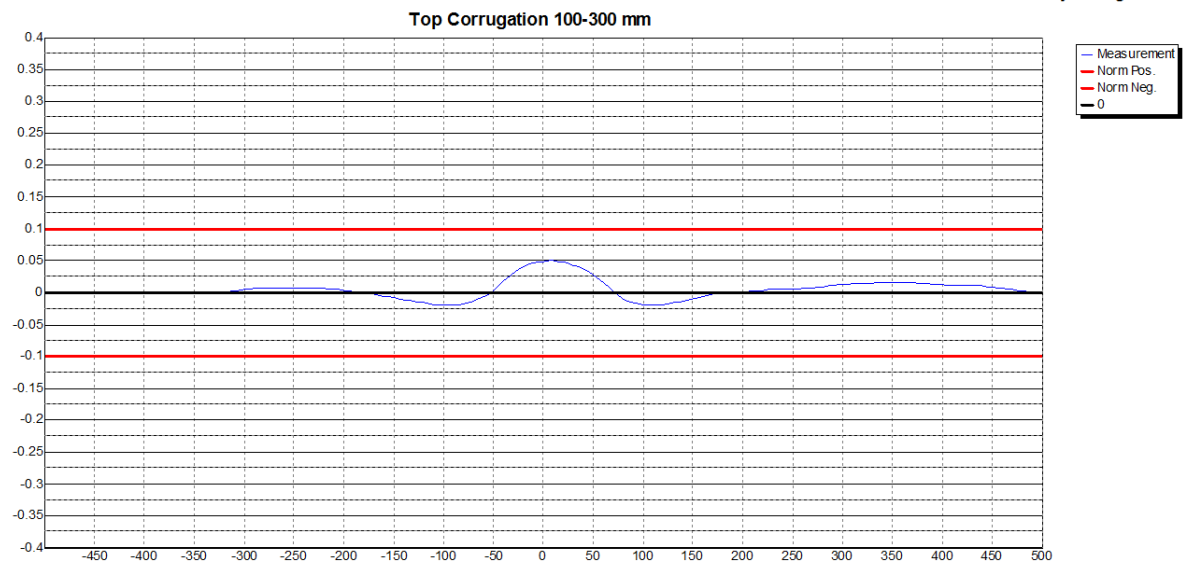
Location Code:Pescenica-zavari

Avg. amplitude [mm]: 0.01

V [km/h] 80

RAILPROF

University of Zagreb



Weld Number: 2

Location Code:Pescenica-zavari

Avg. amplitude [mm]: 0.01

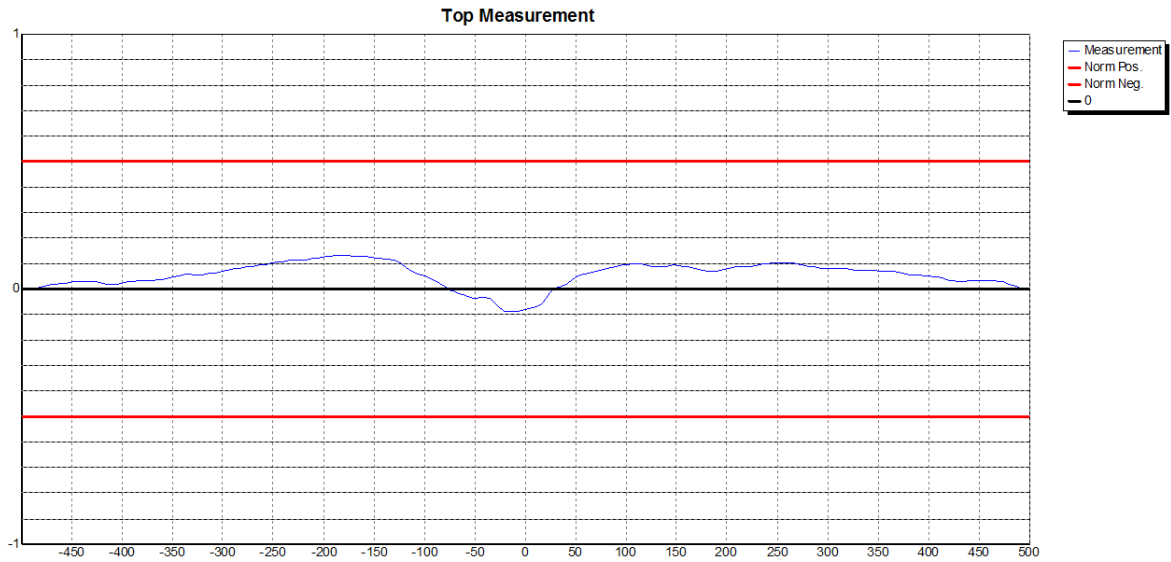
V [km/h] 80

PRILOG 3c.

Zavar lijeve tračnice na kilometarskom položaju 395+377

RAILPROF

University of Zagreb



Weld Number: 3

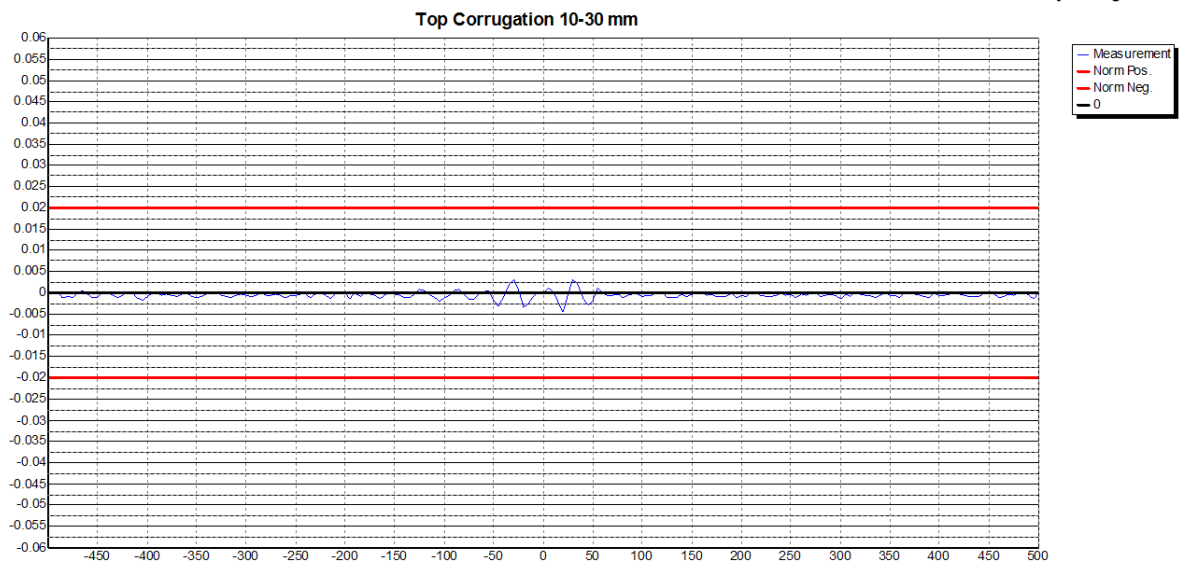
Location Code: Pescenica-zavari

Pos. versine [mm]: 0.13

QI 1.04

RAILPROF

University of Zagreb



Weld Number: 3

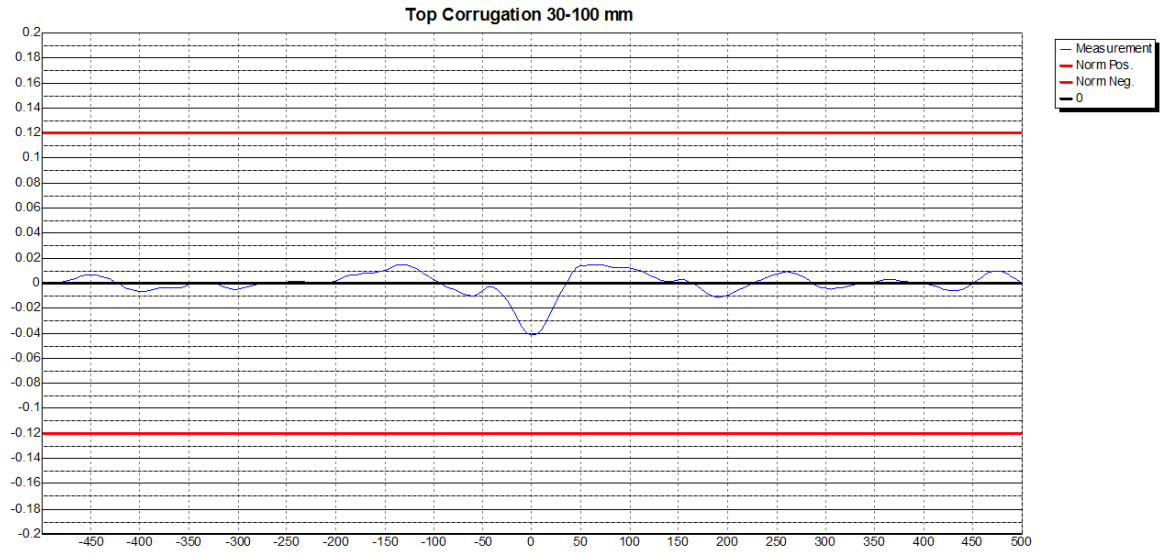
Location Code: Pescenica-zavari

Avg. amplitude [mm]: 0.00

V [km/h] 80

RAILPROF

University of Zagreb



Weld Number: 3

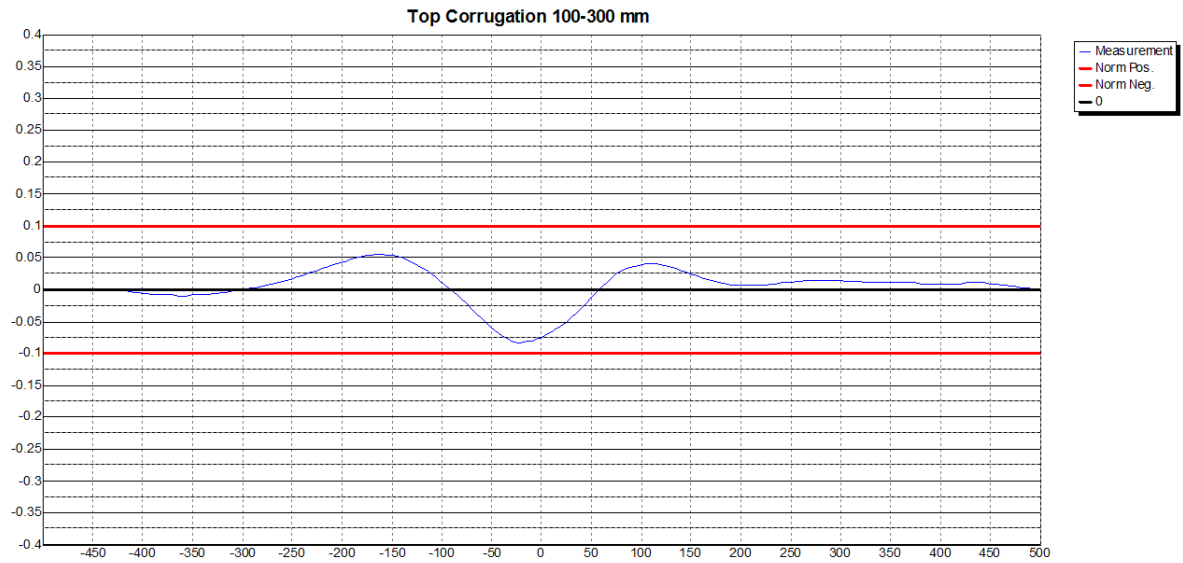
Location Code:Pescenica-zavari

Avg.amplitude [mm]: 0.01

V [km/h] 80

RAILPROF

University of Zagreb



Weld Number: 3

Location Code:Pescenica-zavari

Avg.amplitude [mm]: 0.03

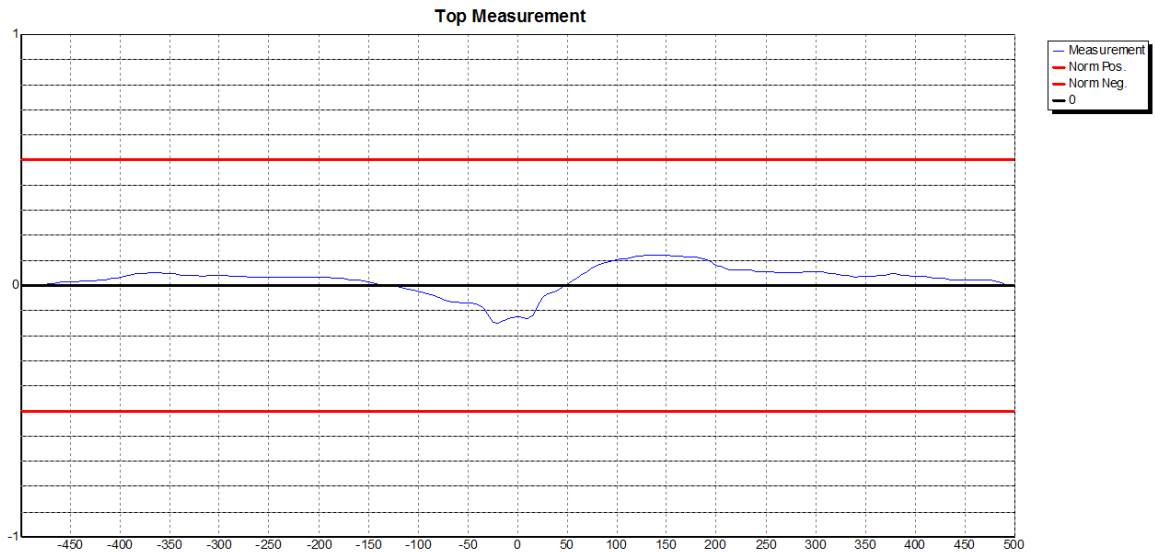
V [km/h] 80

PRILOG 3d.

Zavar desne tračnice na kilometarskom položaju 395+377

RAILPROF

University of Zagreb



Weld Number: 4

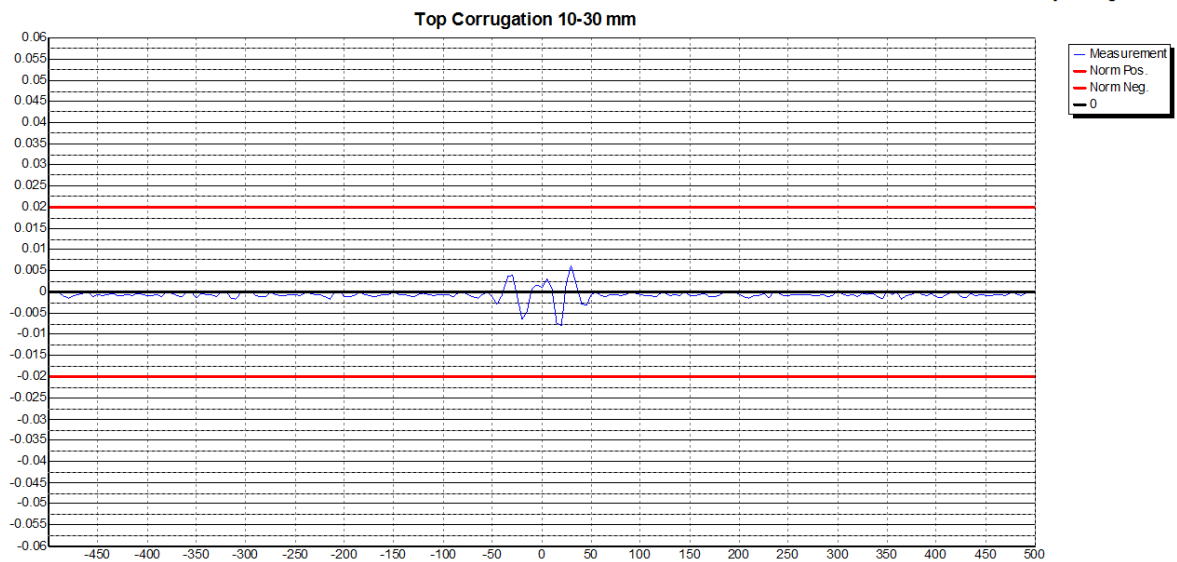
Location Code: Pješčenica-zavari

Pos. versine [mm]: 0.12

QI 1.13

RAILPROF

University of Zagreb



Weld Number: 4

Location Code: Pješčenica-zavari

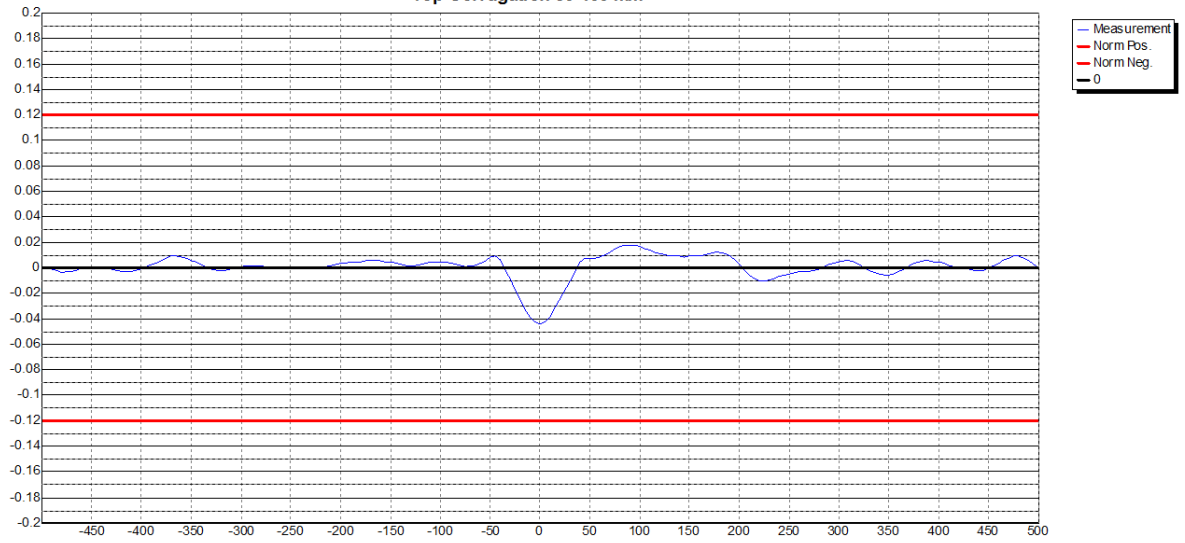
Avg. amplitude [mm]: 0.00

V [km/h] 80

RAILPROF

University of Zagreb

Top Corrugation 30-100 mm



Weld Number: 4

Location Code: Pescenica-zavari

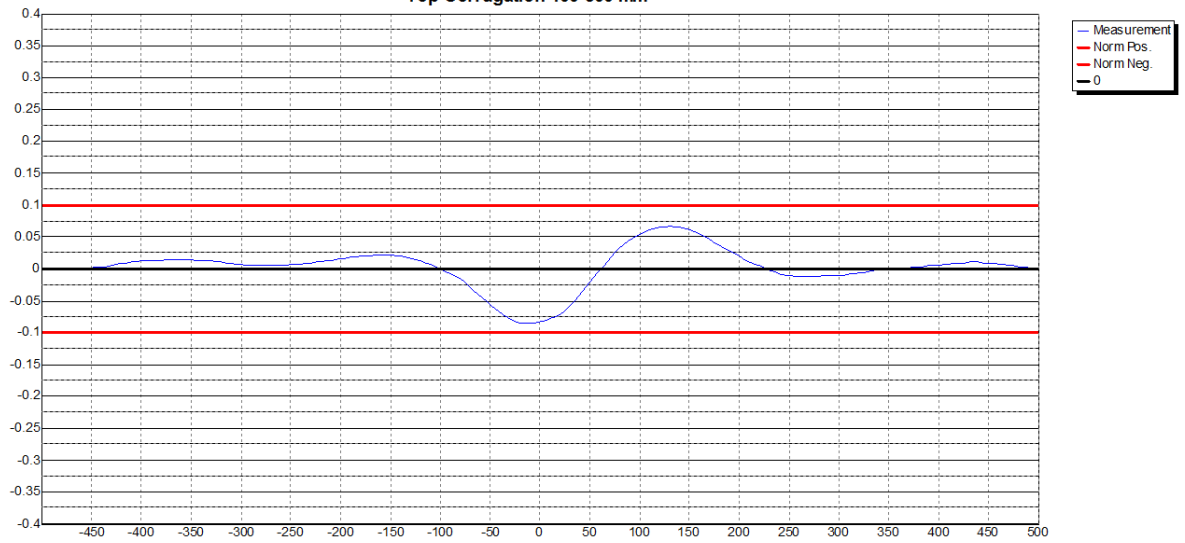
Avg. amplitude [mm]: 0.01

V [km/h] 80

RAILPROF

University of Zagreb

Top Corrugation 100-300 mm



Weld Number: 4

Location Code: Pescenica-zavari

Avg. amplitude [mm]: 0.03

V [km/h] 80

