



Nosivost kolničkih konstrukcija mjerjenje uređajem s padajućim teretom u svrhu utvrđivanja postojećeg stanja i projektiranja ojačanja

prof. dr. sc. Tatjana Rukavina, dipl.ing.građ.

RADIONICA: PROJEKTIRANJE OBNOVE ASFALTNIH KOLNIKA
Zagreb, 07.11. 2017.

Sadržaj predavanja

- **UVOD**
- **NOSIVOST KOLNIČKIH KONSTRUKCIJA**
- **NERAZORNE METODE OCJENE NOSIVOSTI**
- **FWD – UREĐAJ S PADAJUĆIM TERETOM**
- **KORIŠTENJE FWD-A I GPR-A ZA
UTVRĐIVANJE POSTOJEĆE I
PROJEKTIRANJE POTREBNE NOSIVOSTI
KOLNIKA - PRIMJER**
- **ZAKLJUČAK**

UVOD

- Ojačanje kolničke konstrukcije predstavlja
 - poseban vid rekonstrukcije prometnice
 - ovim se zahvatom **pored poboljšanja površinskih svojstava kolnika** poboljšava i cjelokupna kolnička konstrukcija, u smislu njenog ojačanja iskazanog **povećanjem nosivosti** a posredno i mogućnosti preuzimanja većih prometnih opterećenja
- Ojačanje se može dimenzionirati na dva načina:
 - na osnovi nosivosti tla (posteljice) i stanja postojeće kolničke konstrukcije (empirijske metode kao npr. metoda Asfaltnog instituta, AASHO metoda)
 - **na osnovi defleksija izmjerenih na postojećem kolniku**

UVOD

- **Projekt** rekonstrukcije ili ojačanje kolničkih konstrukcija na postojećim prometnicama radi njihovog prilagođavanja sadašnjem i budućem prometu, **iziskuju rješavanje niza problema** od kojih su najznačajniji:
 - utvrđivanje **nosivosti kolničke konstrukcije** prometnica u eksploataciji i njihove mogućnosti podnošenja opterećenja od prometa;
 - procjena **vijeka trajanja kolničke konstrukcije** određene geometrije i sastava slojeva u funkciji sadašnjeg i budućeg prometnog opterećenja;
 - utvrđivanje **minimalnih potrebnih dimenzija pojačanja** kolničke konstrukcije i pojedinih slojeva s obzirom na svojstva materijala slojeva i posteljice te vanjske utjecajne činioce
 - utvrđivanje **minimalnih zahtjeva za materijale** slojeva kojima se kolnička konstrukcija pojačava i **kriterija za ocjenu kvalitete** njihove pripreme i ugradnje

NOSIVOST KOLNIČKIH KONSTRUKCIJA

- suma pozitivnih karakteristika koje kolničku konstrukciju određenog tipa čine sposobnom da:
 - bez obzira na različite klimatske uvjete, preuzme i prenese na tlo posteljice određeno opterećenje od prometa (dosadašnjeg i budućeg) bilo po intenzitetu ili po težini,
 - bez većih štetnih djelovanja na njenu eksploatacijsku sposobnost (izraženu ravnošću površine kolničkog zastora, udobnošću vožnje, vijekom trajanja ili na neki drugi način)
- složenost problematike i veliki broj različitih činilaca koji utječu na nosivost kolničke konstrukcije onemogućavaju njeno direktno utvrđivanje samo jednom metodom ispitivanja
- pri utvrđivanju nosivosti kolničke konstrukcije odnosno očekivanog vijeka trajanja, koristi se istovremeno nekoliko metoda direktne i indirektno ocjene strukturalnog stanja

NOSIVOST KOLNIČKIH KONSTRUKCIJA

- ocjena strukturalnog stanja treba dati uvid u **ukupnu nosivost kolnika** odnosno mogućnost da se **ponaša zadovoljavajuće uz minimalnu pojavu deformacija i oštećenja** pod djelovanjem prometnog opterećenja (NCHRP)
- nosivost kolnika, obično se **određuje kroz ocjenu mehaničkih svojstava svakog sloja kolničke konstrukcije** izraženih kroz:
 - modul elastičnosti,
 - svojstva umora materijala,
 - uvjete deformacija i preostala vlačna naprezanja
- dvije uobičajene metode za vrednovanje tih parametara
 - jezgrovanje, pri kojem se jezgre izvađene iz kolnika ispituju u laboratoriju ili
 - nerazorna, terenska ispitivanja

NERAZORNE METODE OCJENE NOSIVOSTI

- nerazorne metode ispitivanja ocjenjuju stanje kolnika kroz defleksiju - elastičnu deformaciju generiranu djelovanjem poznatog dinamičkog ili statičkog opterećenja primijenjenog na površinu kolnika
- defleksije ponajprije ovise o
 - tipu kolničke konstrukcije
 - njenom stanju
 - temperaturi okoline te
 - vrsti primijenjenog opterećenja
- nosivost kolničke konstrukcije obrnuto je proporcionalna **defleksiji** - deformaciji površine kolnika pod djelovanjem određenog opterećenja
 - kod **ispravno projektirane i izvedene konstrukcije** defleksija nije velika i ima skoro elastični karakter, odnosno po rasterećenju progibna se površina vraća praktički u nedeformirani oblik površine kolnika
 - kod **slabih, dotrajalih kolnika** defleksija pod opterećenjem je znatno veća, a po rasterećenju se vraća samo dio deformacije (elastična defleksija) dok dio deformacije ostaje (plastična defleksija).

NERAZORNE METODE OCJENE NOSIVOSTI

- defleksije je moguće mjeriti različitim, jednostavnijim ili složenijim uređajima, i to pod statičkim ili dinamičkim opterećenjem
- djelovanje prometa je dinamičko
- razvojem tehnike i mjernih uređaja, uređaji sa statičkim djelovanjem, kao primjerice Benkelmanova greda, putujući deflektometar ili deflektometar La Croix sve su manje u uporabi
- različiti uređaji sa dinamičkim djelovanjem kao što su to laki i teški vibratorji, Road Rater, Dynaflect....
- **isprofilirao se uređaj s padajućim teretom – falling weight deflectometar – FWD**
 - jedan od najraširenijih nerazornih mjernih uređaja, kojim se određuje strukturalno stanje kolnika
 - uređaj koji igra izuzetno **važnu ulogu pri odabiru postupaka održavanja i rehabilitacije kolnika**
 - uređaj kojim je moguće dobiti **brzu i ponovljivu terensku karakterizaciju krutosti slojeva** kolničke konstrukcije

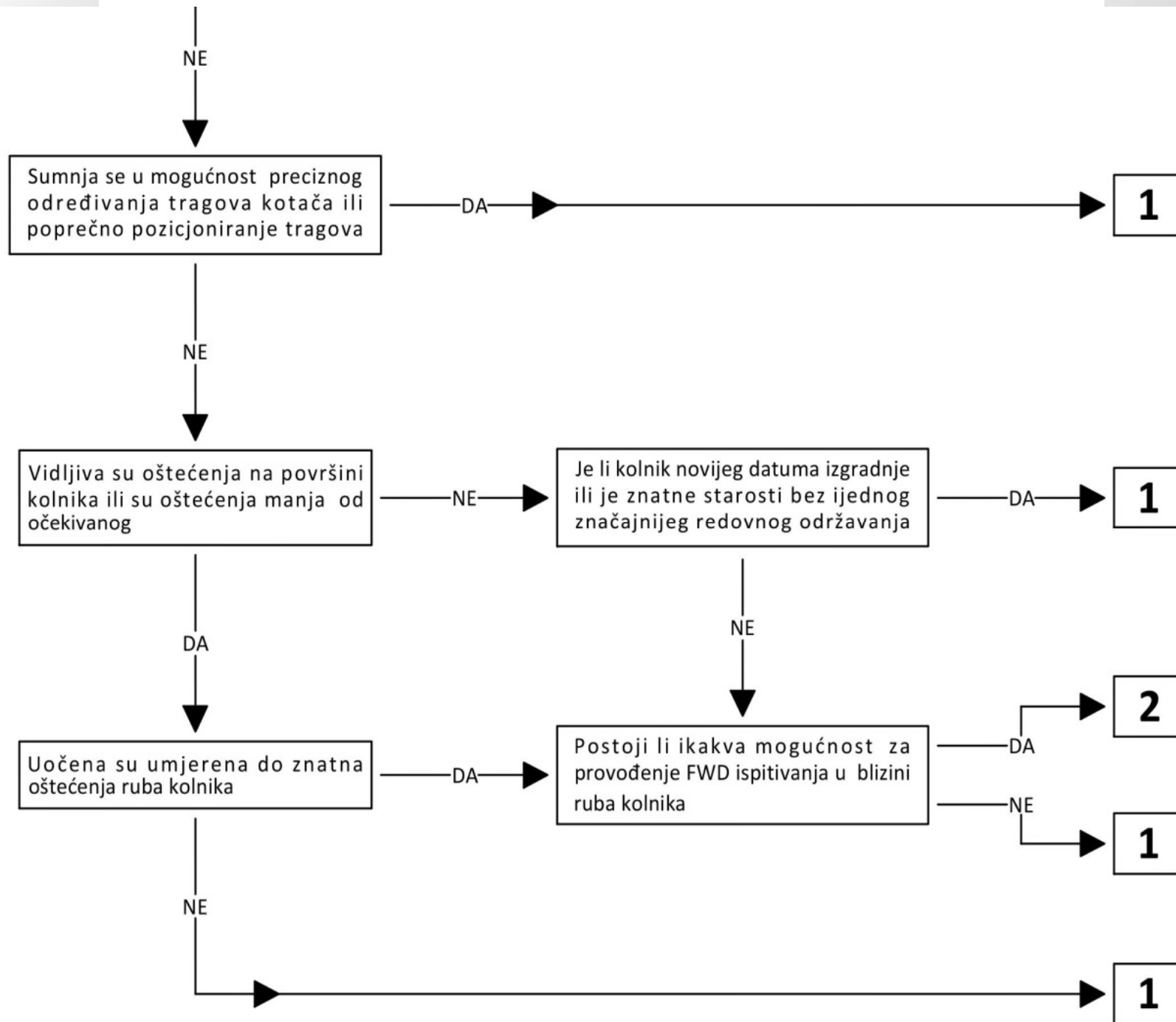


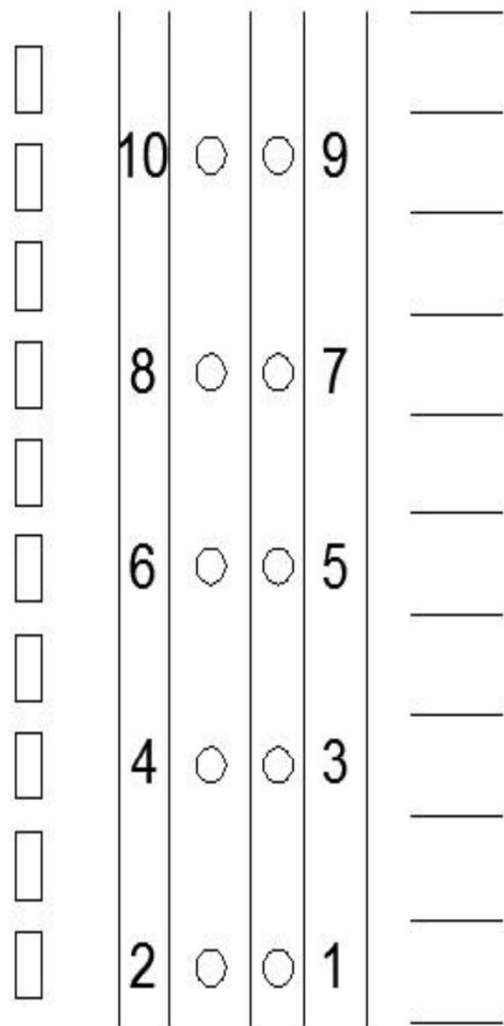
- može biti:
- sastavni dio specijalnog vozila
- montiran na prikolici



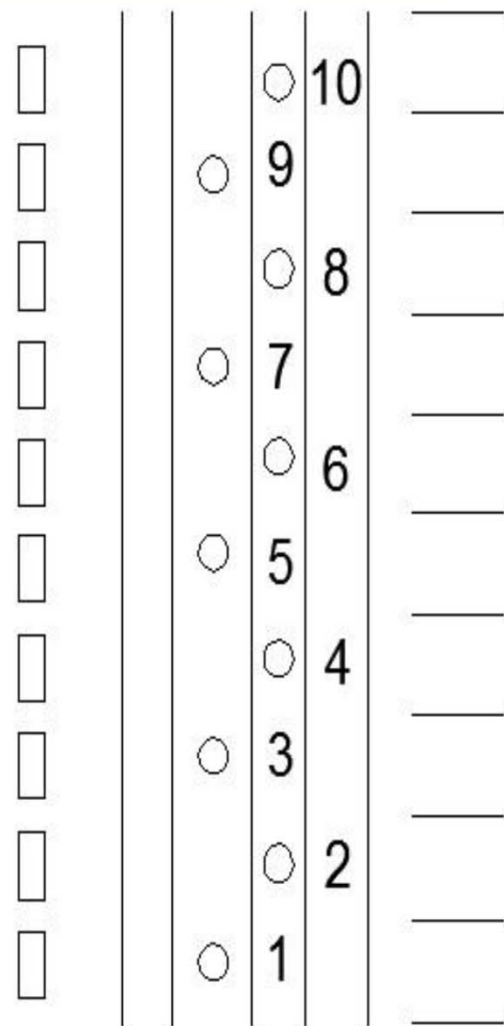
FWD - OSI



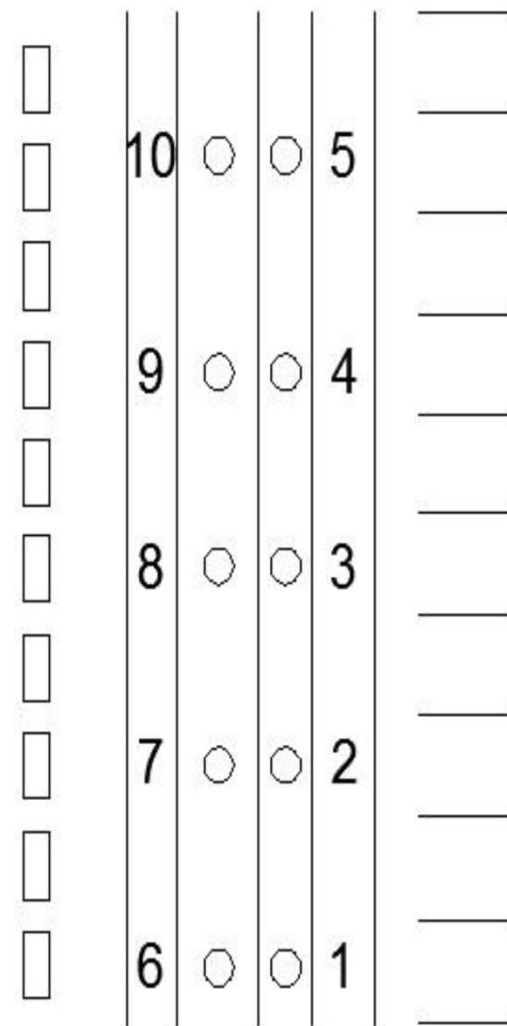




uvijek dozvoljeno



uvijek dozvoljeno



dozvoljeno uz uvjete

FWD – provođenje ispitivanja

- poželjno je prije provođenja ispitivanja provesti regulaciju prometa ili osigurati pratnju
- nakon postavljanja na mjernu lokaciju impulsno se opterećenje ponavlja nekoliko puta, **obično četiri**,
- prvo se mjerenje provodi kao pripremno dok su ostala mjerenja ona koja se kasnije razmatraju prilikom interpretacije rezultata
- prilikom mjerenje potrebno je bilježiti **temperaturu zraka i površine kolnika**
- ti se podaci uzimaju u obzir prilikom analiza

FWD - Kako radi?

- dinamičkim se opterećenjem simulira veličina i trajanje opterećenja koje se prenosi preko kotača vozila
- pomoću serije geofona – senzora za mjerenje defleksije mjeri se odgovor kolnika u obliku vertikalne deformacije ili defleksije na različitim udaljenostima od mjesta predaje impulsnog opterećenja
- udaljenost geofona moguće je prilagoditi, ovisno o zahtjevima korisnika - uobičajeno na međusobnoj udaljenosti od 30 cm

EMD K 1 110

FWD - Osnovni utjecajni činitelji?

- na rezultate mjerenja prvenstveno utječu
 - debljina slojeva,
 - vrsta materijala slojeva,
 - kvaliteta materijala,
 - nosivost posteljice,
 - utjecaj okoline,
 - diskontinuiteti i varijacije sastava kolničke konstrukcije.

FWD - Zašto ga upotrijebiti?

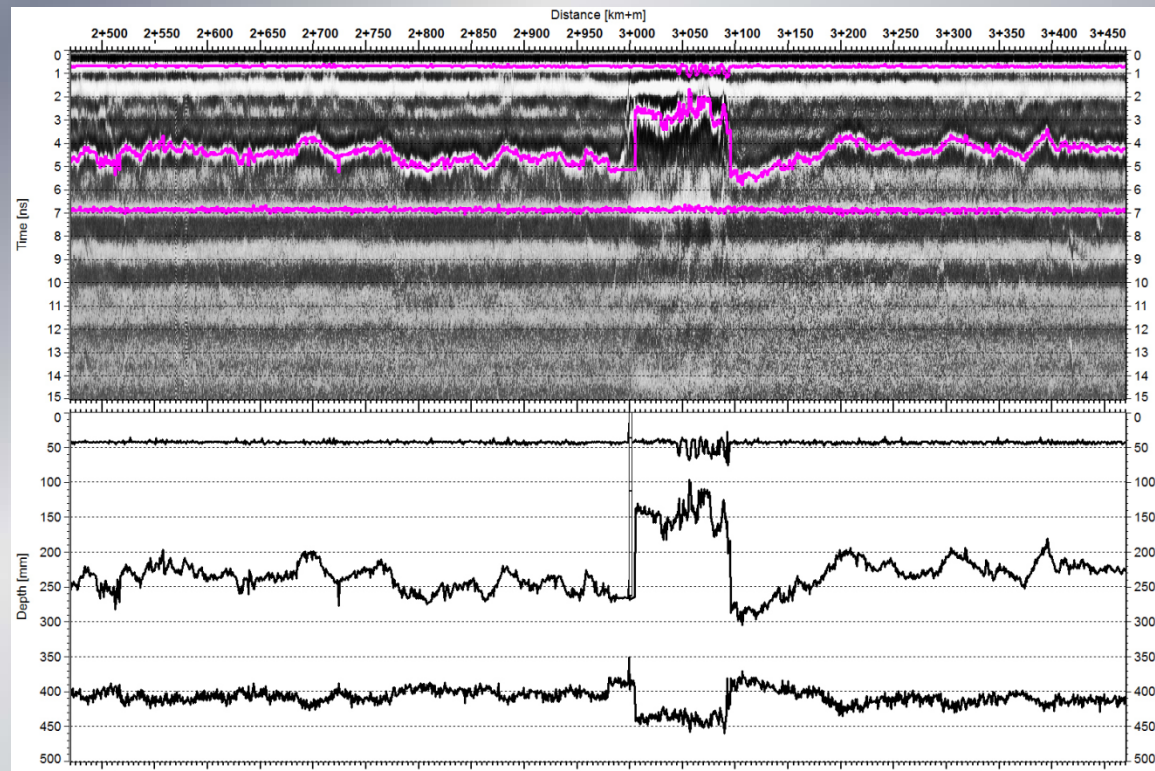
- uređaj daje izuzetno vrijedne podatke koje je moguće koristiti:
 - prilikom projektiranja pojačanja kolničkih konstrukcija,
 - različite forenzničke studije kolnika,
 - odabira strategije održavanja ili rekonstrukcije,
 - ocjena nosivosti kolnika na razini mreže ili projekta,
 - utvrđivanje zona smanjene nosivosti u trenutku kad još nije došlo do pojave oštećenja koja se mogu vizualno detektirati

FWD - Interpretacija rezultata?

- provodi sa postupkom koji se uobičajeno naziva “**backcalculation**” ili **proračun unatrag**
- složeni iterativni postupak u kojem se određuje **modul elastičnosti slojeva E** kolničke konstrukcije
- provodi se pomoću računalnih programa
 - ✿ GF Zagreb - **ELMOD6, ROAD DOCTOR i PAVERS**
 - ✿ GF Rijeka - ?
- kod interpretacije posebnu pažnju treba obratiti na to da pretpostavke uzete u računalnom programu odgovaraju stanju na prometnici na kojoj su izvršena mjerenja, što zahtijeva kalibraciju ili prilagodbu uređaja

FWD - Interpretacija rezultata?

- osnovni ulazni parametri za proračun:
 - defleksije,
 - debljina slojeva – jezgrovanje, GPR
 - Poissonov koeficijent
 - procijenjena početna vrijednost modula elastičnosti



Data view and editing

File **A4_ZG-VŽ_od 69+500 do 88+500**

Database **D:\Tatjana Rukavina\Poslovi\Ceste\Mjerenja_podaci i interpretacija\FWD\A4_Zagreb_Varazdin\A4_Zagreb_Varazdin_varijacija IV.mde**

Number of data points

88

Number of drops

3

Start Station

70801

End Station

79701

Date

26. listopad 2010

File Info

Number of active geophones

9

Plate radius

150.

View geophone positions

Geophone distances

1: **0** 2: **300** 3: **300** 4: **200** 5: **200** 6: **300** 7: **300** 8: **450** 9: **600**

10: **900** 11: **1200** 12: **1500** 13: **1800**

Chainage	Point	Drop	Stress	Load	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	T _{asp}	
			KPa	KN	Micr.	Micr.	Micr.	Micr.	Micr.	Micr.	Micr.	Micr.	Micr.	Micr.	Micr.	Micr.	Micr.	°C	
70801	1	1	712	50.33	287.0	0.0	225.0	253.0	252.0	224.0	223.0	180.0	146.0	95.0	66.0	51.0	42.0		
		2	709	50.12	275.0	0.0	214.0	241.0	241.0	213.0	213.0	169.0	138.0	90.0	64.0	50.0	42.0		
		3	705	49.83	272.0	0.0	211.0	238.0	238.0	211.0	211.0	168.0	137.0	89.0	64.0	50.0	42.0		
70901	2	1	708	50.05	266.0	0.0	206.0	235.0	234.0	210.0	210.0	171.0	142.0	97.0	69.0	53.0	42.0		
		2	708	50.05	253.0	0.0	195.0	224.0	224.0	199.0	200.0	161.0	134.0	91.0	67.0	53.0	44.0		
		3	704	49.76	250.0	0.0	193.0	221.0	221.0	197.0	198.0	160.0	132.0	91.0	67.0	53.0	43.0		
71001	3	1	710	50.19	229.0	0.0	179.0	208.0	204.0	186.0	187.0	155.0	132.0	90.0	64.0	50.0	40.0		
		2	703	49.69	218.0	0.0	169.0	197.0	195.0	175.0	177.0	145.0	123.0	85.0	61.0	48.0	39.0		
		3	709	50.12	218.0	0.0	168.0	196.0	195.0	176.0	177.0	146.0	123.0	85.0	62.0	49.0	40.0		
71100	4	1	701	49.55	398.0	0.0	244.0	338.0	350.0	292.0	255.0	226.0	185.0	113.0	72.0	53.0	44.0		
		2	708	50.05	372.0	0.0	234.0	315.0	327.0	271.0	242.0	209.0	171.0	105.0	70.0	53.0	46.0		
		3	706	49.90	369.0	0.0	233.0	311.0	325.0	269.0	240.0	208.0	170.0	105.0	70.0	54.0	47.0		
71200	5	1	710	50.19	210.0	0.0	172.0	191.0	189.0	176.0	173.0	148.0	125.0	87.0	59.0	45.0	35.0		

<Alt> + click Chainage to remove test point

Right click Chainage or Point to mark/unmark

Split file

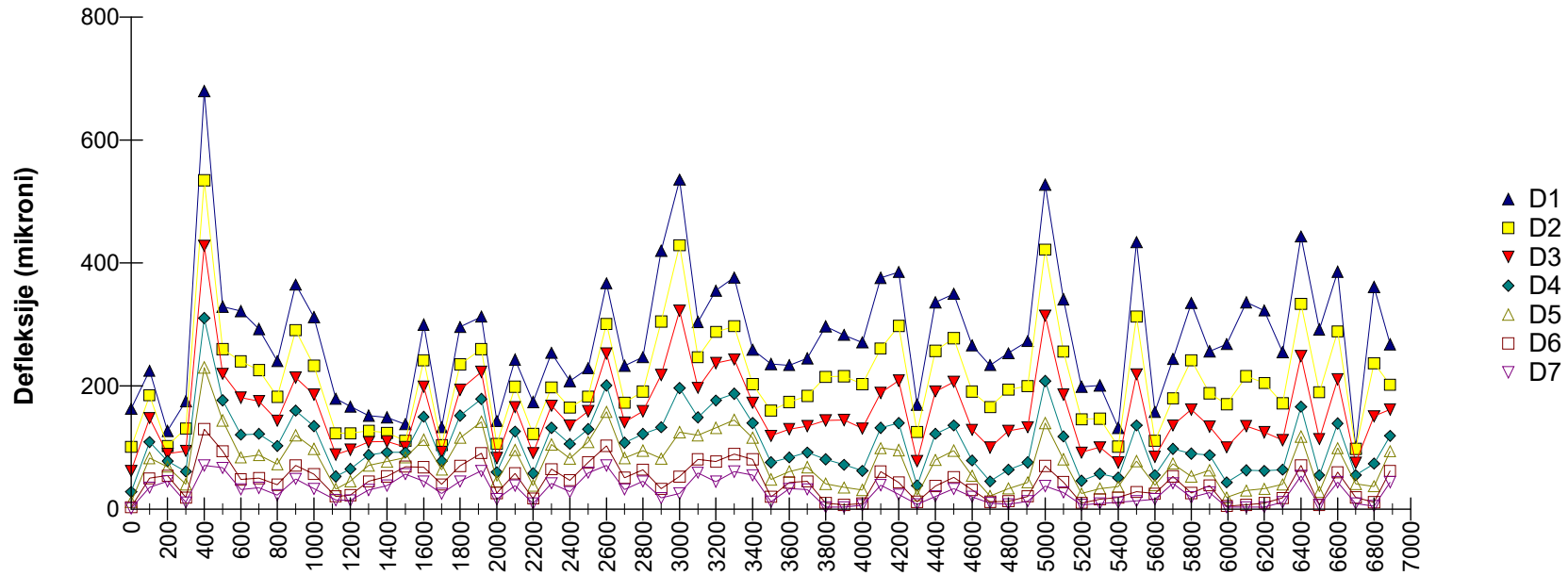
Temperature graphs

Insert asphalt temperatures

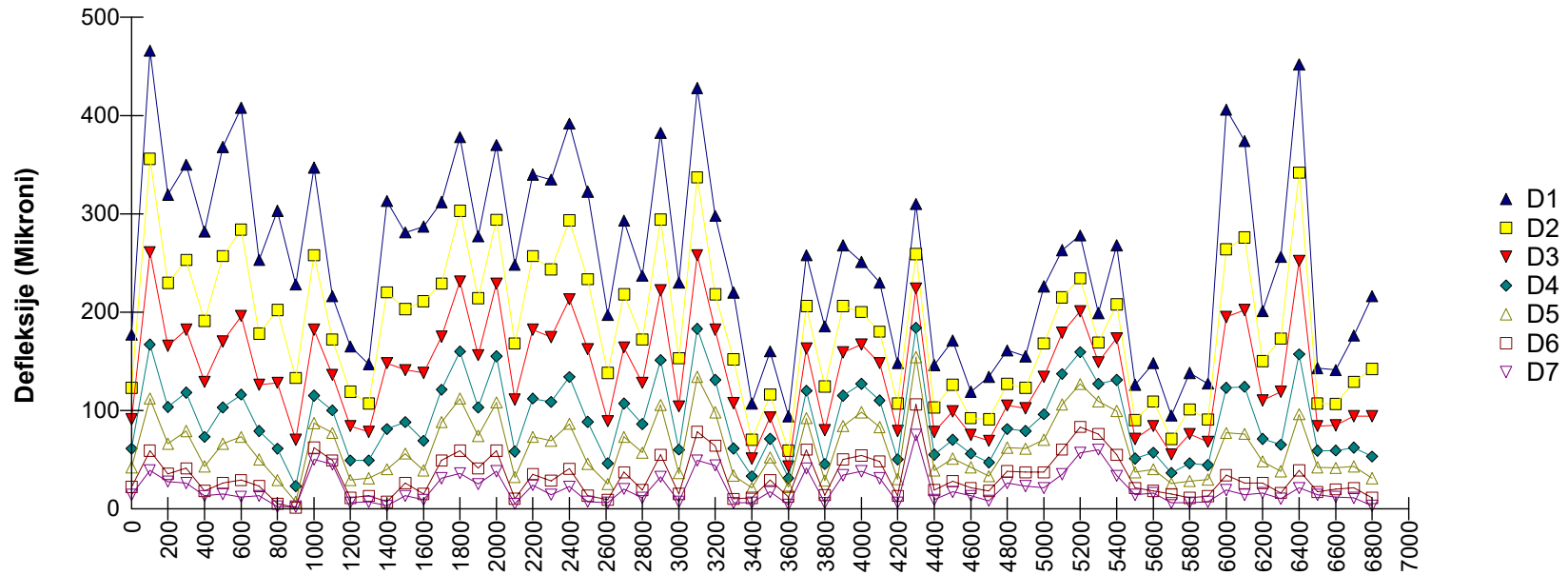
Cancel

Save new data

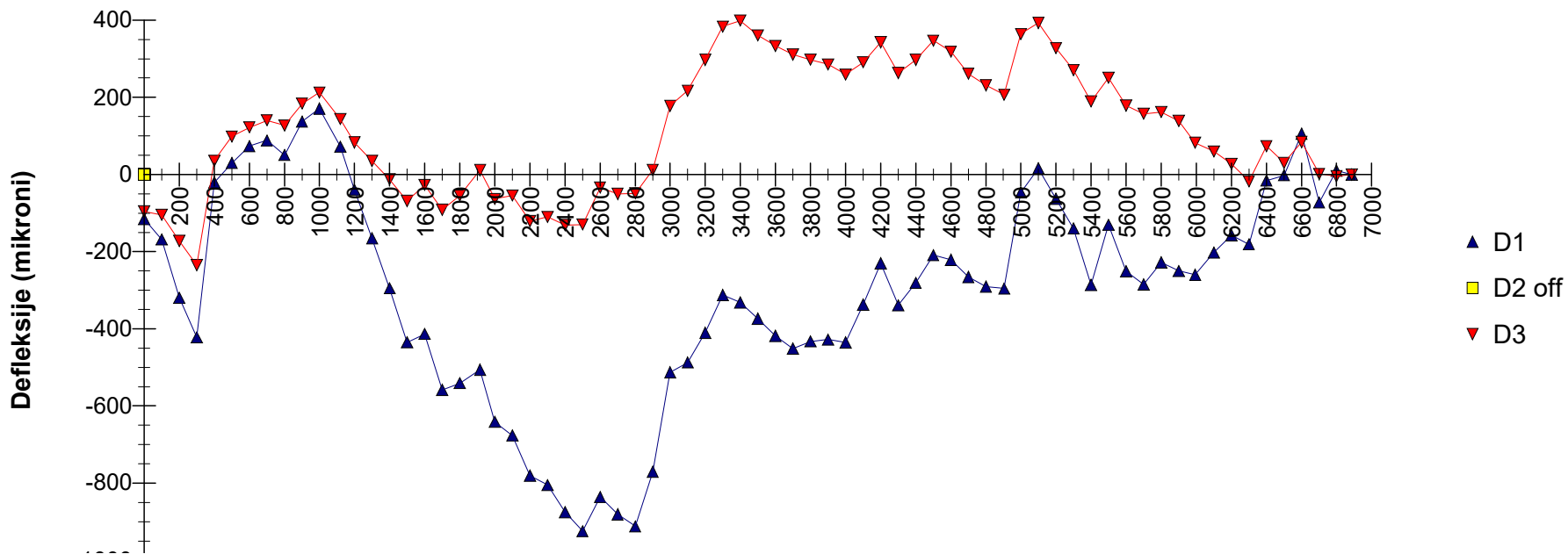
Izmjerene defleksije



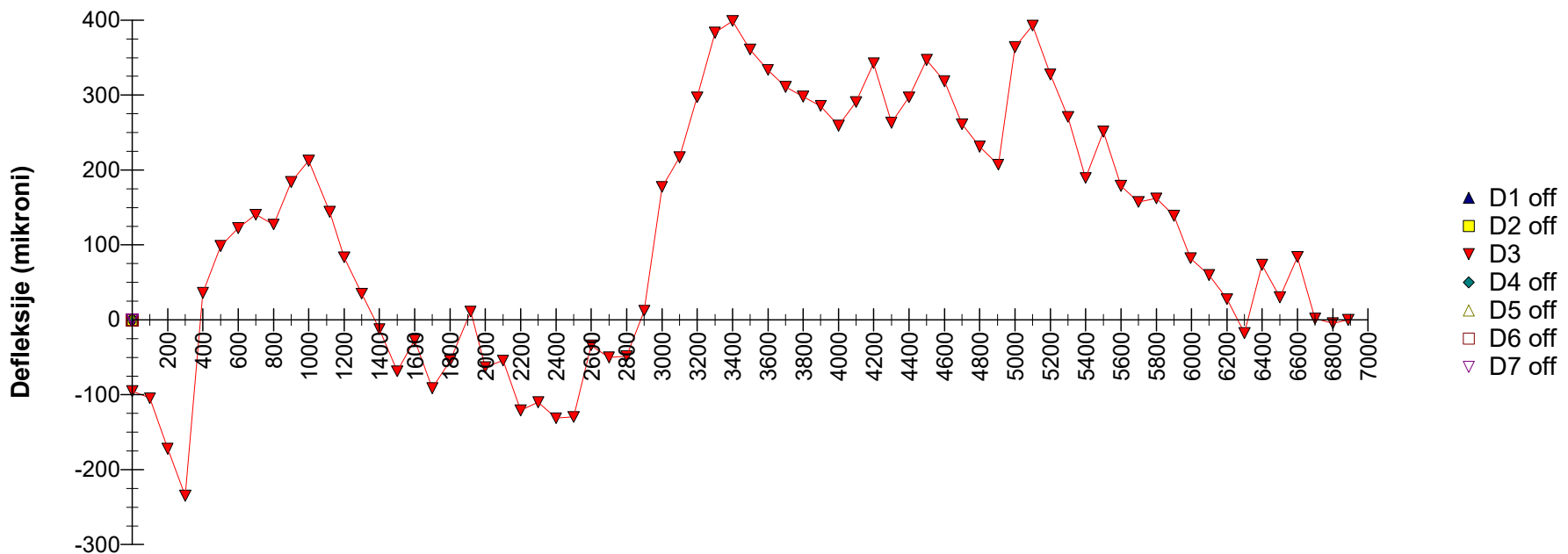
Izmjerene defleksije



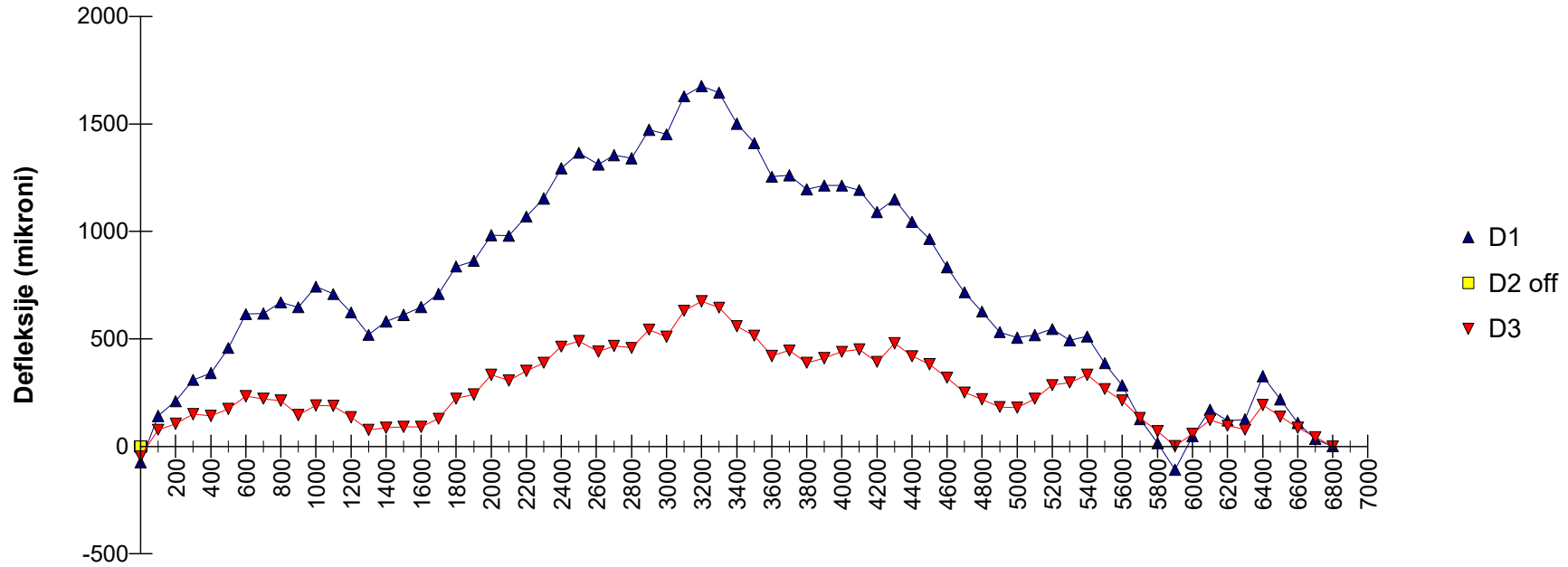
Defleksije, akumulirane razlike, D1 i D3



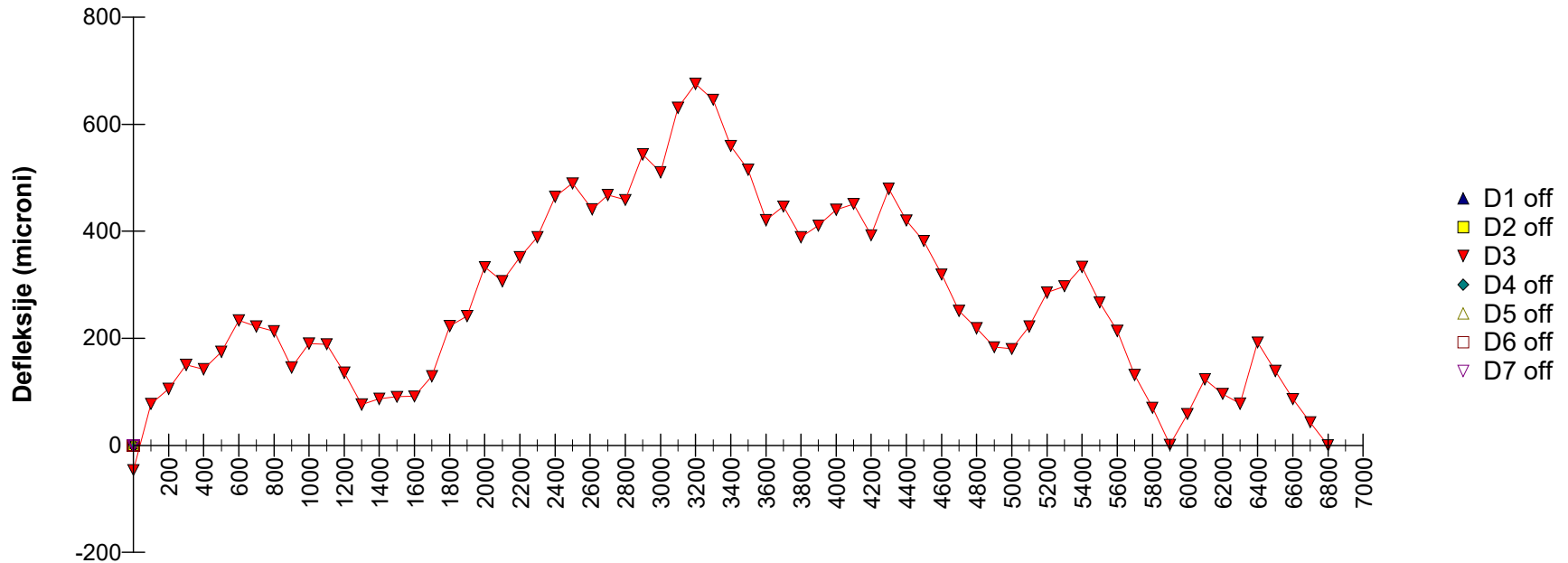
Defleksije, akumulirane razlike, D3



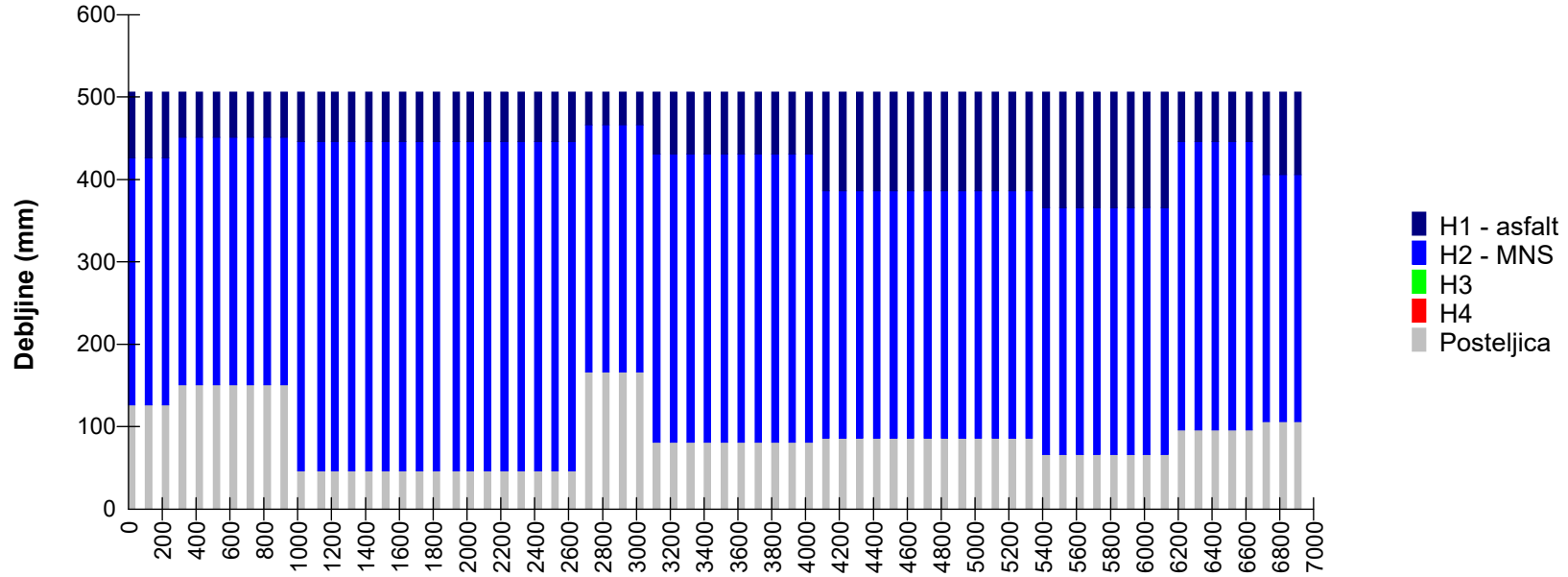
Defleksije, akumulirane razlike, D1 i D3



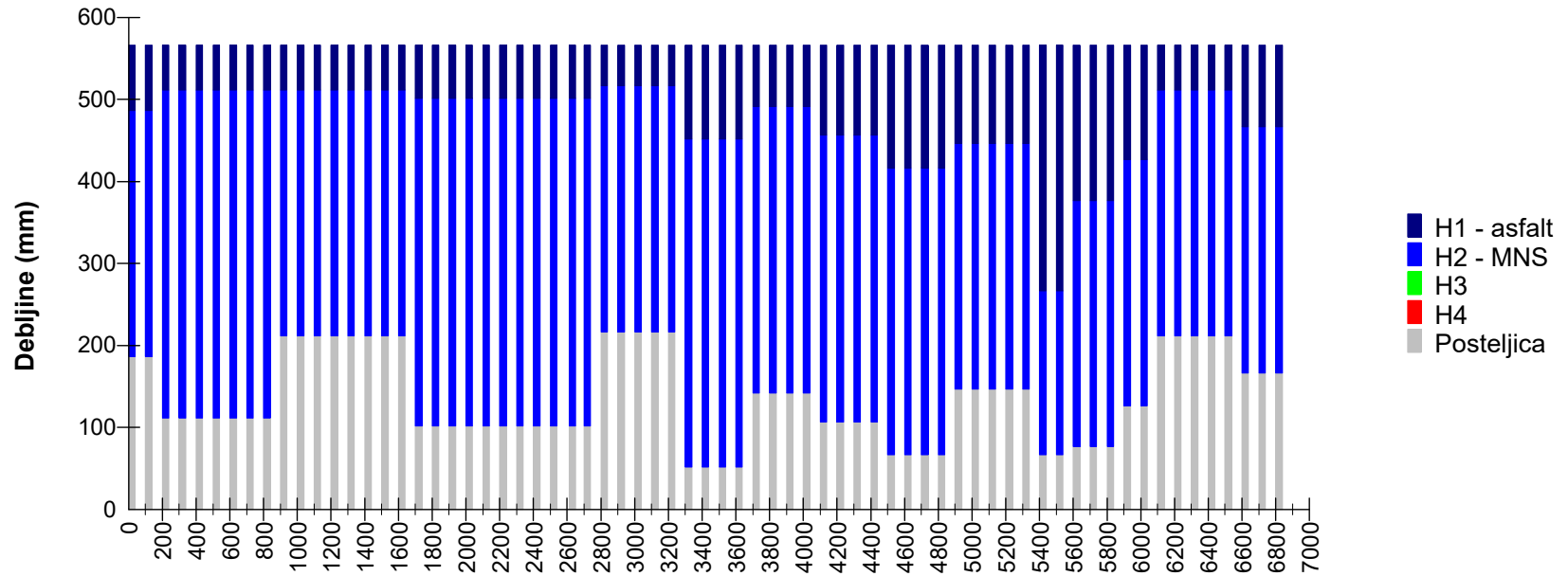
Defleksije, akumulirane razlike, D3



Debljine slojeva



Debljine slojeva



Options Show Calibrate Units

Chainage from 75.5 to 76.001

From drop 3 to 3

RMS abs % minimize %

Contact stress 0.705 Radius 150

Use first 9 geophones

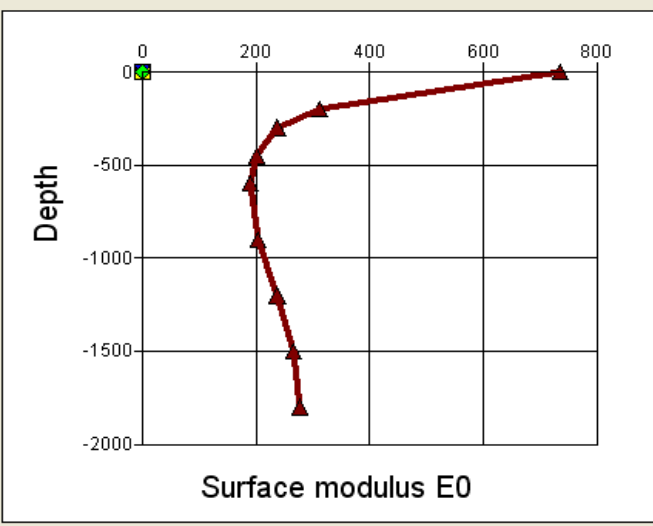
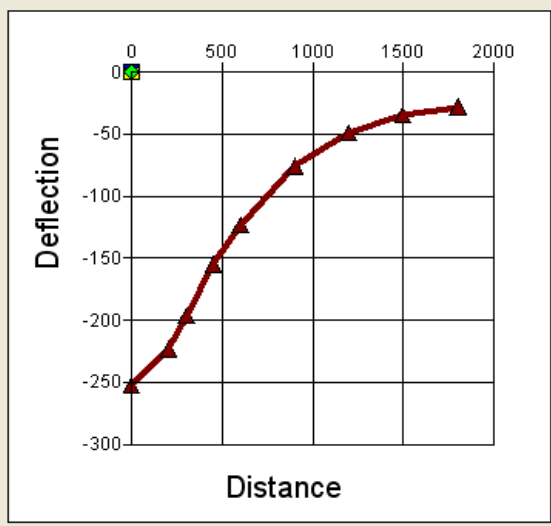
Thickness	E	ny	N	Emin	Emax
136	2500	0.35	0	10.0	99999.0
200	3000	0.35	0	10.0	99999.0
250	300	0.35	0	10.0	99999.0
	50	0.35	-0.5	10.0	99999.0

Fit point Save point
 Fit and save all points
 Generate FEM mesh with
 30 rows/ columns
 Edit Mesh FEMplot
 Close FEM/LET/MET

Deflections FEM LET MET

Distance	FEM	LET	MET
0	252.0		
200	223.0		
300	196.0		
450	155.0		
600	123.0		
900	76.0		
1200	49.0		
1500	35.0		
1800	28.0		

Surface modulus



Refresh Clear Interrupt Previous Next point

Hide graph

Search Procedure
 Offset % 10 Steps 1
 -50% 0 +50%

Temperature Status

Asphalt	Not recorded	°C
Surface	7.2 to 12.6	°C
Air	8.2 to 11.3	°C

Asphalt Temperature

Use as recorded
 Use surface temperature
 Use BELLS °C [Link](#)
 Not required

Radius of Curvature
 Deflection Basin Fit
 FEM/LET/MET

Stop Calculation

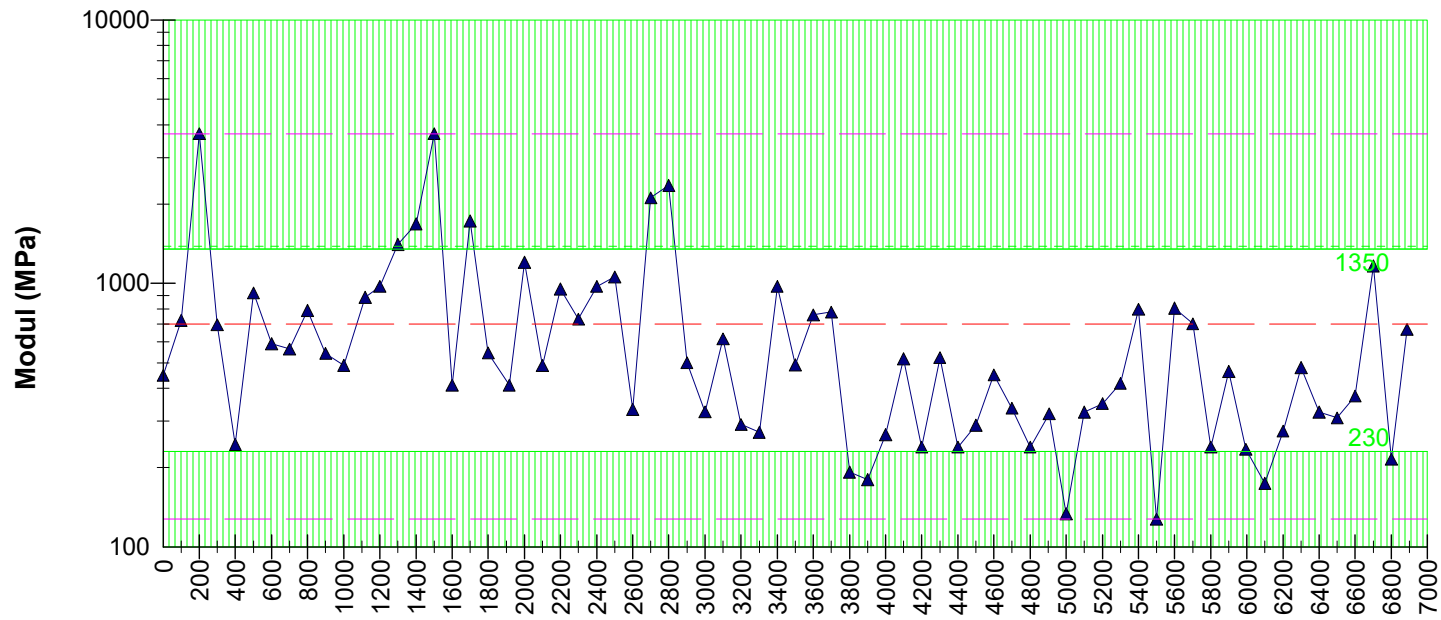
Show moduli from to

Reference Moduli

View Plot Close

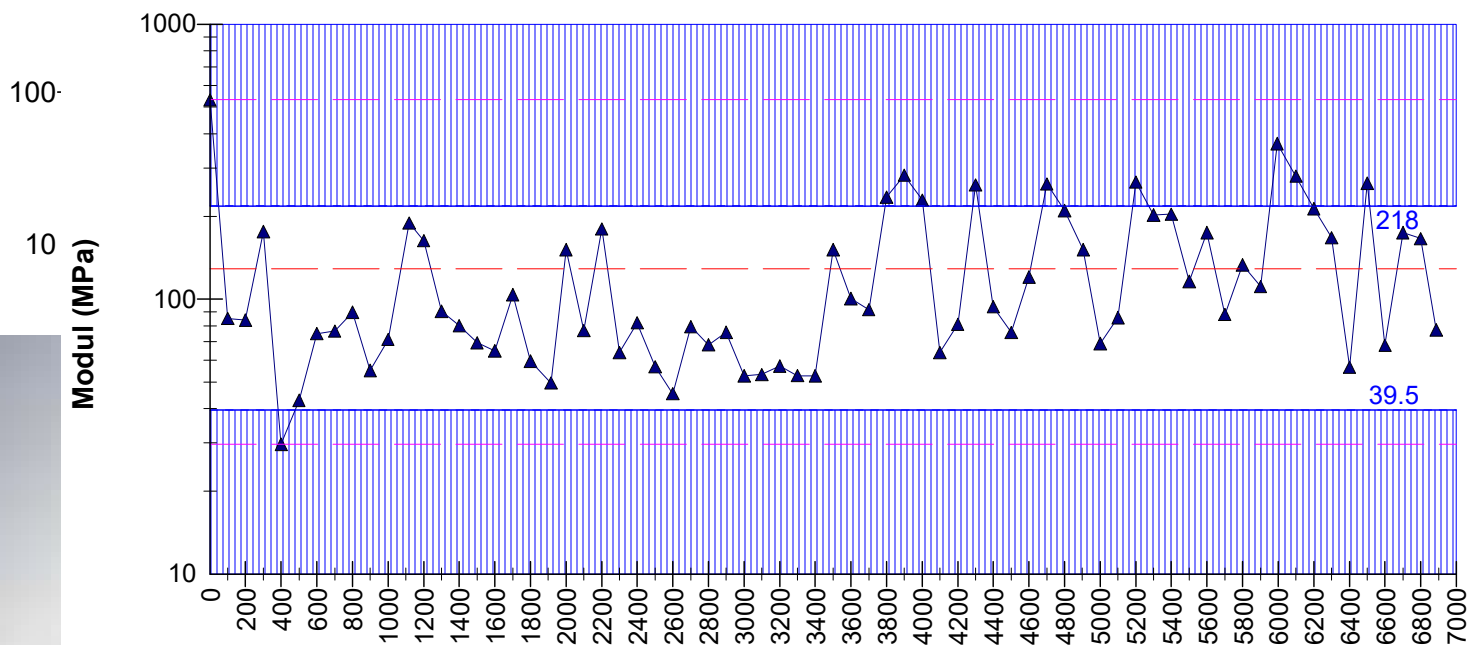


Modul elastičnosti - MNS



Moduli elastičnosti - POSTELJICA

Modul (



⌘

FWD - Interpretacija rezultata?

- pored određivanja vrijednosti modula elastičnosti **E** slojeva moguće je odrediti i **preostali životni vijek konstrukcije**
- kad se odrede moduli elastičnosti slojeva, moguće je proračunati naprezanja i deformacije u kritičnim presjecima kolničke konstrukcije
 - vertikalno tlačno naprezanje na razini posteljice kao i
 - horizontalna vlačna naprezanja s donje strane asfaltnih slojeva odnosno cementom stabiliziranog nosivog sloja,
- računalnim programima za izračun naprezanja i deformacija - BISAR, CIRCLY, ELMOD, PAVERS
- izračunata naprezanja i deformacije mogu se upotrijebiti za izračun broja ponavljanja standardnog osovinskog opterećenja koje kolnička konstrukcija još može podnijeti prije nego dođe do pojave umora materijala ili sloma
- preostali životni vijek kolničke konstrukcije izračunava se koristeći podatke o prometu

DIONICA DRŽAVNE CESTE D1

Korenica – Debelo Brdo

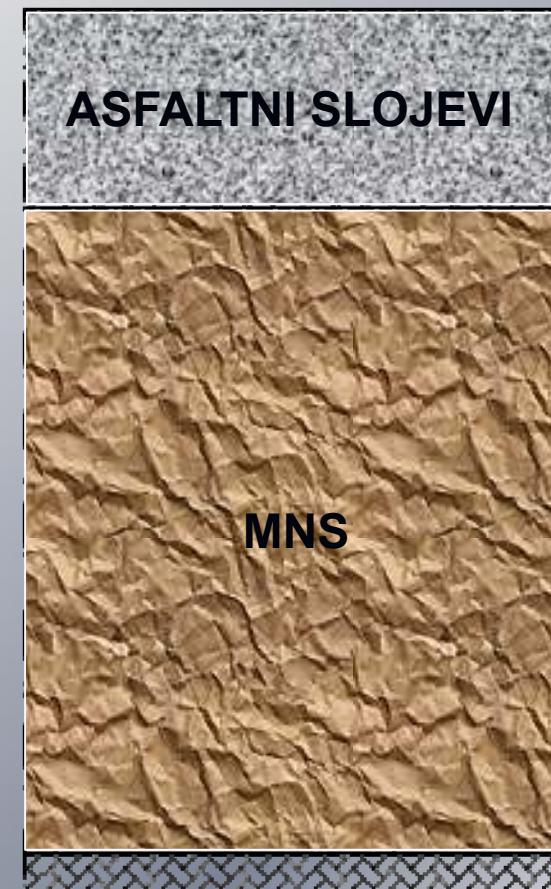
- **dionica Korenica (km 2+170 m) – Debelo Brdo (km 11+570 m)**
- **dionica Debelo Brdo (km 11+520 m) – Korenica (km 2+220 m)**
- **mjerenja izvršena uređajem s padajućim teretom (FWD) koji se nalazi u vlasništvu Hrvatskih cesta d.o.o. proizvođača KUAB**
- **mjerenje defleksija provedeno je u tragu desnog kotača za oba smjera vožnje (desni kolnik Korenica – Debelo Brdo, lijevi kolnik Debelo Brdo – Korenica)**
- **razmak pojedinačnih mjerenja jednog smjera iznosio je 100 m**
- **mjerenja suprotnog smjera izmaknuta su za 50 m**

SASTAV I DEBLJINA SLOJEVA KOLNIČKE KONSTRUKCIJE

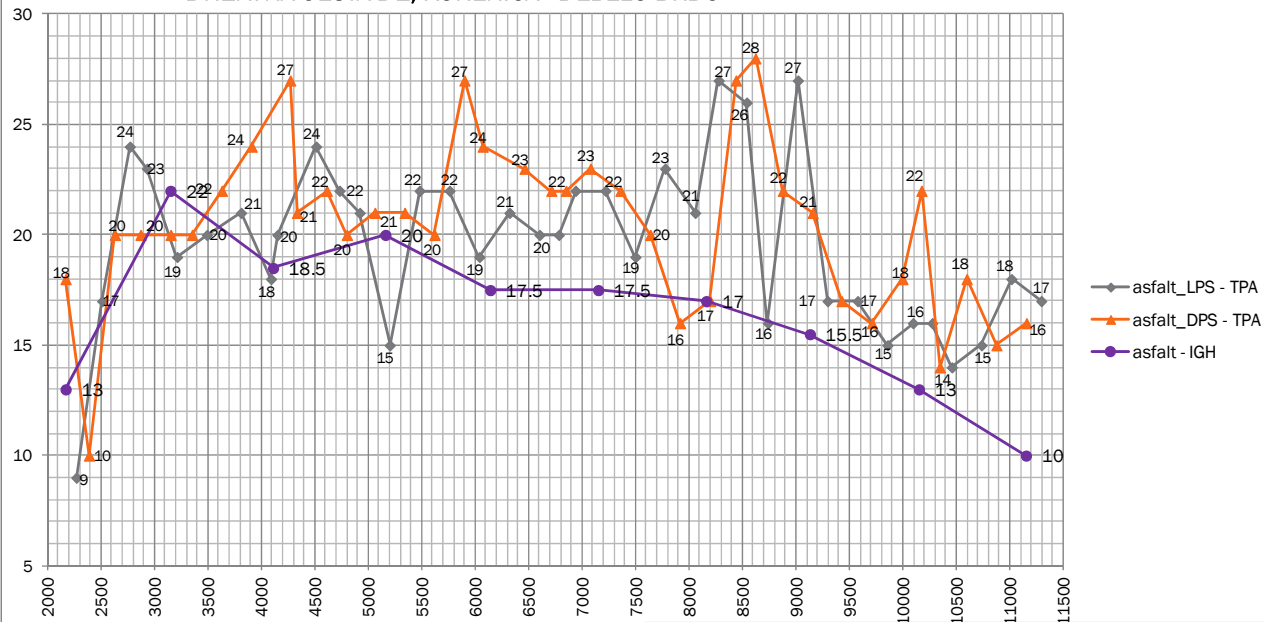
- podaci o sastavu i debljini slojeva kolničke konstrukcije dobiveni su iz:
 - projekta sanacije kolničke konstrukcije izrađenog od strane Instituta građevinarstva Hrvatske, Janka Rakuše 1, Zagreb, te
 - provedenih istražnih radova, bušenja i jezgrovanja s intervalim razmakom od cca 250 m, naizmjenice na desnom odnosno lijevom kolniku, tvrtka TPA održavanje kvaliteta i inovacija d.o.o. Ulica Petra Hektorovića 2, Zagreb
- bušenje ($\varnothing 100$ mm) i jezgrovanje provedeno je na ukupno 74 lokacije
 - 37 lokacija na desnom kolniku (smjer Korenica – Debelo Brdo)
 - 37 lokacija na lijevom kolniku (smjer Debelo Brdo – Korenica)
- analizom su određene debljine asfaltnih slojeva
- provedeno dodatno bušenje ($\varnothing 300$ mm) i jezgrovanje na 6 lokacija te su na tim mjestima određene debljine slojeva asfalta te MNS-a

SASTAV I DEBLJINA SLOJEVA KOLNIČKE KONSTRUKCIJE

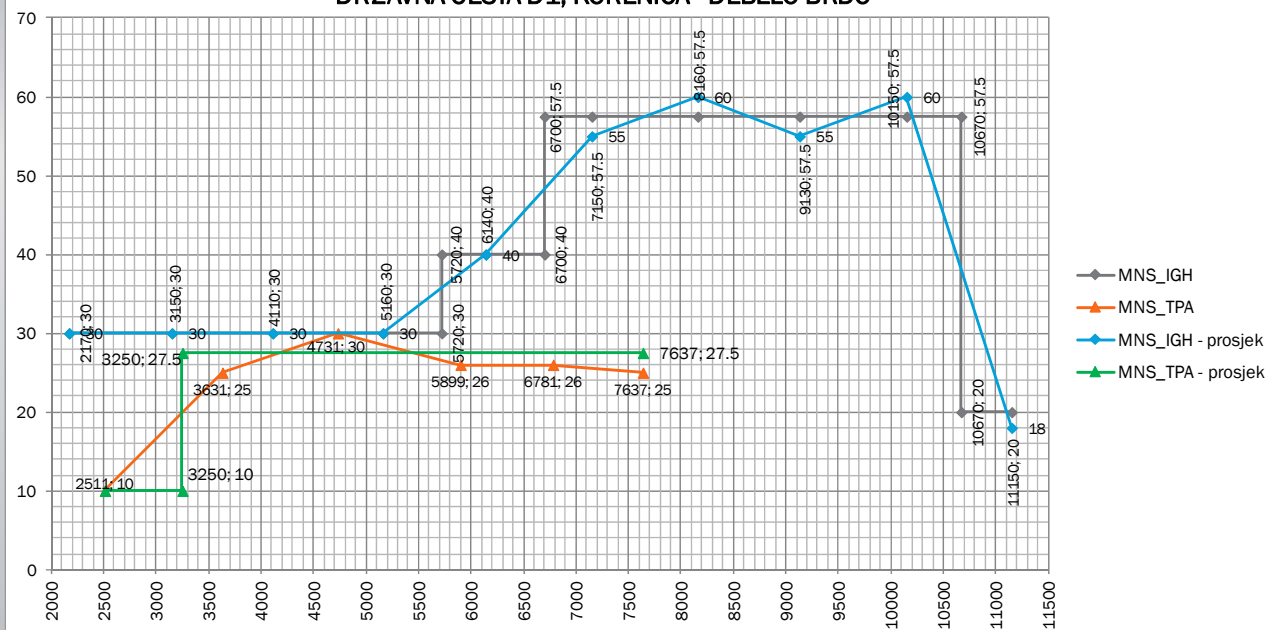
- **proveden je iskop sondažnih jama na 10 lokacija, te su određene debljine svih slojeva kolničke konstrukcije**
- **kolnička konstrukcija je tipa I prema HRN U.C4.012, odnosno, radi se o kolničkoj konstrukciji koja ispod asfaltnih slojeva u svom sastavu ima nevezani, mehanički zbijeni nosivi sloj (MNS) ispod kojega se nalazi posteljica od prirodnog ili poboljšanog materijala**
- **debljina asfaltnih slojeva kretala se od 90 do 280 mm,**
- **debljina MNS-a kretala se od minimalno 100 pa do 600 mm**



DEBLJINA ASFALTA, LIJEVO I DESNO DRŽAVNA CESTA D1, KORENICA - DEBELO BRDO



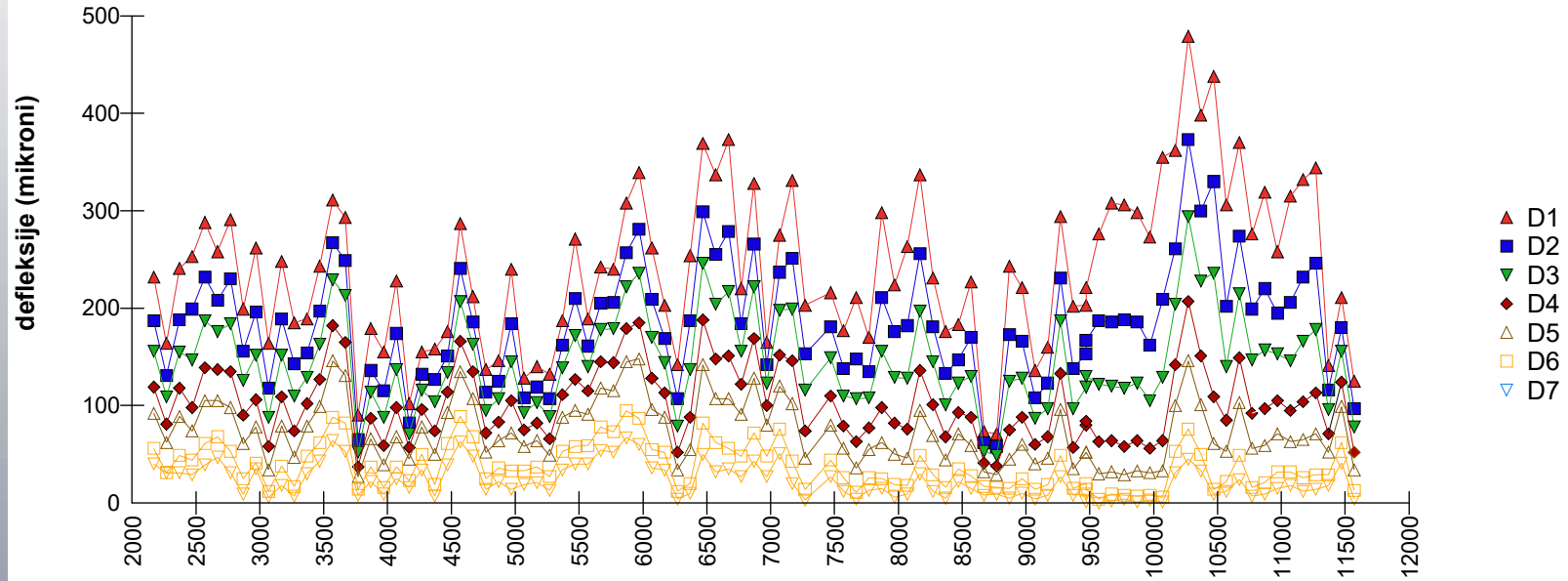
DEBLJINA MNS, LIJEVO I DESNO DRŽAVNA CESTA D1, KORENICA - DEBELO BRDO



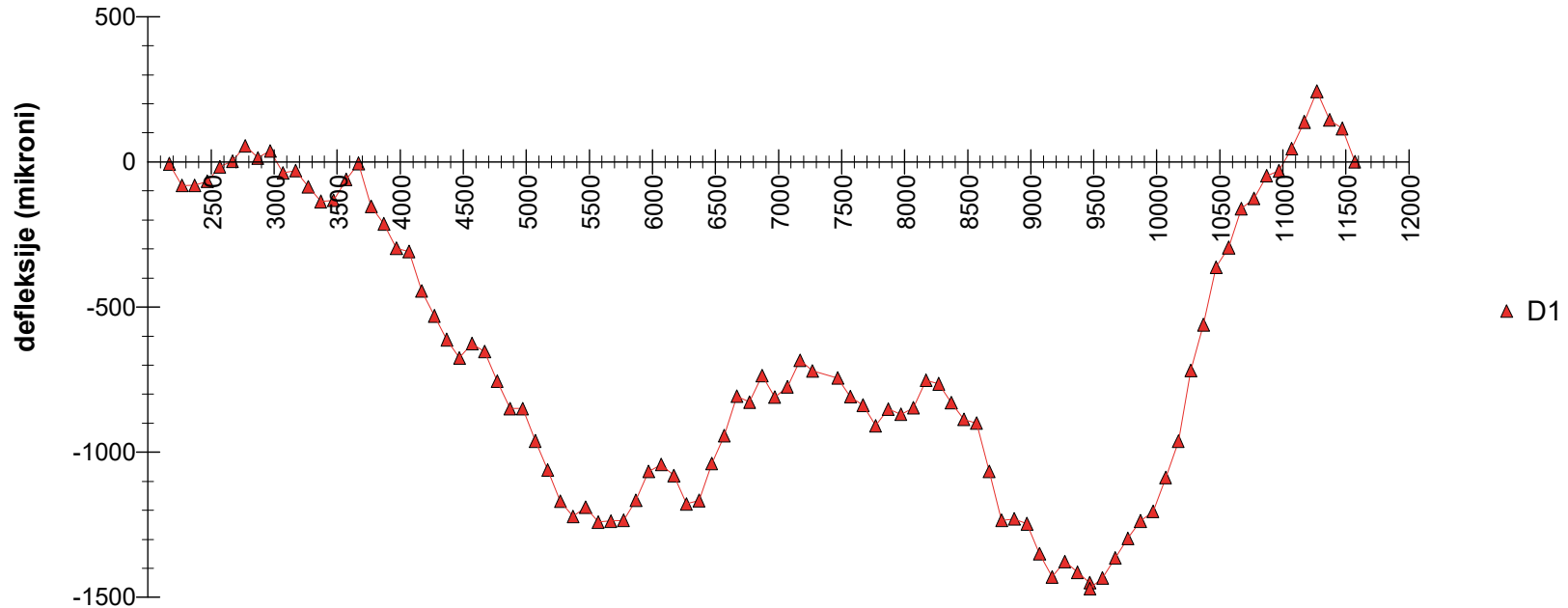
Proračun vrijednosti modula elastičnosti (E)

- proračun modula elastičnosti pojedinih sastavnih slojeva kolničke konstrukcije proveden je na temelju izmjerenih defleksija za, postupkom kumulativnih razlika određene homogene dionice usklađene s dionicama podjednakih, poznatih debljina slojeva kolničke konstrukcije
- postupak proračuna modula elastičnosti pojedinih sastavnih slojeva kolničke konstrukcije proveden je
 - sloja 1 – asfaltni slojevi
 - sloja 2 – nevezani, mehanički zbijeni nosivi sloj od zrnatog kamenog materijala
 - sloja 3 – posteljica.

državna cesta D1, dionica Korenica - Debelo Brdo

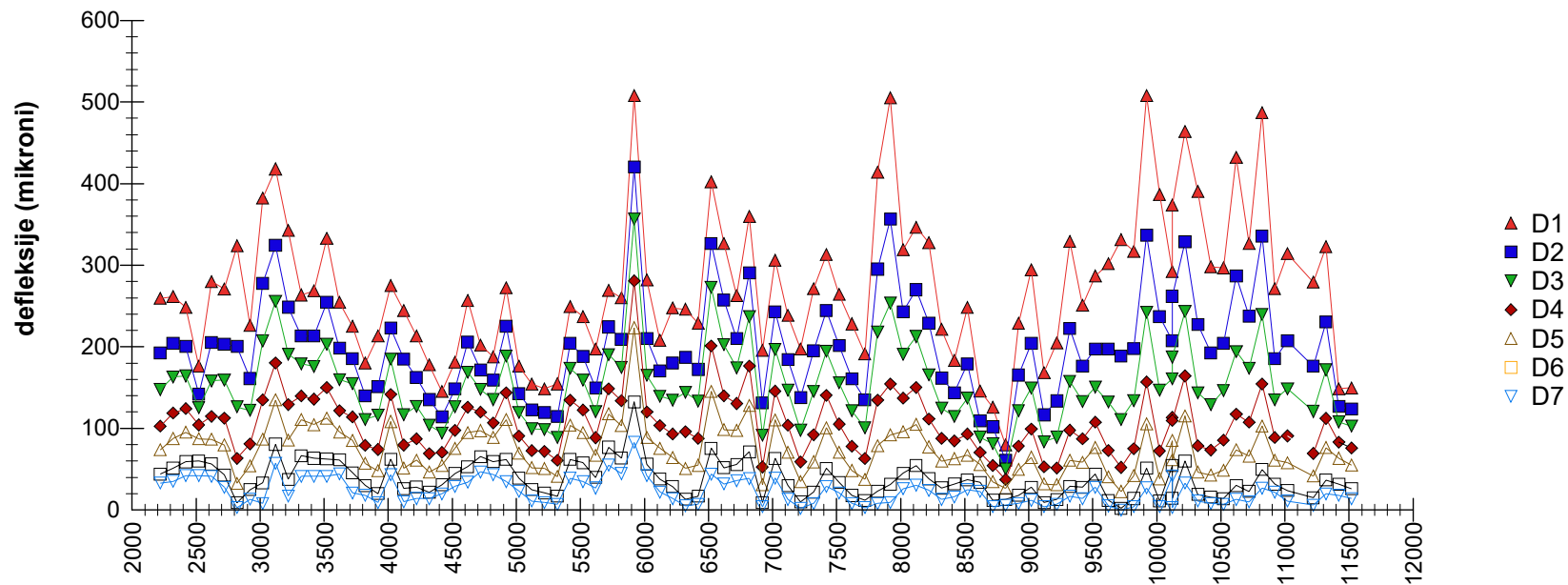


smjer Korenica - Debelo Brdo, desni prometni trak, od km 2+170 m do km 11+570 m

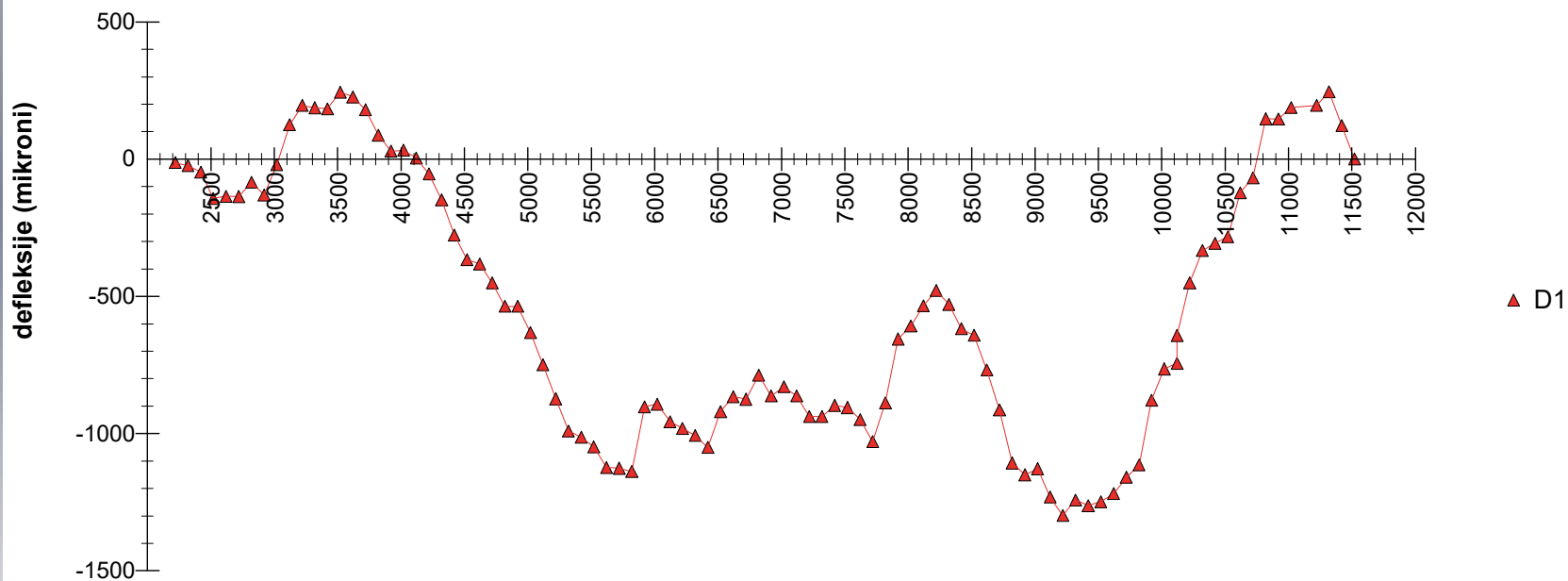


smjer Korenica - Debelo Brdo, desni prometni trak, od km 2+170 m do km 11+570 m

državna cesta D1, dionica Korenica - Debelo Brdo



državna cesta D1, dionica Korenica - Debelo Brdo

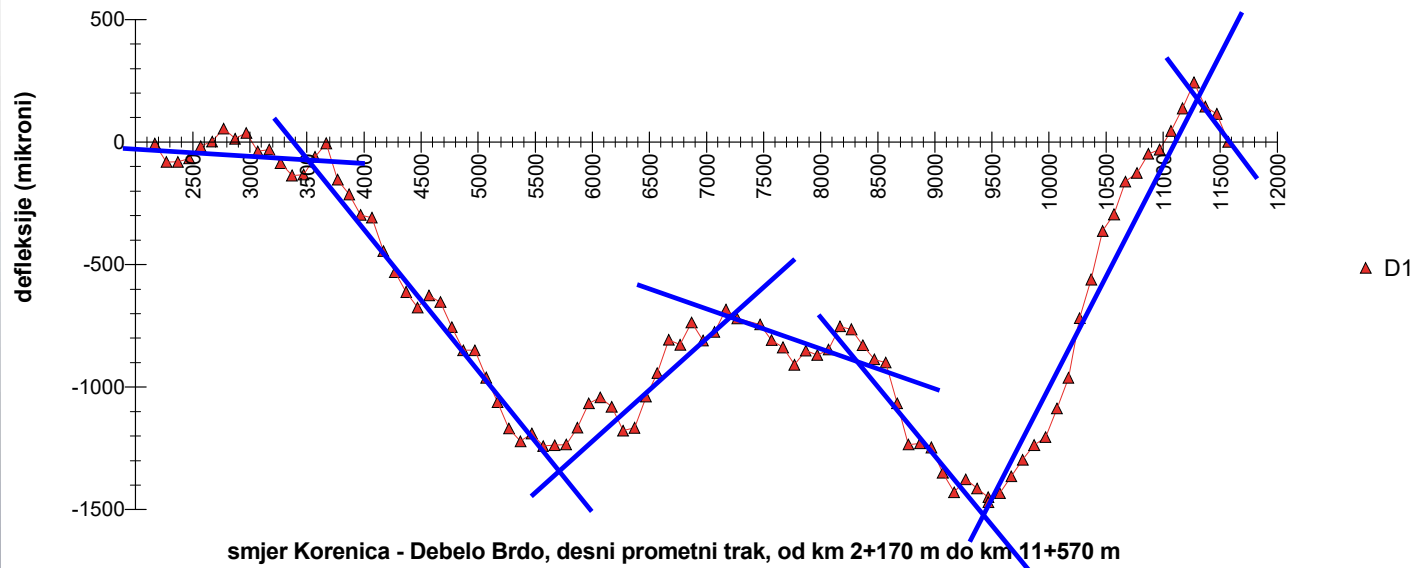


smjer Korenica - Debelo Brdo, lijevi prometni trak, od km 2+220 m do km 11+520 m

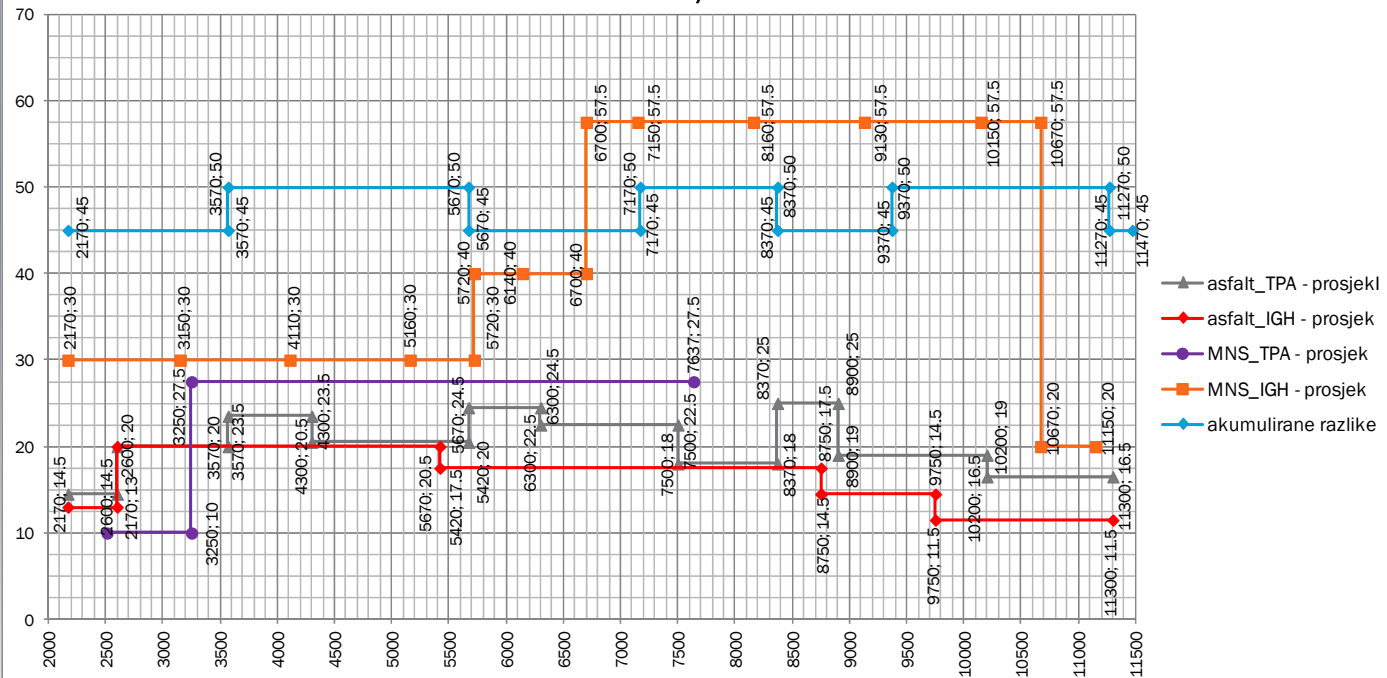
Proračun vrijednosti modula elastičnosti (E)

- proračun je proveden za sve homogene dionice
- prilikom određivanja duljine homogenih dionica u obzir se uzimalo da se radi o dionicama:
 - ✿ s približno jednakom nosivošću kolničke konstrukcije (duljine ovih dionica određene su postupkom kumulativnih razlika opisanom u AASHO priručniku za projektiranje kolničkih konstrukcija u dodatku oznake J)
 - ✿ duljine homogenih dionica usklađene su s podacima o debljinama slojeva kolničke konstrukcije, obzirom na njihove značajne razlike uzduž dionice
 - ✿ duljine homogenih dionica određene su posebno za lijevi, a posebno za desni prometni trak.

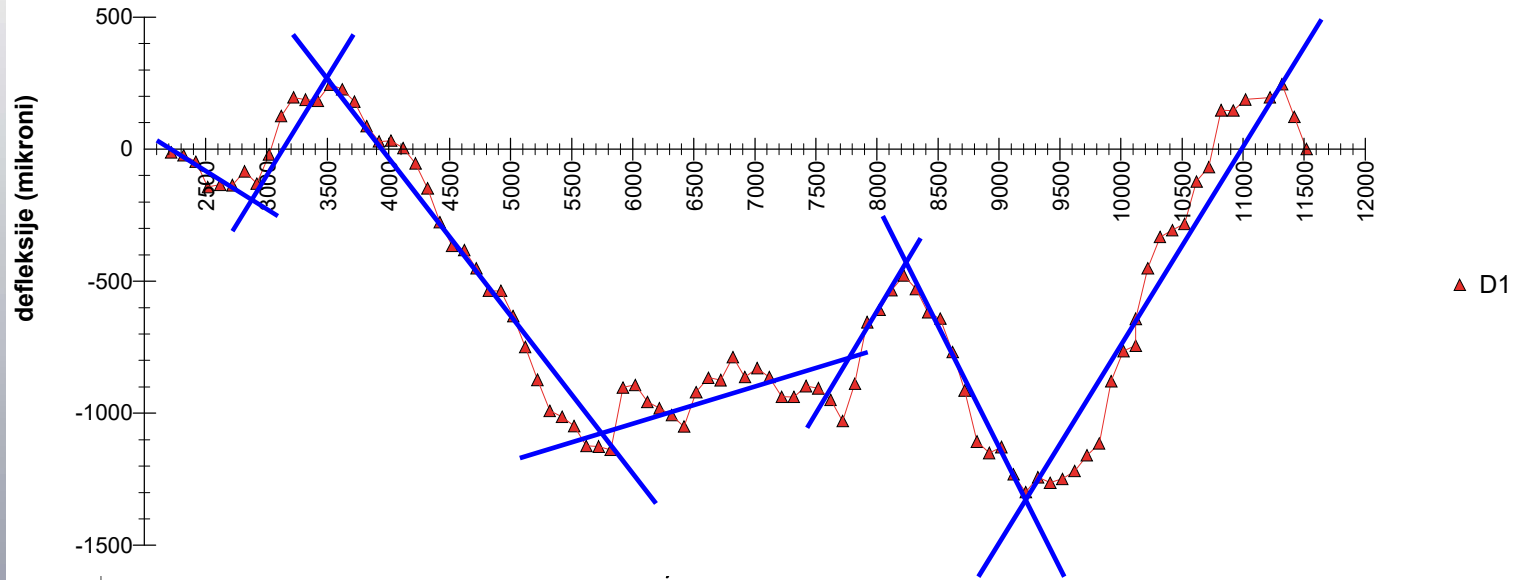
državna cesta D1, dionica Korenica - Debelo Brdo



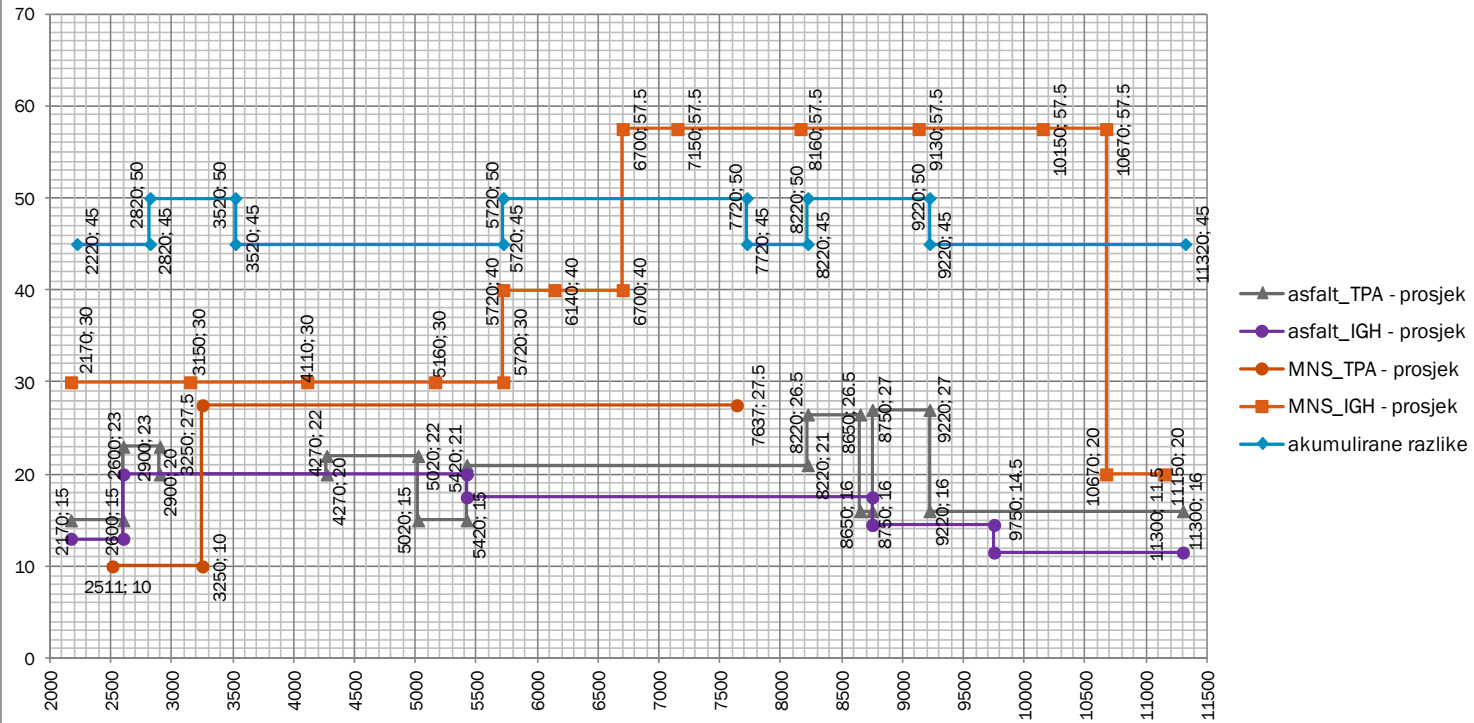
HOMOGENE DIONICE, DESNO



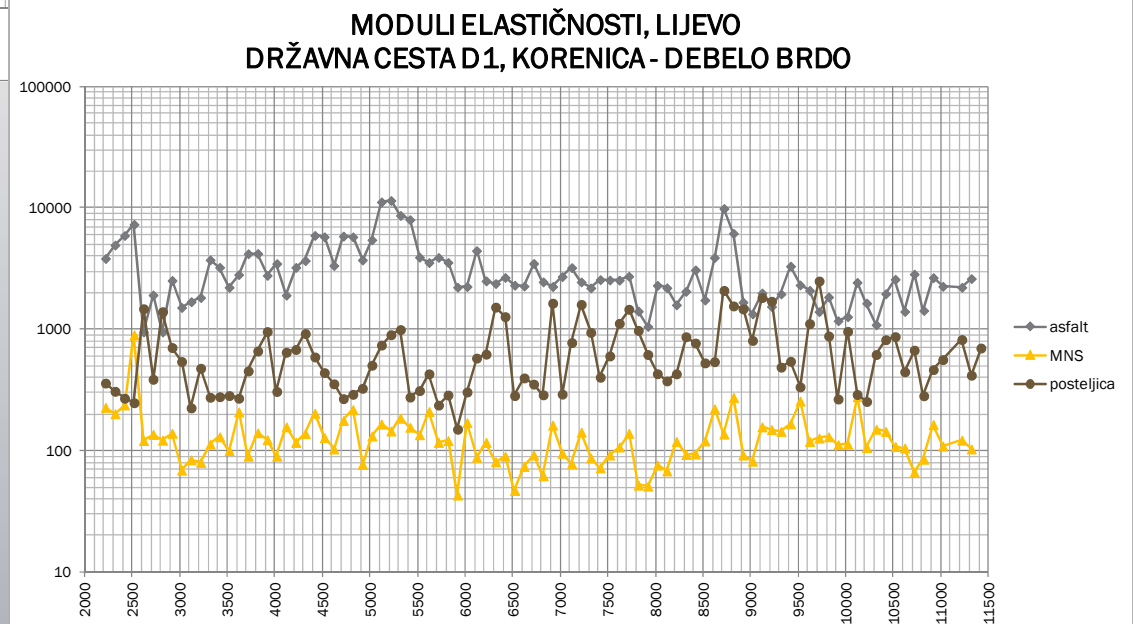
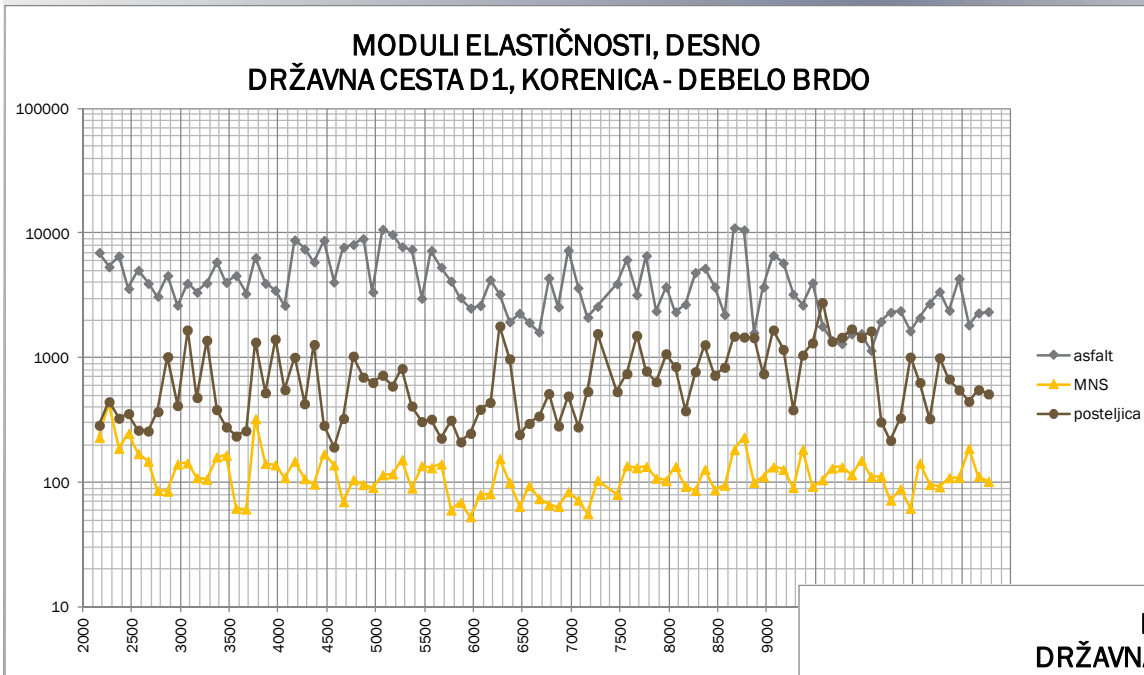
državna cesta D1, dionica Korenica - Debelo Brdo



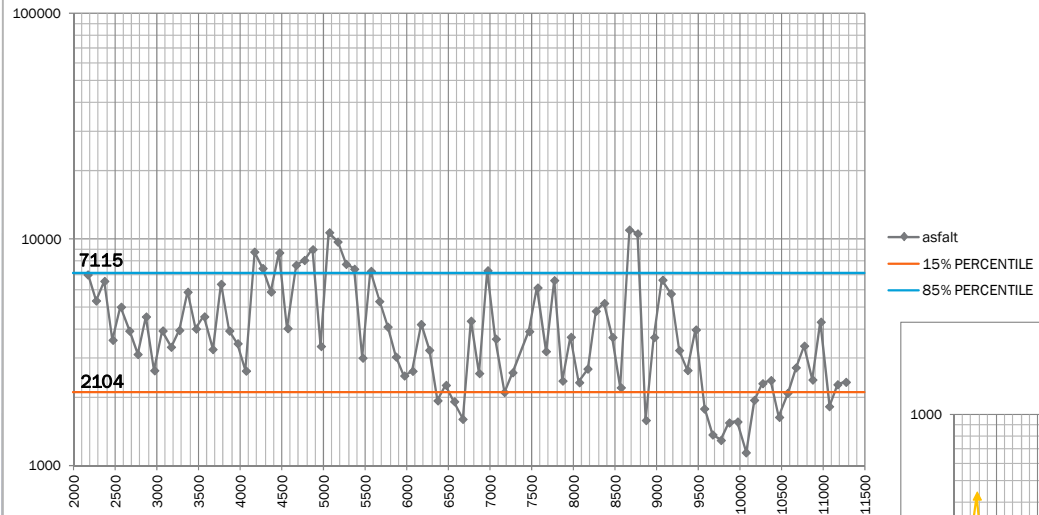
HOMOGENE DIONICE, LIJEVO



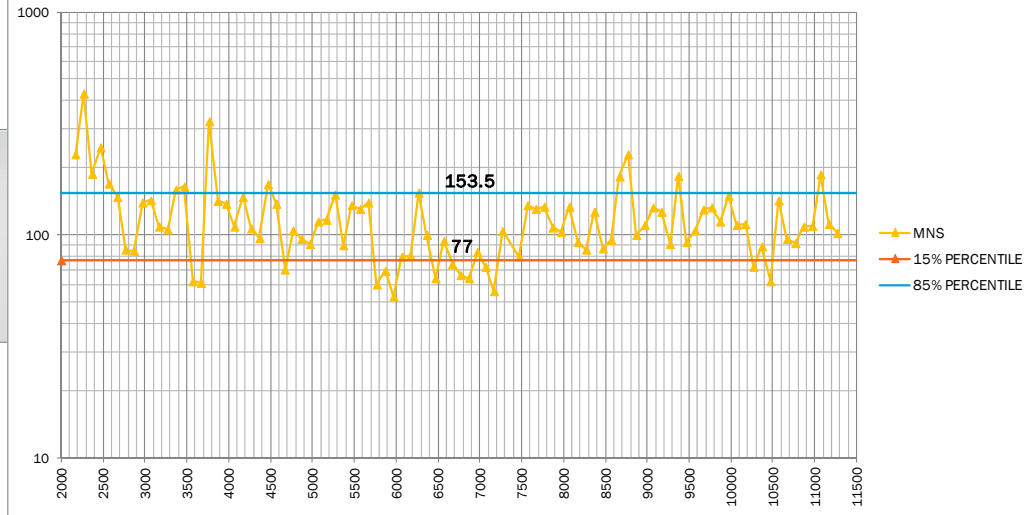
**proračun modula elastičnosti E, slojeva kolnične konstrukcije
proveden je računalskim programom ELMOD 6 za svaku od definiranih
homogenih dionica**



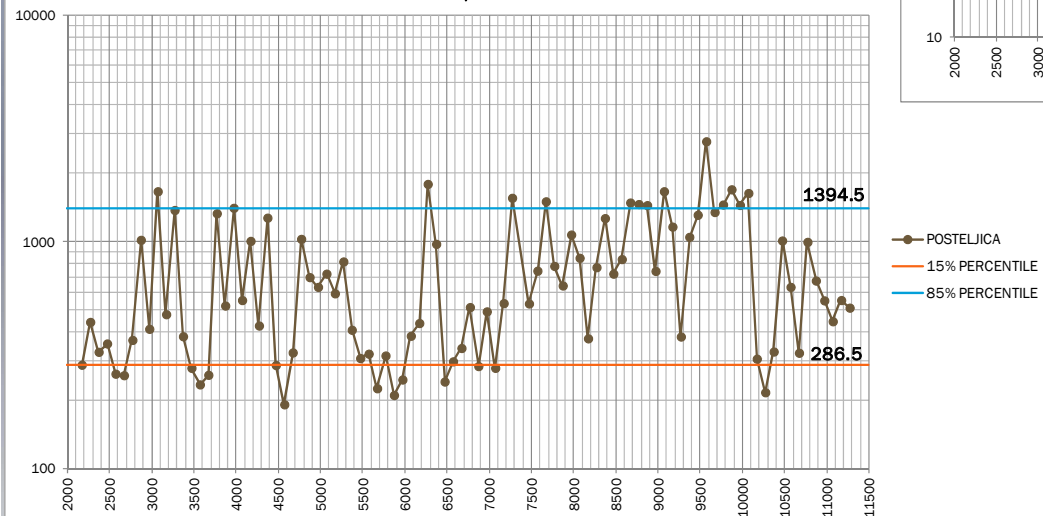
MODULI ELASTIČNOSTI - ASFALT, DESNO DRŽAVNA CESTA D1, KORENICA - DEBELO BRDO



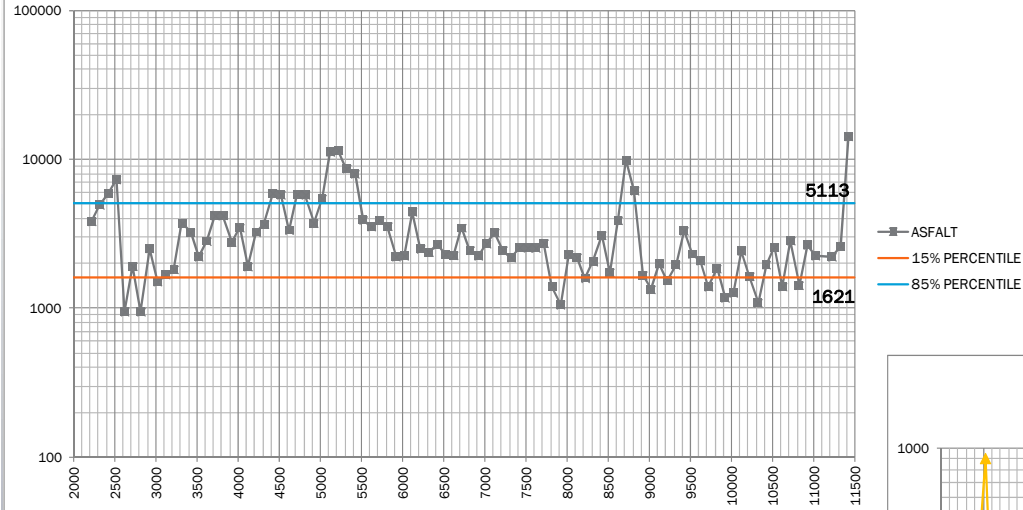
MODULI ELASTIČNOSTI - MNS, DESNO DRŽAVNA CESTA D1, KORENICA - DEBELO BRDO



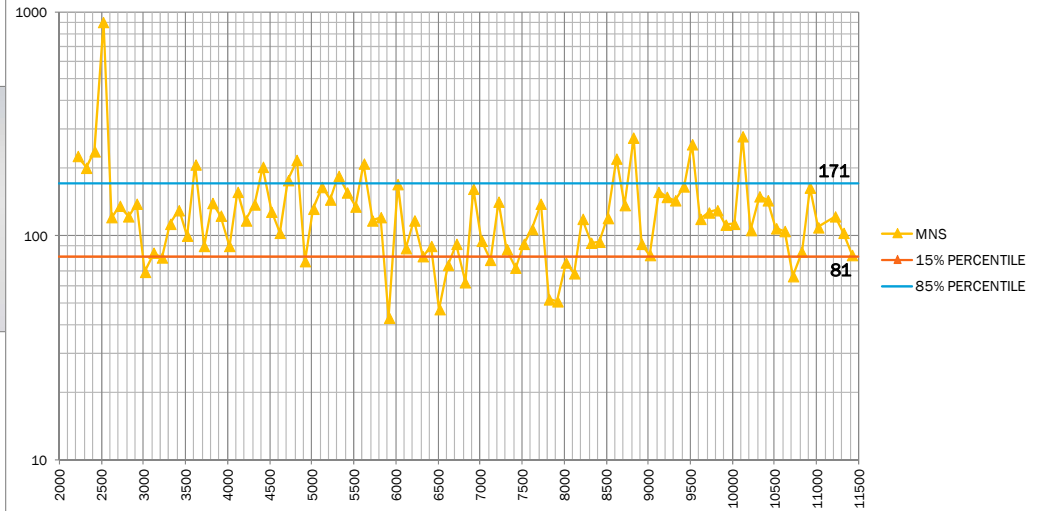
MODULI ELASTIČNOSTI - POSTELJICA, DESNO DRŽAVNA CESTA D1, KORENICA - DEBELO BRDO



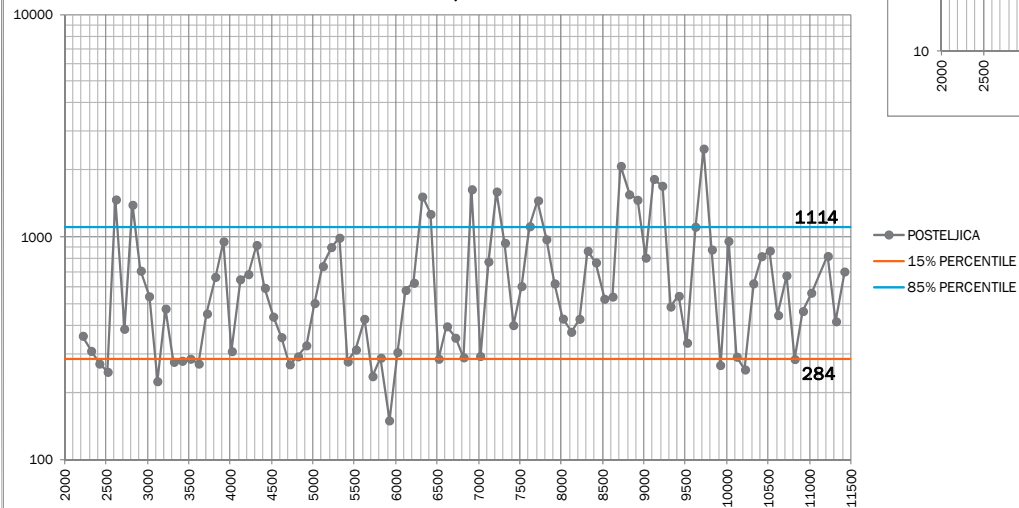
**MODULI ELASTIČNOSTI - ASFALT, LIJEVO
DRŽAVNA CESTA D1, KORENICA - DEBELO BRDO**



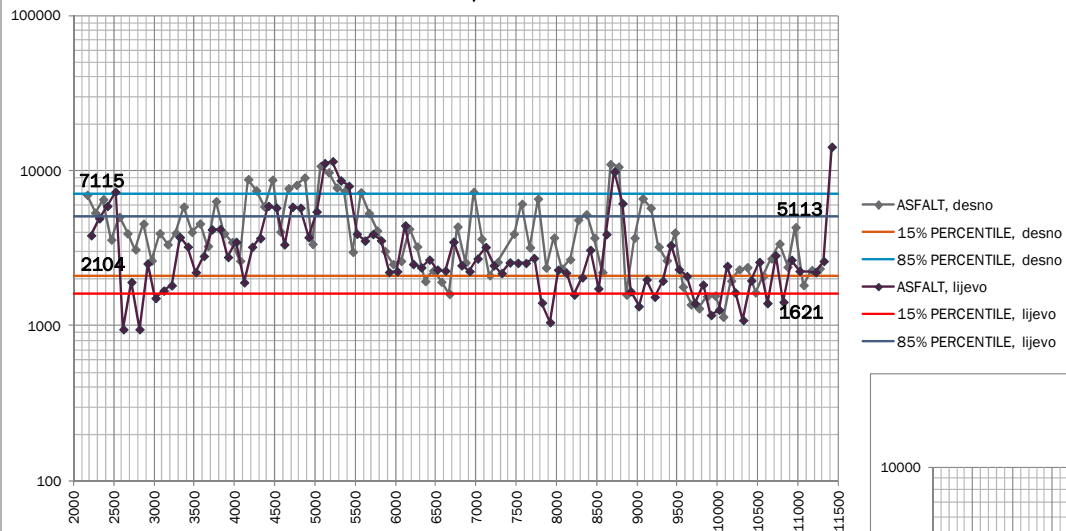
**MODULI ELASTIČNOSTI - MNS, LIJEVO
DRŽAVNA CESTA D1, KORENICA - DEBELO BRDO**



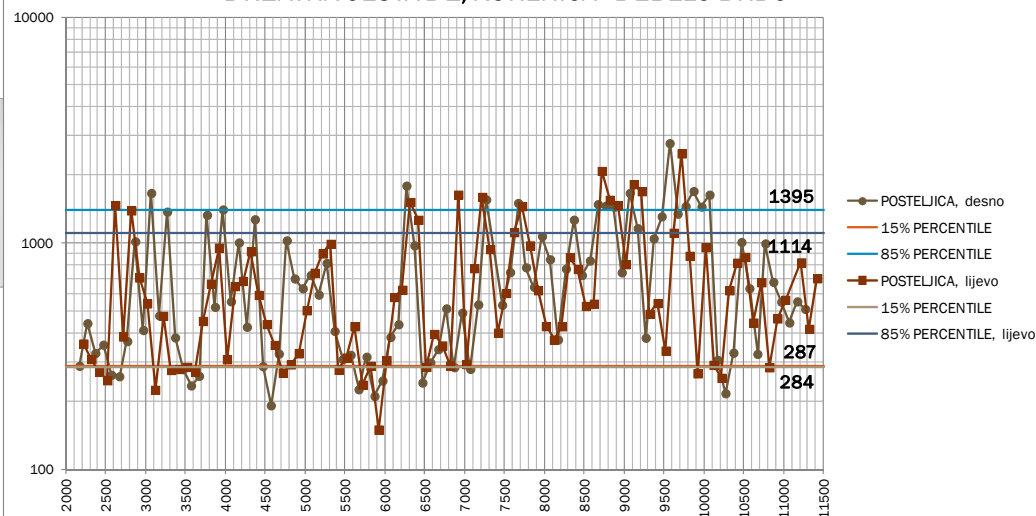
**MODULI ELASTIČNOSTI - POSTELJICA, LIJEVO
DRŽAVNA CESTA D1, KORENICA - DEBELO BRDO**



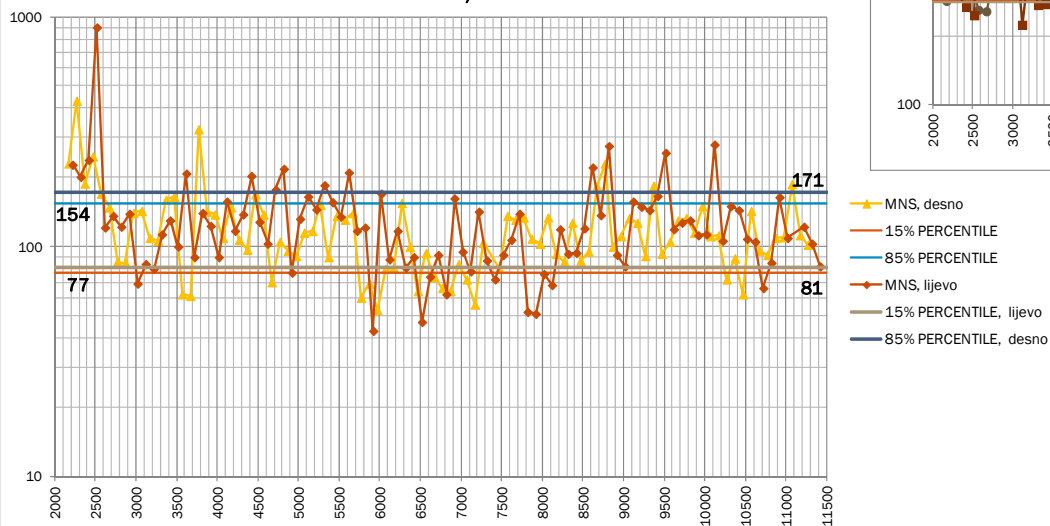
MODULI ELASTIČNOSTI - ASFALT, DESNO DRŽAVNA CESTA D1, KORENICA - DEBELO BRDO



MODULI ELASTIČNOSTI - POSTELJICA, DESNO DRŽAVNA CESTA D1, KORENICA - DEBELO BRDO



MODULI ELASTIČNOSTI - MNS, DESNO DRŽAVNA CESTA D1, KORENICA - DEBELO BRDO



Proračun novo projektirane konstrukcije

- proračun naprezanja i deformacija - BISAR (Shell B.V.)
- životni vijek novo projektirane konstrukcije (strukturalni kapacitet pojedinih slojeva kolničke konstrukcije) proveden pomoću:
 - računalnog programa BANDS PC (Shell B.V.) i
 - nomograma za određivanje dopuštenog broja prijelaza standardnog ekvivalentnog osovinskog opterećenja na razini posteljice
- za reprezentativnu vrijednost modula elastičnosti uzeta je vrijednost koja statistički odgovara 85% percentilu svih vrijednosti, odnosno vrijednost od koje je veće 85% svih proračunom dobivenih vrijednosti

Prometno opterećenje

- proračun prometnog opterećenja dionice Korenica – Debelo Brdo državne ceste D1, proveden je na temelju podataka iz knjige "Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske", brojačko mjesto 4304, Jošani
- prosječni godišnji dnevni promet (PGDP) na ovom brojačkom mjestu na državnoj cesti D1, iznosi 3576

Kategorija vozila	Udio u PGDP	Broj vozila	Faktor ekvivalencije	Broj prijelaza ekvivalentnih 80 kN osovina
B4	8,73 %	312	2,15	671
B3	5,20 %	186	1,88	350
B2	8,30 %	297	1,1	327
B1	0,47 %	17	0,2	3
A4	6,97 %	249	1,2	299
A3	2,23 %	80	0,01	1
				1651

- ukupno prometno opterećenje dionice Korenica – Debelo Brdo državne ceste D1 za projektni period od 15 godina (od 2014. do 2029. godine) uz pretpostavljeni rast prometa od 1% iznositi za jedan prometni trak
- **4,82·10⁶** prijelaza standardnog ekvivalentnog 80 kN osovinskog opterećenja - teškog prometno opterećenje

Analiza strukturalnog kapaciteta novo projektirane konstrukcije

- uvažavajući podatke o sastavu i kvaliteti materijala slojeva kolničke konstrukcije te dobiveni prijedlog načina sanacije provedena je provjera strukturalnog kapaciteta kolničke konstrukcije
- predviđen način sanacije obuhvaća:
 - uklanjanje postojećih asfaltnih slojeva u cijelosti
 - izvedba nadsloja, mehanički zbijenog nosivog sloja debljine 20 cm koji bi od postojećeg mehanički zbijenog nosivog sloja bio odvojen slojem geotekstila (masa geotekstila $>200 \text{ g/m}^2$) kako bi se spriječilo mješanje ova dva sloja te prodiranje sitnih čestica iz postojećeg u izvedeni kameni nadsloj
 - na izvedeni nadsloj, obzirom da se radi o prometnom opterećenju koje pripada grupi teškog prometnog opterećenja ($4,82 \cdot 10^6$ prijelaza standardnog ekvivalentnog 80 kN osovinskog opterećenja) izveli bi se asfaltni slojevi u ukupnoj debljini od 12 cm, nosivi sloj debljine 8 cm i habajućí sloj debljine 4 cm

- proračun naprežanja i deformacija u pojedinim slojevima kolničke konstrukcije proveden je računalnim programom "BISAR,,
- pri proračunu naprežanja i deformacija koje se javljaju u pojedinim slojevima kolničke konstrukcije svaki je sloj karakteriziran fizičko-mehaničkim svojstvima materijala od kojeg je izrađen, proračunatom vrijednosti modula elastičnosti i Poissonovim koeficijentom

Fizikalna obilježja posteljice i gradiva		Zima -10-0°C	Proljeće-jesen 10-15°C	Ljeto >20°C
Habajući sloj	Edin [MPa]	8000	4500	3500
	v	0,35	0,42	0,47
Bitumenizirani nosivi sloj	Edin [MPa]	7000	4000	3500
	v	0,37	0,39	0,43
Nevezani nosivi sloj (novi)	Edin [MPa]	450	450	450
	v	0,35	0,35	0,35
Nevezani nosivi sloj (postojeći sloj)	Edin [MPa]	80		
	v	0,35		
Posteljica	Edin [MPa]	280		
		0,35		

- opterećenje mjerodavno za proračun deformacija u kolničkim konstrukcijama je stražnja osovina teretnog vozila s osovinskim opterećenjem od 80 kN
- pri proračunu se uzima da se opterećenje prenosi preko dvostrukog kotača, uz unutarnji tlak zraka od 0,7 MPa

- proračunate **dopuštene vrijednosti** broja prijelaza standardnog ekvivalentnog 80 kN osovinskog opterećenja za svaki sloj, uspoređene su sa **ukupnim brojem prijelaza istog opterećenja u periodu eksploatacije konstrukcije**, od 2014. do 2029. godine.
- **dopušteni broj prijelaza** standardnog ekvivalentnog osovinskog opterećenja određen je za **asfaltne slojeve** pomoću računalnog programa **BANDS PC, Shell Research B.V., The Hague**
- za **posteljicu** su korišteni odgovarajući **dijagrami ovisnosti dopuštenih deformacija i broja ponavljanja opterećenja**
- pri određivanju vrijednosti **dopuštenih naprezanja**, odnosno **deformacija** ili **odgovarajućeg dopuštenog broja ponavljanja opterećenja** ukupno je prometno opterećenje raspodijeljeno prema vremenskim periodima u kojima su računana naprezanja/deformacije u konstrukciji, i to:
 - zima 15 % $5,20 \cdot 10^5$
 - ljeto 35 % $1,22 \cdot 10^6$
 - proljeće i jesen 50 % $1,74 \cdot 10^6$

dionica Korenica – Debelo Brdo, desni kolnik						
sloj	debljina [mm]	E [MPa]	μ [-]	naprezanja i deformacije		dopušteni broj prijelaza [SARL]
				σ [MPa]	ε [$\mu\text{m/m}$]	
zima						
Habajući sloj - asfalt	40	8000	0,35	-0,5011	-17,93	$>100 \cdot 10^9$
Nosivi sloj - asfalt	80	7000	0,37	1,097	114,10	$7,48 \cdot 10^6$
MNS – novo izvedeni	200	450	0,35	-	-	-
MNS – postojeći	200	80	0,35	-	-	-
posteljica	-	280	0,35	-0,02991	-96,29	$>100 \cdot 10^6$
ljetno						
Habajući sloj - asfalt	40	3500	0,47	-0,5455	-68,27	$>100 \cdot 10^9$
Nosivi sloj - asfalt	80	3500	0,43	0,770	158,9	$4,97 \cdot 10^6$
MNS – novo izvedeni	200	450	0,35	-	-	-
MNS – postojeći	200	80	0,35	-	-	-
posteljica	-	280	0,35	0,0337	-110,1	$>100 \cdot 10^6$
proljeće – jesen						
Habajući sloj - asfalt	40	4500	0,40	-0,4942	-12,29	$>100 \cdot 10^9$
Nosivi sloj - asfalt	80	4000	0,25	0,8058	149,8	$5,25 \cdot 10^6$
MNS – novo izvedeni	200	450	0,35	-	-	-
MNS – postojeći	200	80	0,35	-	-	-
posteljica	-	280	0,35	0,03291	-107,4	$>100 \cdot 10^6$

Proračun iskorištenosti kolničke konstrukcije

- svojstva materijala u kolničkoj konstrukciji mijenjaju se tokom godine zbog promjena temperature i vlažnosti materijala
- uobičajeno se pored provedenih usporedbi s dopuštenim naprezanjima, odnosno deformacijama provodi proračun iskorištenja konstrukcije primjenom hipoteze Minera
- prema toj hipotezi do kumulativnog propadanja kolničke konstrukcije pod prometnim opterećenjem dolazi ako je

$$\sum \frac{n_i}{N_i} < 1$$

n_i stvarni broj prijelaza opterećenja a

N_i mogući (dopušteni) broj prijelaza opterećenja

bitumenizirani nosivi sloj

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = \frac{1,69 * 10^6}{4,97 * 10^6} + \frac{2,41 * 10^6}{5,25 * 10^6} + \frac{0,72 * 10^6}{7,48 * 10^6} = 0,895 < 1$$

posteljica

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = \frac{1,69 * 10^6}{4,18 * 10^9} + \frac{2,41 * 10^6}{4,62 * 10^9} + \frac{0,72 * 10^6}{6,97 * 10^9} = 0,001 < 1$$

ZAKLJUČAK

- nosivost projektirane kolničke konstrukcije takva da će moći podnijeti prometno opterećenje projektnog perioda od 15 godina
- potrebno je napomenuti da su u području od stacionaže km 5+750 m do km 8+200 m dobivene niže vrijednosti modula elastičnosti mehanički zbijenog nosivog sloja – MNS
- prilikom izvođenja radova ovom dijelu dionice potrebno je posvetiti posebnu pažnju te prema potrebi izvršiti sanaciju na način da se zamijeni mehanički zbijeni nosivi sloj u punoj debljini
- na ovom se dijelu dionice nalazi i područje unutar kojega su i vrijednosti modula elastičnosti posteljice nešto niže (od km 5+200 m do km 6+000 m)

- FWD predstavlja u svijetu široko prihvaćen način određivanja karakteristika materijala i slojeva kolničke konstrukcije
- primjenom FWD-a moguće je značajno smanjiti potreban broj terenskih mjerenja (bušenje jezgara, iskop sondažnih jama) a podatke dobiti kontinuirano ili na bitno manjem razmaku (100 m ili manje)
- **pravilno** interpretirani rezultati daju vjernu sliku stanja kolničke konstrukcije