

Primljen / Received: 16.7.2014.

Ispravljen / Corrected: 25.4.2015.

Prihvaćen / Accepted: 24.7.2015.

Dostupno online / Available online: 1.8.2015.

Ubrzani test opterećenja pomoću simulatora teških vozila

Autori:



Dr.sc. **Marjan Tušar**, dipl.ing.kem.
Kemijski institut Ljubljana
marjan.tusar@ki.si



Mojca Ravnikar Turk, dipl.ing.građ.
ZAG Ljubljana
mojca.turk@zag.si

Prethodno priopćenje

Marjan Tušar, Mojca Ravnikar Turk

Ubrzani test opterećenja pomoću simulatora teških vozila

Pokus ubranog nanošenja opterećenja na konstrukcije u naravnoj veličini proveden je u okviru terenskih ispitivanja obavljenih u svrhu istraživanja učinkovitosti raznih mjera za pojačanje kolničkih konstrukcija slabe nosivosti. Debljina asfaltnog sloja varirala je od 6,5 cm do 13,6 cm. U radu su prikazani rezultati deformacijskog djelovanja na ispitivane konstrukcije. Na svaku konstrukciju nanosilo se opterećenje tijekom otprilike dva tjedna. Ustanovljeno je da naglašena ovisnost između dubine trajne deformacije i debljine asfaltnih slojeva postoji samo kod tankih kolničkih konstrukcija.

Ključne riječi:

deformacije kolnika, terensko ispitivanje, ispitivanje ubranim opterećivanjem, simulator teških vozila

Preliminary report

Marjan Tušar, Mojca Ravnikar Turk

Accelerated load tests with a heavy vehicle simulator

A full-scale accelerated structural load test was performed in the scope of field trials conducted to investigate the effect of various strengthening actions on weak pavements. The asphalt layer thickness varied from 6.5 cm to 13.6 cm. The results of deformations applied on test structures are presented in the paper. The loading of each test structure lasted for approximately 2 weeks. Clear dependence between the depth of permanent deformation and thickness of asphalt layers was established on thin pavement structures only.

Key words:

pavement deformations, field test, accelerated load test, heavy vehicle simulator

Vorherige Mitteilung

Marjan Tušar, Mojca Ravnikar Turk

Beschleunigter Belastungstest mittels Simulierung von Schwerfahrzeugen

Im Rahmen von Feldversuchen an Konstruktionen in Originalgröße ist eine beschleunigte Lastauftragung durchgeführt worden, um die Wirksamkeit verschiedener Maßnahmen zur Verstärkung von Straßenkonstruktionen schwacher Tragfähigkeit zu erforschen. Die Asphaltenschicht war zwischen 6,5 cm und 13,6 cm stark. In der Arbeit sind Resultate zum Verformungsverhalten der untersuchten Konstruktionen dargestellt. Die Lasten wurden bei jedem Versuch während ca. zwei Wochen aufgetragen. Eine deutliche Abhängigkeit der verbleibenden Verformungen und der Stärke von Asphaltsschichten ist nur bei dünnen Fahrbahndecken festgestellt worden.

Schlüsselwörter:

Fahrbahnverformung, Feldversuche, Versuche mittels beschleunigter Lastauftragung, Simulierung von Schwerfahrzeugen

1. Uvod

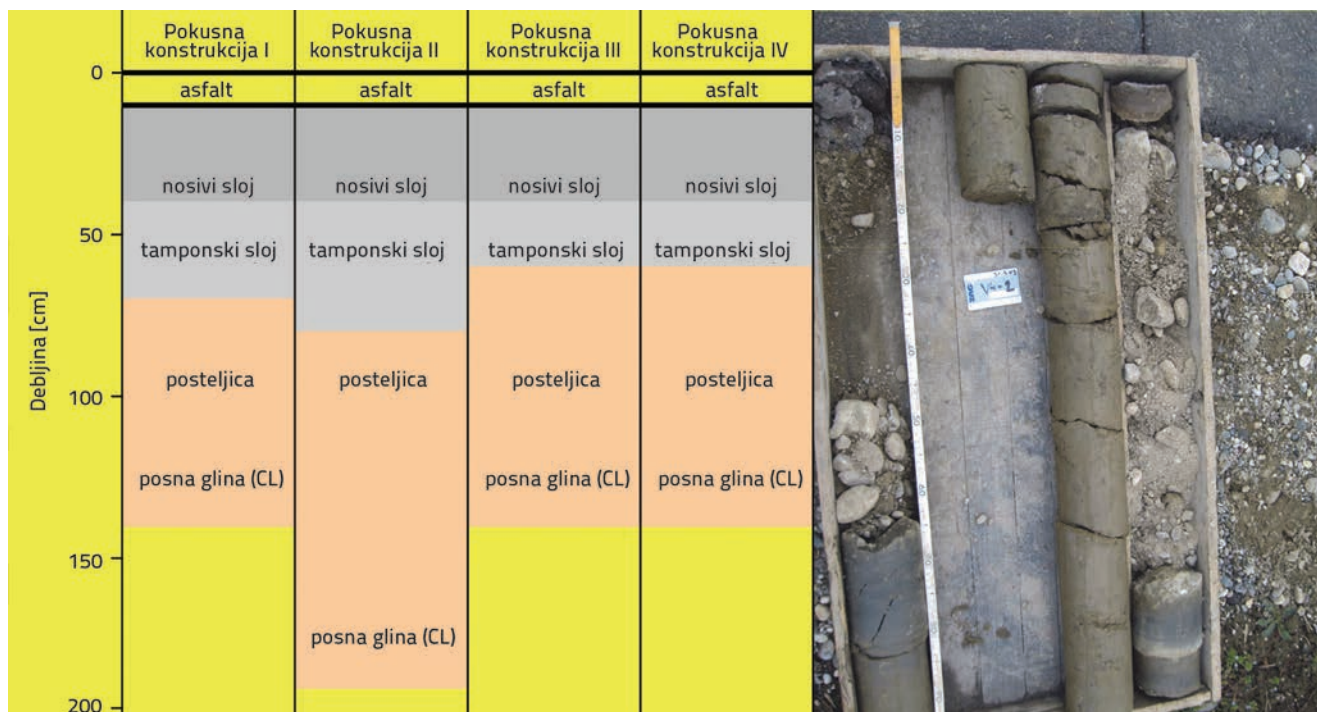
Pokus ubrzanog nanošenja opterećenja (eng. *Accelerated Load Test - ALT*) obavljen je pomoću simulatora teških vozila tipa HVS-Nordic. Ovaj uređaj je odabran za ispitivanje učinkovitosti raznih mjera koje se koriste za pojačanje postojećih kolničkih konstrukcija. Za terenska je ispitivanja odabrano šest različitih kolničkih konstrukcija, od kojih su u ovom radu prikazane četiri, (slika 1. lijevo). Za ovo su ispitivanje izgrađene nove cestovne dionice. Na podlozi od praha i gline izvedeni su tamponski i nosivi slojevi od nedrobljenog šljunka granulacije od 0 do 32 mm. Maksimalna debljina nevezanih slojeva iznosila je 60 cm. Planirana debljina asfaltnih slojeva iznosila je 6,0 cm na pokusnoj konstrukciji br. I, 8,0 cm na pokusnoj konstrukciji br II, 10,0 cm na pokusnoj konstrukciji III i 13,0 cm na pokusnoj konstrukciji IV. Na svakoj pokusnoj kolničkoj konstrukciji debljina asfalta kontrolirana je na tri profila te je ustanovljeno da stvarna debljina kolnika varira od 5,7 cm do 14,4 cm čemu je vjerojatno razlog neravna površina nosivog sloja. Ispitivanje ubrzanog nanošenja opterećenja na konstrukciju pune veličine obavljeno je na četiri razne cestovne konstrukcije u travnju i svibnju 2008. Ispitni kotač kretao se po dionici duljine 8 m, s tim da je brzina kotača bila konstantna na udaljenosti od 6 m. Na pokusne su konstrukcije instalirani mjerači deformacija i indukcijske zavojnice za mjerenje vertikalnog pomaka (deformacije). Očitavani su i podaci o odzivu pri raznim uvjetima opterećenja, tj. pri opterećenju kotačem, pritiskom guma itd. Istovremeno su ispitane dvije različite cestovne konstrukcije. Tako se kotač kretao prva četiri metra po jednoj kolničkoj konstrukciji, a druga četiri metra po

drugoj. Jedno ispitivanje trajalo je dva tjedna, pri čemu je stroj bio u pogonu danonoćno sedam dana u tjednu, s tim da se rad prekidao samo radi svakodnevnog održavanja/servisiranja. Tijekom glavnog ispitivanja, obavljena su ispitivanja poprečnog presjeka da bi se izračunalo širenje dubine kolotraga. Odlučeno je da temperatura kolnika treba biti konstantna tj. 20°C, te da opterećenje kotača treba iznositi 60 kN na početku ispitivanja, nakon čega se po potrebi može povećavati. Opterećenje je nanošeno u oba smjera, a u poprečnom je smjeru korišten bočni pomak kotača.

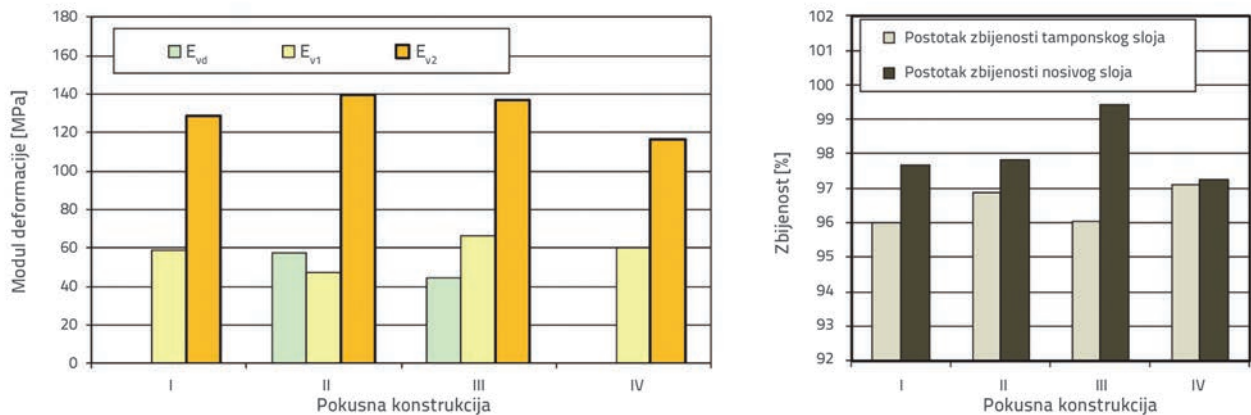
2. Izvedba

2.1. Uvjeti tla i nevezani slojevi

Nakon pokusa ALT, u ožujku 2009. izvedene su četiri bušotine da bi se odredilo stanje stvarne cestovne konstrukcije te uvjeti u posteljici. Bušotine su izvedene potkraj ožujka 2009. u zoni u kojoj je obavljen pokus ALT. Bušenje je obavljeno nakon pet dana jake kiše, i tom je prilikom ispitano tlo ispod pokusnih konstrukcija od I do IV. Bušotine su izvedene uz mjesto na kojem je došlo do deformacija kotačem tijekom pokusa ALT. Uzeti su neporemećeni uzorci šljunka i prašinaste gline radi ispitivanja u laboratoriju. U prašinstoj glini su obavljani standardni penetracijski pokusi (SPT). Ti su pokusi jasno pokazali da je posteljica ispod šljunčanog sloja vrlo mekana. Bušotine su bile suhe, osim kod pokusne konstrukcije II, gdje je bušena najdublja bušotina (dubine 200 cm) i gdje je razina podzemne vode porasla, nedugo nakon bušenja, do razine od 110 cm ispod površine ceste. Može se pretpostaviti da



Slika 1. Uvjeti u tlu i u kolničkoj konstrukciji



Slika 2. Rezultati terenskih ispitivanja (I do IV) nevezanih nosivih slojeva – moduli deformacije (E_{vd} - dinamički, E_{v1} i E_{v2} - statički) i zbijenosti

se razina podzemne vode nalazi na dubini većoj od 100 cm ispod površine ceste. Definirani uvjeti tla prikazani su na slici 1. Posteljica se sastojala od posne gline (koja se prema Unificiranom sustavu za klasifikaciju tla, USCS, označava kao CL).

Iznad posteljice su izvedeni nevezani tamponski i nosivi slojevi pojedinačne debljine od po 20–25 cm. Za ta dva sloja korišten je nedrobljeni loše granulirani šljunak iz rijeke Mure, veličine od 0 do 32 mm (za koji je korištena oznaka GP-GM). Debljina nasipa varirala je po dužini pokusne dionice i to zbog neravne konfiguracije prirodnog tla. Granulometrijska analiza pokazala je da razlike između svojstava tamponskih i nosivih slojeva nisu velike. Prosječna ukupna debljina šljunčanog nasipa iznosila je 60 cm, a varirala je u rasponu od 50 do 70 cm.

Tijekom izvođenja radova u studenom 2007., na vrhu tamponskih i nosivih slojeva izvedeno je nekoliko terenskih kontrolnih ispitivanja u svrhu određivanja modula zbijenosti i deformacija. Za određivanje gustoće i udjela vlage korištena je nerazorna metoda bazirana na radioaktivnim izotopima (nuklearna metoda). Uzeti su reprezentativni uzorci nevezanog sloja te je izračunan postotak zbijenosti pomoću Proktorova pokusa obavljenog u laboratoriju. Statička ispitivanja modula deformacije (E_{v1} i E_{v2}) i dinamička ispitivanja modula deformacije (E_{vd}) obavljena su u skladu sa slovenskim propisima [1, 2]. Za

svako pokusno polje obavljeno je po jedno mjerenje statičkog modula deformacija. Dinamički i statički moduli deformacija mjereni na nevezanom nosivom sloju, isto kao i vrijednosti zbijanja tamponskih i nosivih slojeva, prikazani su na slici 2. Statički moduli deformacije E_{v1} i E_{v2} nosivog sloja izmjereni su na sve četiri probne konstrukcije. Vrijednost E_{vd} izmjerena je samo na pokusnim konstrukcijama II i III, kao što se to vidi na slici 2. Vrijednosti E_{v1} i E_{v2} također su izmjerene i na pokusnoj konstrukciji III za tamponski sloj. Ustanovljeno je da su moduli deformacija izmjereni na tamponskom sloju znatno niži od odgovarajućih modula za nosivi sloj, i to vjerojatno zbog vrlo mekane posteljice.

Udio vlage u tamponskim i nosivim slojevima određen je tijekom izvođenja ceste u studenom 2007. Odgovarajuća količina materijala iz nosivih i tamponskih slojeva (četiri uzorka šljunka) izvađena je iz bušotina tijekom 2009. godine, te je ponovno obavljeno mjerenje udjela vlage. Nije uočeno povećanje udjela vlage u odnosu na početne uvjete, iako je dotično bušenje provedeno nakon kišnog razdoblja. U analizama pokusa ubranog opterećenja pretpostavljeno je da stvarna debljina nevezanog sloja varira od 50 do 70 cm, i to zato što nije uočena bitna razlika između modula deformacije i karakteristika materijala uzetih iz tamponskih i nosivih slojeva.

Tablica 1. Karakteristike asfaltnih slojeva

Pokusna konstrukcija	Projektirani površinski sloj asfalta	Prosječna zbijenost i udio šupljina [V.-%] u površinskom sloju	Projektirani asfaltni nosivi sloj	Prosječna zbijenost i udio šupljina [V.-%] u nosivom sloju	Projektirana debljina asfaltnog kolnika [cm]	Stvarna debljina asfaltnog kolnika [cm]
I	6 cm AC16 surf B50/70	95,1 % zbijenost 6,8 % šupljina	Izveden je samo jedan sloj asfalta	ne primjenjuje se	6,0	6,5
II	4 cm AC11 surf B50/70	103,2 % zbijenost 2,8 % šupljina	4 cm AC16 base B50/70	95,3 % zbijenost 6,6 % šupljina	8,0	10,5
III	4 cm AC11 surf B50/70	101,9 % zbijenost 4,0 % šupljina	6 cm AC22 base B50/70	98,5 % zbijenost 9,1 % šupljina	10,0	9,3
IV	4 cm AC11 surf B50/70	102,4 % zbijenost 3,6 % šupljina	9 cm AC22 base B50/70	98,5 % zbijenost 9,2 % šupljina	13,0	13,6

2.2. Asfaltni slojevi

Asfaltna mješavine raznih debljina projektirane su na vrhu nevezanog nosivog sloja, kao što se to vidi na slici 3. i u tablici 1. Projektirane su tri različite asfaltna mješavine, a ukupna debljina varirala je od 6 cm (pokusna konstrukcija I) do 13 cm (pokusna konstrukcija IV). Nakon ispitivanja, za svaku su pokusnu konstrukciju bušenjem kroz asfaltna slojeve izvađene tri jezgre, te je obavljeno nekoliko laboratorijskih ispitivanja uključujući između ostalog i mjerenje stvarne debljine asfaltnih slojeva. Prosječna izmjerena debljina jezgre varirala je od 6,5 do 13,6 cm (vidi tablicu 1.). Iz tablice 1. možemo također zaključiti da je razina zbijenosti površinskih slojeva bila vrlo dobra.

Debljina asfalta kontrolirana je za svaku pokusnu konstrukciju na tri profila. Ustanovljeno je da stvarna debljina kolnika varira od 5,7 cm do 14,4 cm, i to vjerojatno zbog neravne površine nosivog sloja (vidi tablicu 2.). Na istom je profilu tijekom pokusa ALT izmjerena i dubina kolotraga. Iznenađuje podatak da je pokusna konstrukcija II deblja od pokusne konstrukcije III, iako bi se na temelju proračunskih podataka moglo zaključiti baš suprotno.

Za asfaltbetonske mješavine korišten je bitumen B50/70. U slovenskim klimatskim uvjetima najčešće se koriste upravo bitumeni B50/70 i B70/100. Na osnovi podataka o udjelu šupljina u asfaltnim slojevima može se pretpostaviti da je samo sloj AC surf 16 (pokusna konstrukcija I) neoporan na površinsku vodu, dok je asfaltni sloj gotovo vodonepropustan na svim ostalim pokusnim konstrukcijama. Pokusi pomoću kotača obavljani su pri temperaturi od 60°C prema EN 12697-22 (s malim uređajem) na asfaltnim jezgrama koje su izbušene tijekom terenskih ispitivanja (vidi tablicu 3.). Ustanovljeno je da

se asfaltna mješavina AC 22 base odlikuje odličnom otpornošću na trajne deformacije, a otpornost mješavine AC 11 surf još uvijek je dobra za ceste s malom gustoćom prometa. Može se pretpostaviti da je samo mješavina AC 16 surf tipična za ceste s malom gustoćom prometa i to s obzirom na njenu otpornost na trajne deformacije.

Tablica 2. Stvarna debljina svih asfaltnih slojeva

Pokusna konstrukcija/ broj uzorka	Izmjerena debljina [mm]	Projektirana debljina asfalta [mm]	Prosječna debljina [mm]
I/1	62	60	65
I/2	57		
I/3	71		
II/1	96	80	105
II/2	106		
II/3	111		
III/1	92	100	93
III/2	93		
III/3	94		
IV/1	129	130	136
IV/2	138		
IV/3	144		



Slika 3. Ispitane kolničke konstrukcije (lijevo), postavljanje senzora u nosivi sloj (desno)

Tablica 3. Rezultati dobiveni uređajem za određivanje dubine kolotruga

Mješavina	Prosječna zbijenost i udio šupljina % i V.-%	Dubina kolotruga			PRD Prosjek [%]	WTS Prosjek [mm/1000]
		Uzorak 1 [mm]	Uzorak 2 [mm]	Prosjek [mm]		
AC 16 surf	93,3 % zbij., 8,6 % šupljina	5,80	4,04	4,92	7,6	0,22
AC 11 surf	100,8 % zbij., 5,1 % šupljina	1,79	1,54	1,67	3,9	0,10
AC 22 base	99,0 % zbij., 8,7 % šupljina	1,42	1,53	1,48	2,7	0,05

PRD - relativna dubina kolotruga, WTS - brzina prirasta kolotruga

2.3. Senzori

Prilikom izrade pokusnih konstrukcija, u kolnik su ugrađeni odgovarajući senzori da bi se pomoću uređaja HVS dobili izlazni podaci o opterećenju [3, 4] (COST 347, 2005; Format, 2005). Indukcijske zavojnice (EMU zavojnice) postavljene su na dno i na vrh nevezanih nosivih slojeva radi mjerenja vertikalnih deformacija nosivih slojeva. Mjerači deformacija asfalta (eng. *asphalt strain gauges* - ASG) postavljene su na dno asfaltnih slojeva u svrhu mjerenja horizontalnih

deformacija asfalta u uzdužnom smjeru. Tri kompleta takvih senzora instalirano je za svaku konstrukciju uzduž središnje linije u kojoj se uređajem HVS nanosilo opterećenje. Točne pozicije svih senzora određene su geodetskom izmjerom. Mjerači deformacija asfalta (ASG) i indukcijske zavojnice (EMU) prikazani su na slici 4.

Slovenska ispitivanja pomoću uređaja HVS [5-8] obavljena su nanošenjem opterećenja pomoću dvostrukog kotača pri temperaturi kolnika od +20°C (slika 5.). U pokusima su korišteni sljedeći parametri:



Slika 4. Mjerači deformacija asfalta (ASG) i indukcijske zavojnice (EMU)



Slika 5. Simulator prolazaka teških vozila (HVS-Nordic)

- opterećenje dvostrukim kotačem 60 kN i 80 kN (tablica 4.),
- tlak guma 800 kPa, veličina guma 295/80 R22.5,
- brzina kotača 12 km/h, opterećenje u oba smjera, s bočnim pomakom od 15 cm od središnje linije.

Tablica 4. Opterećenje kotačem i broj prolazaka

Pokusna konstrukcija	Broj prolazaka pri opterećenju od 60 kN	Broj prolazaka pri opterećenju od 80 kN
I i II	0 – 293 000	/
III i IV	0 – 49 760	49 760 – 208 135

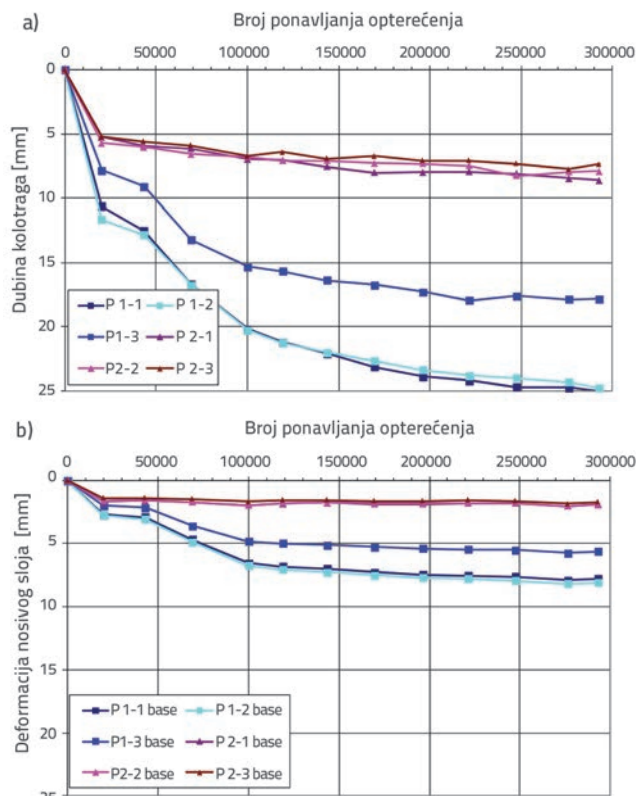
Deformacije (slijeganja) kolnika mjerene su svaki dan tijekom pokusa ubrzanog nanošenja opterećenja. Na temelju tih profila izmjereni su poprečni profili i dubina kolotruga. Istovremeno su bilježeni podaci s EMU zavojnica te su ti rezultati korišteni za određivanje trajnih deformacija u nevezanom sloju šljunka. Prosječna vertikalna udaljenost između EMU zavojnica iznosila je 15 cm. Između gornjeg EMU i nosivog sloja asfalta položen je sloj od 5 cm šljunka, pa je stoga u daljnjoj analizi pretpostavljeno da udaljenost između tog asfalta i donjeg EMU iznosi otprilike 20 cm.

3. Rezultati i analiza

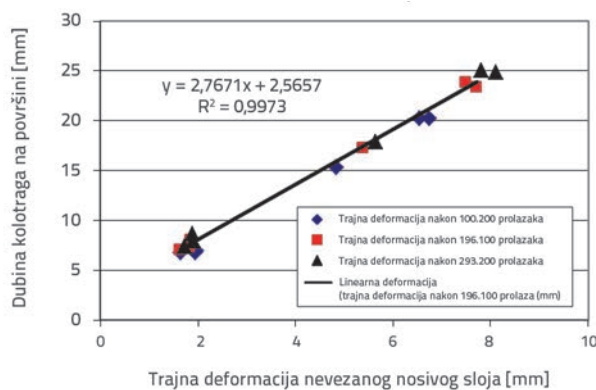
3.1. Pokusne konstrukcije I i II

Odlučeno je da se zbog slabe nosivosti cestovne konstrukcije opterećenje na pokusnim konstrukcijama I i II ipak ne povećava sa 60 kN na 80 kN. U dvanaest dana obavljeno je oko 300 000 prolazaka. Svaki dan je na svakoj pokusnoj konstrukciji na tri profila mjerena dubina kolotruga na površini, te trajna deformacija u nevezanom sloju šljunka debljine 15 cm. Rezultati tih mjerenja prikazani su na slici 6. Profili na pokusnoj konstrukciji I obilježeni su oznakama P1-1, P1-2 i P1-3, dok su oznake P2-1, P2-2 i P2-3 korištene za pokusnu konstrukciju II. Može se vidjeti da se trajna deformacija na površini asfalta prostire na sličan način, ovisno o broju prolaza, kao i deformacija sloja nevezanog šljunka. Na površini su zabilježene znatno veće deformacije, naročito na pokusnoj konstrukciji I. Profil P1-3 nalazio se uz profil P2-1 na pokusnoj konstrukciji II, pa se stoga jasno vidio utjecaj debljine i veće krutosti asfaltnog sloja. Kao što se moglo i očekivati, deformacija asfalta i nevezanog sloja bila je veća na pokusnoj dionici I gdje je debljina asfalta iznosila tek 6,5 cm. Isto tako je očekivano da je deformacija (slijeganje) nosivog sloja bila znatno veća na pokusnoj konstrukciji I gdje je debljina asfalta iznosila samo 6,5 cm.

Obavljena je korelacija između dubine kolotruga na površini i trajne deformacije u nevezanom sloju šljunka debljine 15 cm. Deformacija (slijeganje) na površini asfaltnog sloja prikazana je za pokusne konstrukcije I i II na slici 7. u usporedbi s deformacijom izmjerenom na nevezanom sloju šljunka debljine 15 cm.

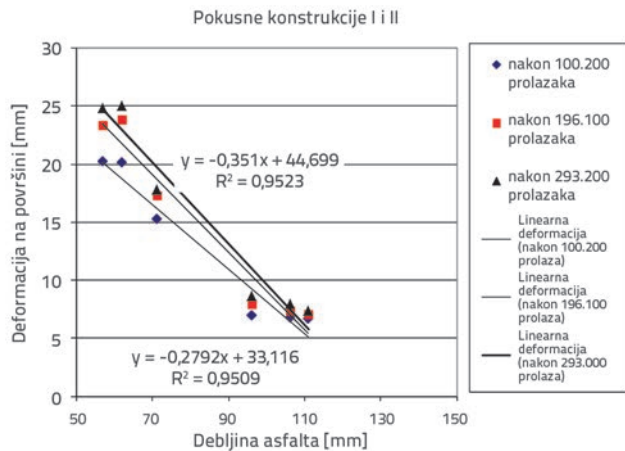


Slika 6. Pokusne konstrukcije I i II: a) kolotrazi na površini; b) deformacija nevezanog nosivog sloja



Slika 7. Korelacija između dubine kolotruga na površini i trajne deformacije nevezanog sloja šljunka debljine 15 cm na pokusnim konstrukcijama I i II

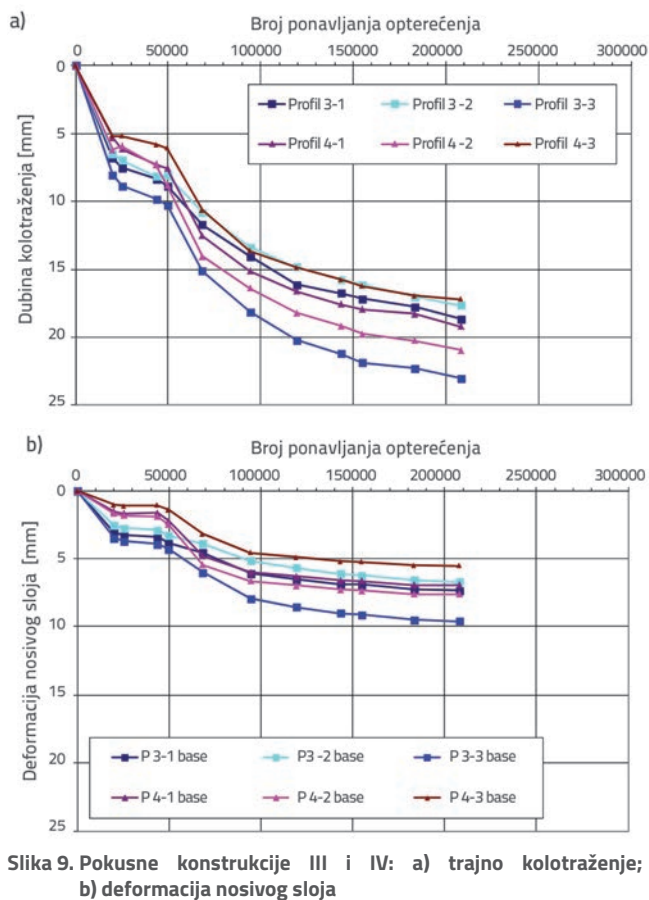
Pretpostavljeno je na temelju linearnog modela prikazanog na slici 7. da sjecište (2,57 mm) iz linearne jednadžbe predstavlja čistu početnu deformaciju kolničke konstrukcije. Iz nagiba krivulje vidimo daje više od jedne trećine deformacije (2,77) ostvareno u nevezanom nosivom sloju debljine 15 cm nakon početne deformacije. Međuovisnost trajne deformacije na površini i debljine asfalta prikazana je na slici 8. Možemo uočiti da veličina trajne deformacije znatno ovisi o debljini asfalta u slučaju manjih debljina asfalta (npr. 6,5 cm). Sa slike je vidljivo da je koeficijent korelacije dobar (0,95), te da kosina krivulje raste usporedno s brojem prolazaka.



Slika 8. Međuisnost trajne deformacije izmjerene na površini i debljine asfalta

3.2. Pokusne konstrukcije III i IV

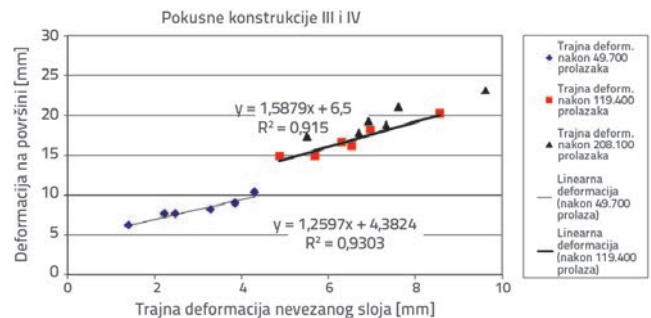
Osnovna razlika između pokusnih konstrukcija III i IV sastojala se u debljini asfalta (9,3 cm odnosno 13,6 cm). Nakon 50 000 prolazaka opterećenje na kotaču povećano je sa 60 kN na 80 kN. Slika 9. prikazuje prostiranje trajne deformacije po asfaltnoj površini pokusnih konstrukcija III i IV (slika 9.a), te trajnu deformaciju nevezanog nosivog sloja debljine 15 cm (slika 9.b).



Slika 9. Pokusne konstrukcije III i IV: a) trajno kolotraženje; b) deformacija nosivog sloja

Može se uočiti da linija prostiranja trajne deformacije na površini ima isti oblik kao i deformacija nevezanog sloja šljunka. Kao što se moglo i očekivati, deformacije u nevezanom sloju znatno su manje od onih na površini.

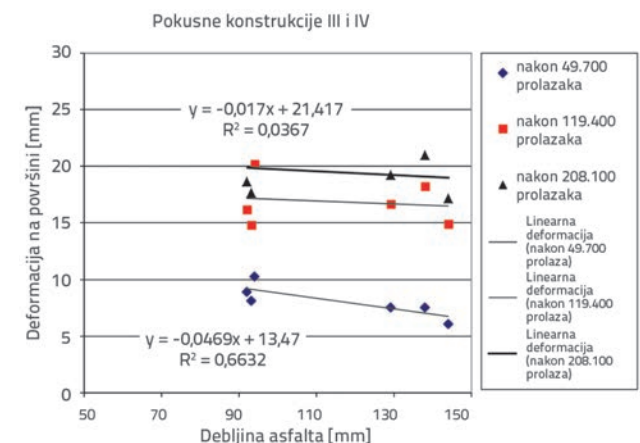
Ovisnost između deformacije (slijeganja) površine asfaltnog sloja na pokusnim konstrukcijama III i IV i deformacija izmjenjenih na nevezanom sloju debljine 15 cm prikazana je na slici 10. Ustanovljeno je da se ta ovisnost može opisati pomoću dva linearna modela. Prvi linearni model definiran je za opterećenje od 60 kN a drugi za opterećenje od 80 kN.



Slika 10. Korelacija između dubine kolotraga na površini i trajne deformacije na 15 cm od nevezanog sloj šljunka na ispitivanju konstrukcija III i IV

Na temelju linearnih modela prikazanih na slici 10. pretpostavljeno je da sjecišta (4,38 mm i 6,5 mm) na linearnoj jednadžbi predstavljaju istu početnu deformaciju kolničke konstrukcije. Iz nagiba krivulje vidimo da se više od polovice deformacije (1,26 i 1,69) nalazi u nevezanom nosivom sloju debljine 15 cm nakon početne deformacije.

Međuisnost trajne deformacije na površini i debljine asfalta prikazana je na slici 11. Može se uočiti da ako debljina asfalta iznosi više od 9 cm, tada je izmjerena trajna deformacija gotovo neovisna o debljini asfalta.

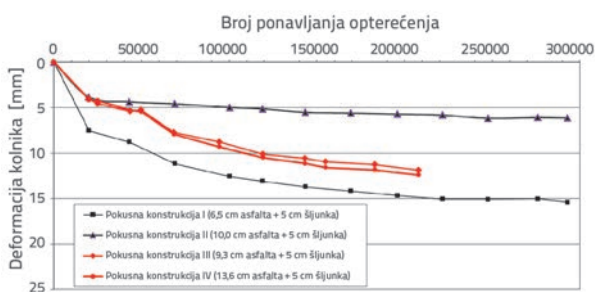


Slika 11. Međuisnost trajne deformacije izmjerene na površini i debljine asfalta

4.3. Analiza rezultata

Iz slike 12. vidimo da su prosječne deformacije na površini pokusnih konstrukcija II, III i IV bile slične jedne drugima kod nanošenja opterećenja od 60 kN. Na pokusnim konstrukcijama III i IV opterećenje je povećano na 80 kN nakon 50 000 prolazaka te je tada krivulja koja opisuje prosječne deformacije u odnosu na broj prolazaka postala strmija.

Ako se usporede linearni modeli prikazani na slikama 7. i 11., može se uočiti da je kod debljeg sloja asfalta većina deformacije koja nastaje na površini uzrokovana deformacijom nevezanog nosivog sloja koji se nalazi ispod asfaltnih slojeva. Također je na pokusnim konstrukcijama III i IV dokazano da je trajna deformacija gotovo neovisna o debljini asfalta kada se radi o slojevima asfalta debljine veće od 9 cm. Mali koeficijent korelacije uočen je nakon otprilike 50 000 prolazaka (0,66), s tim da nema korelacije između debljine asfaltnih slojeva i trajne deformacije nakon otprilike 200 000 prolazaka (0,04).



Slika 12. Pokusne konstrukcije od I do IV – prosječna deformacija kolnika

4. Zaključak

Na odabranim kolničkom konstrukcijama obavljani su pokusi ubrzanim nanošenjem opterećenja (ALT), a u tu je svrhu korišten simulator prolazaka teških vozila tipa HVS-Nordic. Kolnička konstrukcija definirana je tako da omogući simulaciju poboljšanja cesta slabe nosivosti, tj. njihovu prilagodbu za teško prometno opterećenje. Nevezani sloj pjeskovitog šljunka položen je na glinovitu posteljicu slabe nosivosti te je zatim zbijen na debljinu

od 60 cm. Ispitivanja su pokazala da je prosječna debljina kolnika u stvarnosti varirala od 6,5 cm na pokusnoj konstrukciji I, 10,5 cm na pokusnoj konstrukciji II, 9,3 cm na pokusnoj konstrukciji III, te 13,6 cm na pokusnoj konstrukciji IV.

Na svakoj pokusnoj konstrukciji obavljena su u razdoblju od otprilike dva tjedna ubrzana ispitivanja opterećenja u stvarnoj veličini, te su svaki dan mjerene dubine kolotruga i deformacije nevezanog sloja u funkciji nanesenog opterećenja. Na svakoj je dionici bilježen i broj ponavljanja.

Na najtanjim kolničkim konstrukcijama (5,7 cm do 7,1 cm) uočena je naglašena ovisnost između dubine trajne deformacije i debljine asfaltnog sloja. Međutim, sve trajne deformacije bile su jednake i nisu ovisile o debljini asfalta na drugim pokusnim konstrukcijama pri debljini asfalta od 9,3 cm do 13,6 cm. Također je ustanovljeno da je većina deformacija na površini uzrokovana deformacijom nevezanog nosivog sloja smještenog ispod asfaltnih slojeva, a u slučaju kada je debljina asfaltnih slojeva iznosila više od 9 cm. Može se zaključiti da bi bilo optimalno izvoditi asfaltne slojeve u debljini od otprilike 9 cm na podlogama slabe nosivosti, kao što je to bio slučaj na analiziranim pokusnim dionicama. Optimalna učinkovitost ovisi o modulima deformacije nevezanih slojeva i o debljini asfalta. Usvojeno je da deformacijski moduli mogu bitno ovisiti o udjelu vlage ili o razini podzemnih voda.

Ustanovljeno je da postoji dobra linearna ovisnost između trajne deformacije nevezanog sloja šljunka i trajne deformacije na površini (pojava kolotruga). Izračunana je krivulja regresije. Pretpostavljeno je da u linearnoj jednadžbi sjecište predstavlja čistu početnu deformaciju asfaltnih slojeva. Odnos između deformacije na površini i deformacije nevezanog nosivog sloja debljine 15 cm iskazan je kosinom regresijske krivulje.

Svi se naši zaključci isključivo temelje na zabilježenoj deformaciji kolnika. Poznato je međutim da je deformacija asfaltnog kolnika samo jedan od mogućih načina propadanja. Ostale značajne vrste sloma, tj. propadanja konstrukcije (kao što je pojava pukotina ili pojava udarnih jama), također se trebaju uzeti u obzir u konačnoj ocjeni mogućeg alternativnog rješenja. Zato su svakako potrebna dodatna ispitivanja kako bi se potvrdilo da deblje asfaltne konstrukcije nisu isplative kao mjera za sprečavanja preranog propadanja kolnika.

LITERATURA

- [1] Technical specifications for roads TSC 06.720 MERITVE IN PREISKAVE: Deformacijski moduli vgrajenih materialov, 2003.
- [2] Technical specifications for roads TSC 06.710 Meritev gostote in vlage - postopek z izotopskim merilnikom, 2001.
- [3] COST 347 Pavement Research with Accelerated Loading Testing Facilities; Draft Final Report; <http://www.pave-test.org/public.htm>; 12 February 2005.
- [4] Format: Final Technical Report, http://ec.europa.eu/transport/roadsafety_library/publications/format_final_report.pdf, 31.3. 2005.
- [5] Blab, R., Litzka, J., Girking, P.: Verification of Pavement Structure Design on A2 Toll Motorway in Poland using Heavy Vehicle Simulator HVS NORDIC Mark IV. Expertise for A2-Baudevelopment, Poznan, Poland. 2002.
- [6] Wilman, L.G.: Accelerated Load Testing of Roads – An Example of Trans-nationally Used Testing Equipment, Transport Research Arena Europe 2008, 2008
- [7] Wilman, L.G.: Accelerated Load Testing of Pavements – HVS Nordic tests at VTI Sweden 2003-2004. VTI report 544A, Linköping, Sweden, 2006
- [8] Tušar, M., Ravnikar Turk, M., Wiman, L.G., Kokot, D., Lenart, S., Kemperle, E.: D16 Guidelines for selection the most convenient upgrading systems based on results of heavy vehicle simulator, 6th FW project SPENS Deliverable, http://spens.fehrl.org/?m=32&id_directory=1789