

STRUČNI RADOVI

SIMPOZIJUM

BETONSKE
SAOBRAĆAJNICE

29. oktobar 2015.

GRAĐEVINSKI FAKULTET
U SARAJEVU

KAKANJ CEMENT
HEIDELBERGCEMENT Group



STRUČNI RADOVI

SIMPOZIJUM BETONSKE SAOBRAĆAJNICE

29. OKTOBAR 2015.
GRAĐEVINSKI FAKULTET U SARAJEVU

KAKANJ CEMENT
HEIDELBERGCEMENT Group



S. Riffel, dipl. ing. & E. Wagner, dipl. ing.
HeidelbergCement Technology Center GmbH, Leimen Germany

Posebna rješenja za saobraćajnice na bazi hidraulički vezanih materijala - novi pogled na obnovu i poboljšanje infrastrukture

Saobraćajnice su dominirajući faktor za rast i razvoj svakog društva. Dobro razvijena i infrastruktura koja se kontinuirano održava je okosnica industrije i trgovine. Strateško investiranje u infrastrukturnu mrežu će rezultirati ekonomskim rastom od povećanja prevoza i pokretljivosti radne snage, te će poboljšati državnu konkurentnost. Beton nudi dugotrajna infrastrukturna rješenja sa visokim stepenom nosivosti i sposobnosti odupiranja najsurovijim vremenskim neprilikama i povećanja saobraćajnog opterećenja. Posebna betonska rješenja u cestovnoj primjeni podrazumijevaju kontinuirano armirane betonske saobraćajnice vodopropustljiv beton protiv akvaplaninga kao i rješenja za popravke poput sistema presvlačenja betonom, brzog očvršćavanje betona za brze opravke ili čak kombinacije asfaltnih slojeva ojačanih cementnim emulzijama. Izdržljivost infrastrukturnih rješenja je ključ za praćenje budućih saobraćajnih izazova i ona će dominirati u odlukama o investicijama. U budućnosti će decenijski troškovi održavanja postati određujući faktor budućih infrastrukturnih rješenja umjesto početnog investiranja u ceste.

CRCP- Kontinuirano armiranje betonskih cestovnih površina - iskustvo njemačkog pilot projekta

2009. godine Heidelberg Cement AG je s pilot projektom "Geseke pristupna cesta" uspješno izveo „kontinuirano armirani betonski kolovoz“. Cilj projekta je bio napraviti cestu ispred jedne od tvornica cementa HeidelbergCement grupacije, kojom dnevno prolazi oko 500 kamiona od kojih je svaki težine 40 tona. Ti kamioni snabdijevaju cementaru sirovinama i isporučuju proizvode tvornice. Cesta dužine 1 km i širine 7,5 m (klasa II acc. RStO 01) sagrađena je s podužnom i poprečnom armaturom od čeličnih šipki (0,75% st. armiranja). Beton, klasa čvrstoće C35/45- XF4, XM2 prema DIN EN 206-1, debljine 22 cm, je postavljen uz upotrebu finišera za beton na postojeći stari asfaltni osnovni sloj debljine 10 cm.



Slika 1+2: *Kontinuirano armiranje, finiše za beton na traci 1*

Projekat je naučno podržao Ruhr University Bochum (RUB) i njemački Istraživački institut za federalne autoceste (SABT). Istraživanje je trajalo pet godina sa ciljem da se dobije uvid u stanje površinskih karakteristika kolovoza a posebno teksture, otpornosti na klizanje i buke od cestovnog saobraćaja. Cilj programa mjerenja je kreirati "životni vijek i prognozu ekonomske efikasnosti" za CRCP s brušenom teksturom baziranom na izmjenjenim vrijednostima.

Obrada površine procesom struganja (mljevenja, brušenja) korištenim po prvi put pri ovoj novoj izgradnji pokazalo je kako se može proizvesti ekstremno tiha kolovozna površina sa izrazito visokim stepenom hrapavosti. Struganjem površine uklanjaju se sve nepravilnosti nastale tokom proizvodnje betona i tako se dobiva potpuno ravna površina sa izrazito visokom voznom udobnošću. Sigurnost na cesti se poboljšava drenažom površinske vode, što smanjuje rizik od akvaplaninga.



Slika 3: *Površina nakon brušenja, razmak oštrica 2 mm*

Kriterij odluke za izgradnju CRCP-a

Zbog planiranja i statičkih strukturnih ograničenja nije bilo praktično izvesti standardnu izgradnju prema standardu ZTV Beton-StB na cijeloj cesti zbog nekoliko tehničkih razloga. Osim toga, nespojiva CRCP konstrukcija bi se trebala testirati tokom ovog pilot projekta. Glavni razlog za CRCP leži u izdržljivosti i održivosti ovog betonskog kolovoza. U datom slučaju bilo je neophodno izgraditi cestu na tlu nepovoljnih karakteristika i donjih slojeva ispod ploče i približno 20 m visokom novoizgrađenom nasipu u dijelu kamenoloma "Grone Nord".

Uprkos preciznom projektu izgradnje i nadzora nije se moglo zaustaviti slijeganje (klizanje) tla, što znači da standardna konstrukcija poprečnih „spojeva koji rade“ pričvršćenih moždanicima razmaka 5 m vjerovatno ne bi osigurala izdržljivu konstrukciju. U ovom slučaju prikladna je bila "elastična" konstrukcija bez spojeva kao što je jedan CRCP koji može apsorbirati svako slijeganje i/ili deformacije podstrukture bez nastanka štete.

Armatura

Stepen amiranja ploča je 0,75% pri čemu se podužne potporne čelične šipke (čelična konstrukcija 500S, dužine 16 m) promjera 20 mm polažu na poprečnu armaturu razmaka 17,5 cm. Betonski sloj preko longitudinalne armature je debljine ukupno 9 cm. Poprečna armatura promjera 16 mm je već postavljena na mrežaste nosače (11/7/6) u tvornici. Poprečna armatura je postavljena na asfaltni osnovni sloj sa razmakom od 60 cm pod uglom od 60°.

Longitudinalna armatura je oblikovana kako je planirano sa sistematskim preklapanjem od 1,50 m po dužini, gdje se preklapanja na istoj šipci granaju za 2,5 m. Čelične šipke su fiksirane žicom na preklapanjima, kao i poprečna armatura.

Velika pažnja je data preciznom i sistematskom postavljanju armature u toku izvođenja ovog kolovoza kako bi se osigurao kontrolisan razvoj pukotina (razmak pukotine, širina pukotine) u odnosu na povoljniju i dugotrajniju nosivost ploče. Ojačanje je postavljeno prema zahtjevima DafStb Smjernica pod nazivom "Kvalitet amiranja" zatim odobreno i ovjereno od strane ISB-a (Institut za amiranje betonskim željezom u Dizeldorfu). Sve u svemu, armatura je postavljena jako precizno, a rezultat toga je da je bilo potrebno samo nekoliko korektivnih mjerenja nakon odobrenja inspekcije.

Beton

Prilikom izgradnje CRPC-a korišten je beton klase čvrstoće C35/45-XF4, XM2 prema DIN EN 206-1. Betonska smjesa kao i rezultati početnog testa (IT) i našeg nadgledanja (CIM) mogu se pronaći u tabeli 1.

			IT	CIM	
				1 st lane 07/08 April 2009	2 nd lane 23/24 April 2009
Compressive strenght class	C35/45		-	-	-
Exposure class	XF4, XM2		-	-	-
Cement [kg/m ³] (DIN EN 197-1) [3]	CEM I 42,5 R		370	-	-
Aggregate size [kg/m ³]	Natural sand 0/2 Chippings 2/8 Chippings 8/16 Chippings 16/22	Diabase Diabase Diabase	535 271 464 619	-	-
Water [kg/m ³]			148	-	-
Water/cement ratio(eq)			0.40	0.39	0.40
Admixture [kg/m ³]	Air-entraining agent Superplasticizer		1.34 2.22	-	-
Fine grain content [kg/m ³]			391	-	-
Mortar content [kg/m ³]			510	-	-
Fresh concrete weight [kg/m ³]			2410	-	-
Fresh concrete					
Temperature, air [°C]			7	10-25	6-15
Temperature, concrete [°C]			12	17-21	16-20
Consistency (Degree of compaction)		V10 V30	1.34 1.37	1.24	1.33
Air void content [Vol-%]		10 min 30 min	6.4 6.0	4.2	3.6
Gross density (air void test pot) [kg/m ³]		10 min 30 min	2.39 2.41	2.46	2.46
Hardened concrete					
Density [kg/m ³]			-	2.46	2.44
Compressive strength [MPa]		f _{cm,cube} 7d 28d	44.1 57.6	61.2 68.7	- 64.6
Flexural strenght [MPa]		f _{ctm,bz} 28d	6.8	8.2	6.9
Tensile splitting strenth [MPa]		f _{ctm,sp} 28d	3.7	4.9	4.5
Static E-modulus [MPa]		28d	-	39600	-
Total air voids [Vol-%]			-	-	2.17
Micro air voids A300 [Vol-%]			3.20		1.47
Spacing factor L [mm]			0.13		0.20
Resistance to freeze-thaw with de-icing salts (CDF-test) [g/m ²]			147.1	-	-

Tabela 1: sastav betona, IT= početno testiranje, CIM= unutarnje nadgledanje u kompaniji

Popločanje

Zbog funkcionalnih razloga bilo je potrebno uraditi betonski kolovoz CRCP-a s veoma malom tolerancijom odstupanja debljine ploče (+2 cm/ -0,5 cm) zbog kontrolisanog stvaranja pukotina (razmak i širina pukotina) prema parametrima mjerenja, što bi se u jednu ruku moglo osigurati pažljivim konstruisanjem donjih slojeva kolovozne konstrukcije a u drugu ruku tačnim podešavanjem i potporom linijama žica za betonski finiše za izvođenje ploče betonske konstrukcije. Beton je postavljen uzduž približno 1030 m na 10 cm debelu asfaltnu podlogu (AC22TS) finišeom. Betonski kolovoz se izveo u dvije trake pri čemu je prva dionica širine 3,5 metara (sjeverna traka) i druga širine 4 m (južna traka).

Prema ZTV Beton-StB-u postavljena su 4 ojačana krajnja podupirača s razmakom od 5 m na početku i na kraju CRPC-rute na dionicama km 0+075 i km 1+106, u cilju apsorpcije napona smicanja ili longitudinalne sile koje su rezultat temperaturnih deformacija. Beton je proizveden u obližnjem Heidelberger Beton pogonu za gotovi beton, transportovan na gradilište u kamionima s otvorenom prikolicom, a zatim istovaren u pokretnu energetska liniju koja je izvedena paralelno sa betonskim finišeom. Snabdjevanje betonskog finišera se izvodilo sa strane, koristeći bager koji je istovremeno izvodio grubu početnu raspodjelu betona. Sloj asfaltnog betona je kontinuirano kvašen vodom tokom radova. Stvrdnuta masa se nanosila na površinu nakon završetka sa super zaglađivačem. U ovom slučaju uobičajeno tekstuiranje površine (vještački treset, katran, metenje) je izostavljeno pošto se uskoro trebalo izvršiti površinsko finiranje procesom brušenja.

Posebno sagrađene trake su spojene sidrima (20 mm, dužina 650 mm) u razmaku od 67cm kako bi se spriječilo razdvajanje traka u dijelu longitudinalnog konstrukcijskog spoja.



Slika 4+5: Prva traka s povezanim šipkama (lijevo); Krajnji podupirači u drugoj traci (desno)

Brušena tekstura

Kolovozna površina je završena na način da se izvelo podužno brušenje pri čemu su pravljena dva žlijebna razmaka (razmak oštice 2 mm i 3 mm/ širina oštice 3,2mm/ dubina brušenja 3 mm).

Tehničke i ekonomske prednosti i razlike između brušenja i betonske površine sa ispranim agregatom trebaju se ispitati kroz proces teksturiranja brušenjem koji se prvi put koristio u Njemačkoj u novoj gradnji. Cilj je bio da se postigne bolja redukcija buke i zahvat po manjoj cijeni koštanja u usporedbi sa "betonskim površinama sa ispranim agregatom." (Waschbeton Oberfläche)

Od 2006. godine "betonske površine sa ispranim agregatom" sa Dstro-vrijednosti od -2dB(A) se ugrađuju u Njemačkoj kao standardna betonska površina sa niskim stepenom emisije buke. Ovo je tehnički kompleksno i relativno skupo površinsko teksturiranje koje, također, uveliko zavisi od vremenskih uslova tokom izvođenja radova.

Ekonomska održivost brušene teksture naspram teksture sa ispranim agregatom

Troškovi brušenja i ispiranja agregata površine betonskog kolovoza se trenutno u Njemačkoj kreću od 4 € do 4,5 € po kvadratnom metru.

Međutim, izvođenje betonskog kolovoza sa brušenom teksturom rezultira mnoštvom daljnjih ekonomskih i tehničkih prednosti što se tiče proizvodnje, materijala, funkcije, dobiti u usporedbi s tehnički zahtjevnim postavljanjem duplog sloja betonskog kolovoza sa ispranim agregatom. Na primjer, izvođenje betonskog kolovoza može se izvoditi sa isplativijim betonima i jednostavnijom tehnikom postavljanja (npr. cjelokupni posao). Agregati čije su karakteristike pozicionirane ispod visokih zahtjeva za istaknute betonske slojeve (npr. kategorije PSV (53) F/15/ s/15) se, također, mogu koristiti. Eventualno je moguća i upotreba obliha zrna (šljunak) tipa Dmax 32mm.

Proces struganja ima i sljedeće tehničke prednosti:

- Proizvodnja koja ne ovisi od vremena i vremenskih prilika
- Visoko smanjenje buke tokom cijelog perioda upotrebe
- Odlično i dugotrajno prijanjanje
- Veoma dobru poprečnu i podužnu jednakost kao rezultat svih nejednakosti koje su izravnate u toku procesa finiširanja kolovoza
- Odlična odvodnja
- Odlične dinamičke karakteristike sa izrazitim stepenom udobnosti pri vožnji

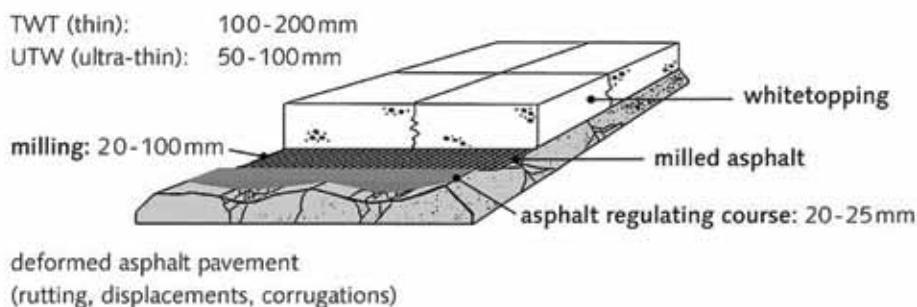
Sažetak CRCP pilot projekta

U sklopu pilot projekta Heidelberg Cementa AG "Geseke pristupna cesta", može se itekako dokazati da uz nove inovativne konstrukcije i površinske strukture - a posebno sa gradnjom bez spojnica "Kontinualno ojačanog betonskog kolovoza (CRCP) s brušenom teksturom - zadovoljeni su svi zahtjevi za modernom, mirnom, vrijednom i gradnjom sa malim održavanjem.

Itekako pozitivni rezultati i iskustva sa CRCP gradnjom i novom vrstom površinskog teksturiranja metodom struganja su, takođe, formirali bitan temelj za izgradnju novih testnih dionica na autocesti A94 tokom 2011. godine. Nova kombinovana metoda, konstruisanja CRCP plus DSH-V, kao i optimizacija buke brušene teksture, se testira u ovom projektu.

Presvlačenje betonom - brz i jeftin način rješavanja problema kolotražnja

Metoda presvlačenja betonom, koja potiče iz Sjedinjenih Američkih Država, brzo je, jeftino i održivo rješenje za održavanje i preuređivanje oštećenih i/ili nižerazrednih asfaltnih površina. Može se koristiti na različitim poljima primjene kao što su auto-putevi, federalni i seoski putevi, kao i općinski i privatni putevi, industrijske zone i mjesta za parkiranje. Ovo je idealno rješenje za uklanjanje problematičnih lokacija u užim gradskim područjima kao što su zone rasvjete, raskrsnice, saobraćajne trake za autobuski sobračaj i autobuska stajališta gdje se kolotrazi i ugačanja kolovozne površine najčešće stvaraju zbog dinamičkog naprezanja cestovne površine. Nasuprot uobičajenim metodama rekonstrukcije, ne moraju se ukloniti niti dijelovi ceste niti cijela površina. Za rekonstrukciju zamjenskih dijelova mora se izvaljati samo gornji sloj oštećene asfaltno površine. Da bi se ojačao zastor prevučenog dijela deformacije se izravnavaju pomoću tankog asfaltnog sloja i kasnije bivaju nanovo urađeni pomoću ultratanke presvlake (UTW) ili tanke presvlake (TWT) sloja. U oba slučaja, preostali asfalt služi kao podloga za betonski sloj (bijelo označava beton, a crno asfalt).



Slika 6: Princip projekta betonske presvlake

U slučaju da se kao metoda održavanja želi primijeniti metoda presvlačenja potrebno je da debljina osnovnog asfaltnog sloja bude najmanje 100 mm. Istovremeno se mora uzeti u obzir da se svi asfaltni pločnici ne mogu nadograditi tankim slojem betona. Da bi se donijela odluka o primjeni ove metode potrebno je:

- Istražiti uzrok oštećenja
- Istražiti stanje slijeva postojeće kolovozne konstrukcije
- Istražiti stepen oštećenja u pojedinačnim slojevima
- Ispitati nosivost postojeće kolovozne konstrukcije
- Testirati kvalitet asvaltnih slojeva (sile zatezanja u slojevima, sastav itd)

Iskustva u Sjedinjenim Američkim Državama su pokazala da vijek trajanja dionica sa presvlakama izloženog niskim stepenom saobraćajnog intenziteta i manjim opterećenjima može biti i do 30 godina. Zahvaljujući novim visokokvalitetnim betonima i modernim metodama postavljanja betona, u budućnosti će se čak i saobraćajnice sa visokim stepenom opterećenja moći održivo nadograditi tankim UTW slojevima.

Međutim, sva prethodna testiranja i aktivnosti izgradnje su pokazala da pažljiva usporedba projektnih alternativa, odgovarajući izbor građevinskih materijala i uređaja za ugradnju kao i najveći stepen pozornosti u toku izvođenja radova predstavljaju odlučujuće parametre za uspješnu i shodno tome održivu zamjenu metodom presvlačenja.

Priprema posteljice

Sve depresije moraju biti popunjene asfaltom (gdje je izvodivo popuniti prethodno nalvaženim makadamom, tamponom ili cestovnom podlogom bez veziva. Važno je uočiti da se dobro i jednako zbije, te da popravljene lokacije imaju zadovoljavajuću nosivost. Oštećene nestabilne površine i, gdje je potrebno, nestabilne podloge moraju se zamijeniti.

Po potrebi TWT/UTW područja treba napraviti pomoću linearnih i vertikalnih zarezova. Asfalt se mora nježno ukloniti struganjem (MFA) na određenu nominalnu visinu na svakom mjestu do potrebne debljine kolovoza. U cilju osiguranja optimalne smjese kao i postavljanja ravnomjerne i jednake visine TWT/UTW sloja, asfalt bi trebao biti uvaljan metodom višestrukih prelaza. Ako se, prilikom postavljanja zastora, primjenjuje betonski sloj na neuvaljanu asfaltnu osnovu ili na neizvaljanje dijelove, površina se mora očistiti i obilježiti, npr. pomoću visokotlačnih vodenih mlazova kako bi se stvorili preduvjeti za izdržljivu i dobru smjesu. Nakon valjanja, potrebno je temeljito mehaničko ili ručno čišćenje asfaltnih površina sa visokotlačnim čistačem, vodenim mlazom, vodenim aspiratorom ili bezuljnim zbijenim zrakom u cilju uklanjanja prašine i raznovrsnih čestica nakon mljevenja.

U slučaju toplog vremena, asfaltna površina se mora ohladiti vodom pomoću isparivača ili spreja kako bi se izbjeglo oštećenje kontaktne zone između asfalta i betona. Asfaltna površine visoko zagrijavane, generalno smetaju potrebnoj smjesi. Na temperaturi asfalta većoj od 45°C, jedino hlađenje vodom ili mješavnom tanke cementne paste ("krečenje") osigurava dovoljno efektivnu trajnu masu.

U slučaju dužeg izlaganja – otprilike više od jednog dana - nakon pranja, može biti potrebno očistiti površinu bezuljnim zbijenim zrakom neposredno prije postavljanja betona kako bi se uklonila prašina i nečistoća.

U osnovi, prije ugradnje betona, asfaltna površina mora biti navlažena, tako da se voda izvlači iz betona u cilju postizanja optimalne hidratacije. Tokom ugradnje površina mora biti "blago navlažena", tj. ne bi smjelo biti tečnih ostataka i lokvica koje bi mogle negativno uticati na svaku smjesu odnosno na kvalitetu betona (w/c omjer).

Beton

Primjer sastava betona koji se koristio za primjenu "whitetopping" tehnologije (tehnologije obnove postojećeg kolnika s betonskim gornjim slojem) na njemačkoj autoputnoj mreži na petlji BAB A99 Ottobrunn (južno od Minhena) prikazan je u tabeli 2:

Concrete strenght class		C35/45
Exposition class		XF4, XM2
Cement	[kg/m ³]	420 (CEM I 42.5 R)
Aggregate	[kg/m ³]	591 (sand 0/3 mm) 589 (granite-chipping 5/8 mm) 505 (granite-chipping 8/11)
w/c-ration	[-]	0,38
Admixture	[kg/m ³]	2.52 (0.60 % v.Z. FM) 0.29(0.07 % v.Z. LP) 6.30(1.50 % v.Z. SRA)
Additive	[kg/m ³]	3.80 (PE/PP-macro fibres 90/40)

Tabela 2: sastav betona za petlju Ottobrunn

Ugradnja betona

U skladu s sljedećim metodama gradnje, moguće je automatsko i ručna pougradnja betona s jednim ili dva sloja. Metoda ugradnje se uvijek mora prilagoditi veličini, geometriji i poziciji područja na kojem se postavlja.

- Klizni finišer
- Finišer sa visokim stepenom zbijanja
- Valjak za zbijanje
- Ručno postavljanje betona između okvira - npr. vibro greda, letva za ravnanje

Principi gradnje

U cilju osiguravanja visokog kvaliteta građevinskih radova, je potrebno da se poštuju slijedeći principi prilikom postavljanja TWT i UTW slojeva. Kod ručnog postavljanja, za ravnanje površine preporučljivije je krostiti letvu za zbijanje ili lasersku letvu. Osim toga, beton se mora učvrstiti pomoću uronjenih vibratora. Općenito, vibrirajuće letve za ravnanje nisu pogodne za postavljanje TWT i UTW. One bi se trebale koristiti samo za poboljšanje stanja površine.

Debljina betonskog sloja mora se odabrati na način da je statički potrebna debljina konstrukcije zadovoljavajuća i na najtanjim mjestima. Tokom cjelokupne faze postavljanja konzistentnost betona mora biti jednaka što je moguće više (premaz +- 2cm) da bi se ispoštovao propisani kriteriji glatkoće, zaravnatosti.

Spojevi kod TWT i UTW pločnika nisu uvijek pričvršćeni drvenim moždanicima ili spojeni. Ako jesu pričvršćeni drvenim klinom, drveni klin mora biti čvrsto fiksiran na podlogu u cilju sprečavanja bilo kakvih kretnji prilikom postavljanja betona.

U suštini, prihvatljivo odstupanje od kriterija ravnosti po dužini i poprečnom smjeru na završenom pločniku iznosi do 4 odnosno 6 mm unutar 4 m izmjereneog područja. Postavljanje betona bi se trebalo vršiti samo samo prilikom povoljnih vremenskih prilika; npr. ne bi se trebalo izvoditi kada pada kiša ili na nepovoljnoj temperaturi.

Stoga bi se trebali ispoštovati sljedeći parametri:

- Temperatura zraka: $> 5^{\circ}\text{C}$ i $< 25^{\circ}\text{C}$
- Temperatura svježeg betona: $> 5^{\circ}\text{C}$ i $< 30^{\circ}\text{C}$
- Visoka relativna vlažnost zraka: $> 50\%$
- Mala brzina vjetra: kvantitet isparavanja vode $< 1,0\text{ kg/m}^2\text{h}$
- Presvlaka ne bi se trebala izvoditi na niskim temperaturama $T_{\text{air}} < 5^{\circ}\text{C}$
- U cilju zaštite svježe betonske površine od isušivanja i kiše, moraju se poduzeti potrebne mjere opreza
- Ukoliko postavljanje betona kasni ili se prekida na period > 10 minuta, beton se u radnoj zoni mora pokriti, npr. folijom ili vlažnom vunom

Spojevi

TWT ili UTW sloj je prema smjeru kretanja razdvojen na plohe pomoću poprečnih i longitudinalnih spojeva, koji se formiraju kao vještački spojevi, spojevi širenja ili konstruktivni spojevi. Spojevi su obično orijentisani u odnosu na saobraćajnicu. Longitudinalni spojevi nisu namijenjeni za zonu traka za točkove. Fiksirane ugrađene komponente (npr. slivnici, ivičnjaci, ulazni otvori, uvijek se moraju odvojiti od pločnika pomoću pokretnih zglobova. Za urezivanje spojeva potreban je plan izrade spojeva. Prilikom planiranja i rezanja spojeva moraju se ispoštovati sljedeći parametri:

- Rezanje spojeva laganim sredstvima što je prije moguće, npr. sa mašinom za rezanje spojeva ili rezačem spojeva sa „mekanim rezom“
- Preferiraju se male razdaljine spojeva (longitudinalne i poprečne)
 - Maksimum od 12 do 15 puta debljina ploče za UTW slojeve sa standardnim betonom.
 - Maksimum od 18 do 25 puta debljina ploče za UTW slojeve sa betonom niskog stepena skupljanja, vlaknasto modifikovanog i visokokvalitetnog.
- Longitudinalni spojevi: rezanje spojeva i u longitudinalnom pravcu obično u centru osovine saobraćajne trake gdje je konstrukcija najtanja.
- Poprečni spojevi: odabir razdaljine spojeva zavisi od debljine slojeva i sastava betona (npr. u UTW približno 0,60 do 2,20m)
- Polja ili ploče po mogućnosti kvadratne ili pravougaone: relacija dužine/širine max. 1,5

- Dubina reza
 - Širenje spojeva (vještački spojevi, pokretni) najmanje 25%, maksimalno 30 % od TWT odnosno UTW debljine sloja
 - Intersticij (zbijeni spojevi) najmanje > 6mm
- Širina rezanja: > 3mm
- Spojevi se trebaju zatvoriti pomoću vrellog ili hladnog sredstva za zativanje (ZTV Fug-StB 01, TL Fug.StB 01). U zavisnosti od namjene upotrebe pločnika i očekivanog saobraćajnog opterećenja, moguće je dijeliti zglobove po UTW slojevima sa pečaćenjem ili popunjavanjem.

Njegovanje/tekstura površine

Preporučuje se upotreba jasno pigmentnih agensa zaptivanja (TL NBM-StB 09). U zavisnosti od strukture površine, preporučljivo je da se koristi 1,5 ili 2-struka količina od one koja se obično primjenjuje (približno 200-300 g/m²). Mora postojati zatvoreni stvrdnjavajući film.

- Na temperaturama zraka iznad 30° C, pri jakoj izolaciji, jakom vjetru ili visokoj relativnoj vlažnosti <50% beton se uvijek mora dodatno zaptivati od vlage (1 do 3 dana). Zaptivanje od vlage mora se početi što je prije moguće, tj. odmah nakon što se agens brtvljenja isušio i ne može se više saprati.
- Na temperaturama ispod 7° C moraju se koristiti prekrivači za zagrijavanje za zaptivanje npr. termo film, termo podmetači).
- Friški beton se mora zaštititi od smrzavanja dok ne dostigne jačinu zbijanja od ≥ 5MPa.
- Ako je potrebno, betonska površina se može zagladiti pomoću strujne lopatice.
- U cilju teksturiranja površine, mogu se primjeniti sljedeće metode: četkanje raskrižja, umjetni treset cijelom dužinom i istaknuti agregatni beton
- Završna betonska površina mora imati zadovoljavajuću otpornost klizanja i, po mogućnosti, visok stepen redukcije buke. Otpornost na klizanje se može testirati sa "testiranjem otpornosti klizanja" (SRT) i/ili pomoću mjernog sistema visokih brzina "bočna mjera sile" (SKM).

Otvaranje saobraćaja

Prije otvaranja zone za saobraćaj potrebno je da čvrstoća na pritisak $f_{c,cube} \geq 26$ MPa uočena na očvrnutim kockama. Takođe treba sagledati sljedeće parametre:

- Čvrstoću spajanja $f_{ct, v} \geq 0,5$ MPa (spoj snage rastezanja na T asphalt $\geq 22^\circ$ C)
- Čvrstoću na savijanje $f_{ct} \geq 3,5$ MPa (F3, 5)
- Čvrstoću na zatezanje $f_{ct} \geq 2,7$ MPa (SC2, 7)

Reference “whitetopping-a“ u Njemačkoj

Do danas uspješno su realizirani sljedeći UTW/TWT projekti:

- Testna staza u HeidelbergCement AG u cementnom pogonu Wetzlar (03/04)
- Testna staza na Union Benton Rosenheim (10/60)
- Rekonstrukcija autobusne saobraćajne zone u području tramvajske pruge u Darmstadtu (03/08)
- Rekonstrukcija zaobilazne ceste do gospodarstva TLS-spremnika, Stuttgart (04/08)
- Rekonstrukcija teretne/snabdjevačke zone na BW- Rohstoff + reciklaža, Stuttgart (04/08)
- Rekonstrukcija pristupne i izlazne rampe Zapad na BAB A99, AS Ottobrunn (04/08)
- Logistička saobraćajna zona na aerodromu Cologne/Bonn (03/09)
- Rekonstrukcija autobuske stanice u Stuttgart - Plieningen i Stuttgart_Birkach (04/09)
- Rekonstrukcija autobuske stanice u Bergisch Gladbach (03/10)
- Rekonstrukcija autobusnog depoa u Stuttgartu (07/10)
- Rekonstrukcija zone utovara/skladišta na CF Cronimet, Kirchheim a.N. (07/10)
- Rekonstrukcija autobuske trake na mostovnom krovu u Leipzigu (08/10)
- Testna staza na autocesti BAB A61, AS Bergheim (08/10)

Brzo očvršćivanje betona za popravke brzih cesta i aerodroma

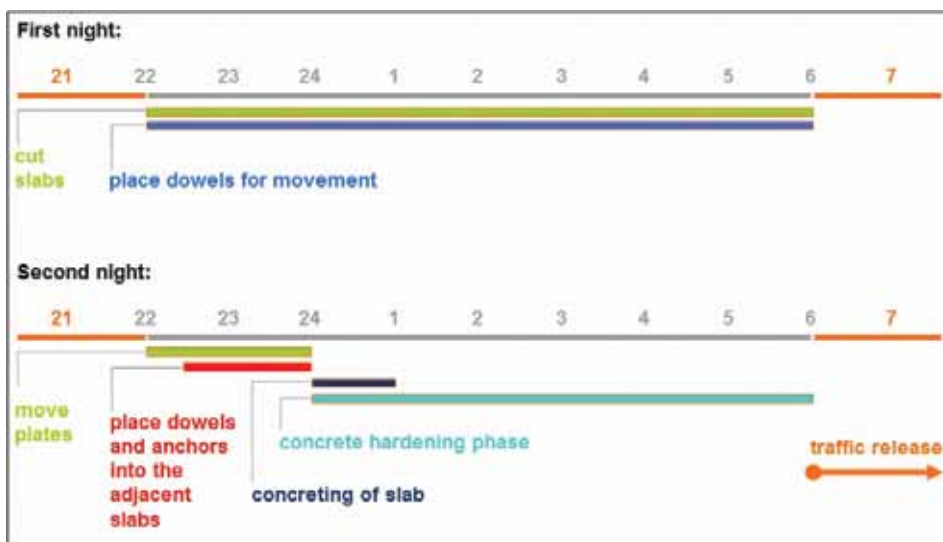
Sve važniji postaje brzi popravak saobraćajnih područja. Za ceste i područja aerodromskih usluga razvio se specifičan sistem brzih popravki, Chronocrete, kako bi mogao zadovoljiti zahtjeve. Ovaj sistem koristi standardne metode gotovog betona i pogodan je ukoliko se je nekoliko dodatnih zahtjeva uzeto u obzir. Postavljanje se izvodi sa betonom posebnog sastava u kombinaciji sa specijalno razvijenim konceptom kontrole kvalitete na izvedbenoj lokaciji. U narednim primjerima, popravljena autobuska traka na frankfurtskom aerodromu bi mogla biti otvorena za saobraćaj 4,5 sata nakon betoniranja, a aerodrom u Bonu nakon 4 sata. Ovi rezultati se mogu postići samo pomoću ubrzanih sistema betoniranja koji se zasnivaju na CEM I 52.5 R cementu visoke finoće u kombinaciji sa katalizatorom i povećanom temperaturom na svježem betonu.



Slika 7: *Popravak autobuske trake na frankfurtskom aerodromu*

Tendencija smanjenja vremena trajanja popravka cestovnih i aerodromskih površina je u stalnom porastu. U prvom primjeru iz 2009. godine, postavljen je vremenski okvir između 22.00 h i 06.00 h ujutro da bi se obnovile autobuske trake na frankfurtskom aerodromu. Prvu noć su izvršene pripreme, tako da se izvedbena lokacija može završiti naredne noći. Potrebni su bili betoni s osobinom brzog stvrdnjavanja koji su dosegali čvrstoću na pritisak od 20 MPa nakon 5 sati. Osim toga, kao što se može vidjeti u drugom primjeru na Bonu aerodromu, slični uvjeti vodili su ka istim zahtjevima po pitanju karakteristika materijala. Proizvodi vezani cementom obično ne dostižu ovako visok nivo čvrstoće ili se s njima mora rukovati veoma oprezno. Ovo iskustvo je za rezultat imalo potrebu da se razvije novi sistem popravke korištenjem betona sa osobinom superbrzog stvrdnjavanja. Razvoj se okoristio novim metodama u procesu proizvodnje cementa, kao i u poboljšanim mješavinama.

Vremensko planiranje pri izvedbi popravke autobuske trake na frankfurtskom aerodromu



Slika 8: Vremensko planiranje popravka autobuske trake na frankfurtskom aerodromu s početkom u 22:00 h, sa završetkom u 06:00 h

Osnovni materijali

U cementari u Ennigerlohu Njemačkoj, Portland cement CEM I 52,5 R (sp) se proizvodi kako bi se koristio za procese popravki. Ovaj cement pokazuje osobine brzog stvrdnjavanja čak i u svom standardnom obliku cementa. Značajan porast jačine na samom početku može se postići izmjenom procesa proizvodnje ovog cementa. Da bi se dostigao ovaj efekat dodat je dodatni materijal i znatno se povećala kakvoća struganjem (mljevenjem). Ovaj novi cement ispunjava sve zahtjeve standarda za cement DIN EN 197.1, a eksternu proveru njegove kvalitete (EG certifikat o usklađenosti) vrši Njemačka asocijacija za cement (VDZ) u Dizeldorfu u Njemačkoj.

Cement		CEM I 52.5 R	CEM I 52.5 R (sp)
Fineness by Blaine	[cm ² /g]	5282	7995
Water demand	[M.-%]	31.6	38.9
Na ₂ O-equivalent	[M.-%]	0.6	0.6
Compressive strength after	5h [MPa]	Not testable	1.8
Compressive strength after	8h [MPa]	0.9	17.0
Compressive strength after	24h [MPa]	32.3	42.5
Compressive strength after	2d [MPa]	47.3	53.4
Compressive strength after	28d [MPa]	73.5	71.2

Tabela 3: Usporedba standardnog CEM I 52.5 R i cementa visoke finoće CEM I 52.5 R

Zahvaljujući izrazitoj finoći ovog cementa, potrebno je prilagoditi njegov period postojanosti i obradivosti za upotrebu u posebno dizajniranim primjesama. Predstavljen je specijalni super plastifikator koji se temelji na PCE vrsti primjesa i ne može se lahko zamijeniti drugim primjesama.

Agregati s uobičajenim stupnjevitim krivuljama mogu se koristiti za proizvodnju ove vrste betona (vidi tabelu 2 za detalje). U cilju što preciznijeg podešavanja ukupne količine vode stalno se mora provjeravati.

Sastav betona

Cement	CEM I 52,5 R (sp) DIN EN 197-1	450 kg/m ²
Aggregates D _{max} 16 mm Aggregates > 8 mm (min. Category C _{90/1})	Fine aggregates(Natural sand) 0/2 mm	540 kg/m ²
	Coarse aggreg.(Gravel or shippings) 2/8 mm	360 kg/m ²
	Coarse aggreg.(Chippings) 8/16mm	900 kg/m ²
w/c-ratio (eq)	-	0.35-0.38
Admixture (super plasticiser)	1.2-1.6 M.-% of cement weight	5.4-7.2 kg/m ²
Temperature of fresh concrete	-	26± 2°C

Tabela 4: Sastav betona za popravku autobuske trake na aerodromu u Frankfurtu

Proizvodnja betona

S ozirom na prethodno navedene zahtjeve, prvi korak je bio napraviti recept u laboratoriji kako bi se potvrdilo njegovo funkcionisanje. Kasnije je praktično isti testiran na gradilištu. Posljednje testiranje obavljeno je na aerodromu u Frankfurtu 2009. godine. Morala se izmijeniti autobuska traka od 70 m², koja je bila izrađena od asfalta (debljine 0,25 m). Zbog vremenskog ograničenja ispostavilo se da je koncept brzo otvrdnjavajućeg Chonocretea betona odgovarajući materijal. Početni testovi potvrdili su da se ciljana konzistencija F3/F4 (450 do 540 mm) može postići ukoliko se vrijednost nanošenja premaza od 600 mm prema DIN EN 12350-5 prilagodi tokom vremena utovara kamiona. Vremenski okvir obradivosti dostigao je 60 minuta nakon što je počelo utovarivanje kamiona. Postignut je odgovarajući nivo miješanja, a strojevi za miješanje poput mješalice s dvostrukim oknom ili planetarni mikseri sa satelitima omogućili su odličan uticaj na rezultat miješanja. Zahtijevalo se vrijeme miješanja od 210 sekundi da se izmiješa dovoljno sav sirovinski materijal i dobio svježi homogeni beton. Duga i intenzivna procedura miješanja je naročito bitna prilikom korištenja nove generacije mješavina na osnovi PCE.

Temperatura izmjerena u svježem betonu bi trebala iznositi $26 \pm 2^\circ \text{C}$ kako bi se osigurala hemijska reakcija koja proizvodi snagu u ranoj fazi. Preporučuje se zagrijavanje betona (dodatna voda i agregati) u slučaju da su temperature umjerene. U cilju osiguranja uspješnih radova popravaka, bitno je uraditi testnu mješavinu od oko 1 m³ za mjerenje temperature, konzistencije, količine vode i w/c omjera. Osim toga, neophodno je provjeriti nivo vlažnosti agregata u cilju podešavanja tačne količine vode u mješavini.

Transport betona

Tokom proizvodnog procesa mora se izvršiti provjera konzistentnosti u vrijeme utovara u kamion. Da bi se izbjeglo gubljenje vremena tokom radova na popravci i da bi se zadržao vremenski okvir (60 minuta od utovara), konzistencija se mora vizuelno provjeriti. Samo u slučaju sumnje može se uraditi test nanošenja premaza ili zbijanja.

Prilikom transporta betona i čekanja na gradilištu, bubanj kamionske mješalice bi se trebao lagano okretati. Dodatno miješanje na velikoj brzini okretanja je potrebno prije istovara, što je uobičajena procedura kad je u pitanju obični beton. Treba se izbjegavati dugotrajno izlaganje suncu.

Ugradnja betona i finiranje površine

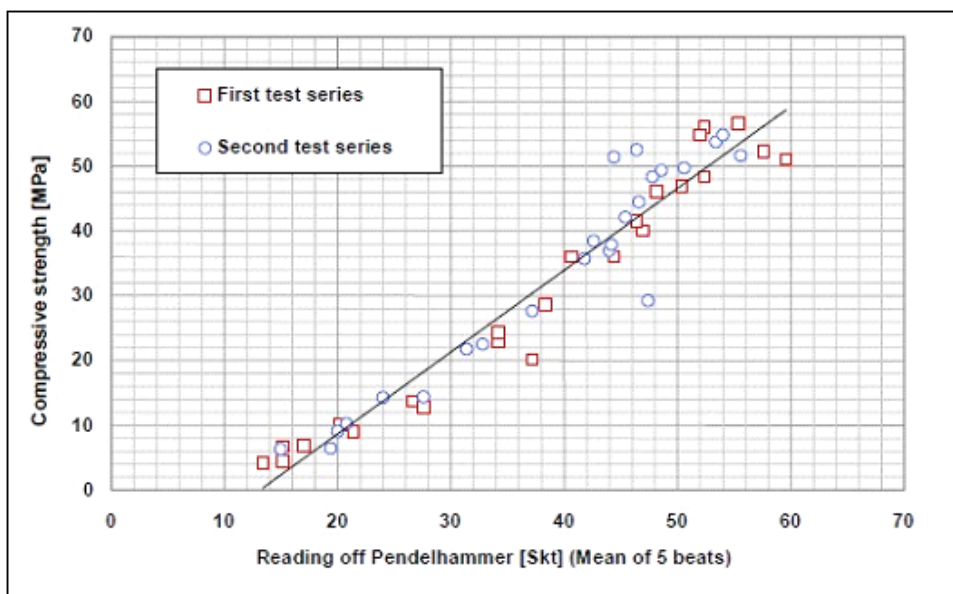
Zbijenost posteljice i donjih slojeva mora se izvršiti metodom kvašenja. Zbijanje betona treba se izvesti pomoću unutarnjih vibratora (početno zbijanje) i/ili vibrirajućih snopova (finiranje zbijanja i tretiranje površine). Površina bi se trebala ravnati mehaničkim ravnjačama betona i važno je što prije poduzeti taj korak, nakon zbijanja, tako što će se upotrijebiti poseban dodatni agens za uglačavanje. Da bi se završila izgradnja betonskog kolovoza tekstura se glačanjem nanosi na površinu. Beton se treba osušiti pomoću uobičajenih metoda i agenasa za sušenje. Termalna folija se dodatno uvijek stavlja po površini da bi se održala odgovarajuće visoka temperatura. Po potrebi se spojevi mogu rezati po uobičajenom postupku u odgovarajuće vrijeme.



Slika 9+10: *postavljanje i zbijanje (lijevo); betonska površina - teksturiranje pomoću glačanja (desno)*

Isptivanje nedestruktivnom metodom upotrebom uređaja pod nazivom "Pendelhammer" (klatni čekić) na osnovu kojeg se procjenjuje vrijeme kada se dato područje može otvoriti za saobraćaj (slika 10). Ova metoda testiranja za rezultat ima preciznije parametre u odnosu na testove pomoću "odskočnog čekića," ukoliko je prethodno izvršeno podešavanje. Potrebno je odrediti zavisnost u cilju podešavanje mjere kako bi se usporedili parametri ovog uređaja sa parametrima jačine zbijanja testirane kockama (proizvedenim za dato gradilište) i provjeriti da li su u korelaciji (slika). Ova metoda testiranja se trenutno predstavlja u "Njemačkim TP BEB-StB smjernicama za ceste".

Ova metoda je primjenjena aerodromu u Frankfurtu, a rezultat njene primjene je da se ova površina mogla otvoriti za saobraćaj nakon 4,5 sata.



Slika: 11 + 12: klatni čekić (lijevo) i krivulja podešavanja za izračunavanje snage (desno)

Popravka aerodroma

2009. godine u Njemačkoj je bilo potrebno izvršiti popravke 4 različita dijela kao što su dijelovi piste i rulne staze na aerodromu u Colognei/Bonnu. Vlasniku aerodroma je bilo veoma važno završiti kompletnu intervenciju u jednom zahvatu. Zadat je vremenski okvir od 10.00 h ujutro do 18.00 h popodne. Prije popravki dozvoljene su samo manje prethodne radnje, a glavni dio posla morao se izvesti u roku od 8 sati - uključujući i vrijeme očvršćavanja betona.

Property	M1 runway	target value
Date of production / test	17.07.2009	-
Temperature air [°C]	20-25	-
Temperature concrete [°C]	26.5	26±2
Consistency at RMC-plant a_s [mm]	560	580-620
Consistency at the site visual	plastic	540
w/c-ratio (eq)	0.36	0.36
Density (fresh concrete) [kg/dm ³]	2.463	-
Compressive strength $f_{c.cube28d}$ [MPa]	91.5	-
Pendelhammer-mean value [hh:mm/Skt] ¹⁾	04:00 / 67	05:00 / 35
Compressive strength from calibration [MPa]	68	20
Traffic release [h]	4.0	5.0
¹⁾ Age after beginning placement of concrete		

Tabela 5: Rezultati testiranja svježeg i očvrnutog betona, aerodrom na Colognei/Bonnu

Popravke su urađene pomoću *Chronocretea*. Beton je proizveden u betonari u Kelnu. Trebalo je 30 minuta da se prebaci na gradilište. Rezultati testiranja vezani za otvaranja površine za saobraćaj navedeni su u tabeli 5. Nakon 4 sata prvi avion je mogao slobodno proći preko obnovljene površine kao što je prikazano na slici 13. Sve popravljene površine bile su završene tačno na vrijeme.



Slika 13: *Popravljeni pistu ispred aviona*

Uspjeh popravka autobuske trake na aerodromu u Frankfurtu i visokokvalitetna ažurna popravka na aerodromu u Cologne/Bonnu pokazale su da Chronocrete predstavlja novu mogućnost za reagovanje u ograničenom vremenskom okviru na gradilištima. Osim toga, on nudi ekonomična rješenja koja smanjuju samo troškove materijala u odnosu na uobičajene sisteme za 30%.

Zbigniew Giergiczny
Silesian Tehnološki univerzitet, Gliwice, Poljska
Góraždže Cement S.A.

Zašto koristiti beton u izgradnji saobraćajnica? **Činjenice i mitovi**

Uvod

Godinama se analizira povećanje saobraćaja u Europi i širom svijeta. Procjenjuje se da je u posljednje dvije decenije porastao više od dva puta. Postoje dijelovi saobraćajnica na kojima saobraćajno opterećenje prelazi nivo 20 hiljada vozila u toku dana. Zbog ove eskalacije obima saobraćaja, ceste se oštećuju ili čak uništavaju. Kolotrazi na cesti su veoma česta pojava koja nastaje kao rezultat vožnje prenatovarenih kamiona tokom ljetnog perioda. Asfalt, posebno onaj koji nije visoke kvalitete, prilikom zagrijavanja pod uticajem sunca biva podložan deformaciji. Zbog toga su betonske površine najbolje rješenje za uslove ove vrste. Posmatrajući globalno, približno 5% cesta ima betonsku površinu. U nekim državama ova proporcija je mnogo veća, npr. u Njemačkoj (30-62%), Češka Republika (65% novih auto-puteva), Austrija i Velika Britanija (oko 50%). Veoma često se lokalne ceste, takođe, grade od betonskih površina. Ova studija prezentira prednosti betonskih saobraćajnica i prikazuje iskustva Poljske u njihovom unapređenju.

Zašto beton?

Postoji mnogo argumenata za izbor betonskih kolovoza. Najvažniji od njih su:

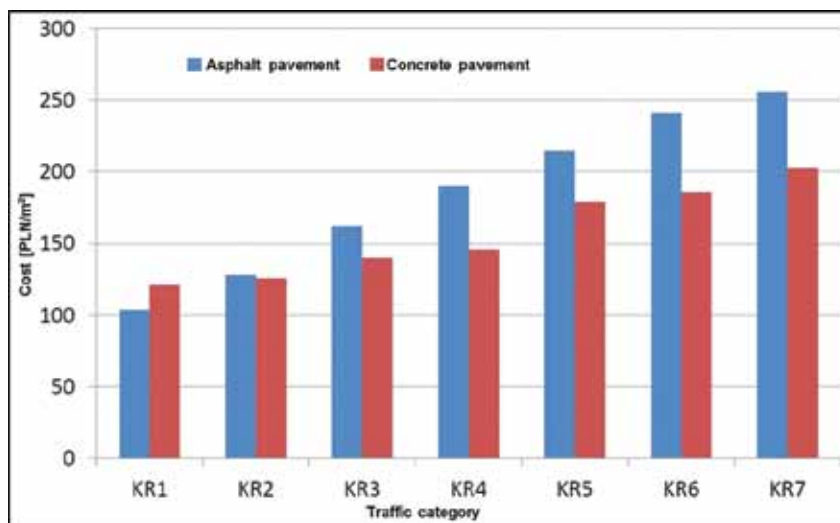
- povećana izdržljivost
- manji dugoročni troškovi
- proizvedeni su od dostupnih lokalnih (domaćih) sirovina
- bez kolotraga
- povećana sigurnost
- moguć potpuni proces reciklaže
- Ili čak jamstvo za niži stepen buke

Povećana izdržljivost

Betonske saobraćajnice su otporne na niske i visoke temperature. Izvode se na cestama sporog saobraćaja i visokog intenziteta saobraćaja. Usljed visokog intenziteta saobraćaja i visokih temperatura, asfaltne površine se deformišu, dok je beton, s druge strane, potpuno otporan na takve faktore. Velika čvrstina betonskih ploča tokom dugoročnih opterećenja ih preporučuje za izgradnju zbog intenzivnog kočenja, zaobilaznica (kružnih tokova), autobusnih proširenja, raskrsnica i mjesta za parkiranje. Na ovim mjestima betonska površina najbolje služi svrsi. Betonske površine su vremenski izdržljivije u odnosu na asfaltne. Pošto su asfaltni pločnici napravljeni da traju 20 godina, identična betonska površina može trajati 30 godina i više. Kao što praksa u mnogim državama pokazuje, izdržljivost betonskih kolovoza je obično u prosjeku 2,5-3,5 puta veća nego asfaltnih. Prilikom korištenja betona visokih performansi ovaj pokazatelj je čak i veći. Iskustva u različitim zemljama pokazuju da, nakon 20 godina korištenja, samo 5% betonskih kolovoza zahtijeva popravku.

Niži "dugoročni troškovi"

Cijena cestovne izgradnje zavisi od kategorije ceste (opterećenja/nosivosti). Prema pokazatelju [1], toškovi izgradnje betonskih površina su veći u odnosu na asfaltne površine samo na najnižim cestovnim kategorijama (lokalne ceste) (šema 1). U saobraćajnim kategorijama KR6 i KR7 (brze ceste, autoputevi), troškovi površinskog sloja su znatno niži. Ove podatke takođe potvrđuje analiza Instituta za istraživanje puteva i mostova u Varšavi, s procjenom za jednu traku dionice od 10 km autoputa (Tabela 1). Iskustva u drugim državama u ovom području su takođe jasna. (slike 1 i 2) [2,3]. Pod pretpostavkom da je investicijski trošak izgradnje betonskih pločnika malo veći, on se veoma brzo kompenzira nižim dugoročnim troškovima.



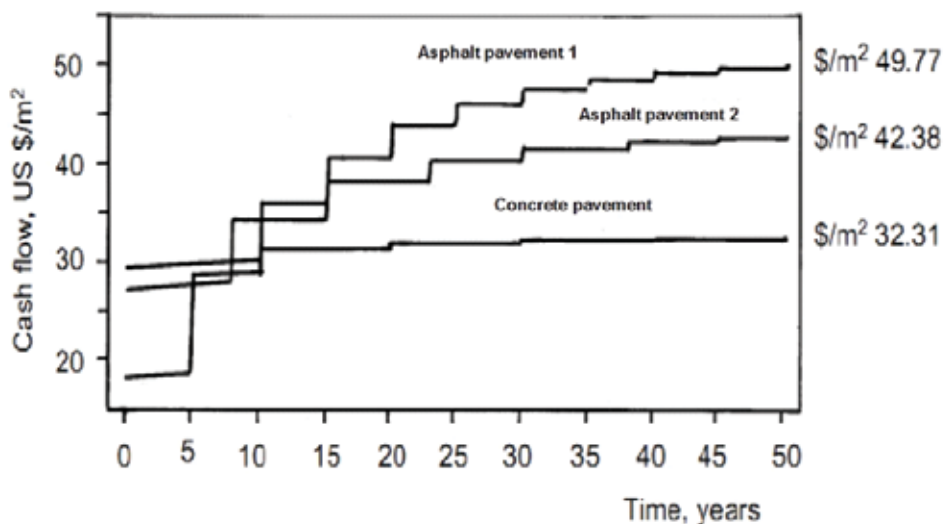
Slika1. Usporedba troškova izgradnje asfaltnih i betonskih površina

Povećana sigurnost

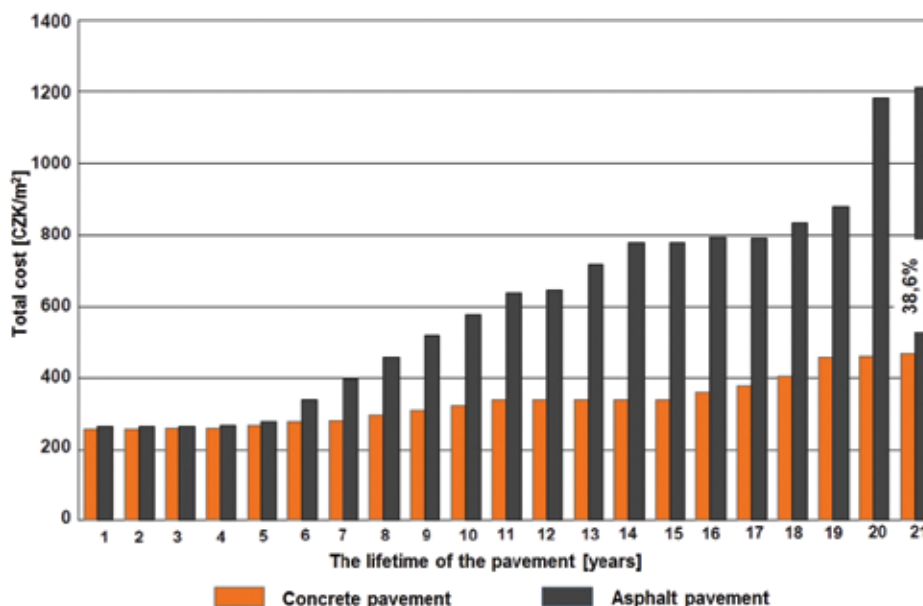
Ograničena otpornost na temperaturna variranja je nedostatak asfaltnih kolovoza. Na niskim temperaturama (tokom zime) asfaltne površine pucaju, dok se pri visokim temperaturama (tokom ljeta) doformišu, što uzrokuje pojavu udubljenja i ispupčenja. Kod asfalta lošeg kvaliteta, ljetne deformacije su toliko velike da sprečavaju kretanje teških vozila.

Tabela 1. Troškovi izgradnje i održavanja betonskih i asfaltnih pločnika (procjena za 10 km autoputa) (izraženi u PLN – Poljski Zloti)

	Cijena izgradnje [mln PLN]	Cijena održavanja [mln PLN]	Ukupna cijena [mln PLN]	Poredak uspostavljen po cijeni
Betonski pločnik – 30 godina trajanja	16,562	4,229	20,791	1
Asfaltni pločnik – 30 godina trajanja	21,607	6,025	27,632	2



Slika 2. Analiza troškova održavanja. Izvor: Funkcionalno vlasništvo betonskih cesta - Malin Löfsjögård, Odjel za građevniski i arhitektonski inženjering Kraljevskog tehnološkog instituta SE-100 44 Štokholm, Švedska

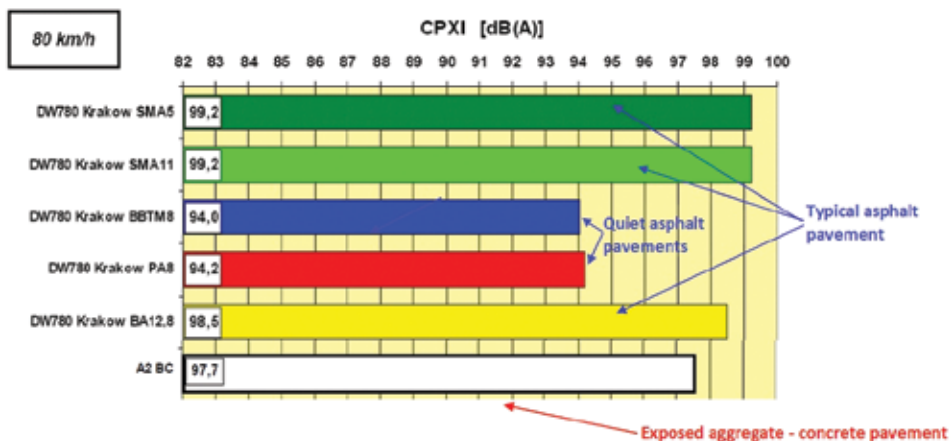


Slika 3. Ukupni troškovi u čitavom vijeku trajanja (LCCA) troškovi (Iskustva u Češkoj Republici)

Beton je mješavina potpuno otporna na vanjske temperaturne promjene. To je jedna od najvećih prednosti. Betonski pločnik ne prolazi nikakvu plastičnu deformaciju i na takvim površinama se ne javlja proces površinskih deformacija. Stoga, ovo rješenje je preferirana površina za spori i gusti saobraćaj.

Asfalt ima tamnu boju, što zahtijeva više energije za osvjtljavanje. Betonski pločnici su svijetli i vidljivi. Ovo je posebno važno tokom noćne vožnje na loše osvijetljenim saobraćajnicama i po lošim vremenskim uslovima. Svijetla betonska površina, također, predstavlja uštedu na osvjtljenju. Važna prednost betonskih površina iz perspektive sigurnosti je njena kvalitetna adhezija. Njemačka studija pokazuje da je stopa saobraćajnih nesreća na betonskim površinama za 32% manja u usporedbi sa asfaltnim [4].

Osim toga, zanimljiva je činjenica da nova poboljšanja betonskih pločnika (sa ispranim agregatom) odražavaju čak i niži stepen buke nego asfaltni putevi. (Slika 4)



Slika 4. *Stepen buke na površini*

Ostale prednosti betonskih cesta

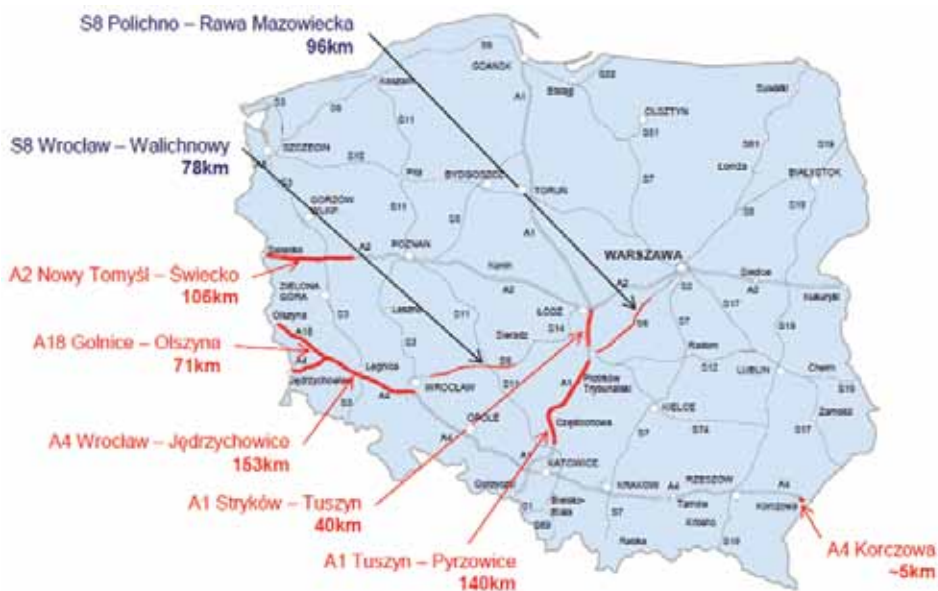
Betonski kolovozi su izrađeni uglavnom od općenito dostupnih sirovina u bilo kojoj državi: cementa, pijeska i lomljenog kamena. Postoji mogućnost pune (100%) i sigurne reciklaže betona. Potpuna betonska površina može se napraviti jednim prelazom - od temelja do habajućeg sloja. Svi sastavni dijelovi ceste unutar betonske tehnologije ne prolaze proces zagrijavanja. Energija se čuva, a emisija gasa u okolinu se smanjuje.

Betonske ceste u Poljskoj

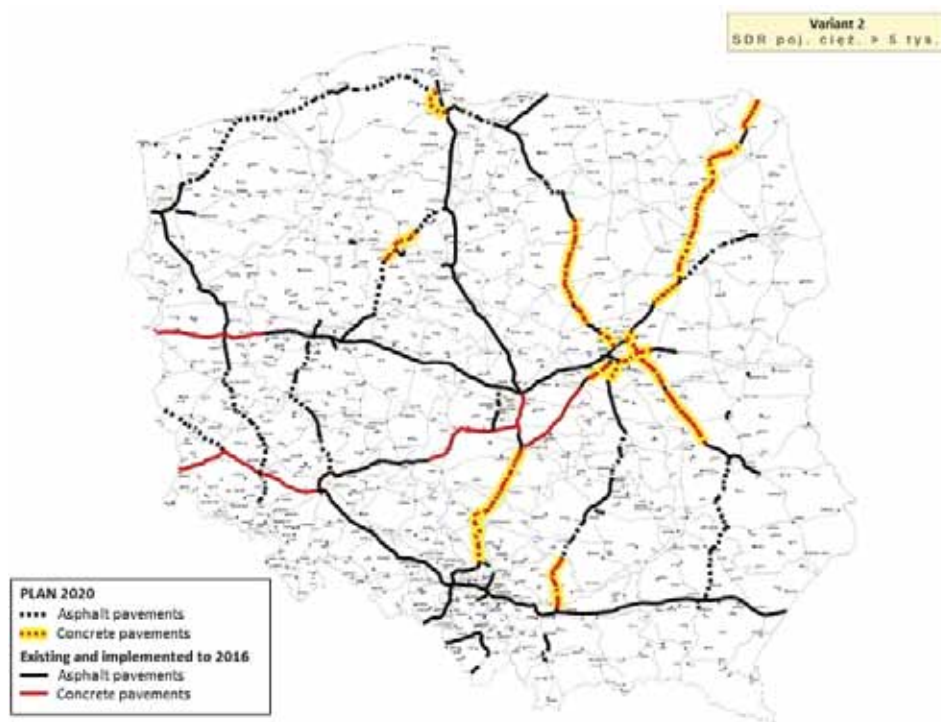
Svi afirmativni argumenti predstavljeni u paragrafu 2 inicirali su proteklih godina u Poljskoj izgradnju blizu 700 km autocesta i brzih cesta korištenjem betonske tehnologije (Slika 5) i preko 600 km lokalnih cesta. Izgradnja dodatnih 850 km autocesta i brzih puteva s betonskom podlogom se očekuje do 2020. godine. (Slika 6). Takvu odluku je donijela Glavna direkcija za državne ceste i autoceste u Varšavi na osnovu analize mnogostrukih kriterija po pitanju:

- analize saobraćaja,
- analize buke,
- analize prednosti i nedostataka načina rada,
- analize troškova izgradnje i održavanja u cijelom životnom ciklusu trajanja,
- analize cijena materijala i njihove stabilnosti.

Tabela 3 pokazuje dijelove autocesta i brzih cesta preporučenih za gradnju od betona. Godine 2020. kada će program investiranja biti potpuno završen, udio betonskih kolovoza će biti zastupljen sa približno 26% dužine svih dijelova brze ceste u Poljskoj.



Slika 5. *Betonske autoceste i brze ceste u Poljskoj. Ukupna dužina cesta od betona: autceste – 515 km, betonske brze ceste – 174 km*



Slika 6. *Prijedlog tipa kolovoza za brze puteve do 2020. godine*

Treba napomenuti da su Poljske betonske saobraćajnice pronašle svoje odgovarajuće mjesto u veoma profesionalnom i dugom promovisanju koji je sprovela Asocijacija proizvođača cementa u Poljskoj (konferencije, obuka, specijalističke publikacije i knjige, sudjelovanje na sajmovima iz oblasti cestovne industrije, izgradnja eksperimentalnih dionica cesta, specijalizovani članci u časopisima, web stranica: www.drogibetonowe.pl). Naravno, uzeli smo u obzir i pozitivna iskustva naših susjeda, posebno njemačko znanje.

Zaključak

Beton je u Poljskoj pored asfalta, alternativni materijal za izgradnju saobraćajnica, kako lokalnih tako i brzih cesta. Koristi se posebno na cestama sa visokim intenzitetom saobraćaja. Ispravno izgrađene betonske površine su uslov za sigurnu saobraćajnicu sa garancijom višedecenijskog trajanja. Konkurentan materijal za asfalt također, podrazumijeva napredak i razvoj tehnologija za visokokvalitetne saobraćajne površine u budućnosti.

Literatura:

- [1] SEKOCENBUD. Osrodek Wdrożeń Ekonomiczno –Organizacyjnych Budownictwa Promocja Sp. Zo.o. Warszawa, 2014r.
- [2] Michalski W. Kryteria wyboru rodzaju nawierzchni na drogach zarządzanych przez GDDKiA, Forum „Nawierzchnie betonowe“, Kraków, 2014 Kraków 2014
- [3] Deja J.. Dlaczego beton, Forum „Nawierzchnie betonowe“, Kraków, 2014 Kraków 2014
- [4] www.drogibetonowe.pl

Fleksibilne naspram krutih kolovoznih konstrukcija

Uvod

Kolovozna konstrukcija je struktura koja se sastoji iz više slojeva različitog materijala. Osnovni zadatak kolovozne konstrukcije je da preuzme uticaj saobraćajnog opterećenja odnosno, da napone izazvane djelovanjem točka vozila, smanji na prihvatljivu mjeru kako ne bi došlo do oštećenja posteljice na kojem leži kolovozna konstrukcija.

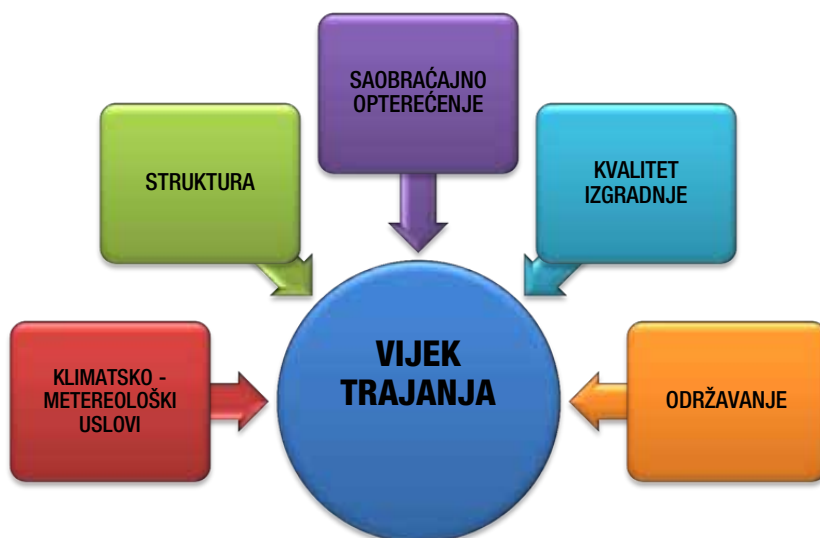
Neki od osnovnih zahtjeva koje kolovozna konstrukcija treba ispuniti su:

- da posjeduje dovoljnu debljinu i nosivost sa ciljem redukcije napona,
- da omogući odgovarajući stepen trenja sa ciljem sprječavanja proklizavanja točkova vozila,
- da bude što manje hrapava sa ciljem postizanja boljeg kvaliteta vožnje,
- da generiše što manje buke,
- da posjeduje što bolje karakteristike sa ciljem povećanja stepena sigurnosti,
- da su troškovi građenja i održavanja što manji, a nasuprot tome dug vijek trajanja.

Tradicionalno, kolovozne konstrukcije se dijele na fleksibilne (asfaltne) i krute (betonske) kolovozne konstrukcije. Osnovni elementi fleksibilnih kolovoznih konstrukcija su vezani asfaltni slojevi postavljeni preko nevezanog zrnastog materijala, dok u slučaju krutih vezane asfaltne slojeve mijenja betonska ploča.



Slika 1. Tipovi kolovoznih konstrukcija



Slika 2. Faktori koji utiču na ponašanje kolovozne konstrukcije

Tokom svog vijeka eksploatacije, kolovozna konstrukcija je izložena dejstvu saobraćajnog opterećenja i klimatsko - meteoroloških uslova. Također, bitan faktor koji determinira dužinu vijeka trajanja kolovoznih konstrukcija predstavlja i održavanje.

Mehaničko ponašanje fleksibilnih i krutih kolovoznih konstrukcija

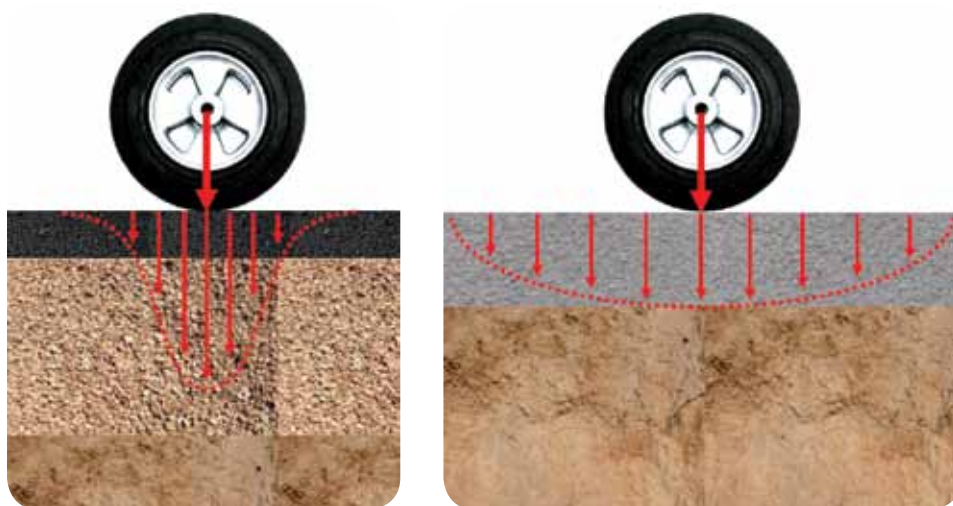
Kod fleksibilnih kolovoznih konstrukcija, opterećenje djelovanjem točka vozila se po dubini do posteljice prenosi na osnovu interakcije zrna granularnih materijala. To ima za posljedicu da fleksibilne kolovozne konstrukcije imaju nisku čvrstoću na savijanje. Fleksibilna kolovozna konstrukcija, usljed djelovanja opterećenja, ponaša se kao fleksibilna ploha.



Slika 3. Prenos opterećenja u granularnim strukturama



Slika 4. *Prenos opterećenja kod krutih kolovoznih konstrukcija*



Slika 5. *Komparacija prenosa napona u fleksibilnim i krutim kolovoznim konstrukcijama*

Najviše zastupljena oštećenja fleksibilnih kolovoznih konstrukcija su pukotine i trajne deformacije (kolotrazi). Pukotine nastaju kao posljedica prekoračenja napona na zatezanje ispod asfaltnih slojeva. Trajne deformacije (kolotrazi) su svojstveni za fleksibilne kolovozne konstrukcije i manifestuju se kao udubljenja u zonama prelaza točkova vozila.

Sa druge strane, najviše zastupljeno oštećenje krutih kolovoznih konstrukcija su pukotine usljed zamora. Djelovanjem saobraćajnog opterećenja pukotine od zamora nastaju kao posljedica odnosa napona na zatezanje pri savijanju i čvrstoće same ploče.

Klimatsko - meteorološki uslovi imaju značajan uticaj na kolovozne konstrukcije. Temperatura, vlaga i mraz direktno utiču na nosivost i trajnost kolovozne konstrukcije.

Kada bi postavili pitanje koji tip kolovoznih konstrukcija je bolji, teško je dati odgovor jer oba tipa imaju i prednosti i mane. Problem izbora ne može se riješiti na osnovu jednog kriterija. Izbor optimalne kolovozne konstrukcije se mora vršiti na osnovu više kriterija počevši od mehaničkog ponašanja pri dejstvu saobraćajnog opterećenja i klimatsko – meteoroloških uslova, troškova građenja, troškova održavanja, okolinskih efekata i dr.

Uticaj temperature je različit za fleksibilne i krute kolovozne konstrukcije. Kod fleksibilnih temperatura utiče na mehaničke karakteristike asfaltnih slojeva, dok kod krutih izaziva pojavu napona savijanja (u slučajevima nejednakih temperatura u vrhu i dnu ploče).

Pored temperature, voda ili mraz takođe mogu značajno uticati na nosivost i trajnost posebno donjih nosivih slojeva.

Generalno, inženjerske razlike između fleksibilnih i krutih kolovoznih konstrukcija su:

- vijek trajanja fleksibilnih kolovoznih konstrukcija je skoro i duplo manji od krutih,
- troškovi izgradnje fleksibilnih kolovoznih konstrukcija su manji od krutih,
- troškovi održavanja krutih kolovoznih konstrukcija su manji u odnosu na fleksibilne,
- kod fleksibilnih kolovoznih konstrukcija prenos opterećenja zavisi direktno od karakteristika slojeva, dok kod krutih prenos opterećenja zavisi gotovo u cijelosti od karakteristika betonske ploče,
- kako i prenos opterećenja, tako i nosivost zavisi od karakteristika svakog pojedinog sloja (kod fleksibilnih) dok kod betonskih zavisi od svojstava ploče,
- kod fleksibilnih kolovoznih konstrukcija defleksioni bazen se pruža značajno u dubinu dok je kod krutih on plići i širi,
- fleksibilne kolovozne konstrukcije imaju manje module elastičnosti (manje su nosive), dok je kod krutih je on značajno veći.

LCCA analiza

LCCA (eng. Life Cycle Cost Analyse) je procedura kojom se vrše poređenja dugoročnih ekonomskih vrijednosti alternativa, a rezultati ovih analiza mogu biti veoma korisni upravljačkim strukturama.

Prema AASHTO vodiču za projektovanje kolovoznih konstrukcija (AASHTO 1993), LCCA analiza kolovoznih konstrukcija obuhvata sve troškove, kako direktne tako i indirektno, sa kojima se može susresti upravitelj tokom jednog životnog vijeka kolovozne konstrukcije. Ugrubo, troškovi se mogu podijeliti na sljedeće kategorije: troškove građenja, troškove agencije koja upravlja kolovoznim konstrukcijama, troškove korisnika i troškove vezane za okolinske impakte. U troškove agencije koja upravlja kolovoznim konstrukcijama spadaju troškovi održavanja, rehabilitacija, itd., dok u troškove korisnika spadaju troškovi vremena putovanja i nesreća itd. [1]

Rezultati analize zavise od tačnosti ulaznih podataka pa u vezi s tim, pošto se radi o dugoročnim analizama, najveći stepen nepouzdanosti vezan je za cijene materijala, diskontne stope itd. Pored cijena, nepouzdanosti su vezane i npr. za predikcije obima budućih rehabilitacija i održavanja, kao i troškove korisnika.



Slika 6. Procedura “LCCA” analize

Istraživanje je sprovedeno na Islandu na hipotetskim dionicama ceste u periodu od 40 godina. Rezultati istraživanja ukazuju da, u slučaju manjeg intenziteta saobraćajnog opterećenja, fleksibilne kolovozne konstrukcije su rentabilnije. Granica kada krute kolovozne konstrukcije postaju isplativije iznosi 14.000 vozila na dan. Isplativost se povećava sa porastom učesća teškog saobraćajnog opterećenja u strukturi vozila. Analiza je pokazala da oko 40% cesta u saobraćajnoj mreži imapotencijal da zadovolji isplativost kada bi se izveli sa krutom kolovoznom konstrukcijom. Analiza osjetljivosti je pokazala da na isplativost najviše utiču ekonomski paramteri (diskonta stopa, cijene materijala) i nesigurnosti povezane u vezi s tim, a u manjoj mjeri održavanje kao i eksterni efekti. [2]

Istraživanja sprovedena u Indiji su vršena za projektni period od 20 godina sa diskontnom stopom od 10%. Rezultati su pokazali da su troškovi građenja 28% veći kod krutih nego u slučaju primjene fleksibilnih kolovoznih konstrukcija. LCCA analiza je pokazala da su krute kolovozne konstrukcije 20 - 25% jeftinije od fleksibilnih u projektnom periodu. Duži vijek trajanja krutih kolovoznih konstrukcija (preko 30 godina) naspram fleksibilnih (maksimalno 20 godina) ukazuje da nakon završetka projektnog perioda od 20 godina koji je odabran u analizi, krute kolovozne konstrukcije svakako traju još 10 godina. U tom smislu, a uvažavajući i povoljnije ekonomske pokazatelje, može se posmatrati da su i u ovom pogledu krute kolovozne konstrukcije povoljnije. [3]

Prema istraživanjima sprovedenim u Turskoj, koji su razmatrali utjecaj saobraćajnog opterećenja i karakteristika tla, zaključeno je da sa povećanjem saobraćajnog opterećenja i slabijih karakteristika tla, fleksibilne kolovozne konstrukcije postaju skuplje od krutih. Stoga se krute kolovozne konstrukcije mogu ravnopravno primjeniti na dvotračnim cestama u njihovim uslovima u ovom slučaju. Cijena fleksibilnih kolovoznih konstrukcija je naročito osjetljiva na cijenu nafte. [4]

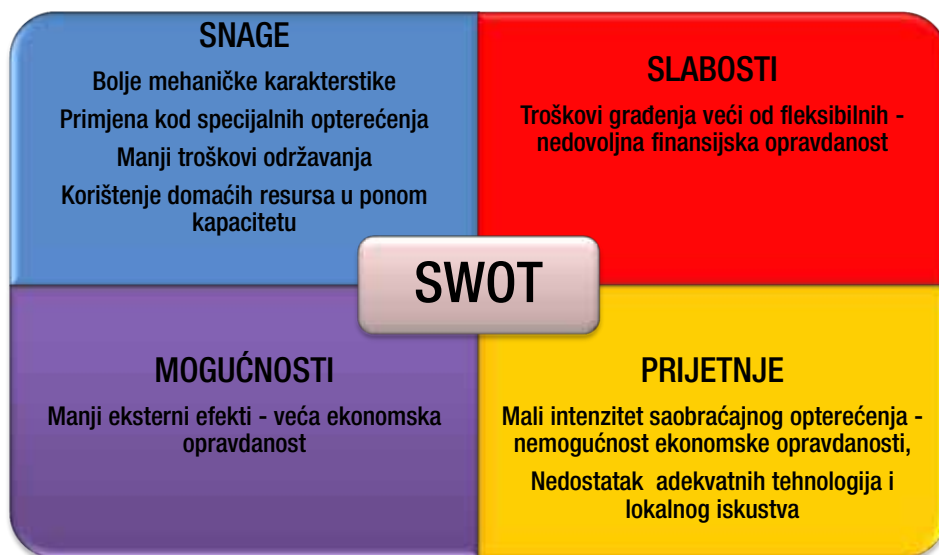
Istraživanja sprovedena u Keniji su pokazala da su ukupni ekonomski troškovi u posmatranom periodu od 39 godina krutih kolovoznih konstrukcija u odnosu na fleksibilne kolovozne konstrukcije manji, iako su inicijalni troškovi građenja veći. Pored troškova građenja razmatrani su još troškovi održavanja kolovoznih konstrukcija. Ukazano je da su krute kolovozne konstrukcije povoljnije što je projektni vijek za koje se radi ekonomska analiza veći. [5]

Dakle, iako su početni finansijski troškovi gradnje manji kod fleksibilnih kolovoznih konstrukcija, ukoliko se uzmu i svi ostali eksterni efekti u proračun, može se zaključiti da krute kolovozne konstrukcije imaju svoju opravdanost pod uslovom da je na cestama veći intenzitet saobraćajnog opterećenja. Kod krutih kolovoznih konstrukcija veća je ušteda goriva, sigurnije su, manji su operativni troškovi manja buka i emisija štetnih polutanata. Svi ovi eksterni efekti kada se predvide u kalkulacijama donose ekonomske benefite u korist krutih kolovoznih konstrukcija iako su oni početni finansijski na strani fleksibilnih.

Mogućnost primjene krutih kolovoznih konstrukcija u BiH

Statistički gledano, u Bosni i Hercegovini, se gotovo 100% primjenjuju fleksibilne kolovozne konstrukcije. Krute kolovozne konstrukcije se primjenjuju na naplatnim stanicama na autocestama, pojedinim benzinskim stanicama, ali upoređujući ove primjere u odnosu na čitavu cestovnu mrežu, primjena je zanemariva.

Mogućnost primjene krutih kolovoznih konstrukcija u budućnosti se može analizirati kroz SWOT analizu (slika 7).



Slika 7. SWOT analiza mogućnosti primjene krutih kolovoznih konstrukcija

Činjenica je da krute kolovozne konstrukcije zahtijevaju inicijalno veće troškove ulaganja nego fleksibilne, što u konačnici rezultuje manjom finansijskom opravdanošću projekta. Međutim, ukoliko se posmatra čitav vijek trajanja krute kolovozne konstrukcije, koji je značajno duži od fleksibilne, tada se, kroz ekonomsku opravdanost, postižu značajnije koristi. Također, činjenica je da su ekonomske koristi u funkciji saobraćajnog opterećenja, kako intenziteta tako i strukture. U vezi s tim najveće koristi se mogu postići na cestama visokog ranga u koje je u BiH zadnjih godina investirano u najvećem procentu. Posebno, krute kolovozne konstrukcije su povoljnije kada su u pitanju "specijalni" slučajevi kao što su npr. tuneli. Mogućnost primjene krutih kolovoznih konstrukcija u tunelima doprinosi povećanju sigurnosti, naročito kod "dugih" tunela od požara.

Zaključno, primjena krutih kolovoznih konstrukcija u BiH ima budućnost specijalno na cestama visokog ranga i objektima "specijalne" primjene. Činjenica je da investitore zanimaju direktne finansijske koristi (jer se koristi od eksternih efekata ne vraćaju direktno investitoru) pa u vezi s tim fleksibilne kolovozne konstrukcije su primjenjivane, međutim ukoliko se sagledaju ekonomske koristi u čitavom vijeku trajanja može se pretpostaviti da bi krute kolovozne konstrukcije mogle imati svoju opravdanu primjenu.

Literatura:

- [1] American Association of state Highway and Transportation, Guide for Design of Pavement Structures, 1993,
- [2] Asta G.S., Life Cycle Cost Analysis of Concrete and Road pavements, Reykjavik University, Iceland, 2011,
- [3] GrameenSampark, Publication, National Rural Roads Development Agency, India, 2006,
- [4] Akakin T. et al. Initial cost comparison of rigid and flexible pavements: under different traffic and soil conditions, http://ich.cl/descargas/wp-content/uploads/12-07-16_PAV_GPH_19-INITIAL-COST-COMPARISON-OF-RIGID.pdf.
- [5] Kipyator F.K., Cost comparison of concrete versus flexible pavement designs for steep to rolling sections along A104 road, Department of Civil and Construction Department, University of Nairobi, 2013

Sastav betona i tehnologija izvođenja konvencionalnih i RCC kolovoza

Općenito

Konvencionalni betonski kolovoz je kruta konstrukcija koja zahtjeva malo održavanja tokom eksploatacije kao i primjenu kod aerodromskih stajanki kada je uz cement sa brzim prirastom čvrstoće omogućeno korištenje stajanki nekoliko sati nakon postavljanja ploča.

Prve saobraćajnice sa betonskim kolovozom su izgrađene bez armature i bez poprečnih spojeva, što je rezultiralo pojavom poprečnih naprslina uslijed skupljanja betona. Uvođenjem poprečnih razdjelnica omogućeni su određeni uzdužni pomaci. Kod betonskih kolovoza bez armature razdjelnice se postavljaju na razmaku od 5 m i u njemu ne smije biti vidljivih prslina. Armirani betonski kolovoz dopušta razmak razdjelnica na 20 m do 30 m, međutim smanjuje udobnost vožnje, zahtijevaju se održavanje i popravke uz povećane troškove i ometanje saobraćaja.

Kontinuirani armirani betonski kolovoz (Continuously reinforced concrete pavement – CRCP) je kolovoz sa kontinuirano postavljenim uzdužnim armaturnim šipkama po cijeloj dužini kolovoza, koje se prekidaju samo na mjestima križanja kolovoza. Jedine poprečne razdjelnice u ovoj vrsti kolovoza su radne razdjelnice koje se ostavljaju nakon radnog vremena, na razmaku od oko 2000 m ili nakon radnog zastoja većeg od 30 minuta. S obzirom da su poprečne razdjelnice najslabije mjesto betonskog kolovoza, smanjenjem njihovog broja smanjuje se obim oštećenja kolovoza, a time i potrebno održavanje. Kontinuiranim armiranjem kolovoza dopušta se pojava tzv. vlasastih naprslina –malih poprečnih naprslina čije stijenke kontinuirana uzdužna armatura drži čvrsto priljubljenim.

Mehanička svojstva kontinuiranih armiranih betonskih kolovoza se posebno specificiraju projektom (shodno odredbama BAS EN 13877-2).

Za definisanje transporta, ugradnje i zbijanja betona zemljovlažne konzistencije (slijeganje nula) koristi se engleski naziv Rolled Compacted Concrete (RCC) kojem odgovara naziv u našem jeziku Uvaljani beton ili Valjani beton. Uvaljani beton je vezivni konstruktivni materijal koji sadrži iste komponente kao i konvencionalni beton, od kojeg se razlikuje po količini i vrsti vezivnih materijala, vodocementnom faktoru, tehnologiji i brzini pripreme i ugradnje, kao i po načinu zbijanja. Uvaljani beton se najčešće zbija u slojevima debljine 30 cm vanjskim vibriranjem tj. velikim vibro valjcima. Uvaljani zemljo-vlažni beton se u kolovoznu konstrukciju postavlja asfaltnim finišerom upotrebom iste metodologije projektovanja i iste nosive konstrukcije kao i konvencionalni beton, te se dobija završni sloj koji nije gladak kao kod konvencionalnih betona. Za efikasno zbijanje i formiranje strukture betona uvaljani beton mora biti dovoljno suh da nosi tešku vibro opremu i dovoljno vlažan da omogući adekvatnu distribuciju cementne paste kroz betonsku masu u toku mješanja i vibriranja.

Betonske mješavine za sve primijenjene vrste betonskih kolovoza moraju biti projektovane tako da osiguraju tražena mehanička svojstva, trajnost i ugradljivost uzimajući u obzir način ugradnje i završnu obradu betona koji će se primijeniti. Trajnost betonske ploče osim saobraćajnog opterećenja mogu znatno ugroziti ciklusi smrzavanja i odmrzavanja, soli za odmrzavanje, sulfati iz tla ili agregatno-alkalne reakcije. Ugradljivost je veoma važno svojstvo betona za betonski kolovoz. Konzistencija betona treba biti određena projektom tako da je prilagođena načinu ugradnje betona u cilju osiguranja njegove kvalitetne ugradnje i zbijanja. Takvom projektovanom i ostvarenom konzistencijom betona zadovoljit će se uslovi za svojstva betona u očvrslom stanju. Na ugradljivost betona u najvećoj mjeri utiču sadržaj vode, granulometrija agregata, dodaci betonu i sadržaj zraka.

Betonska mješavina

Sastavni materijali betona

Pod sastavnim materijalima betona treba podrazumijevati materijale:

- cement
- mineralni agregat
- vodu za proizvodnju betona
- hemijske dodatke

Pri projektovanju sastava betonske mješavine za betonske kolovoze trebaju se uzeti u obzir svojstva komponenti i betona prema odredbama standarda:

BAS EN 13877-1 Betonski kolovozi - Dio 1: Materijali i

BAS EN 13877-2 Betonski kolovozi - Dio 2: Funkcionalni zahtjevi za betonske kolovoze.

Pri izboru materijala za spravljanje betona predviđenog za betonski kolovoz treba prvenstveno obratiti pažnju na čvrstoću, trajnost, ugradljivost i ekonomičnost.

Zahtjevi kvaliteta za beton koji se ugrađuje u betonske kolovoze postavlja se u pogledu:

- čvrstoće na pritisak (klasa C fck, cil/fck, kocka)
- čvrstoće na zatezanje pri savijanju (klasa F ftk)
- čvrstoće na zatezanje cijepanjem (klasa S fsk)
- otpornosti na djelovanje mraza i soli za odmrzavanje u područjima sa značajnim uticajem naizmjeničnih ciklusa mraza i soli (klasa FT)
- otpornosti na habanje (klasa WR)

Čvrstoća na zatezanje savijanjem je kritično svojstvo betona za betonski kolovoz, a u najvećoj mjeri zavisi od količine cementa, veličine vodocementnog faktora, oblika zrna agregata te eventualnim dodacima betonu.

- Cement treba biti usklađen sa BAS EN 197-1, tipa CEM I ili CEM II razreda čvrstoće na pritisak 42,5 N/mm².
- Mineralni agregat mora biti podoban za spravljanje betona prema odredbama BAS EN 12620. Posebna pažnja se mora posvetiti izboru vrste agregata, prvenstveno sa stanovišta veličine koeficijenta toplotnog širenja (1/0C), jer vrsta agregata ima daleko veći uticaj na pojavu naprslina u odnosu na tip podloge. D_{max} – nominalno najveće zrno agregata (mm) ne bi smjelo preći 1/4 debljine sloja betona.

Veoma je bitno za agregat koji se predviđa za spravljanje betona koji se ugrađuje u betonske kolovoze izvršiti ispitivanje u pogledu otpornosti na habanje usljed djelovanja pneumatika sa klinovima, Nordijski test (BAS EN 1097-9).

Za Kontinuirani armirani betonski kolovoz (CROP) potrebno je izvršiti dodatna ispitivanja agregata u pogledu polirnosti i abrazije (vrijednosti PSV i AAV se trebaju utvrditi prema BAS EN 1097-8) radi pojava oštećenja kolovoza u vidu zaglađivanja agregata. Zaglađivanje agregata se javlja usljed trošenja veziva, čime se oguljuje krupni agregat koji se pod uticajem opterećenja zaglađuje. Stepem zaglađivanja reflektuje se u smanjenju površinskog trenja (klizavosti). Struktura kontaktnog sloja između zrna agregata i cementnog kamena znatno se razlikuje od strukture ostalog cementnog kamena. Ona je poroznija a razlikuje se i po mineraloškom sastavu. Stoga je kontaktni sloj po kvalitetu najslabiji dio betona u pogledu čvrstoće, vodonepropustljivosti, otpornosti na hemijsku koroziju i sl. Kontaktnom zonom smatra se tanki sloj cementnog kamena na kontaktu sa površinom zrna kamenog agregata. Debljina kontaktnog sloja iznosi 2-3 prečnika prosječnog zrna cementa (odnosno 0,06 mm). Lokalna zapreminska koncentracija kapilarnih pora u kontaktnoj zoni je veća nego u ostatku cementnog kamena, te kroz nju lakše prodire voda.

Propusnost kontaktne zone najviše zavisi od svojstava površine zrna i mineraloškog sastava agregata. Veoma je nepovoljno ako su zrna agregata obavijena slabovezanim glinenim ili kamenim česticama. Vrlo mali broj kristala cementa tada sraste sa površinom kamena, te je kontaktna zona veoma propusna. Od čvrstoće veze između cementnog kamena i agregata u velikoj mjeri zavisi vodonepropustljivost betona.

Kod uvaljanog betona (RCC kolovoza) preporučuje se uvećani sadržaj zrna manjih od 0,25 mm radi smanjenja tendencije za segregacijom i poboljšavanjem kompaktnosti. Na ovaj način smanjuje se potrebna količina cementne paste i vode.

Postoji više metoda za određivanje sastava uvaljanog betona, pri čemu se najviše koristi koncept zbijanja tla tj. za mješavine sa sitnijim agregatom (npr. 0/16 mm) i većim sadržajem veziva (iznad 250 kg). Koncept zbijanja tla se sastoji u određivanju maksimalne zapreminske mase u suhom stanju korištenjem modificiranog postupka zbijanja po Proctoru. Optimalna količina vode se određuje istim postupcima kao kod nasutog i cementom stabiliziranog materijala, uz modifikaciju opreme za zbijanje. Optimalna vlažnost uvaljanog betona (optimalni sadržaj vode) je ona količina vode pri kojoj se u laboratoriji po postupku Proctora ili modificiranog Proctora, primjenom određene energije zbijanja, postiže najveća zbijenost (najveća zapreminska masa). Mješavine uvaljanog betona sa manjom vlažnosti od optimalne će imati nešto veće čvrstoće, ali će se teže zbijati pa će se dobiti manja zapreminska masa, uz sklonost pojavi segregacije. Mješavine uvaljanog betona sa većom vlažnošću od optimalne će imati bolje karakteristike ugradnje (tj. smanjenu sklonost segregaciji) uz nešto veće čvrstoće.

Kod uvaljanih betona zapreminska masa je obično jednaka ili blago uvećana u odnosu na konvencionalni beton jer zbog niskog sadržaja zraka i niske početne količine vode čvrsta faza zauzima više prostora. Veoma je značajno poboljšati granulometrijski sastav sitnog agregata, radi smanjenja zahtjevane količine cementne paste. Poželjno je koristiti kvalitetan drobljeni agregat, preporučljiva je kombinacija krupnog drobljenog i sitnog riječnog agregata. Niske vrijednosti zapreminske mase uvaljanog betona obično nastupaju u slučaju više ili niže vlažnosti od optimalne, nedovoljnog zbijanja, neodgovarajuće amplitude ili frekvencije vibracija, vremena proteklog prije valjanja, loše granulometrije ili segregacije kao i nereprezentativnog ispitivanja. Nedostatak treba biti konstatovan i korigovan.

Radi ostvarivanja veće čvrstoće na zatezanje neophodno je izvršiti odabir agregata zadovoljavajućeg oblika zrna, prednost dati oštroičnim hrapavim zmima, a eliminisati glatka i duguljasta zrna.

- Voda za izradu betona treba biti pouzdano pitka iz gradskog vodovoda ili da je, u slučaju lokalnih izvora, dokazana upotrebljivost prema BAS EN 1008.
- Hemijski dodaci betonu (pastifikatori, aeranti) moraju biti sa početnim ispitivanjima dokazane efikasnosti djelovanja i usklađeni sa BAS EN 934-2.

U područjima gdje će konstrukcija betonskog kolovoza (Konvencionalni –klasični– betonski kolovoz) biti izložena ciklusima smrzavanja i odmrzavanja potrebno je aerirati betonsku mješavinu. Preporučene vrijednosti sadržaja zraka prema klasama izloženosti sa tolerancijom $\pm 1,5\%$ date su u tabeli 2.1.1.

Tabela 2.1.1: *Preporučeni sadržaj zraka (ACI 330R-08)*

nominalno maksimalno zrna agregata (mm)	tipičan sadržaj zraka u neariranom betonu (%)	preporučeni sadržaj zraka u aeriranom betonu (%)		
		blaga izloženost ¹	umjerena izloženost ²	jaka izloženost ³
10	3,0	4,5	6,0	7,5
13	2,5	4,0	5,5	7,0
19	2,0	3,5	5,0	6,0
25	1,5	3,0	4,5	6,0
38	1,0	2,5	4,5	5,5

¹ blaga izloženost odnosi se na klimatske uslove u kojima konstrukcija neće biti izložena ciklusima smrzavanja i odmrzavanja i solima za odmrzavanje.

² umjerena izloženost podrazumijeva uticaj smrzavanja, ali konstrukcija nije kontinuirano i dugotrajno izložena vlazi ili vodi prije perioda smrzavanja, niti solima za odmrzavanje.

³ jaka izloženost podrazumijeva snažan uticaj hemikalija za odmrzavanje na konstrukciju ili mogućnost zasićenosti usljed dugotrajne i kontinuirane izloženosti vodi ili vlazi prije perioda smrzavanja.

Dosadašnja ispitivanja su potvrdila da je nearmirani uvaljani beton ugrađen u betonski kolovoz otporan na djelovanje mraza i soli za odmrzavanje sa ostvarenom klasom izloženosti FT2.

Njega i zaštita ugrađenog betona

Zaštitu betonske površine od neposrednog djelovanja sunca i vjetra kao i od niskih temperatura treba započeti neposredno nakon ugradnje betona. Pri vlažnom njegovanju beton treba, čim to površina dopusti, prekriti materijalom koji zadržava vlagu i tokom njegovanja redovno ga održavati u vlažnom stanju. Hemijska sredstva za zaštitu betona od evaporacije vlage, koja na površini betona formiraju zaštitni film, moraju se prije upotrebe ispitati, a njihova efikasnost mora biti dokazana u stvarnim uslovima primjene.

Nanesena količina sredstva treba odgovarati količini koja je utvrđena prilikom ispitivanja njegove efikasnosti. Ako se utvrdi da efikasnost upotrijebljenog sredstva ne zadovoljava, treba odmah pokrenuti odgovarajući način njegovanja vlaženjem. Hemijska sredstva treba fino raspršiti i ravnomjerno nanijeti po površini betona. Trebaju biti svijetle boje tako da ne apsorbiraju sunčevu toplotu. Poželjno je da sredstvo za njegovanje sadrži pigment kako bi se pri nanošenju osiguralo razlikovanje površina na koje je sredstvo nanoseno od onih na koje još nije.

Tokom ili odmah nakon završne obrade betona može doći do pojave naprsina uslijed plastičnog skupljanja betona, pod uticajem niskih temperatura jednako kao i kod vrlo visokih temperatura, posebno u slučajevima kada je temperatura zraka veća od temperature betona. Niska vlažnost zraka i prisutnost vjetra povećavaju ovaj učinak. U tom slučaju moraju se poduzeti dodatne mjere kako bi se smanjila evaporacija sa betonske površine, odnosno potrebno je što prije početi njegovanje betona.

Uslijed bržeg sušenja gornje površine od dna betonske ploče dolazi do izvijanja njenih rubova prema gore. Tada vlastita težina ploče stvara napone zatezanja u sredini ploče sa njene gornje strane. Ukoliko se pri tome prekorači čvrstoća na zatezanje betona, dolazi do pojave naprsina. Ovaj tip oštećenja se može minimizirati ili izbjeći primjenom betonske mješavine sa velikim udjelom maksimalnog zrna agregata, snižavanjem sadržaja vode adekvatnim dodacima betonu za odgovarajuću konzistenciju, ugradnjom betona na suhu podlogu te efikasnim njegovanjem betona.

Soli za održavanje kolovozne površine u zimskim uslovima smiju se koristiti tek kada beton pouzdano dostigne otpornost na to vrlo agresivno djelovanje. Sigurnosti radi, to ne bi trebalo biti prije 90 dana nakon ugradnje betona. Do tada betonsku kolovoznu površinu treba održavati samo čišćenjem snijega i sipinom.

Kontrolna ispitivanja izvedenog betonskog kolovoza

Kontrola ostvarenih zahtjeva provodi se prema standardu BAS EN 13877-2 Betonski kolovozi - Dio 2: Funkcionalni zahtjevi za betonske kolovoze na cilindričnim uzorcima koji se vade iz konstrukcije betonskog kolovoza, odnosa $h/d=1$ i prečnika 100 mm i 150 mm. U navedenom standardu se navodi da ukoliko se čvrstoća na pritisak bude ispitivala na valjcima visine veće od prečnika treba je preračunati na cilindar visine jednake prečniku (ne manjem od 10 cm) prema tablici 1. standarda.

Na izvađenim cilindričnim uzorcima (kernovima) se određuju:

- **$f_{ck, kern}$** - karakteristična čvrstoća na pritisak za referentnu starost betona od 28 dana
- **CC8 do CC100** - ostvarena klasa čvrstoće betona na pritisak (CC $f_{ck, kern}$) sa ocjenom uslova kvaliteta (\geq CC20)
- **$f_{sk, kern}$** - karakteristična čvrstoća na zatezanje cijepanjem za referentnu starost betona od 28 dana utvrđena na cilindrima prečnika 150 mm i visine od 300 mm.
- **SC1,3 do SC6,0** - ostvarena klasa čvrstoće na zatezanje cijepanjem (SC $f_{fk, kern}$) sa ocjenom uslova kvaliteta (\geq SC1,7)
- **T1 do T5** - debljina betonskog kolovoza: kategorija T je u zavisnosti od ostvarenog odstupanja projektovane debljine kolovoza.

Debljina betonskog kolovoza se određuje kao aritmetička sredina pojedinačnih rezultata ispitivanja na cilindrima koji se buše kroz cijeli kolovoz za potrebe ispitivanja čvrstoće i ne treba biti manja od projektovane vrijednosti. Debljina betonskog kolovoza se utvrđuje razornom metodom (na izvađenim cilindričnim ugledima) ili nerazornom metodom. Dozvoljena odstupanja pojedinačnih izmjerenih vrijednosti u odnosu na projektovanu veličinu se prikazuju kategorijom T (tabela 3.1.)

Tabela 3.1.: Kategorije tolerancije debljine betonskog kolovoza utvrđuje se razornom metodom (na izvađenim cilindričnim ugledima) ili nerazornom metodom.

kategorija tolerancije	maksimalno smanjenje debljine kolovoza na pojedinačnom mjernom mjestu (mm)
T1	< 25
T2	< 20
T3	< 15
T4	< 10
T5	< 5

- **D** - prividna gustoća (zapreminska masa sa porama i šupljinama) ugrađenog očvrslog betona u vodozasićenom stanju.
- **FT0 do FT2** - zahtijevane (projektovane) klase izloženosti prema uticaju naizmjeničnih ciklusa mraza i soli za odmrzavanje (tabela 3.2)

Tabela 3.2: Klase izloženosti na djelovanje mraza i soli za odmrzavanje

klase izloženosti	najveći kumulativni gubitak mase poslije 28 ciklusa BAS CEN/TS 12390-9 (m28)	najveći kumulativni gubitak mase poslije 56 ciklusa BAS CEN/TS 12390-9 (m56)	brzina ljuštenja m56 / m28
FT0	ne zahtijeva se	ne zahtijeva se	ne zahtijeva se
FT1	prosječno $\leq 1,0$ kg/m ² pojedinačno $\leq 1,5$ kg/m ²	ne zahtijeva se	ne zahtijeva se
FT2	prosječno $\leq 0,5$ kg/m ²	prosječno $\leq 1,0$ kg/m ² pojedinačno $\leq 1,5$ kg/m ²	2

- **WR0 do WR4** - zahtijevane (projektovane) klase izloženosti na habanje usljed djelovanja pneumatika sa klinovima (tabela 3.3)

Tabela 3.3: Klase izloženosti na habanje usljed djelovanja pneumatika sa klinovima (BAS EN 13863-4 Betonski kolovozi - Dio 4: Metoda ispitivanja za određivanje otpornosti na habanje betonskih kolovoza usljed dejstva pneumatika sa ekserima)

klase izloženosti	relativni indeks habanja
WR0	ne zahtijeva se
WR1	> 135
WR2	> 110 i ≤ 135
WR3	> 85 i ≤ 110
WR4	≤ 85

- **X_m** - srednja vrijednost čvrstoće spoja(kod konvencionalnih betonskih kolovoza) dva sloja betona pri čemu treba da je zadovoljen kriterij:

$$X_m \geq f_v + 1,4 S_n [\text{N/mm}^2]$$

f_v - zahtijevana čvrstoća veze i kod normalnih betona iznosi 1,0 N/mm²

S_n - standardna devijacija (uvijek se koristi vrijednost $S_n \geq 0,4$)

VDP 2 - klasa vodonepropustljivosti betona;

Dubina penetracije (prodora) se zahtjeva kod visokorizičnog djelovanja goriva, ulja, kemikalija pri eksploataciji i utvrđuje se na cilindričnim uzorcima prečnika 150 mm i visine min. 80 mm koji se izlažu djelovanju vode pod pritiskom prema metodi BAS EN 12390-8. Dopuštena je dubina prodora vode u beton do 30 mm. Treba naglasiti da poroznost betona može biti različita pri istom vodocementnom faktoru, s obzirom da ona zavisi od niza drugih činilaca (cement, stepen hidratacije cementa, način ugrađivanja, njega betona). Poroznost betona može se efikasno smanjiti jedino smanjivanjem količine vode.

- $f_{fk, kern}$ - karakteristična čvrstoća na zatezanje savijanjem za referentnu starost betona od 28 dana i utvrđuje se na prizmatičnim uzorcima poprečnog presjeka 150 mm x 150 mm izvađenim iz očvrslog betona betonskog kolovoza

F2 do F10 - ostvarena klasa čvrstoće na zatezanje savijanjem (F_{fk}, prizma)

Literatura

[1] M. Muravljev: Osnovi teorije i tehnologije betona GK Beograd 1991.

[2] Z. Grdić : Tehnologija betona, GAF Niš 2011.

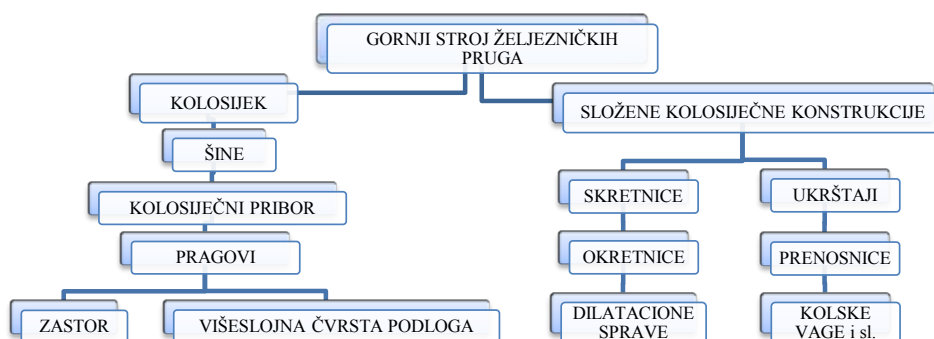
[3] T. Rukavina, M. Šimun, N. Mujkić Sukalić, I. Mustapić: Besprekidno armirani betonski kolnik

[4] Parkirališta s betonskom kolničkom konstrukcijom "Smjernice za projektiranje, građenje i održavanje betonskih parkirališta", Institut IGH d.d. Zagreb, 2014.

Primjena betona kao nosivog elementa u gornjem stroju željezničkih pruga

Uvod

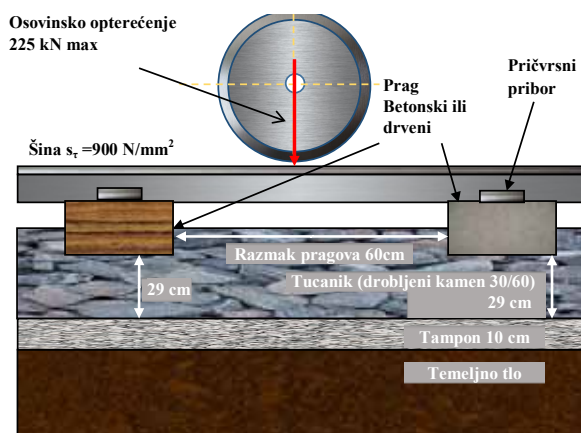
Elementi konstrukcije gornjeg stroja su (Slika 1.):



Slika 1. Elementi konstrukcije gornjeg stroja

Kolosijek je put po kome se razlikuje željeznički saobraćaj i čine ga dvije šine na standardnom rastojanju, koje su pričvršnim kolosječnim priborom povezane sa poprečno postavljenim pragovima.

Ovakav kolosijek može biti položen u tucanički zastor ili na čvrstu podlogu (konstrukcije kolosijeka bez tucaničkog zastora).



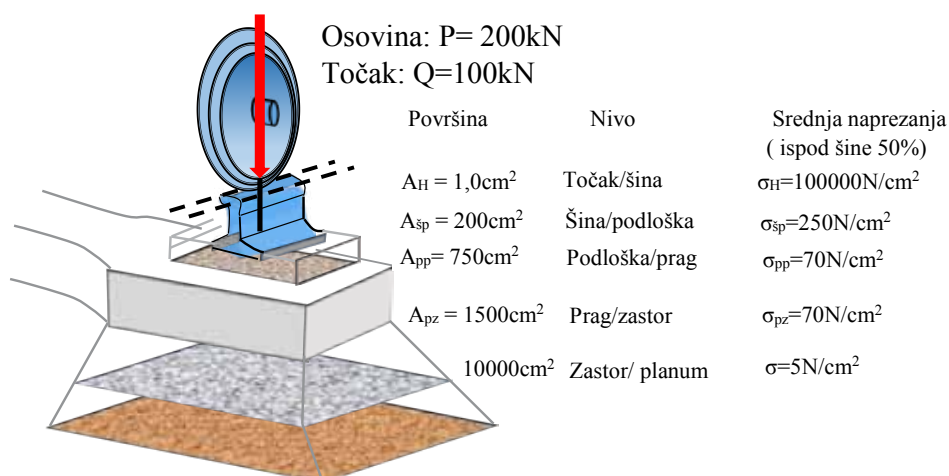
Slika 2. Kolosijek sa zastornom prizmom

Svi elementi gornjeg stroja trpe naprezanja uslijed djelovanja spoljnih i unutrašnjih sila, a posebno velika naprezanja trpe šine.

Sile koje djeluju na kolosijek mogu biti statičke i dinamičke.

Sile od saobraćajnog opterećenja na kolosijek su:

- vertikalne (od osovinskog opterećenja),
- horizontalne bočne sile (od vodoravnih bočnih sila),
- horizontalne uzdužne sile (od pokretanja, kretanja i kočenja).
- dodatne sile (dinamički uticaji uslijed brzine, prelaz točkova preko sastava šina, prelaz točkova na ravnim mjestima na vijencu, prelaz točkova vozila preko oštećene šine, unutrašnje uzdužne i bočne sile uslijed temperaturnih promjena).[1]



Slika3. Opterećenje elemenata kolosijeka

Kolosijeci sa zastornom prizmom

Kod šinskih sistema, opterećenje nastalo uslijed prolaska vozila, preko šina i pričvrstnog pribora prenosi se na pragove, a zatim na tucanik i konačno na temeljno tlo –planum (slika 3.).

Može se primijetiti (slika 3.) da najveća naprezanja trpe šine i zbog toga je od najveće važnosti izabrati, u zavisnosti od predviđenog opterećenja, odgovarajući tip šina. Međutim, pored toga, jako je bitno odabrati i ostale elemente gornjeg stroja, naročito odgovarajući tip pragova.

Od izabranog tipa pragova (drveni, betonski, čelični) u najvećoj mjeri zavisi izbor tipa pričvrstnog pribora, materijala za izradu zastorne prizme, kao i oblik zastorne prizme.

Izbor tipa pragova

Sa aspekta izbora odgovarajućeg tipa pragova, u inženjerskoj praksi na našem području se vrši izbor između dva tipa poprečnih pragova: drvenih i betonskih.

Poprečni pragovi od čelika se uglavnom više ne primjenjuju, te postoje samo na nekim dionicama pruga nižeg ranga, gdje nije moguća ugradnja drugog tipa pragova zbog eksploatacionih uslova.

Da bi se mogao napraviti pravilan izbor potrebno je: sagledati sve prednosti i nedostatke oba tipa pragova, njihovo učešće u preuzimanju opterećenja i način na koji se to opterećenje preuzima.

Učešće pojedinih elemenata gornjeg stroja u preuzimanju opterećenja je prikazano u Tabeli 1.

Tabela 1. Učešće pojedinih elemenata gornjeg stroja u preuzimanju opterećenja[2]

Kolosijek sa drvenim pragovima:		Kolosijek sa betonskim pragovima:	
šina	0,2%	šina	0,2%
pričvršćenje	25%	pričvršćenje	34%
prag	15%	prag	0,8%
zastor	20%	zastor	22%
zemljani trup	39,8%	zemljani trup	43%

Može se primijetiti (Tabela 1.) da je kod kolosijeka sa betonskim pragovima učešće samog praga u preuzimanju opterećenja znatno manje nego u slučaju drvenih pragova.

Drveni pragovi su mnogo elastičniji i preuzimaju do 15% opterećenja, te na taj način smanjuju pritisak na zastornu prizmu i zemljani trup.

U tabeli 2. prikazani su osnovni prednosti/nedostaci betonskih pragova u odnosu na drvene pragove.

Tabela 2. Prednosti i nedostaci betonskih u odnosu na drvene pragove[2]

Prednosti:	Nedostaci:
Otpornost na atmosferilije	Neelastičan kao podloga šina
Velika čvrstoća	Osjetljiv na udarce
Sloboda u oblikovanju	Osjetljiv na agresivne vode
Otporan na vatru	Zahtjeva mehanizovano polaganje i održavanje
Zbog veće težine pogodan za DTŠ ¹	

¹ Dugi šinski trak.

U prošlosti su drveni pragovi bili cjenovno nešto povoljniji u odnosu na betonske pragove.

Međutim, u posljednje vrijeme usavršavanjem tehnološkog procesa proizvodnje betonskih pragova, uslijed nedostatka kvalitetnih prirodnih materijala za izradu drvenih pragova, kao i sve strožijih ekoloških zahtjeva u pogledu primijenjenih sredstava za njihovu impregnaciju, betonski pragovi imaju nižu cijenu od drvenih pragova.

Naravno, u pogledu cijene, veliku ulogu igraju i transportni troškovi, odnosno da li se u neposrednom okruženju lokacije na kojoj se predviđa ugradnja pragova nalaze postrojenja za proizvodnju pragova i koje su vrste ti pragovi.

Najveći nedostatak betonskih pragova proizilazi iz njegove znatno veće težine od cca 300 kg (koja je tri do četiri puta veća nego kod drvenih pragova) i koja zahtjeva mehanizovano polaganje i održavanje.

Uslijed krutosti neophodno je da materijal od kojeg je izrađena zastorna prizma ima najbolja fizičko-mehanička svojstva koja zadovoljavaju isključivo kameni agregat eruptivnog porijekla.

Pored toga, zahtjeva se veoma dobar kvalitet materijala i izvedbe donjeg stroja pruge što dovodi do povećanja početnih ulaganja.

Nešto veća početna ulaganja se kompenziraju kroz duži vijek trajanja pragova² kao i kroz smanjenje troškova održavanja.

Proces proizvodnje i materijal za izradu betonskih pragova

Postoji više tipova betonskih pragova koji se prema tehnologiji proizvodnje dijele na pragove od amiranog ili prethodno napretnutog betona, odnosno prema obliku na jednodijelne ili višedijelne³ (slika 4.)



Slika 4. Jednodijelni i dvodijelni pragovi od prednapretnutog betona

² Prosječan vijek trajanja drvenih pragova je 10 godina bez impregnacije, odnosno 30 – 40 godina sa impregnacijom, a betonskih pragova od 50 – 60 godina.

³ Višedijelni pragovi se rade od amiranobetonskih blokova koji se postavljaju ispod šina i elemenata koji ih povezuju - stare šine (francuski prag RS) ili drugi čelični profil (kružna cijev kod holandskog praga).

U prvim godinama proizvodnje pragova, dužine pragova su iznosile od 2,30 - 2,40 m, dok se u posljednje vrijeme proizvode pragovi dužina od 2,60 m, izuzetno i do 2,80 m, a u cilju povećanja otpora pomijeranja praga po zastoru i smanjenja pritiska na zastornu prizmu.

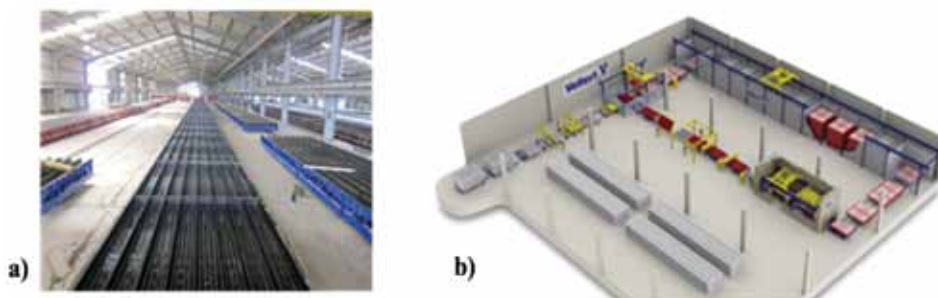
Oslonačka površ praga je različite širine: pri krajevima oko 300 mm, u sredini 200 - 250 mm.

Najbolji su monolitni jednodijelni pragovi koji se izrađuju od prethodno-napregnutog betona, gdje se dobra homogenost presjeka ostvaruje utezanjem većeg broja tanjih žica.

Kod same proizvodnje neophodno je bilo ovladati tehnologijom proizvodnje betonskog praga da se dobije kvalitetan i monolitan prag.

Usavršavanjem vibracionih stolova i tehnologije prednaprezanja dobiven je zahtijevani kvalitet betona i monolitnost praga.[2]

Prednaprezanje adhezijom se vrši na posebnim stazama u fabrici (slika 5a).



Slika 5. *Proces proizvodnje pragova od prednapregnutog betona*

Proces proizvodnje prednapregnutih pragova čine faze rada prikazane na slici 6.



Slika 6. *Faze rada kod proizvodnje pragova od prednapregnutog betona*

Na kraju procesa pragovi se vade iz kalupa.

Postoji i drugi način proizvodnje, koji je u široj upotrebi, a kod kojeg se proizvodni proces bazira na kružnom toku proizvodnje zatvorenog ciklusa (slika 5b.), u kojem se kalupi na odgovarajući način pomijeraju od jedne stanice do druge.

Na svakoj radnoj stanici mašine vrše svoju funkciju, a sam proces se sastoji iz istih faza i istog je redoslijeda kao u gore opisanom slučaju.

U oba slučaja radi postizanja dobrih rezultata u proizvodnji, odnosno radnog učinka postrojenja⁴ potrebno je da komponente betona budu kvalitetne i da omoguće brzo vezanje (očvršćavanje) betona i oslobađanje kalupa. [3]

Materijal od kojeg se izrađuju pragovi od prednapregnutog betona mora da zadovolji sve propisane standarde u cilju sprječavanja oštećenja pragova i omogućavanja nesmetanog odvijanja saobraćaja predviđenom brzinom tokom cijelog životnog vijeka.

Za osovinska opterećenja od 25 t i brzine saobraćaja do 200 km/h materijal za izradu monolitnih prednapregnutih pragova prikazan je u tabeli 3. [4]

Tabela 3. Osnovne karakteristike materijala za izradu monolitnih prednapregnutih pragova

BETON MB 60 (C50/60)	ČELIK
Beton koji se ugrađuje u pragove treba imati sljedeće minimalne čvrstoće:	Kvalitet čelika zavisi od sile prednapreznja i od mogućnosti proizvođača čelika za prednapreznje.
<ul style="list-style-type: none"> • minimalna čvrstoća betona na pritisak poslije 28 dana 60 N/mm², 	Uobičajene karakteristike čelika za europsko tržište su sljedeće:
<ul style="list-style-type: none"> • minimalna čvrstoća betona pri popuštanju prednapreznja 40 N/mm², 	<ul style="list-style-type: none"> • granica velikih izduženja: 1420 N/mm²,
<ul style="list-style-type: none"> • čvrstoća betona na zatezanje pri savijanju poslije sedam dana 6 N/mm², 	<ul style="list-style-type: none"> • granica kidanja: 1620 N/mm²,
<ul style="list-style-type: none"> • Slump klase S1 u skladu sa ENV 206 10 - 40 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • relaksacija nakon 1000 sati pri 70% opterećenja na kidanje: 3,5%.
<ul style="list-style-type: none"> • max. veličina zrna agregata. 	

Materijali za proizvodnju betonskih pragova, njihovo ispitivanje kao i ispitivanje gotovih pragova trebaju da su u skladu sa Europskim normama EN 13230 za betonske pragove.

Prije ugrađivanja rade se sljedeća ispitivanja: čvrstoća na pritisak i zatezanje betona i ispitivanje na savijanje pragova (DB-TL 918) i svi pragovi izloženi ispitivanju moraju zadovoljiti propisane uslove.[4]

Betonski ili drveni pragovi – LCC analiza

Da bi se napravila ispravna ekonomska evaluacija investicije potreban je novi pristup i pogled na sve troškove kroz životni vijek infrastrukture, odnosno koristiti anuitet⁵, za procjenu svih alternativa projekta.

⁴ Dobrim učinkom se smatra od 0,6 do 0,8 radnih sati po pragu.

⁵ Pod ovim pojmom podrazumijeva se kontinualno plaćanje s fiksnim ukupnim godišnjim troškovima.

U oblasti planiranja, strategije održavanja i obnavljanja željeznica sa aspekta ekonomske evaluacije investicija u posljednje vrijeme sve više se koristi LCCA (eng. Life Cycle Cost Analysis) analiza koja se provodi u više faza.

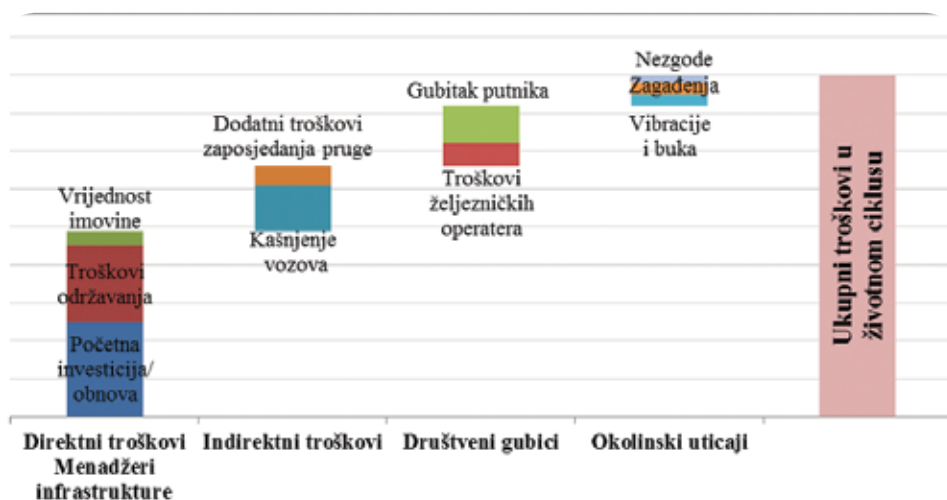
Poređenjem rezultata ove analize mogu se identificirati najveći troškovi i efikasno rješenje na dugi rok, te tako smanjiti ukupni troškovi.

Međutim, opasnost predstavlja to što se u većini slučajeva analiza i dalje ograničava samo na direktne troškove, tzv 'planirane troškove', kao što su izgradnja, održavanje, troškovi obnavljanja i vrijednosti imovine (knjigovodstvena vrijednost).

Ukoliko se zanemare neplanirani troškovi, uzrokovani lošim stanjem kolosijeka, dolazi do potcjenjivanja ukupnih troškova.

Sredinom 1990.-ih, od strane mnogih državnih vlada, bilo je opšte prihvaćeno smanjenje troškova održavanja radi kratkotrajnih ušteda. To je prouzročilo loše stanje kolosijeka koje je utjecalo na povećanje vremena putovanja i tačnost linija, te su kasniji troškovi hitnih reparacija kolosijeka, dugoročno gledano, bili veći od ostvarenih ušteda.

Iz tih razloga, u posljednje vrijeme se pomoću LCCA nastoji obuhvatiti sve više ovih neplaniranih troškova, tako da se pri analizi razmatraju troškovi prikazani na slici 7.[5]



Slika 7. Ukupni troškovi u životnom ciklusu

Kao primjer, prikazani su rezultati LCCA analize provedene u svrhu izbora tipa pragova.

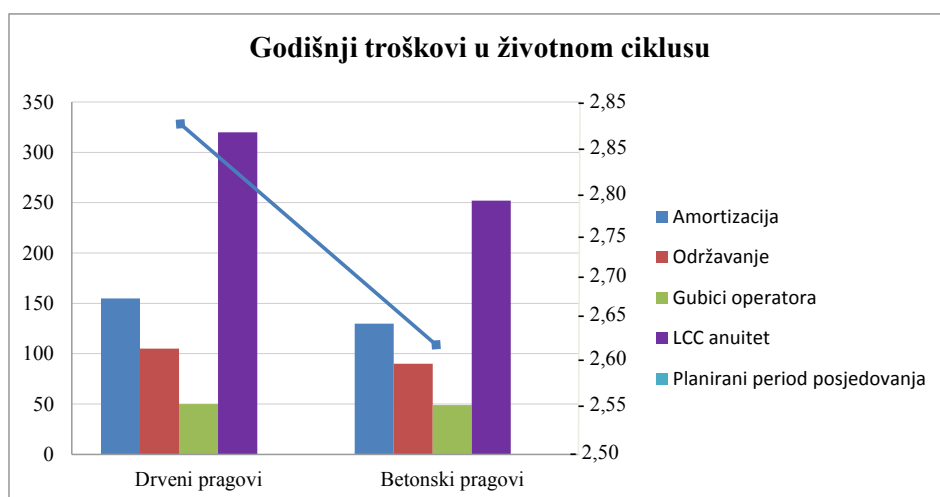
Napravljeno je poređenje između betonskih i drvenih pragova, a da bi se pojednostavila analiza, pretpostavljen je isti početni kvalitet kolosijeka.

Ulazni podaci koji su se koristili u analizi prikazani su tabeli 4.

Tabela 4. Ulazni podaci za LCC analizu drvenih i betonskih pragova[5]

Opis:	Betonski pragovi	Drveni
Radni vijek (godina)	35	25
Cijena (DKK po metru kolosijeka)	4500	4000
Podbijanje svakih (godina)	5	3
Gornji prag funkcionalnosti bez održavanja (godina)	12	9

Na osnovu kamatne stope od 2,0%, LCC anuitet je prikazan na slici 8. [5]



Slika 8. Rezultati LCCA analize za poređenje betonskih i drvenih pragova

Na osnovu rezultata provedene analize može se primijetiti da je betonski prag iz LCC perspektive mnogo bolja investicija, odnosno drveni pragovi su u konačnici za 24% skuplji od betonskih pragova uslijed povećanih troškova na češćem održavanju.

Kolosijeci bez zastorne prizme

Postoji više vrsta kolosijeka bez zastorne prizme, a glavna podjela prema važećim pravilnicima u BiH je na:

- Kolosijek bez pragova čine dvije šine na standardnom rastojanju koje su preko elastičnih oslonaca položene na višeslojnu čvrstu podlogu (betonska ploča na sloju cementne stabilizacije ili betonska ploča inženjerskog objekta u trupu pruge),
- Kolosijek sa podužnim pragovima čine dvije šine na standardnom rastojanju, koje su pričvršnim kolosječnim priborom povezane sa podužno postavljenim betonskim pragovima⁶. [1]

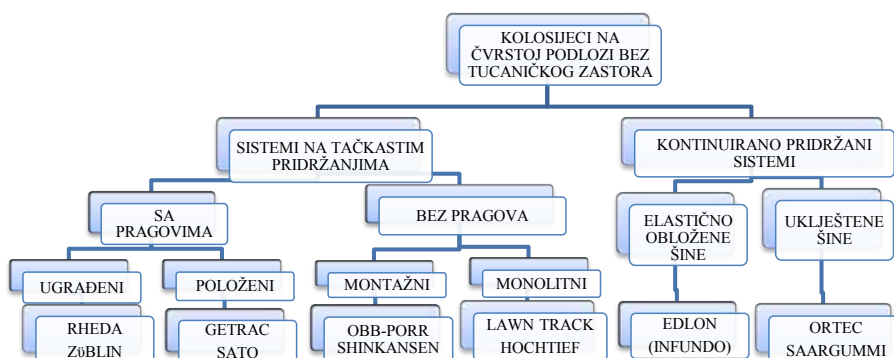
S obzirom na sve veće zahtjeve u pogledu brzine vožnje, obima i sigurnosti saobraćaja, kao i smanjenja uticaja na okolinu koje klasični kolosijeci sa zastornom prizmom ne mogu ili jako teško zadovoljavaju, razmatrana su neka nova moguća konstruktivna rješenja u vidu kolosijeka bez zastorne prizme.

Kod ovih kolosijeka, umjesto zastora kao nosivog elementa, primjenjivani su drugi, stabilniji materijali, kao što su asfalt ili beton.

Ispitivanja sa različitim kolosiječnim sistemima počela su 1959. godine u Njemačkoj i intezivirana su u periodu 1969. i 1971. godine.

Na osnovu rezultata tih ispitivanja, 1972. godine izvedeno je prvih 60 metara kolosijeka na betonskoj podlozi na željezničkoj stanici Rheda (Njemačka).

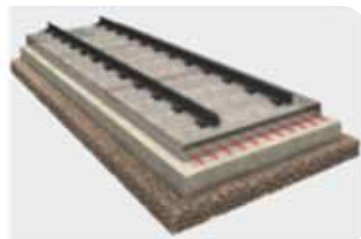
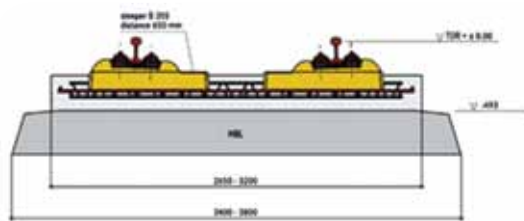
Ovaj, prvi kolosiječni sistem na betonskoj podlozi, prozvan je "Rheda" i na osnovu njega su proizvedene mnogobrojne varijante različitih novih kolosiječnih sistema na čvrstoj podlozi. Tako, danas se u upotrebi mogu naći slijedeći sistemi [6]:



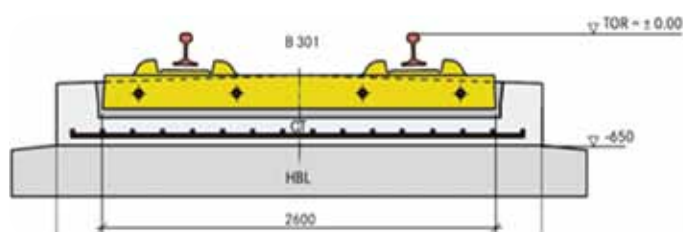
Slika 9. Sistemi kolosijeka na čvrstoj podlozi

⁶ Postojanost standardne širine kolosijeka se u ovom slučaju postiže monolitnim povezivanjem podužnih betonskih pragova i betonske ploče.

Ovi sistemi se uglavnom razlikuju po tehnologiji izvođenja (slika 10a. i 10b.) ali postoje i druge razlike, u pogledu težine i visine konstrukcije, kao i nekih drugih osobina.[7]

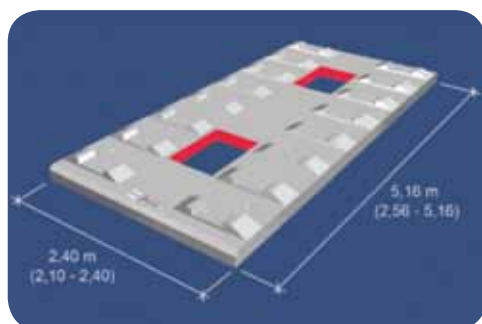


Slika 10a. Shematski prikaz sistema Rheda 2000



Slika 10b. Shematski prikaz sistema Rheda „SENGBERG“

Proces proizvodnje i ugradnje montažnog sistema OBB – PORR prikazan je na slici 11. [8]



Slika 11. Proces proizvodnje i ugradnje montažnog sistema OBB - PORR

Kod monolitnih sistema kolosijeka (slika 12.) nema pojedinačnih pragova a tačke pridržanja šine se integrišu u betonski nosivi sloj koji se najčešće izvodi *in situ*, uz pomoć finišera sa kliznom oplatom.[9]



Slika 12. Shematski prikazi monolitnog kolosijeka i kolosijeka sa elastično obloženom šinom

Sistemi kolosiječnih konstrukcija bez zastorne prizme imaju mnogobrojne prednosti u odnosu na klasične sisteme kao što su: veća stabilnost kolosijeka, preciznost geometrijskog oblika, udobnost vožnje, raspoloživost kolosijeka, dugi vijek trajanja i niska cijena održavanja tokom eksploatacije sa malo ili bez preventivnih i korektivnih radova.

Najveći nedostatak ovih konstrukcija ogleda se u znatno većoj cijeni u odnosu na cijenu klasičnog kolosijeka sa zastornom prizmom, koja iznosi oko 350 EUR/m [10].

Također, za ugradnju ovih sistema potrebno je da donji stroj pruge ispuni velike zahtjeve u pogledu nosivosti, te da sprječava kapilarno izdizanje vode, a što je teško postići bez cementne stabilizacije i tamponskog sloja.

Sve navedeno u konačnici dovodi do povećanja početne investicije za 20% do 40%. Tehnička i ekonomska usporedba pojedinih tipova kolosijeka bez zastorne prizme je prikazana u tabeli 5.[6]

Tabela 5. Tehnička i ekonomska usporedba pojedinih tipova kolosijeka bez zastorne prizme

Tip strukcije	Godina izgradnje	Brzina (km/h)	Debljina onstrukcije ⁷ (cm)	Ocjena buke	Cijena izgradnje ⁸ (EUR/m')	Dnevna učinkovitost ⁹ (m)	Ocjena obnove
Rheda	1972	300	63	B	1198	172	C
Rheda-Berlin	1997	300	67	C	630	170	C
Züblin - pragovi	1988	300	60	B	550	200	B
Züblin BTE	1996	300	44	A	475	200	A
ATD	1993	300	70	B	600	200	B
BTD	1994	300	63	B	-	350	B
GETRAC	1995	300	72	B	625	270	B
SATO, FFYS	1984	200	61	B	600	350	A
Lawn Track	1998	160	80	B	-	-	-
Heitkamp	1998	160	78	C	-	200	C
FFC	1998	300	48	A	470	200	A
INFUNDO	1995	160		A	470	200	A

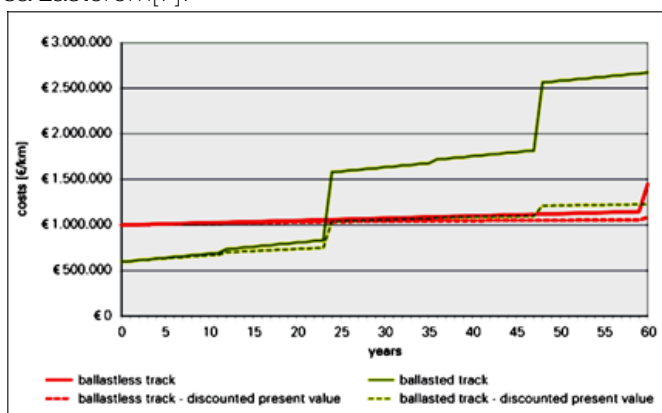
A-preporučuje se; B-zadovoljava; C-potrebno usavršiti sistem

Debljina konstrukcije i cijena izgradnje: kolosiječnakonstrukcija od gornje ivice hidraulički stabiliziranog nosivog sloja do gornje ivice šine.

Dnevna učinkovitost: Podrazumjeva se osmosatno radno vrijeme.

Za ekonomsku evaluaciju troškova u životnom vijeku kolosijeka sa zastornom prizmom i bez zastorne prizme najčešće se koriste RAMS¹⁰, odnosno LCC analiza.

Prema rezultatima provedene LCC analize (Slika 13.) može se primijetiti da je izgradnja kolosijeka bez zastora dugoročno gledano povoljnija od „klasičnih“ kolosijeka sa zastornom[7].



Slika 13. Prikaz rezultata LCC analize kolosijeka sa zastornom i bez zastora

⁷ Od gornje ivice hidraulički stabiliziranog nosivog sloja do gornje ivice šine.

⁸ Kolosiječnu konstrukciju od gornje ivice stabiliziranog nosivog sloja, podnožja tunela ili podkonstrukcije mosta.

⁹ Podrazumjeva se osmosatno radno vrijeme.

¹⁰ Reliability–pouzdanost, Availability–dostupnost, Maintainability–održivost, Safety–sigurnost; norma EN 50126)

Tehnologija izvođenja ovih konstrukcija osigurava i veliku dnevnu učinkovitost, te se ovi kolosijeci sve više primjenjuju kod novogradnje i za veće rekonstrukcije, naročito kod pruga za velike brzine.

Tako je u Austriji, u periodu od 1982 – 1995. godine, izgrađeno cca 23 km kolosijeka bez zastora¹¹, dok je u periodu od 1995 – 2014. godine izgrađeno cca 171 km kolosijeka bez zastorasistema “OBB – PORR”.

U isto vrijeme, u Njemačkoj je u periodu od 2001 – 2013. godine, izgrađeno cca 330 km kolosijeka bez zastora sistema “OBB – PORR”.

Pored toga, u periodu od 1993 – 2015. godine, širom svijeta, izgrađeno je cca 3.000 km kolosijeka bez zastora sistema “Rheda”.

U posljednje vrijeme u mnogim državama kao najpovoljnije rješenje za izgradnju novih kao i rekonstrukciju postojećih tunela i stanica primjenjuju se konstrukcije kolosijeka na čvrstoj podlozi (slika13.).



Slika 13. Konstrukcije kolosijeka na čvrstoj podlozi u tunelima i stanicama

¹¹ To je bio period testiranja različitih sistema kolosijeka bez zastora [8].

Novi trendovi u proizvodnji željezničkih pragova – Okolinski prihvatljivi pragovi

U posljednje vrijeme, sve više pažnje se posvećuje iznalaženju novih rješenja i korištenju novih materijala za izradu pragova, koji su mnogo povoljniji u pogledu zaštite okoliša.

Naime, iako betonski pragovi imaju mnoge prednosti, prema nekim istraživanjima, smatra se da njihova proizvodnja povećava emisije stakleničkih plinova jer zahtijeva više energije nego za proizvodnju drvenih pragova [11].

Međutim, prema novim istraživanjima provedenim u Australiji [12] gdje su se posmatrale sekcije kolosijeka sa drvenim i betonskim pragovima dužine 1000 m, a na osnovu životnog ciklusa od 100 godina, rezultati su pokazali da ukupne emisije stakleničkih plinova od armirano betonskih pragova iznose 17% do 50% od emisija drvenih pragova.

U cilju smanjenja emisija štetnih plinova pri izradi pragova sve češće se koriste kompozitni materijali, polimer betoni, reciklirani materijali (plastične boce), dodaci betonu u vidu pepela i sl. Neki od ovih materijala su još uvijek u fazi ispitivanja dok su neki već u širokoj upotrebi.



Slika 14. Prikaz različitih vrsta pragova od kompozitnih materijala

Na Građevinskom fakultetu u Zagrebu napravljen je prototip kolosijeka na čvrstoj podlozi od betona sa recikliranim materijalom pod nazivom „ECOTRACK“.

Za rješavanje problema uslijed velikih dinamičkih naprezanja i vibracija kolosijeka za izradu betona sa većom apsorpcijom energije primjenjivali su se produkti reciklaže guma.

Provedena ispitivanja na protutipovima pragova su pokazala da zadovoljavaju sve važeće standarde a ostvarene uštede primjenom recikliranih vlakana za optimalnu mješavinu su iznosile oko 13%.



Slika 15. Proces proizvodnje prototipa kolosijeka na čvrstoj podlozi „ECOTRACK“

Zaključak

Na osnovu svega navedenog, može se zaključiti da je, s obzirom na sve veće zahtjeve u pogledu osovinskog opterećenja i brzine kretanja vozila, neophodna upotreba betona kao nosivog elementa u gornjem stroju željeznica.

Stoga, u narednom periodu, na postojećim prugama sa zastomom prizmom potrebno je nastaviti sa aktivnostima zamjene drvenih sa betonskim pragovima, a u sklopu glavnih opravaka pruge, kao i usvajanje novih tehnologija za proizvodnju okolinski prihvatljivih pragova i kolosijeka na čvrstim podlogama.

Pri tome je potrebno naročitu pažnju obratiti na kvalitet materijala za proizvodnju pragova, odnosno pločastih sistema, a za što u BiH postoje svi potrebni resursi.

Primjenu sistema kolosijeka bez zastorne prizme potrebno je razmotriti kod novoprojektovanih pruga, a naročito kod rekonstrukcija postojećih tunela, gdje imaju mnogobrojne prednosti u pogledu visine kolosiječne konstrukcije, odvodnje i sl.

Literatura

- [1] 314 - Pravilnik o održavanju gornjeg stroja pruga ŽŠ BiH;
- [2] Popović Z.- Gornji stroj željeznica – Priručnik, Univerzitet Crne Gore, Građevinski fakultet u Podgorici; 2007;
- [3] Tvornica željezničkih pragova - Salakovac. - Tehnologija izrade prednapregnutih pragova BH - 70, Prominvest d.o.o;
- [4] EN 13230, Railway applications- Track, Concrete sleepers and bearers, Part 1-5: Prestressed monoblock sleepers, CEN, Juni 2009;
- [5] Hausgaard E., Planning Framework for Railway Phasebased, Trafikdage-Transport Conference at Aalborg University 2013;
- [6] Lichtberger B., Track Compendium, Eurailpress,Hamburg, 2005., str. 309.-332
- [7] RHEDA 2000 – The ballastless track with concrete supporting layer, RAIL ONE GmbH Pfeiderer track systems, Neumarkt, Germany, www.railone.com
- [8] Slab_track_solutions-OBB-PORR 2014., <http://www.slabtrackaustria.com/>
- [9] Lakušić S., Vajdić.M, Pregled suvremenih kolosiječnih konstrukcijana čvrstim podlogama, GRAĐEVINAR 63 (2011) 2, 125-134;
- [10] Esveld C., SLAB TRACK: A Competitive solution, TU Delft, Netherlands, 1999
- [11] Christopher B. at all., Life Cycle Assessment of Creosote-Treated Wooden Railroad Crossties in the US with Comparisons to Concrete and Plastic Composite Railroad Crossties: Journal of Transportation Technologies, 2013, 3, 149-161 <http://dx.doi.org/10.4236/jtts.2013.32015> Published Online April 2013 (<http://www.scirp.org/journal/jtts>)
- [12] Railroad Ties: Precast Concrete or Wood? <http://precast.org/2010/07/railroadtiesprecastconcreteorwood/>

