



Croatia Cement g.i.u.

Gospodarsko interesno udruženje hrvatskih tvornica cementa



SMJERNICE ZA KOLNIČKE KONSTRUKCIJE IZVEDENE UVALJANIM BETONOM

SMJERNICE ZA KOLNIČKE KONSTRUKCIJE IZVEDENE UVALJANIM BETONOM

ISBN 9789535866404



9 789535 866404

Smjernice za kolničke konstrukcije izvedene uvaljanim betonom

Nakladnik: CROATIA CEMENT g.i.u., Prilaz Gjure Deželića 30, 10000 Zagreb

Autori: INSTITUT IGH d.d., Janka Rakuše, 10000 Zagreb

Renato Rajzer, struč. spec. ing. aedif. i mag. ing. geoinj.

dr. sc. Elica Marušić, dipl.ing.građ.

Nenad Knežević, dipl. ing. građ.

Vedrana Tudor, dipl. ing. građ.

Goran Maričić, dipl. ing. građ.

Suradnici: Kajo Ferić, dipl. ing. građ. – CEMEX Hrvatska d.d.

Sandro Vlačić, dipl. ing. građ. – Holcim (Hrvatska) d.o.o.

Igor Bobić, ing. građ. – Holcim (Hrvatska) d.o.o.

Lektura: Alkemist studio d.o.o.

Oblikovanje: Pet do dvanaest d.o.o.

Tisak: Printera Grupa d.o.o.

Naklada: 1.500 komada

Zagreb, 2015. godine

PREDGOVOR

Poštovani građevinari, cijenjene kolege investitori, projektanti, izvođači, nadzorni inženjeri, želja nam je putem ovih "Smjernica za kolničke konstrukcije izvedene uvaljanim betonom" olakšati i potaknuti šire korištenje betona u izvođenju kolničkih konstrukcija.

"Smjernice za kolničke konstrukcije izvedene uvaljanim betonom" (u daljnjem tekstu Smjernice) nastale su kao rezultat potrebe da se na jednom mjestu objedine saznanja, iskustva i podaci o uvaljanom betonu kao materijalu te da se saznanja pretoče u upute za postupanje pri primjeni ovog materijala za specifičnu svrhu izgradnje kolničkih konstrukcija.

Izbor adekvatnog materijala za određenu svrhu u građevinarstvu, koliko god to jednostavno zvučalo, nemali je izazov svim inženjerskim strukama i generacijama inženjera i srž je održivog i odgovornog postupanja u gradnji.

Razina dostignutih saznanja i iskustava o uvaljanom betonu u Hrvatskoj svakim je danom sve veća. Do sada je realizirano nekoliko manjih projekata - izvedeno je nekoliko probnih dionica i manipulativnih površina. Iz tih projekata izvučena su ključna saznanja koja nas vode na putu prema široj primjeni uvaljanog betona kao rješenja za kvalitetnu i trajnu kolničku konstrukciju.

Realna iskustva projektiranja, proizvodnje, izvedbe i kontrole s do sada izvedenih projekata predstavljaju temelje iz kojih su ove Smjernice izrasle.

Iako ima još otvorenih pitanja vezanih uz fizikalno-mehanička svojstva proizvedenog uvaljanog betona, tehnologiju ugradnje, izgled i kvalitetu površine te trajnost izvedenog kolnika, bez jednoznačne zakonske regulative koja u potpunosti pokriva to područje, upravo u tome leži velika prilika za napredak struke. Ove su Smjernice jedan od ključnih koraka na putu prema tom cilju.

Smjernice su nastale kao rezultat pomicanja vidljivih i nevidljivih granica, kao rezultat stalne težnje za tehnološki racionalnijim, konstruktivno kvalitetnijim i održivo prihvatljivijim građevinskim rješenjem koje će sva naša putovanja, prijevoze i Transporte učiniti efikasnijim, sigurnijim i ugodnijim.

One su inovativan doprinos razvoju materijala i tehnologija građenja nastao na temelju suradnje proizvođača, izvođača, investitora, znanosti i istraživačkog rada.

Smjernice obrađuju sve bitne aspekte uvaljanog betona i njegove primjene za svrhu izgradnje kolničkih konstrukcija: povijest primjene s osvrtom na prednosti i ograničenja, osobine uvaljanog betona s opisom i svojstvima sastavnih materijala, dimenzioniranje konstrukcije, opis i uvjete proizvodnje, opreme i transporta, tehnologiju izvođenja i primjenjivu mehanizaciju, proces osiguranja i kontrole kvalitete te upute za otklanjanje poteškoća kod izvedbe.

Uvaljani beton racionalno je i tehnološki prikladno rješenje za izgradnju kolničkih konstrukcija iz razloga koji potječu od osobina sastavnih materijala, proizvodnog procesa i tehnologije ugradnje te karakteristika trajnosti.

Sastavni materijali isti su kao kod običnih betona. Razlika u odnosu na obični beton počinje najprije s udjelom agregata, koji je kod uvaljanog betona puno veći, a završava postupkom ugradnje koja se provodi kombiniranjem postojeće standardne mehanizacije za asfaltiranje.

U posljednjih je nekoliko godina u Hrvatskoj sve veća zastupljenost raznih vrsta betonskih kolnika. U odnosu na druge materijale namijenjene izvedbi suvremenih kolničkih konstrukcija, s energetskog i ekološkog aspekta primjena betona u konačnici se nameće kao najpovoljnije rješenje.

Kontinuiran rast korištenja uvaljanog betona za kolničke konstrukcije i druge prometne i manipulativne površine u razvijenim i tehnološki naprednim ekonomijama rezultat je racionalnog pristupa izgradnji površina tih namjena. To je već desetljećima prvi odabir za transportne, manipulativne i industrijske površine, autobusne i zaustavne trake, te lokalne ceste i križanja, vojne i druge logističke površine s očekivanim manjim brzinama i većim prometnim opterećenjima gdje su kriteriji trajnosti, jednostavnosti održavanja i kontrole troškova na prvom mjestu. Kolničke konstrukcije izvedene uvaljanim betonom također su prikladne za turističku i javnu infrastrukturu poput pješačkih i biciklističkih staza te šetnica.

Kolnik od uvaljanog betona jedna je od vrsta betonskog kolnika koja se najviše razvija u posljednje vrijeme svugdje u svijetu, pogotovo u europskim zemljama i u Americi. Razlozi tog velikog potencijala leže u kvaliteti i brzini izvođenja, manjoj potrebi za radnom snagom te u danas vrlo važnom argumentu, cijeni.

Postignuta je, naime, visoka razina iskoristivosti prednosti betona ključnih za navedenu svrhu: prednost brzine ugradnje, čvrstoće koja je na razini standardnih konstruktivnih betona, trajnosti, a time i rentabilnosti u korištenju i održavanju tijekom vremena te ne manje važno, mogućnosti prometovanja u relativno ranoj fazi.

Ove su Smjernice namijenjene javnim i privatnim tvrtkama, investitorima, državnim i lokalnim javnim subjektima koji imaju nadležnost nad prometom i razvojem infrastrukture, njihovim voditeljima projekata poglavito u izgradnji i održavanju cesta, zatim projektantima, izvođačima, proizvođačima građevinskih materijala, stručnjacima koji provode ispitivanja, istraživanja i kontrole u izvedbi građevina te studentima u okviru kolegija o građevinskim materijalima i tehnologijama građenja.

CCA (CROATIA CEMENT g.i.u.) i Institut IGH objavljuju ove Smjernice s ciljem informiranja, prenošenja saznanja i iskustava, poticanja šire odgovorne primjene, upućivanja i edukacije stručnjaka i profesionalaca u građevinarstvu koji će razumjeti značaj iznesenog i imati potpunu odgovornost u primjeni istog.

Autori se ovim putem zahvaljuju svim suradnicima, kolegama i stručnjacima koji su sudjelujući u dosadašnjim aktivnostima tijekom pripreme, projektiranja, proizvodnje sastavnih i finalnih materijala, izvođenja, ispitivanja i praćenja, kao i na bilo koji drugi način, uključujući izvedbu probnih dionica i površina, ugradili svoj trud i znanje te tako doprinijeli nastanku ovih Smjernica.

SADRŽAJ

1. OSNOVNE INFORMACIJE O UVALJANOM BETONU	9
1.1. Uvaljani beton – definicija, opis, osnovna namjena.....	9
1.2. Kratka povijest primjene, primjena danas i sutra.....	11
1.3. Razlika kolnika od običnog betona i kolnika od uvaljanog betona	12
1.4. Prednosti primjene uvaljanog betona	13
1.5. Neka moguća ograničenja primjene.....	14
2. SVOJSTVA UVALJANOG BETONA I SASTAVNI MATERIJALI	15
2.1. Fizikalno-mehanička svojstva uvaljanog betona	15
2.2. Sastavni materijali	21
2.3. Projektiranje sastava, probne mješavine	23
3. DIMENZIONIRANJE KOLNIKA OD UVALJANOG BETONA	26
3.1. Općenito.....	26
3.2. Procedure za dimenzioniranje.....	26
3.3. Svojstva uvaljanog betona	27
3.4. Naprezanja	27
3.5. Prometno opterećenje.....	27
3.6. Nosivost posteljice.....	27
3.7. Proračun debljine kolnika od uvaljanog betona.....	29
3.8. Razdjelnice	45
3.9. Zapunjavanje razdjelnica, završno valjanje.....	49
3.10. Nagibi kolnika.....	49
3.11. Površinska odvodnja	49
3.12. Rubnjaci i prometni otoci	50
4. PROIZVODNJA UVALJANOG BETONA	51
4.1. Ključni elementi u proizvodnji uvaljanog betona	51
4.2. Odabir sastavnih materijala	52
4.3. Skladištenje sastavnih materijala.....	52
4.4. Doziranje sastavnih materijala i miješanje uvaljanog betona	52
4.5. Kontrola tvorničke proizvodnje betona.....	53
4.6. Isporuca uvaljanog betona na gradilište	53
5. IZVOĐENJE KOLNIKA OD UVALJANOG BETONA.....	54
5.1. Osnovni uvjeti za izvođenje.....	54
5.2. Priprema podloge	54
5.3. Plan betoniranja.....	55
5.4. Transport betona na gradilište.....	55
5.5. Oprema za betoniranje, ugradnju i zbijanje betona.....	56
5.6. Ugradnja, zbijanje i završna obrada betona	56

5.7.	Neomeđeni rubovi, spoj kolnika od uvaljanog betona i susjedne građevine	58
5.8.	Prividne razdjelnice	58
5.9.	Njegovanje i zaštita betona	59
5.10.	Uporabna svojstva i svojstva koja utječu na trajnost kolnika.....	60
5.11.	Probna dionica.....	61
5.12.	Puštanje kolnika od uvaljanog betona u promet	61
5.13.	Moguće pogreške kod izvođenja kolnika od uvaljanog betona.....	62
6.	KONTROLA KVALITETE IZVOĐENJA KOLNIKA OD UVALJANOG BETONA	63
6.1.	Općenito.....	63
6.2.	Kontrola tvorničke proizvodnje betona.....	63
6.3.	Kontrola kvalitete prije i tijekom izvedbe radova.....	64
6.4.	Program nadzora nad izvedbom i obveze nadzornog inženjera u pogledu kontrole kvalitete izvedbe ...	67
7.	ODRŽAVANJE I POPRAVCI.....	69
7.1.	Zapunjavanje razdjelnica i pukotina	69
7.2.	Popravak u punom poprečnom presjeku	69
7.3.	Ojačanje podloge i niveliranje	70
7.4.	Presvlačenje postojećeg kolnika novim slojem.....	70
7.5.	Čišćenje kolnika	71
	Literatura	72
	Primijenjeni propisi, zakoni i norme	72

1. OSNOVNE INFORMACIJE O UVALJANOM BETONU

1.1. Uvaljani beton – definicija, opis, osnovna namjena

Uvaljani beton (eng. roller-compacted concrete - RCC) vrsta je betona koja se osim po sastavu smjese i svojstvima od običnog betona razlikuje i po načinu ugradnje u kolničku konstrukciju, odnosno umjesto vibriranjem ugrađuje se zbijanjem i valjanjem.

Uvaljani beton u svježem stanju treba biti dovoljno krut, odnosno suh, kako bi se ugradnja betona mogla obaviti bez tonjenja opreme. Naravno, takva mješavina mora sadržavati i dovoljnu količinu vode kako bi se omogućila homogena raspodjela cementne paste tijekom miješanja i zbijanja betona te hidratacija cementa. Uvaljani beton ima vrlo slična fizikalno-mehanička svojstva kao i obični beton te sadrži iste sastavne materijale, ali u malo drukčijem odnosu. Najveća razlika u sastavu uvaljanog i običnog betona je u većem udjelu finijih čestica agregata u uvaljanom betonu i u manjoj količini cementa. Osim agregata, cementa i vode, u novije vrijeme koriste se i dodaci betonu kao što su aeranti za veću otpornost betona na utjecaje smrzavanja i soli za odmrzavanje, dodaci za usporavanje vezanja te određena kemijska sredstva za posebnu završnu obradu površine betona koja se traži na pojedinim projektima. Osim ranije navedenih dodataka koriste se sve više i mineralni dodaci kao što su leteći pepeo i silicijska prašina. Dodatak letećeg pepela znatno utječe na kasnije čvrstoće betona, na poboljšanje obradljivosti i smanjenje propusnosti betona, uštede u proizvodnji i pogodnost za gradnju masivnih betonskih konstrukcija. Dodatkom letećeg pepela povećava se sposobnost zbijanja betona zbog povećanja količine finih čestica, a također se poboljšava i kvaliteta završne obrade površine uvaljanog betona [4].

Kolnik od uvaljanog betona vrsta je betonskog kolnika koji se izvodi zbijanjem betona opremom za ugradnju asfalta (finišeri i valjci) ili u novije vrijeme i specijalnim finišerima za ugradnju uvaljanog betona. Zbijanje je najvažnija faza kod izvođenja kolnika od uvaljanog betona jer osigurava gustoću, čvrstoću i površinsku teksturu te treba biti izvedeno s mnogo pažnje uz adekvatnu kontrolu kvalitete tijekom izvođenja.

Osnovne faze izvođenja kolnika od uvaljanog betona su (slike 1/1 do 1/10):

- priprema podloge
- proizvodnja i transport uvaljanog betona na gradilište kamionima kiperima
- ugradnja uvaljanog betona zbijanjem finišerima
- završno zbijanje za koje se koriste razne vrste valjaka
- pravovremeno rezanje kolnika i izvođenje prividnih razdjelnica
- njega ugrađenog betona



Slika 1/1: Proizvodnja uvaljanog betona



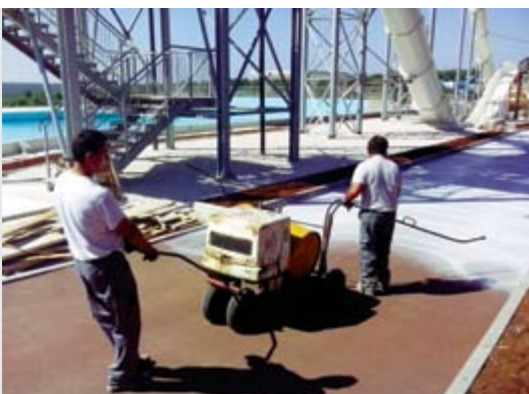
Slika 1/2: Transport betona kamionom



Slike 1/3 i 1/4: Ugradnja uvaljanog betona uporabom finišera (za asfalt)



Slike 1/5 i 1/6: Zbijanje uvaljanog betona uporabom valjaka



Slike 1/7 i 1/8: Njega ugrađenog betona uporabom odgovarajućih kemijskih sredstava



Slike 1/9 i 1/10: Tekstura i izgled gornje površine kolnika od uvaljanog betona

Kvalitetno izvedeni kolnici od uvaljanog betona trajni su kolnici koji zahtijevaju vrlo malo održavanja tijekom uporabnog vijeka.

U Hrvatskoj izvođačke tvrtke imaju svu potrebnu opremu, sastavni materijali za beton su dostupni i domaćeg su porijekla, što je ekonomski vrlo prihvatljivo te na kraju, tehnologija uvaljanih betona u odnosu je na druge kojima se izvode gornji nosivi slojevi kolničkih konstrukcija najjeftinija, najmanje zagađuje okoliš te se pravilnom izvedbom dobiva trajna kolnička konstrukcija. U odnosu na ostale vrste betonskih kolnika kod kolnika od uvaljanog betona pri ugradnji se ne koristi oplata, armatura, sidra, moždanici, a i izvedba razdjelnica u većini projekata nije potrebna ili se izvode tzv. prividne razdjelnice.

U svijetu je ova tehnologija u primjeni već više od 40 godina. Uvaljani betoni našli su svoju primjenu u izvedbi parkirališta, aerodromskih stajanki, prilaznih i industrijskih cesta, skladišnih terminala, luka, poljoprivrednih prometnica, pješačkih i biciklističkih staza, šetnica, u šumarstvu itd. [2], [4], [5], [8].

1.2. Kratka povijest primjene, primjena danas i sutra

Uvaljani beton počeo se primjenjivati 30-ih i 40-ih godina prošlog stoljeća i to kod izgradnje brana. Prvi značajniji projekt uporabe uvaljanog betona bio je 1974. pri sanaciji jednog od tunela temeljnog ispusta brane Tarbela u Pakistanu, gdje je za 44 dana ugrađeno 35.000 m³ uvaljanog betona. Nakon toga se uvaljani beton u izgradnji brana koristio najviše u SAD-u, gdje se najbrže razvijaju propisi i norme. Jedna od najvećih brana u SAD-u izgrađena uvaljanim betonom brana je Willow Creek koja je građena od 1981. do 1983. godine.

Od sedamdesetih godina prošlog stoljeća uvaljani beton koristi se i za druge projekte osim brana pa je tako u Kanadi primjenjivan za brzu izradu jeftinih kolnika i manipulativnih površina na kojima se deponiraju posječena stabla (drvena industrija) [2].

U SAD-u je do 1990. godine bilo izvedeno preko 50 projekata izvedenih s preko 2 milijuna m² kolnika od uvaljanog betona [8].

Sljedećih deset godina dolazi do manje stagnacije da bi u posljednjih nekoliko godina ponovno došlo do šire primjene te je do 2012. izvedeno preko 70 projekata s preko 7,5 milijuna m² izvedenih kolnika od uvaljanog betona i to najviše za vojne primjene, industrijske kolnike, kod izgradnje luka, a sve više i za razne druge komercijalne namjene kao što su pješačke i biciklističke staze, lokalne ceste, zaustavne trake kod autocesta, parkirališta, skladišni terminali, aerodromske stajanke i sl. [2], [4], [8].

Sve je veća uporaba uvaljanog betona i u drugim državama svijeta, posebno u europskim zemljama, Meksiku, Indiji i drugdje.

U Hrvatskoj je svakim danom uporaba uvaljanog betona sve veća, te je do sada izvedeno nekoliko probnih dionica i nekoliko manjih projekata. U tim projektima stečena su početna iskustva te se može reći da smo blizu šire primjene uvaljanog betona kao rješenja za kvalitetnu i trajnu kolničku konstrukciju.

1.3. Razlika kolnika od običnog betona i kolnika od uvaljanog betona

Tablica 1/1: Razlike između kolnika od običnog betona i kolnika od uvaljanog betona [5]

Materijali i svojstva	Kolnik od običnog betona	Kolnik od uvaljanog betona
Odnosi sastavnih materijala u mješavini	Agregat zauzima od 60 % do 75 % volumena mješavine, v/c omjer od 0,40 do 0,45 što osigurava dovoljno vlažnu mješavinu da se obaviju sva zrna agregata i dobro ispuni prostor između čestica.	Agregat zauzima od 75 % do 85 % volumena mješavine. Granulometrijska je krivulja s više finih čestica i s maksimalnom veličinom zrna do 16 mm. Drobļeni agregat pogodniji je za izvođenje kolnika. Mješavina uvaljanog betona ima manji sadržaj vode i cementa.
Obradljivost	Mješavina je prilagođena strojnoj ugradnji finišerima pa je konzistencija kruta do slaboplastična. Betonski kolnici mogu se izvoditi kao jednoslojni ili dvoslojni. Jednoslojni kolnici mogu se ugrađivati i ručno, vibriranjem.	Uvaljani beton u svježem stanju treba biti dovoljno krut, odnosno suh (ispod zemnovlažne konzistencije) kako bi se ugradnja betona mogla obaviti bez tonjenja opreme za ugradnju, a opet s dovoljno vode da se omogući homogena raspodjela cementne paste tijekom miješanja i zbijanja betona te osigura hidratacija cementa. Ugradnja uvaljanog betona obavlja se isključivo strojno.
Izvođenje kolnika	Mješavina betona postavlja se ispred finišera koji gura i raspoređuje beton po cijeloj širini kolnika, vibriranjem zbija beton i izvlači i zaglađuje gornju površinu.	Mješavina uvaljanog betona transportira se na gradilište, stavlja u finišer (za asfalt), vibracijskom pločom beton se zbija po cijeloj površini i visini kolnika. Rad finišera treba biti kontinuiran kako bi se ostvarila ujednačenost izgleda i kvaliteta površine.
Zbijanje	Zbijanje betona provodi se djelovanjem vibratora uslijed čega dolazi do slijeganja i gustog pakiranja čestica cementa i agregata uz izlazak viška zraka.	Konačno zbijanje betona provodi se uporabom valjaka te je preporučeno da se obavi unutar 60 minuta od početka miješanja betona. Ostvarenje tražene gustoće osnovni je preduvjet osiguranja svih ostalih fizikalno-mehaničkih svojstava betona ugrađenog u kolnik.
Završna obrada	Nakon postupka ugradnje betona (strojno ili ručno) provodi se mehaničko hrapavljenje površine kako bi se poboljšala prionjivost prometnih sredstava na površinu kolnika i povećalo trenje, što poboljšava otpornost na klizanje – kraći zaustavni put vozila.	Gornja površina kolnika od uvaljanog betona najčešće je relativno grube teksture koja ostaje nakon završnog valjanja, ali je moguće dobiti i finiju teksturu korištenjem veće količine finih čestica agregata, cementa ili mineralnih dodataka. Površina se također može obraditi dijamantnim brušenjem, što smanjuje buku kolnika ili prevlačenjem slojem asfalta, što povećava brzine prometa.
Hidratacija i njega betona	Pravilna hidratacija mješavine betona vrlo je važna za trajnost betonskog kolnika te je stoga njegovanje betona u ranoj fazi očvršćivanja važan zahtjev.	Pravilna hidratacija mješavine betona vrlo je važna za trajnost betonskog kolnika te je stoga njegovanje betona u ranoj fazi očvršćivanja važan zahtjev. Njegovanje je moguće provoditi uporabom kemijskih sredstava ili polijevanjem vodom.
Pukotine, prijenos opterećenja i armatura	Tri su osnovne vrste betonskih kolnika: dilatirani nearmirani betonski kolnik s poprečnom i uzdužnom razdjelnicom, armirani i besprekidno armirani. Pukotine se kontroliraju razdjelnicama, armaturom, moždanicima i sidrima. Razmak između razdjelnica definira se projektom konstrukcije.	Ako je projektom određeno, ili iz estetskih razloga te konačno i zbog trajnosti, preporučuje se izvođenje prividnih razdjelnica na razmacima definiranim projektom konstrukcije. Zbog tehnologije zbijanja uvaljanog betona u kolnik se ne mogu postaviti moždanci i sidra što je jedna od prednosti kolnika od uvaljanog betona zbog ekonomičnosti i brzine izvođenja.

1.4. Prednosti primjene uvaljanog betona

Osnovne prednosti primjene uvaljanog betona u odnosu na druge materijale u izvedbi kolnika su sljedeće:

1.4.1. Sigurnost

- poboljšana vidljivost – beton reflektira od 33 % do 50 % više svjetla nego npr. asfalt, što je vrlo važno za noćnu vožnju
- mogućnost brzog puštanja u promet izvedenih dionica
- dobra otpornost na klizanje
- smanjena mogućnost zadržavanja vode na kolniku (upijanje vode)
- dobra prionjivost – tekstura gornje površine kolnika od uvaljanog betona osigurava dobru prionjivost prometnih sredstava i podloge
- kolnik od uvaljanog betona uzdužno se ne deformira tijekom korištenja, tako da ne nastaju kolotrazi i eventualna pojava vodenog klina
- dugoročno održana ravnost – krutost kolnika od uvaljanog betona omogućava da se kroz dulji vijek korištenja održi ravnost koja osigurava sigurniju i udobniju voznu površinu

1.4.2. Trajnost

- životni vijek kolnika od uvaljanog betona, ako je pravilno izveden, dug je kao i kod kolnika od običnog betona te je smanjena potreba za održavanjem, popravcima i rekonstrukcijom
- lagano je održavanje i provedba popravaka
- ako su pravilno projektirani i izvedeni kolnici od uvaljanog betona imaju veliku otpornost na habanje, smrzavanje, otpornost na djelovanje mraza i soli za odmrzavanje, otpornost na djelovanje ulja i goriva te imaju veću otpornost na različite klimatske promjene u odnosu na druge materijale
- beton postaje čvršći tijekom vremena (proces hidratacije cementa se nastavlja)
- kolnici od uvaljanog betona štede gorivo što potvrđuju brojne studije, jer kruta kolnička konstrukcija ima manje deformacije

1.4.3. Cijena, energetski i ekonomski aspekt

- najveća isplativost – kolnici od uvaljanog betona su, između ostalih rješenja, najisplativiji zbog niskih početnih troškova izvođenja, dugog vijeka trajanja i niskih troškova održavanja tijekom cijelog životnog i uporabnog vijeka
- izvođenje uz minimalnu radnu snagu, bez oplata, armature, moždanika, sidara te završne obrade površine
- moguće izvođenje i za hladnog vremena, produljenje sezone izvođenja kolnika
- smanjeni troškovi javne rasvjete zbog svijetle podloge betona
- betonski kolnici su u pogledu energije vrlo prihvatljivi, manje se zagrijevaju nego druge vrste kolnika, smanjuju se ljetne temperature u gradovima, manja je potreba za klimatizacijom prostora stambenih, poslovnih i industrijskih građevina
- velika brzina izvođenja zbog koje je moguće u vrlo kratkom vremenu izvedene dionice pustiti u promet
- kolnik od uvaljanog betona moguće je koristiti i kao podložni, nosivi sloj, što direktno utječe na nižu cijenu cijele kolničke konstrukcije

1.4.4. Ekološki aspekt

- beton je ekološki prihvatljiv, moguće ga je reciklirati, ponovno upotrijebiti kao građevinski materijal
- u proizvodnji uvaljanog betona i u izvođenju potrebna je manja energija te se na taj način smanjuje emisija CO₂, direktno i indirektno,
- proizvodni pogoni za proizvodnju betona manje zagađuju okoliš od pogona za proizvodnju asfalta
- moguća je uporaba obnovljene vode (u proizvodnji i za njegovanje betona)
- površinskom teksturom kolnika (dijamantno brušenje) moguće je smanjiti razvoj buke, što je problem 21. stoljeća
- povećana brzina putovanja i protok prometa zbog smanjene potrebe za održavanjem kolnika, smanjenje emisije štetnih plinova iz vozila

1.5. Neka moguća ograničenja primjene

Važno je upozoriti sve sudionike građenja na određena ograničenja u primjeni uvaljanih betona koja su u isto vrijeme i prednosti ove vrste betona, ali ih je potrebno znati iskoristiti.

1.5.1. Specifičnosti u proizvodnji i transportu uvaljanih betona

- zbog vrlo suhe mješavine potrebno je proces miješanja provoditi s većom pažnjom da se dobije homogena mješavina
- zbog povećanog otpora miješanju količina materijala tijekom miješanja treba biti manja od uobičajene
- potrebno je obratiti dodatnu pozornost i osigurati mjere da se tijekom transporta ne dogodi gubitak vlage proizvedene mješavine
- zbog vrlo suhe mješavine moguća je potreba za većim doziranjem dodataka betonu u odnosu na uobičajene količine doziranja

1.5.2. Specifičnosti u izvođenju i uporabi uvaljanih betona

- kod ugradnje uvaljanog betona potrebno je obratiti pozornost na vremenske uvjete zbog osjetljivosti uvaljanog betona na gubitak vlage
- rubovi kolnika teže se zbijaju pa je i tu potrebna dodatna pozornost i kontrola postupka
- kolnik od uvaljanog betona u prvome se redu koristi za ceste s manjim brzinama prometa, kao što su prilazne, poljoprivredne i industrijske ceste, terminali, skladišta, parkirališta i slično
- kolnik od uvaljanog betona moguće je primijeniti za ceste s brzim prometom ako se gornja površina obradi dijamantnim brušenjem ili drugim postupcima zaglađivanja površine (asfaltni ili neki drugi nadsloj)

2. SVOJSTVA UVALJANOG BETONA I SASTAVNI MATERIJALI

2.1. Fizikalno-mehanička svojstva uvaljanog betona

Kod uvaljanog betona, kao i kod običnog betona, razlikujemo svojstva u svježem stanju i svojstva u očvrslom stanju. Svojstva betona u svježem stanju važna su za vrijeme ugradnje betona, a svojstva betona u očvrslom stanju u periodu upotrebe betona. Kako bi određeno svojstvo betona bilo mjerljivo te kako bi bila omogućena usporedba svojstava različitih betona treba odrediti metode kojima će se ispitivati svojstva betona i kriteriji na temelju kojih će se ocjenjivati. Također je važno da se metodama pripreme uzorka za ispitivanje uzorak što više približi stvarnom stanju materijala na terenu, tako da se prihvaćenim metodama ispitivanja mogu dobiti stvarne performanse materijala ugrađenog u konstrukciju.

2.1.1. Svojstva uvaljanog betona u svježem stanju

Osnovna je razlika između uvaljanog i običnog betona, bez obzira na to radi li se o betonu normalne ili velike čvrstoće, ugradljivost. Uvaljani beton nije moguće kvalitetno ugraditi na način i pomoću sredstava za ugradnju običnog betona. Konzistenciju uvaljanog betona mogli bismo nazvati zemnovlažnom, koja prema normi HRN EN 206 (točka 4.2.1, napomena 1) ne treba biti razvrstana.

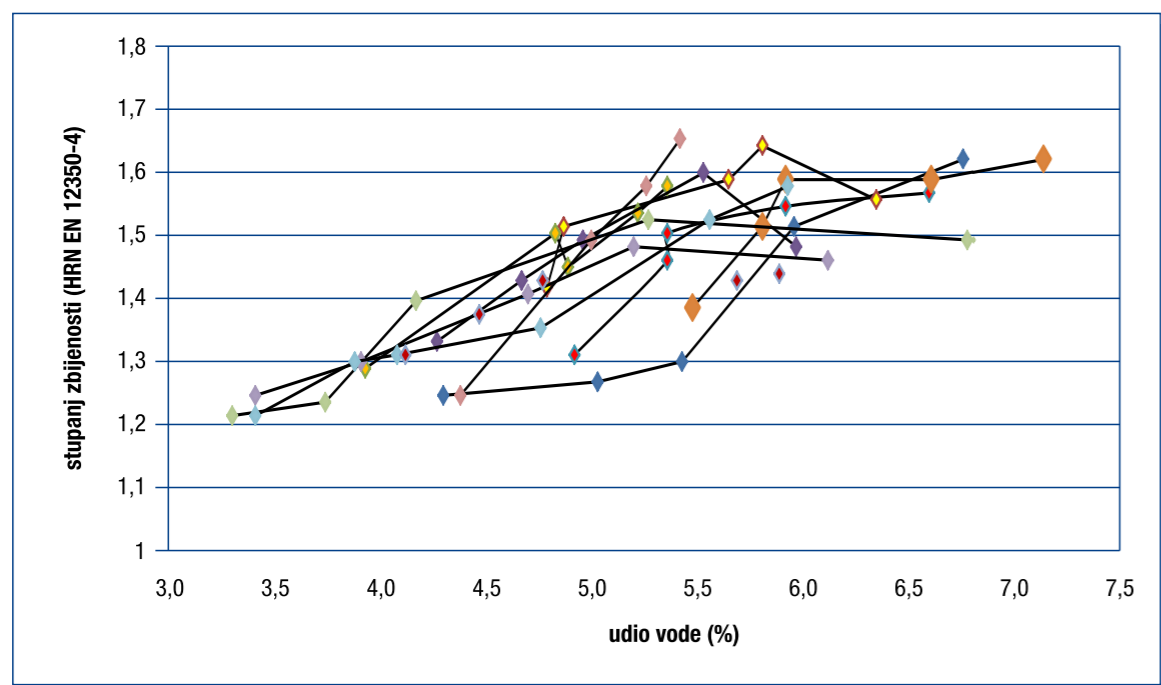
Svojstva svježeg betona koja se određuju ispitivanjima su obradivost mjerena konzistencijom, gustoća i sadržaj zraka. Kod običnog betona ova se svojstva određuju metodama ispitivanja opisanim u normama iz niza HRN EN 12350. To su metode slijeganja (HRN EN 12350-2), stupnja zbijenosti (HRN EN 12350-4) i rasprostiranja (HRN EN 12350-5). Postoji još i metoda određivanja VEBE vremena (HRN EN 12350-3) za koju kriteriji nisu navedeni u HRN EN 206.

2.1.1.1. Obradivost mjerena konzistencijom

Od gore navedenih metoda ispitivanja konzistencije svježeg betona metode slijeganja i rasprostiranja nisu primjenjive za ispitivanje konzistencije uvaljanog betona.

Metoda određivanja konzistencije određivanjem VEBE vremena (HRN EN 12350-3) u američkoj se literaturi [5] navodi kao metoda za mjerenje konzistencije, odnosno ugradljivosti uvaljanog betona.

Metoda koja se, uz određenu modifikaciju, može primijeniti za određivanje konzistencije uvaljanog betona je metoda određivanja stupnja zbijenosti prema HRN EN 12350-4. Budući da pri vibriranju uvaljanog betona u posudi za ispitivanje stupnja zbijenosti na vibro stolu površina uvaljanog betona često poprima konveksan oblik, primjereno je umjesto četiri točke mjerene na sredinama stranica posude izmjeriti još i petu točku, na sredini površine. Kod nekih od mješavina uvaljanog betona koje se obično izrađuju radi određivanja mješavine s optimalnom vlažnošću stupanj zbijenosti izlazi izvan područja za koje se metoda smatra prihvatljivom ($1,04 \leq$ stupanj zbijenosti $\leq 1,46$). Stupanj zbijenosti svježeg uvaljanog betona s volumnim udjelom agregata u betonu od 75 % do 77 % određen na opisani način uglavnom se kreće od 1,21 do 1,62 (ispitivanja IGH). Na slici 2/1 prikazana je ovisnost stupnja zbijenosti ispitivanog prema modificiranoj metodi HRN EN 12350-4 o udjelu vode u mješavini uvaljanog betona.



Slika 2/1: Ovisnost stupnja zbijenosti ispitivanog prema HRN EN 12350-4 o udjelu vode u mješavini svježeg betona

2.1.1.2. Sadržaj zraka u mješavini

Sadržaj zraka u mješavini uvaljanog betona nije moguće odrediti na način kojim se određuje u mješavini običnog betona, ispitivanjem prema HRN EN 12350-7, kao ni gustoću ispitivanjem prema HRN EN 12350-6, jer sredstvima zbijanja specificiranim u navedenim normama uvaljani beton nije moguće zbiti do zahtijevane gustoće.

Sadržaj zraka može se dobiti posrednim putem, povratnim izračunom recepture betona iz poznatih količina unesenih sastojaka, poznatih vrijednosti njihovih pojedinačnih gustoća i gustoće vlažnog uvaljanog betona dobivene modificiranim Proctorovim postupkom.

2.1.1.3. Gustoća uvaljanog betona u svježem stanju i udio vode

Gustoću betona moguće je odrediti ispitivanjem modificiranim Proctorovim postupkom prema HRN EN 13286-2. Prema veličini najvećeg zrna agregata od 16 mm moguće je upotrijebiti Proctorov kalup A ili B. Prema energiji zbijanja koja najviše odgovara stanju pri ugradnji betona odabran je nabijač B koji odgovara modificiranom Proctorovom postupku.

Uz određivanje gustoće, u Proctorovom se postupku standardno određuje i udio vode u mješavini betona sušenjem uzorka do stalne mase na temperaturi od (110 ± 5) °C.

Udio vode u uvaljanom betonu moguće je odrediti i sušenjem usporednog uzorka u sušioniku na temperaturi od (110 ± 5) °C do stalne mase. Količina betona uzeta za određivanje stvarne vlažnosti u tom slučaju treba odgovarati količini uzorka koja se ugrađuje u kalup za ispitivanje Proctorovim postupkom. Podatak o udjelu vode dobiven na ovakav način može se razlikovati od podatka dobivenog nakon ispitivanja Proctorovim postupkom jer je pri zbijanju uzorka moglo doći do gubitka vode kroz spojeve kalupa. Osim toga, uzorak se stavlja u sušionik nakon približno pola sata koliko otprilike traje ispitivanje Proctorovim postupkom.

Inače, podatak o ulaznoj količini vode prethodno je poznat i sastoji se od vode direktno unesene u mješavinu i vode unesene s agregatom. Ispitivanja su pokazala da se vrijednosti udjela vode dobivene sušenjem betona nakon ispitivanja Proctorovim postupkom ili sušenjem usporednog uzorka svježeg uvaljanog betona razlikuju do 10 % od ulazne količine vode. Do razlike vjerojatno dolazi zbog nehomogene raspodjele vode u mješavini, izdvajanja cementne paste na stijenkama miješalice i trošenja vode na ubranu hidrataciju cementa pri sušenju.

Gustoću uvaljanog betona u svježem stanju i udio vode u betonu moguće je odrediti i drugim metodama koje se

primjenjuju na nevezanim i hidrauličnim vezivom vezanim mješavinama navedenim u HRN EN 13286-1, a to su: metoda vibracijskog stlačivanja s kontroliranim parametrima (HRN EN 13286-3), metoda vibracijskog čekića (HRN EN 13286-4) i metoda vibracijskog stola (HRN EN 13286-5). Proctorov postupak izdvojen je kao najčešće upotrebljavana metoda u Hrvatskoj. Budući da u ovom trenutku u našim uvjetima nema iskustava s upotrebom ostalih navedenih metoda u području uvaljanog betona, za određivanje gustoće svježeg uvaljanog betona i udjela vode preporučuje se upotreba modificiranog Proctorovog postupka prema HRN EN 13286-2. Upotreba ostalih metoda može biti predmet daljnjih istraživanja i usporednih ispitivanja.

Gustoću betona i udio vode u svježem ugrađenom uvaljanom betonu može se odrediti ispitivanjem pomoću nuklearnog denzimetra prema ASTM C1040 ili ispitivanjem volumometrom prema DIN 18125-2. Stavljanjem u odnos suhe gustoće betona (gustoće betona u suhom stanju) dobivene ovim ispitivanjima i gustoće dobivene modificiranim Proctorovim postupkom dobiva se stupanj zbijenosti uvaljanog betona.

Modificiranim Proctorovim pokusom, kao i ispitivanjem gustoće svježeg ugrađenog uvaljanog betona, osim kao suhu, gustoću je moguće izraziti i kao vlažnu gustoću betona (gustoću betona u vlažnom stanju). Ako se primjenjuje vlažna gustoća betona, potrebno je u izvještajima o ispitivanjima to napomenuti. Prilikom izračuna stupnja zbijenosti uvaljanog betona obje gustoće koje se stavljaju u odnos trebaju se odnositi na isto stanje mješavine u pogledu vlažnosti – ili suhe gustoće ili vlažne gustoće.

Ispitivanje pomoću nuklearnog denzimetra jednostavnije je, brže za izvođenje i točnije od ispitivanja volumometrom. Ispitivanjem pomoću nuklearnog denzimetra podatak o gustoći ugrađenog uvaljanog betona i udjelu vode dobiva se praktički odmah, dok još traje zbijanje i valjanje, tako da je, ako je potrebno, moguće na vrijeme reagirati i produžiti vrijeme zbijanja. Dakle, preporučuje se upotreba nuklearnog denzimetra ako je to moguće.

2.1.2. Svojstva uvaljanog betona u očvrslom stanju

Sva svojstva koja se ispituju na običnom očvrslom betonu mogu se ispitivati i na uvaljanom betonu. Svojstva očvrslulog betona ispituju se prema normama iz niza HRN EN 12390.

2.1.2.1. Izrada uzoraka za ispitivanje svojstava očvrslulog betona

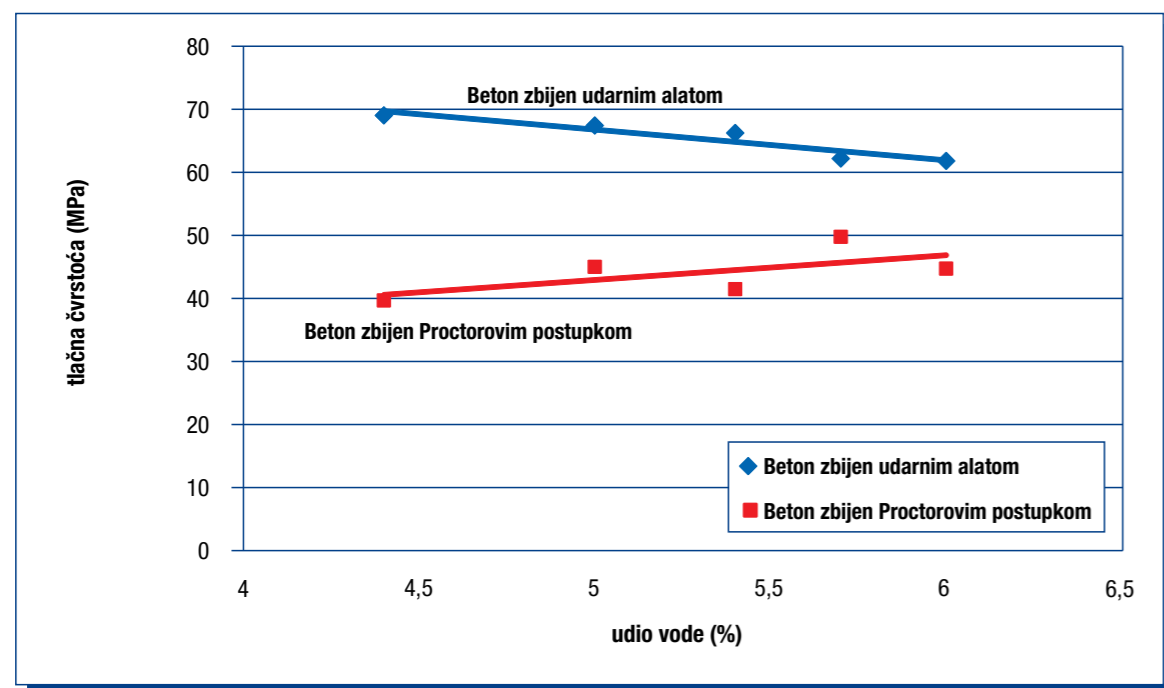
Problem u ispitivanju svojstava očvrslulog uvaljanog betona nije metoda ispitivanja, nego izrada ispitnih uzoraka. Za izradu uzoraka reprezentativnih za uvaljani beton potrebno je utrošiti značajno veću energiju zbijanja od one koja se može postići upotrebom konvencionalnih sredstava za ugradnju betona opisanih u HRN EN 12390-2 (šipka, unutarnji vibrator, vibro stol). To odgovara stanju na terenu, gdje se za ugradnju uvaljanog betona upotrebljavaju uređaji sa značajno većom energijom zbijanja (finišer, vibro valjak) od uređaja za zbijanje običnog betona. Za izradu reprezentativnih uzoraka za ispitivanje očvrslulog uvaljanog betona mogu se upotrijebiti uređaji za zbijanje navedeni u HRN EN 13286-50 (Proctorov zbijlač i vibracijski stol), HRN EN 13286-51 (vibracijski čekić), HRN EN 13286-52 (vibracijsko stlačivanje) i HRN EN 13286-53 (aksijalno stlačivanje).

Uzorcima oblika kocke za ispitivanje tlačne čvrstoće i oblika prizme za ispitivanje čvrstoće na savijanje mogu se izraditi i na drugi način, pomoću improviziranih sredstava kao što je udarna bušilica na kojoj je na vrhu svrdla montirana pločica površine približno (9 x 7) cm. Zbijanjem u dva sloja, svakog u trajanju od 45 sekundi, u kalup oblika kocke brida 10 cm uloži se tolika energija zbijanja da su tlačna čvrstoća i gustoća takvog uzorka značajno veće od onih koje se dobiju modificiranim Proctorovim postupkom (slika 2/2).

Prema američkoj literaturi [5] za ispitivanje svojstava očvrslulog betona upotrebljavaju se uzorci oblika kocke brida 10 cm i prizme (40 x 10 x 10) cm ugrađeni udarnim alatima. Problem je u tome što opisani postupak nije normiran, nije definirano vrijeme zbijanja uzorka pa time ni energija zbijanja. Izbor, odnosno definiranje prave metode izrade uzoraka za ispitivanje svojstava očvrslulog uvaljanog betona predmet je daljnjih istraživanja.

Ispitivanjem tlačne čvrstoće i gustoće uzoraka uvaljanog betona izvađenih iz konstrukcije zaključuje se da stvarnom stanju na terenu odgovaraju uzorci izrađeni modificiranim Proctorovim postupkom. Stoga se za izradu uzoraka za ispitivanje svojstava očvrslulog uvaljanog betona preporučuje upotreba Proctorovog postupka prema HRN EN 13286-50.

Upotreba ostalih metoda opisanih u nizu HRN EN 13286 za izradu uzoraka uvaljanog betona treba biti potvrđena usporednim ispitivanjima izrađenih uzoraka. Metodama iz niza HRN EN 13286 nije moguće ugraditi uzorke oblika prizme.



Slika 2/2: Usporedba tlačne čvrstoće uzoraka uvaljanog betona istih mješavina ugrađenih na dva načina

Prethodno je opisana izrada laboratorijskih uzoraka za ispitivanje svojstava očvrsnulog uvaljanog betona u prethodnim ispitivanjima ili na betonari radi dokazivanja svojstava. Na terenu je mjerodavno stvarno izvedeno stanje, tako da se preporučuje uzorke uzeti bušenjem iz konstrukcije prema HRN EN 12504-1 ili piljenjem uzoraka iz konstrukcije ako se želi ispitati čvrstoća na savijanje uvaljanog betona.

2.1.2.2. Tlačna čvrstoća uvaljanog betona

Tlačna čvrstoća uvaljanog betona ispituje se prema HRN EN 12390-3 na vodom zasićenim uzorcima promjera 100 mm i visine 100 mm u starosti uzoraka od 28 dana. Uzorci mogu biti ugrađeni u Proctorov kalup A i nakon vađenja ispiljeni na traženu visinu ili ugrađeni u Proctorov kalup B te nakon vađenja uzorka iz kalupa izbušeni krunom promjera 100 mm i ispiljeni na traženu visinu. Odnos promjera i visine uzorka je 1:1.

Ako piljenje uzoraka predstavlja problem može se ispitati tlačna čvrstoća uzoraka ugrađenih u Proctorov kalup A (promjer 100 mm, visina 120 mm) s odnosom visine i promjera 1,20 i množenjem s korekcijskim faktorom (1,06) iz tablice 1 norme HRN EN 13877-2 korigirati na tlačnu čvrstoću uzorka s odnosom visine i promjera 1:1.

Normom HRN EN 13877-2 koja govori o funkcionalnim zahtjevima za betonske kolnike definirano je određivanje razreda tlačne čvrstoće betona vađenjem uzoraka iz konstrukcije (jezgri). Razredi tlačne čvrstoće dani su za uzorke čiji odnos visine i promjera (h/d) iznosi 1. Dani su i korekcijski faktori za uzorke drukčijih odnosa visine i promjera (od 1 do 2), tako da se sve čvrstoće množenjem korekcijskim faktorom oblika svode na čvrstoću uzorka s h/d = 1.

U ispitivanju uzoraka betona izvađenih iz konstrukcije postoji još jedna korekcija. Slabija mogućnost kontroliranja ugradnje i njegovanja betona u konstrukciji u odnosu na uzorke izrađene i njegovane u laboratoriju uvažava se množenjem zahtijevanog razreda tlačne čvrstoće koeficijentom 0,85 (HRN EN 13791). Vjerojatno se radi toga u HRN EN 13877-2 uvodi nova oznaka razreda tlačne čvrstoće, CC. Ovim je razredima za karakterističnu tlačnu čvrstoću uzeta karakteristična tlačna čvrstoća uzorka odnosa visine i promjera h/d = 2 iz HRN EN 206, iako izvađeni uzorci imaju h/d = 1. Odnos tlačne čvrstoće uzorka s h/d = 2 i tlačne čvrstoće uzorka s h/d = 1 prema HRN EN 206 kreće se od 0,78 do 0,87, u prosjeku 0,82, što predstavlja u prosjeku povoljniju korekciju od one dane u HRN EN 13791 za uzorke betona izvađene iz konstrukcije.

Iz prethodnog objašnjenja jasno je kako bi, na primjer, ugrađeni beton razreda tlačne čvrstoće C30/37 (karakteristična tlačna čvrstoća ispitana na uzorku s h/d = 2 je 30 MPa, a na uzorku s h/d = 1 iznosi 37 MPa) na uzorcima izvađenim iz konstrukcije trebao postići razred tlačne čvrstoće CC30 (karakteristična tlačna čvrstoća ispitana na uzorku s h/d = 1 iznosi 30 MPa), što podrazumijeva korekcijski faktor od 0,81 i povoljniji je nego u HRN EN 13791.

Gore navedeno je pretpostavka, jer u HRN EN 13877-2 nije dovoljno jasno navedena veza između razreda tlačne čvrstoće ugrađenog betona (C) i razreda tlačne čvrstoće uzorka betona izvađenih iz konstrukcije (CC), kao što je to napravljeno u HRN EN 13791.

Zapažanja o nejasnoćama vezanim uz dimenzije ispitnih uzoraka i definicije razreda u normi HRN EN 13877-2 navode se i u literaturi [6].

Kako sve navedeno primijeniti na uvaljani beton? Preporučuje se u laboratorijskim ispitivanjima uzorke ugraditi Proctorovim postupkom u kalupe na gore opisani način i ispitati prema HRN EN 12390-3. Čvrstoću dobivenu na ovaj način treba ocijeniti prema HRN EN 206.

Za uvaljani beton ugrađen u betonski kolnik mjerodavne su odredbe HRN EN 13877-2, odnosno vađenje uzoraka iz konstrukcije i ispitivanje prema HRN EN 12504-1 te ocjena prema HRN EN 13877-2.

2.1.2.3. Gustoća očvrsnulog uvaljanog betona

Gustoća očvrsnulog uvaljanog betona ispituje se prema HRN EN 12390-7. Može se odrediti gustoća prirodno vlažnih, potpuno suhих i potpuno vlažnih uzoraka. Volumen uzorka može se odrediti iz projektiranih dimenzija, metodom uranjanja u vodu i metodom izmjere dimenzija. Zasićenost uzorka i metoda određivanja volumena trebaju biti navedene uz rezultat ispitivanja.

Preporučuje se određivanje gustoće vodom zasićenog uzorka uvaljanog betona metodom uranjanja u vodu. Za ispitivanje se mogu upotrijebiti uzorci prije ispitivanja tlačne čvrstoće. Ako se radi o uzorcima izvađenim iz konstrukcije, dobivena gustoća može se usporediti s gustoćom dobivenom ispitivanjem uzoraka ugrađenih jednom od metoda za izradu uzoraka iz niza HRN EN 13286. Uzorci kojima se uspoređuje gustoća trebaju biti u istom stanju zasićenosti vodom. Način usporedbe opisan je u HRN EN 13877-2.

2.1.2.4. Vlačna čvrstoća cijepanjem očvrsnulog uvaljanog betona

Vlačna čvrstoća cijepanjem ispituje se prema HRN EN 12390-6 na vodom zasićenim uzorcima uvaljanog betona u starosti od 28 dana. Uzorci mogu biti promjera 100 mm i 150 mm, odnosa promjera i visine od 1 do 2, izrađeni u laboratoriju ili izvađeni iz konstrukcije. U HRN EN 12390-6 navedeno je da nije utvrđen značajan utjecaj veličine uzorka oblika valjka na izmjerenu vlačnu čvrstoću cijepanjem, moguće zbog varijabilnosti podataka.

Razredi vlačne čvrstoće cijepanjem betona ugrađenog u kolnike definirani su u HRN EN 13877-1 za uzorke promjera barem 3,5 puta većeg od gornje nazivne veličine zrna agregata u betonu, ali ne manjeg od 100 mm i odnosa visine i promjera 2:1. Razredi vlačne čvrstoće cijepanjem betona uzoraka izvađenih iz kolnika definirani su u HRN EN 13877-2, ali nije navedeno kakve su dimenzije uzoraka koji se ispituju.

Nejasno je uzima li se u HRN EN 13877-2 u obzir korekcija karakteristične vlačne čvrstoće cijepanjem uzoraka izvađenih iz kolnika koja se koristi pri ocjeni tlačne čvrstoće ugrađenog betona.

Preporučuje se u laboratorijskim ispitivanjima uzorke Proctorovim postupkom ugraditi u kalupe i ispitati prema HRN EN 12390-6. Vlačnu čvrstoću cijepanjem uvaljanog betona dobivenu na ovaj način treba ocijeniti prema HRN EN 13877-1.

Za uvaljani beton ugrađen u betonski kolnik mjerodavne su odredbe HRN EN 13877-2, odnosno vađenje uzoraka iz konstrukcije prema HRN EN 12504-1, ispitivanje prema HRN EN 12390-6 te ocjena prema HRN EN 13877-2.

2.1.2.5. Vlačna čvrstoća savijanjem uvaljanog betona

Vlačna čvrstoća savijanjem ispituje se prema HRN EN 12390-5 na vodom zasićenim uzorcima uvaljanog betona u starosti od 28 dana. Uzorci su oblika prizme dimenzija (40 x 10 x 10) cm. Budući da metodama za izradu uzoraka iz niza HRN EN 13286 nije moguće izraditi uzorke oblika prizme (vidi točku 2.1.2.1.), za određivanje čvrstoće na savijanje može se upotrijebiti korelacija s tlačnom čvrstoćom koja je ispitana na uzorcima izrađenim prema normama iz niza HRN EN 13286 pomoću izraza [5]:

$$f_r = C \times \sqrt{f_c}$$

Gdje je:

f_r – čvrstoća na savijanje (opterećenje u trećinama raspona) (MPa)

f_c – tlačna čvrstoća (MPa)

C – 0,74 do 0,91

Ovaj je odnos približan i ne mora odgovarati stvarnom stanju, tako da se vrijednost čvrstoće na savijanje dobivena na ovaj način može značajno razlikovati od stvarne čvrstoće na savijanje. U literaturi se mogu naći i drugi izrazi za izračun čvrstoće na savijanje iz tlačne čvrstoće i iz vlačne čvrstoće cijepanjem.

Stvarna čvrstoća na savijanje može se ispitati na uzorcima ispiljenim iz konstrukcije, priređenim piljenjem na dimenzije (40 x 10 x 10) cm i ispitanim prema HRN EN 12390-5 u vodom zasićenom stanju. Budući da zasićenost uzoraka značajno utječe na vrijednost čvrstoće na savijanje, odnosno da je čvrstoća na savijanje uzoraka ispitanih u vodom zasićenom stanju i do 50 % veća od čvrstoće na savijanje uzoraka ispitanih u suhom stanju, važno je uzorke zasiti prije ispitivanja, odnosno ispitati u stanju zasićenosti koje je predviđeno normom ispitivanja.

Razredi vlačne čvrstoće savijanjem betona ugrađenog u kolnike definirani su u HRN EN 13877-1.

2.1.2.6. Dubina prodora vode pod tlakom

Dubina prodora vode pod tlakom ispituje se prema HRN EN 12390-8 na vodom zasićenim uzorcima betona u starosti od 28 do 36 dana. Rezultat ovog ispitivanja služi kao mjera propusnosti uvaljanog betona. Prodoru vode pod tlakom izlaže se gornja površina uzorka izbušenog iz konstrukcije ili ugrađenog u kalup oblika valjka. Ako je gornja površina betona toliko hrapava da je gumeni prsteni ne mogu zabrtviti, dio koji dodiruje prstene može se prirediti brušenjem ili namazom. Ovaj postupak nije opisan u normi ispitivanja.

2.1.2.7. Modul elastičnosti uvaljanog betona

Modul elastičnosti uvaljanog betona ispituje se prema HRN EN 12390-13 na vodom zasićenim uzorcima betona u starosti od 28 dana. Odnos visine i promjera, odnosno stranice uzorka mora biti veći od 2. Takve uzorke nije moguće dobiti u Proctorovu kalupu, ali ih je moguće izbušiti iz konstrukcije i, ako je potrebno, prirediti piljenjem. Ako je debljina konstrukcije manja od 20 cm, iz izvađenog uzorka oblika valjka moguće je dobiti uzorak oblika prizme traženog odnosa visine i stranice.

2.1.2.8. Otpornost površine betona na smrzavanje i odmrzavanje uz soli

Otpornost površine betona na smrzavanje i odmrzavanje uz soli ispituje se prema HRN CEN/TS 12390-9. Ispitivanju se izlaže gornja površina uzorka izbušenog iz konstrukcije ili ugrađenog u kalup oblika valjka promjera 150 mm. Ispitivanju se može izložiti i piljena strana uzorka, kao što se radi s uzorcima običnog betona, što treba navesti u izvještaju o ispitivanju. Rezultati ispitivanja površinske strane uzorka uvaljanog betona mogu se značajno razlikovati od rezultata ispitivanja piljene strane uzorka. S obzirom na to da se kod kolničke konstrukcije zna koja je površina izložena smrzavanju, preporučuje se ispitivanje izvršiti na površinskoj strani uzorka.

Razredi otpornosti na smrzavanje i odmrzavanje uz soli površine betona ugrađenog u kolnike definirani su u HRN EN 13877-2. Kriteriji za svrstavanje u razrede FT0 do FT2 nešto su blaži od kriterija za beton navedenih u HRN 1128 (XF2 i XF4) i Tehničkom propisu za betonske konstrukcije.

2.1.2.9. Otpornost betona na habanje

Otpornost površine betona na habanje ispituje se prema HRN 1128, dodatak M. Uzorci se priređuju piljenjem iz uzorka promjera 150 mm izbušenog iz konstrukcije ili ugrađenog u kalup oblika valjka promjera 100 mm ili 150 mm. S obzirom na to da se kod kolničke konstrukcije zna koja je površina izložena habanju, preporučuje se ispitivanje izvršiti na površinskoj strani uzorka.

2.1.2.10. Koja svojstva očvrstulog betona propisati projektom?

Od gore navedenih svojstava očvrstulog betona projektom treba propisati tlačnu čvrstoću, vlačnu čvrstoću savijanjem i vlačnu čvrstoću cijepanjem. Ostala svojstva projektant propisuje prema potrebi, ovisno o predviđenoj namjeni, uvjetima upotrebe i razredu izloženosti. Pri izboru svojstava koja će se pratiti mogu pomoći upute iz HRN EN 13877-1 i HRN EN 13877-2.

2.2. Sastavni materijali

Osnovni sastojci uvaljanog betona isti su kao i sastojci običnog betona. To su: cement, voda, agregat, mineralni i kemijski dodaci. S obzirom na specifičnu namjenu i svojstva uvaljanog betona udio sastavnih materijala u uvaljanom betonu razlikuje se od onoga u običnom betonu [4]. Pri izboru sastavnih materijala, ako nije drukčije navedeno, primjenjuju se navodi iz HRN EN 206.

2.2.1. Cement

Za izradu uvaljanog betona preporučuje se upotreba cementa CEM I i CEM II. Ovisno o mjestu upotrebe, može se upotrijebiti i CEM III, vodeći računa o standardnoj konzistenciji cementa i različitim potrebama za vodom različitih vrsta cementa. Opća prikladnost utvrđena je, kao i za obični beton, sukladno normi HRN EN 197-1.

2.2.2. Voda

Podobnost vode za izradu uvaljanog betona i obnovljene vode iz proizvodnje betona utvrđena je zadovoljenjem uvjeta norme HRN EN 1008. Pitka voda zadovoljava zahtjeve navedene norme.

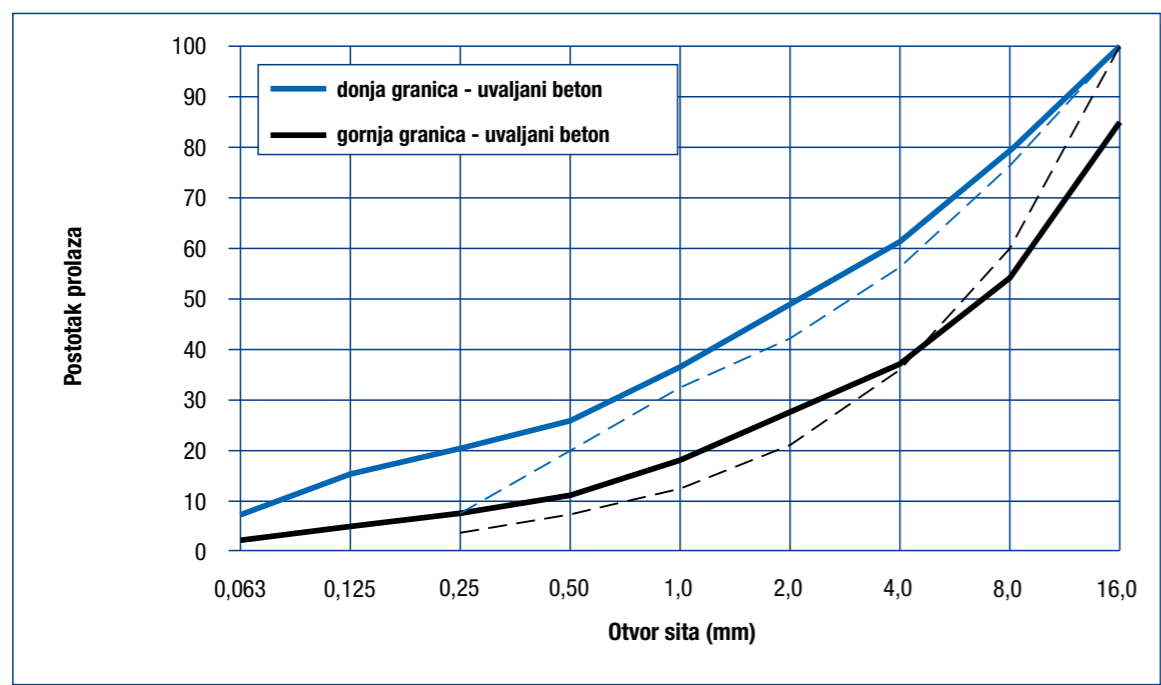
Voda za zaštitu i njegu betona treba ispunjavati iste zahtjeve kao i voda za pripremu betona.

2.2.3. Agregat

Za izradu uvaljanog betona upotrebljava se agregat za beton koji zadovoljava uvjete HRN EN 12620, dakle agregat koji se upotrebljava za izradu običnog betona. Udio agregata u uvaljanom betonu veći je nego udio u običnom betonu i kreće se od 75 % do 85 % volumena mješavine [5].

Gradacija agregata treba biti takva da se omogući maksimalna zbijenost i istovremeno dobra ugradljivost i mogućnost površinske obrade. Dobra gradacija agregata rezultira uvaljanom betonom bez segregacije, s dobrim fizikalno-mehaničkim i trajnosnim svojstvima.

Preporučene granice granulometrijskog sastava agregata dane su na slici 2/3. Postotci prolaza agregata na pojedinim sitima interpolacijom su dobiveni iz preporučenih prolaza na sitima s veličinom otvora definiranom u inčima [5].



Slika 2/3: Preporučene granice granulometrijskog sastava agregata za uvaljani beton [5] uspoređene s preporučenim granicama A16 i B16 za obični beton (HRN 1128)

Tablica 2/1: Preporučene granice granulometrijskog sastava agregata za uvaljani beton i preporučene granice A16 i B16 za obični beton

Otvor sita (mm)	0,063	0,125	0,25	0,50	1,0	2,0	4,0	8,0	16,0
	Postotak prolaza (%)								
donja granica uvaljani beton	1,7	5	7	11	18	27	37	54	85
gornja granica uvaljani beton	6,7	15	20	25	36	49	61	79	100
donja granica A16 obični beton	-	-	3	7	12	21	36	60	100
gornja granica B16 obični beton	-	-	8	20	32	42	56	76	100

Na slici 2/3, uz preporučene granične krivulje agregata namijenjenog za upotrebu u uvaljanom betonu dane su i preporučene granične krivulje agregata namijenjenog za upotrebu u običnom betonu definirane u HRN 1128 za agregat s najvećim zrnom od 16 mm. U tablici 2/1 prolazi na sitima iskazani su numerički.

Preporučena količina sitnih čestica u uvaljanom betonu značajno je veća od količine sitnih čestica u običnom betonu. Preporučena količina sitnih čestica manjih od 0,063 mm iznosi od 2 % do 7 %. To su otprilike preporučene granične vrijednosti prolaza agregata kroz sito 0,25 mm za obični beton. Takva količina sitnih čestica potrebna je kako bi se zapunila struktura betona, omogućila dobra zbijenost i obrada površine uvaljanog betona. Kako bi se dobila potrebna količina sitnih čestica, u beton se može dodati filer ili neki drugi mineralni dodatak. Frakcije krupnije od 4 mm moraju biti isključivo od drobljenog agregata.

Veličina maksimalnog zrna agregata ne smije biti veća od 1/3 debljine sloja. Preporučuje se u betonu koristiti agregat s maksimalnim zrnom agregata od najviše 16 mm. Agregat za kolnik od uvaljanog betona treba imati gustoću zrna veću od 2.600 kg/m³ i treba biti dobiven preradom prirodnih mineralnih materijala. Ako se za izradu agregata upotrebljavaju industrijski proizvedeni ili reciklirani materijali ili mješavina tih materijala, njihovu pogodnost za izradu agregata za uvaljani beton treba dokazati ispitivanjima.

2.2.4. Mineralni dodaci

Za upotrebu mineralnih dodataka tipa I i II vrijede uvjeti iz HRN EN 206. Upotrebom mineralnih dodataka nadomješta se dio sitnih čestica koje nedostaju kako bi se postigla optimalna granulometrijska krivulja u granicama prikazanim na slici 2/3.

Mineralni dodaci tipa I trebaju zadovoljavati uvjete norma HRN EN 12620 i HRN EN 12878. Mineralni dodaci tipa II trebaju zadovoljavati uvjete norma HRN EN 450-1 i HRN EN 13263-1.

Mineralni dodaci tipa II (leteći pepeo i silicijska prašina) sve se više koriste u proizvodnji uvaljanog betona.

Dodatkom filera (mineralni dodatak tipa I) nadomješta se dio sitnih čestica koji nedostaje u agregatu, te time omogućava dobro popunjavanje strukture betona čime se poboljšava obradivost, mogućnost zbijanja i obrade površine betona.

Dodatak letećeg pepela znatno utječe na kasnije čvrstoće betona, na poboljšavanje obradivosti betona, smanjenje propusnosti betona, uštede u proizvodnji, pogodnost za gradnju masivnih betonskih konstrukcija, povećanje čvrstoće i trajnost betona.

Dodatkom letećeg pepela povećava se mogućnost zbijanja betona zbog povećanja količine finih čestica u betonu, a također se poboljšava i kvaliteta završne obrade površine uvaljanog betona.

Dodatkom silicijske prašine popunjava se struktura betona, povećava čvrstoća uvaljanog betona (tlačna i vlačna) i otpornost betona na smrzavanje. Količina silicijske prašine ograničena je na 10 % mase u odnosu na ukupnu količinu veziva [5].

Leteći pepeo i silicijska prašina mogu se upotrijebiti i kao filer, odnosno kao dodatak agregatu u slučaju da ne sadrži dovoljnu količinu sitnih čestica, čime se povećava obradivost i gustoća uvaljanog betona.

2.2.5. Kemijski dodaci – aditivi

Za upotrebu kemijskih dodataka vrijede uvjeti iz HRN EN 206. Kemijski dodaci betonu moraju imati certificiranu kontrolu tvorničke proizvodnje te moraju biti sukladni normama HRN EN 934-2 i HRN EN 934-6. Usporivači se u uvaljani beton dodaju radi produljenja vremena ugradnje. Plastifikatori se dodaju radi bolje ugradljivosti i obradivosti površine uvaljanog betona. Aeranti se mogu dodati, ali nije točno utvrđeno kako djeluju u uvaljanom betonu.

Superplastifikatori se mogu dodati, ali obzirom na malu količinu vode potrebnu za izradu uvaljanog betona nema opravdanog razloga za njihovu upotrebu.

Kod uvaljanog betona, kojeg karakterizira suha mješavina, odnosno mali sadržaj vode, učinak kemijskih sredstava doziranih kao za obični beton često je neznatan, pa je količine aditiva potrebno značajno povećati [4]. Prednost je uvaljanog betona to što kemijski dodaci nisu presudni u izvođenju kvalitetnog kolnika.

2.3. Projektiranje sastava, probne mješavine

Pri projektiranju sastava uvaljanog betona cilj je da se s odabranim materijalima postigne najveća zbijenost. S obzirom na konzistenciju uvaljanog betona i način ugradnje koji uvaljani beton smještaju u granično područje između betona projektiranog i proizvedenog sukladno HRN EN 206 i materijala koji spadaju u nevezane i hidrauličnim vezivom vezane mješavine čija se svojstva određuju prema nizu norma HRN EN 13286, pri projektiranju ove vrste betona koristi se kombinacija metoda iz oba područja.

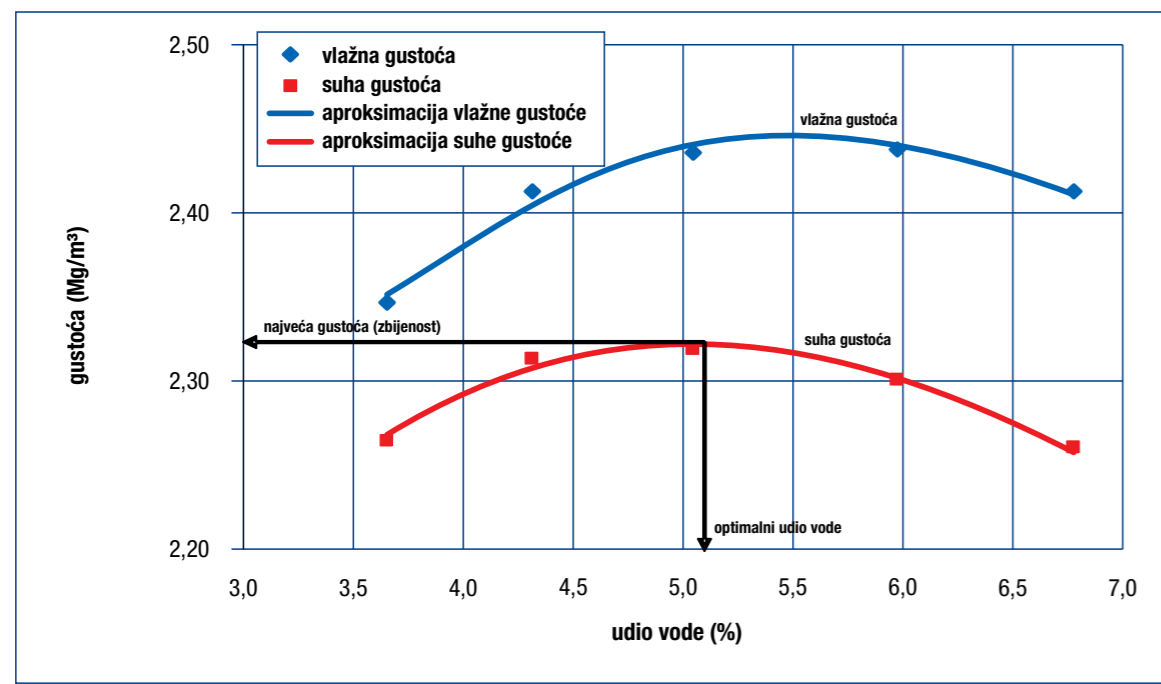
Koraci pri projektiranju sastava uvaljanog betona su sljedeći:

1. Postavljanje projektnih zahtjeva u odnosu na kriterije koje beton treba zadovoljiti (tlačna čvrstoća, razredi izloženosti, granične vrijednosti količina sastavnih dijelova i slično).

2. Određivanje početne recepture betona s pretpostavljenom početnom optimalnom vlažnošću. Receptura se radi na način uobičajen za beton, iz zadanih količina cementa, vode i dodataka, poznate gustoće svih materijala i pretpostavljene količine zraka. Pri izradi recepture može se u obzir uzeti stvarna apsorpcija agregata ili računati s apsorpcijom agregata jednakom 0. Također treba odrediti vlažnost agregata kako bi se mogla izvršiti korekcija količine vode.
3. Izrada prve probne mješavine uvaljanog betona na kojoj se modificiranom Proctor metodom prema HRN EN 13286-2 određuje stvarni udio vode te gustoća vlažnog i suhog zbijenog materijala. Ako se uzorci zbijeni Proctorovim postupkom ostavljaju za ispitivanje tlačne čvrstoće, vlažnost mješavine betona može se odrediti sušenjem usporednog uzorka uvaljanog betona, koji je uzet u isto vrijeme kad i uzorak za ispitivanje Proctorovim postupkom, što predstavlja odstupanje od norme. Vlažnost se određuje sušenjem u sušioniku na (110 ± 5) °C do stalne mase.
4. Na temelju početnih vrijednosti gustoće izrađuju se nove mješavine betona u kojima se u odnosu na početnu recepturu mijenja samo količina vode, odnosno vlažnost mješavine. Za svaku se mješavinu Proctorovim postupkom odredi stvarna vlažnost te gustoća vlažnog i suhog zbijenog materijala.
5. Na kraju postupka projektiranja sastava izrađuje se dijagram ovisnosti gustoće u vlažnom i suhom stanju o vlažnosti, odnosno udjelu vode. Uglavnom se izrađuje pet mješavina betona, tako da se krivulja dobiva aproksimacijom pet točaka. Obično se radi o parabolama. Maksimum krivulje predstavlja točku najveće zbijenosti i optimalnu vlažnost uvaljanog betona. Primjer određivanja optimalne vlažnosti prikazan je na slici 2/4.

6. Na početku postupka pretpostavljen je sadržaj zraka u mješavini. Pri projektiranju sastava običnog betona stvarna receptura betona određuje se nakon izrade probne mješavine betona i ispitivanja sadržaja zraka prema HRN EN 12350-7. Kako kod uvaljanog betona nije moguće sadržaj zraka odrediti neposrednim ispitivanjem, odredit će se posredno, tako da sadržaj zraka uz unijete sastojke betona računanjem povratne recepture daje gustoću betona dobivenu ispitivanjem vlažne mješavine Proctorovim postupkom.

Sljedeći korak u projektiranju sastava betona može biti izrada nove serije betona s promijenjenom količinom cementa ili promijenjenim granulometrijskim sastavom agregata.



Slika 2/4: Rezultati ispitivanja prema modificiranom Proctorovom postupku – određivanje optimalne vlažnosti i najveće zbijenosti

Maksimumi se krivulja gustoće u suhom i vlažnom stanju ne podudaraju. Kod nevezanih mješavina za koje je i razvijena metoda Proctora, kao referentna krivulja uzima se ona koja se odnosi na suhu gustoću. Moguće je da bi za uvaljani beton ispravnije bilo koristiti krivulju vlažnih gustoća, što se temelji na činjenici da veći dio vode koja je sastavni dio mješavine uvaljanog betona postaje sastavni dio produkata hidratacije cementa, što nije slučaj kod nevezanih mješavina. Zbog toga je vlažna gustoća svježeg uvaljanog betona bliže gustoći vodom zasićenog očvrstnulo uvaljanog betona. Osim toga, veća je preciznost mjerenja vlažne gustoće nego suhe gustoće, jer se dobiva neposrednim mjerenjem. Zbog svega navedenog, dozvoljava se kao referentnu gustoću uzimati vlažnu gustoću svježeg uvaljanog betona.

Optimalna vlažnost (udio vode) koja se očita s grafa predstavlja ciljanu vlažnost uvaljanog betona koja se treba ostvariti prilikom izvođenja kolnika u trenutku zbijanja uvaljanog betona. Iz praktičnih se razloga preporučuje za ciljanu vlažnost (udio vode) odabrati vrijednost zaokruženu na 0,1 % u području između maksimalne suhe i maksimalne vlažne gustoće.

3. DIMENZIONIRANJE KOLNIKA OD UVALJANOG BETONA

3.1. Općenito

U ovom poglavlju prikazan je način proračuna betonskih kolničkih konstrukcija u prvom redu za cestovni kolnik, a zatim i za parkirališne površine i manje prometnice. Betonski kolnik može se koristiti i za prilazne ceste, terminale, poljoprivredne ceste, luke, vojne namjene itd.

Manje prometnice i parkirališne površine razlikuju se od ostalih kolnika s obzirom na to da je njihova površina predviđena za stajanje vozila i drugih tereta, a ne za njihovo kretanje. Projektiranje manjih prometnica i parkirališta uglavnom se provodi prema prihvaćenim postupcima za projektiranje betonskih kolnika, što uključuje procjenu nosivosti, odvodnje, kontrole pukotina, troškova izgradnje i održavanja i sl.

Za razliku od cestovnih kolnika, manje prometnice i parkirališne površine nisu predviđene za širok spektar prometnih opterećenja (od osobnih vozila do vrlo teških vozila). Uglavnom se prometnom signalizacijom teža vozila odvajaju i usmjeravaju s površina predviđenih za osobna i laka teretna vozila, a na površinama predviđenim za teža teretna vozila uglavnom je moguće predvidjeti veličinu i broj opterećenja.

Opterećenja se na betonskim kolnicima, u odnosu na asfaltne, zbog njihove veće krutosti šire na veće površine tla ispod konstrukcije, uzrokujući manja naprezanja na posteljici. Osim toga, prednosti betonskih površina su sljedeće:

- betonske površine otpornije su na manevriranje vozila
- odvodnja s betonskih površina moguća je i pri vrlo malim nagibima
- zahtjevi za održavanjem vrlo su mali
- uglavnom imaju projektno razdoblje od 30 godina
- oznake trakova i parkirališnih mjesta mogu se poklapati s razdjelnicama
- ostaci ulja iz vozila minimalno utječu na beton
- svijetla se površina betona s vrlo malo energije može efikasno osvijetliti
- na betonskim je površinama značajno manje isijavane topline nego kod asfaltnih površina

Za razliku od cestovnih kolnika, na manjim su prometnicama i parkirališnim površinama opterećenja uglavnom koncentrirana na središnjim pločama kojima je osigurana potpora svih rubova, što uzrokuje manje pomake i naprezanja. Odvodnja vode rješava se njenim prikupljanjem ispod površine kolnika i odvođenjem podzemnim sustavima.

Metode dimenzioniranja betonskih površina dijelom su empirijske i temelje se na metodama razvijenim za proračun kolnika cesta (metoda *Portland Cement Association*, 1984. i *AASHTO* metoda, 1993). Ove se metode svode na ograničavanje naprezanja u betonskoj ploči te na ograničavanje pada funkcionalnosti kolnika uzrokovanog miješanim prometnim opterećenjem. Smanjenje debljine ploče ispod propisane značajno povećava naprezanja u kolničkoj konstrukciji, smanjuje njenu nosivost i skraćuje joj životni vijek.

U Tehničkom propisu za betonske konstrukcije propisana su, u okviru ispunjavanja temeljnih zahtjeva za građevinu, tehnička svojstva za betonske konstrukcije u građevinama, zahtjevi za projektiranje, izvođenje radova na izradi, uporabljivost, održavanje i drugi zahtjevi za betonske konstrukcije, te tehnička svojstva i drugi zahtjevi za građevne proizvode namijenjene ugradnji u betonsku konstrukciju.

3.2. Procedure za dimenzioniranje

Dimenzioniranje kolnika obuhvaća odabir dimenzija i detalja kojima će se osigurati ploča koja će adekvatno prenijeti predviđeni promet na posteljicu, odabir prikladnih razdjelnica i njihovu lokaciju, usmjeravanje i odvajanje prometa, pravilno projektiranje odvodnje i rasvjete, te efikasnu i ekonomičnu izgradnju. Najvažniji je aspekt projektiranja kolničke konstrukcije odabir odgovarajuće debljine ploče na temelju uvjeta tla, prometnog opterećenja, svojstava betona i projektnog razdoblja.

Ploča mora moći prenijeti najveće očekivano opterećenje bez pojave kritičnih naprezanja, u samoj ploči i u slojevima ispod nje. Razdjelnice uzrokuju diskontinuitet kolnika te pri prelasku opterećenja preko njih može doći do nepoželjnih pomaka ili naprezanja u ploči ili u tlu ispod nje. Opetovani pomaci ruba ploče, a zatim i pomaci na posteljici, mogu izazvati pojavu pukotina od zamora u ploči i oštećenje razdjelnica. Naprezanja se u ploči mogu javiti i uslijed diferencijalnih volumnih promjena gornje i donje površine ploče, uslijed razlika u sadržaju vlage i temperaturi. Uslijed diferencijalnog skupljanja i širenja može doći do vitoperenja. Ovaj se efekt može umanjiti smanjenjem tlocrtnih dimenzija ploča i povećanjem njene debljine (minimalna preporučena debljina ploče je 100 mm).

U Tehničkom propisu za betonske konstrukcije dani su, između ostalog, zahtjevi za projektiranje betonskih konstrukcija.

3.3. Svojstva uvaljanog betona

Betonske mješavine za kolničke konstrukcije moraju biti projektirane na način da imaju traženu čvrstoću na savijanje, trajnost i ugradljivost. Opterećenja na betonskim kolnicima uzrokuju tlačna naprezanja (f_c') i naprezanja uslijed savijanja. Naprezanja uslijed savijanja kritičnija su jer su vrlo visoka u odnosu na čvrstoću betona na savijanje. Zbog toga se 28-dnevna čvrstoća na savijanje uobičajeno koristi kao mjerodavna kod dimenzioniranja betonskih kolnika.

Za projektiranje kolnika s predviđenim teškim prometnim opterećenjem odnos između tlačne čvrstoće (f_c') i čvrstoće na savijanje (f_{sav}) trebao bi se odrediti laboratorijskim ispitivanjima, dok se za ostale projekte taj odnos pretpostavlja kao:

$$f_{sav} = 0,7 \sqrt{f_c'} \text{ (glatki, okrugli agregat) ili } f_{sav} = 0,8 \sqrt{f_c'} \text{ (drobljeni agregat, hrapave površine).}$$

3.4. Naprezanja

Maksimalna vlačna naprezanja u betonskim se kolnicima javljaju na slobodnim rubovima ploča, dok su naprezanja u području blizu unutarnjih razdjelnica uglavnom manja. Površine sa slobodnim rubovima relativno su male i opterećenja su uglavnom koncentrirana na unutarnjim pločama.

3.5. Prometno opterećenje

Za projektiranje konstrukcije betonskog kolnika potrebno je poznavati tipove vozila koja se predviđaju na kolniku, broj prijelaza svakog tipa vozila, opterećenja vozila, dnevni ili ukupni volumen vozila predviđen tijekom projektnog razdoblja.

3.6. Nosivost posteljice

Pravilna priprema posteljice osigurat će funkcionalnu betonsku kolničku konstrukciju. Vrlo je važno osigurati jednoličnost tipa, sadržaja vlage i gustoće podložnog tla. Ako je potrebno provodi se zamjena materijala posteljice.

Opseg geotehničkih ispitivanja određuje se ovisno o veličini projekta. Geotehnička ispitivanja uključuju identifikaciju i svojstva tla te njihovu prikladnost da se koriste kao posteljica.

Sposobnost podložnog tla da osigura ravnomjeran oslonac opterećenjima koja se prenose preko kolničke konstrukcije utječe na odabir debljine konstrukcije i ukupnu funkcionalnost kolnika.

Relativna nosivost posteljice izražava se modulom reakcije posteljice k , kalifornijskim indeksom nosivosti CBR, koeficijentom otpornosti R ili koeficijentom nosivosti tla SSV . U tablici 3/1 prikazane su vrijednosti nosivosti posteljice za nekoliko tipova tla. Vrijednosti u tablici odnose se na pravilno zbijenu posteljicu.

Tablica 3/1: Tipovi posteljice i približne vrijednosti nosivosti (Portland Cement Association, 1984., American Concrete Pavement Association, 1982. i "Smjernice za projektiranje, građenje i održavanje betonskih parkirališta", 2014. [4])

Tip tla	Nosivost	k, MPa/m	CBR	R	SSV
Sitnozrna tla u kojima prevladavaju mulj i glina	Niska	20 do 32	2,5 do 3,5	10 do 22	2,3 do 3,1
Pijesak i mješavine pijeska sa šljunkom s umjerenim sadržajem mulja i gline	Srednja	35 do 46	4,5 do 7,5	29 do 41	3,5 do 4,9
Pijesak i mješavine pijeska sa šljunkom uglavnom bez mulja i gline	Visoka	48 do 59	8,5 do 12	45 do 52	5,3 do 6,1

CBR – kalifornijski indeks nosivosti

R – koeficijent otpornosti

SSV – koeficijent nosivosti tla

U područjima u kojima postoji opasnost od utjecaja smrzavanja na kolničku konstrukciju treba obratiti pozornost na vrstu tla (neke vrste tla su naročito osjetljive na smrzavanje) zbog mogućeg bubrenja tla i vertikalnog izdizanja kolničke konstrukcije, uslijed stvaranja ledenih leća u tlu. Kako bi se osigurala jednolična potpora betonskoj ploči, vrlo je važno spriječiti pojavu lokaliziranog bubrenja ispod površine kolničke konstrukcije.

Za razliku od preporuka u američkim smjernicama za projektiranje i građenje betonskih prometnica praksa u Europi, pa i u Hrvatskoj, je da se ispod betonske ploče za kolničku konstrukciju ugrađuje nosivi sloj od nevezanog kamenog materijala u minimalnoj debljini od 20 cm. Ta se debljina može povećati ovisno o klimatskim uvjetima (opasnost od smrzavanja) u kojima se dimenzionira kolnička konstrukcija. Također, za teža opterećenja, na taj se sloj ugrađuje sloj cementom stabiliziranog kamenog materijala u debljini 15 - 20 cm, ili asfaltni sloj u debljini 6 - 8 cm.

Vrlo je važno osigurati adekvatnu odvodnju vode, odnosno onemogućiti skupljanje vode ispod betonske ploče.

Uglavnom nije ekonomično kemijski tretirati posteljicu samo u svrhu povećanja modula reakcije posteljice (k), iako se ovaj postupak može provesti ako se želi smanjiti osjetljivost podloge na eroziju i pumpanje.

U tablici 3/2 prikazan je utjecaj donjeg nosivog sloja na modul reakcije podloge (k).

Tablica 3/2: Modul reakcije podloge ispod betonske ploče, k [MPa/m] (Portland Cement Association, 1984., Federal Aviation Administration, 1978. i "Smjernice za projektiranje, građenje i održavanje betonskih parkirališta", 2014. [4])

Modul reakcije posteljice, k (CBR)	Debljina donjeg nosivog sloja (cm)			
	10	15	23	30
Nosivi sloj od zrnatog kamenog materijala bez veziva				
13,5 (CBR=2)	18 (CBR=2)	20 (CBR=3)	23 (CBR=3)	30 (CBR=4)
27 (CBR=3)	35 (CBR=5)	38 (CBR=6)	43 (CBR=7)	51 (CBR=9)
54 (CBR=10)	59 (CBR=13)	62 (CBR=15)	73 (CBR=21)	86 (CBR=28)
81 (CBR=26)	86 (CBR=28)	89 (CBR=30)	100 (CBR=34)	116 (CBR=42)
Nosivi sloj od zrnatog kamenog materijala stabiliziranog hidrauličkim vezivom				
13,5 (CBR=2)	46 (CBR=8)	62 (CBR=15)	84 (CBR=27)	105 (CBR=37)
27 (CBR=3)	76 (CBR=23)	108 (CBR=38)	140 (CBR=52)	173 (CBR=68)
54 (CBR=10)	127 (CBR=46)	173 (CBR=68)	224 (CBR=106)	-

Tablica 3/2: Nastavak

Modul reakcije posteljice, k (CBR)	Debljina donjeg nosivog sloja (cm)			
	10	15	23	30
Nosivi sloj od zrnatog kamenog materijala stabiliziranog nehidrauličkim vezivom				
13,5 (CBR=2)	23 (CBR=3)	31 (CBR=4)	46 (CBR=8)	58 (CBR=12)
27 (CBR=3)	47 (CBR=8)	57 (CBR=12)	73 (CBR=21)	88 (CBR=29)
54 (CBR=10)	76 (CBR=23)	85 (CBR=28)	97 (CBR=33)	108 (CBR=38)
81 (CBR=26)	95 (CBR=32)	104 (CBR=36)	113 (CBR=40)	132 (CBR=48)

3.7. Proračun debljine kolnika od uvaljanog betona

U tablici 3/3 prikazana je raspodjela opterećenja po osovina na temelju koje su određene četiri kategorije prometa, a koje se koriste u tablicama 3/4 i 3/5.

Tablica 3/3: Raspodjela opterećenja po osovina (ACI 330R-08 [1] i "Smjernice za projektiranje, građenje i održavanje betonskih parkirališta" [4])

Opterećenje po osovini (kN)	Broj osovina za 1000 kamiona*			
	Kategorija A	Kategorija B	Kategorija C	Kategorija D
Jednostruke osovine				
18	1693,31	1693,31	-	-
17	732,28	732,28	-	-
36	483,10	483,10	233,60	-
44	204,96	204,96	142,70	-
53	124,00	124,00	116,76	-
62	56,11	56,11	47,76	-
71	38,02	38,02	23,88	1000
80	-	15,81	16,61	-
89	-	4,23	6,63	-
98	-	0,96	2,6	-
107	-	-	1,6	-
116	-	-	0,07	-
125	-	-	-	-
133	-	-	-	-
142	-	-	-	-
151	-	-	-	-

Tablica 3/3: Nastavak

Opterećenje po osovini (kN)	Broj osovina za 1000 kamiona*			
	Kategorija A	Kategorija B	Kategorija C	Kategorija D
Dvostruke osovine				
18	31,90	31,90	-	-
36	85,59	85,59	47,01	-
53	139,30	139,30	91,15	-
71	75,02	75,02	59,25	-
89	57,10	57,10	45,00	-
107	39,18	39,18	30,74	-
125	68,48	68,48	44,43	-
142	69,59	69,59	54,76	2000
160	-	4,19	38,79	-
178	-	-	7,76	-
196	-	-	1,16	-
214	-	-	-	-
231	-	-	-	-
249	-	-	-	-
267	-	-	-	-

* Odnosi se na kamione s najmanje 6 kotača (ekvivalentna 100 kN osovina)

Za projektiranje konstrukcije prometnih površina prema American Concrete Institute koriste se tablice 3/4 i 3/5.

Betonski kolnici mogu bit armirani ili nearmirani, ovisno o tome sadrže li čeličnu armaturu. Je li betonska ploča armirana ili ne utječe na raspored razdjelnica, a ne na nosivost ploče.

Tablice 3/4 i 3/5 služe za odabir prikladne debljine ploče kolnika za najčešće susretane tipove prometnog opterećenja i uvjete tla na manjim prometnicama i parkirališnim površinama.

U tablici 3/4 prikazane su četiri kategorije prometnog opterećenja (iz tablice 3/3), a u tablici 3/5 dane su preporučene debljine ploča kolnika, ovisno o dnevnom broju prijelaza ekvivalentnih 100 kN osovina (kamiona s najmanje 6 kotača), za četiri različite kategorije prometa (A, B, C i D, iz tablice 3/4) i šest različitih kategorija nosivosti posteljice. Visoke vrijednosti nosivosti posteljice koriste se u slučaju da je posteljica stabilizirana ili se nova konstrukcija izvodi na postojećem savitljivom kolniku. Nosivost posteljice, odnosno podloge betonske ploče, može se odrediti pomoću tablica 3/1 i 3/2. Debljine su određene na temelju 28-dnevnih čvrstoća betona na savijanje (3,5 do 4,5 MPa). Usporedbom troškova pokazalo se da je u slučajevima gdje nema opasnosti od djelovanja ciklusa smrzavanja i odmrzavanja opravdano korištenje betona niže čvrstoće. Vrijednosti u tablici dane su za 20-godišnje projektno razdoblje, s pouzdanošću od 95 %.

Tablica 3/4: Kategorije prometa (ACI 330R-08 [1] i "Smjernice za projektiranje, građenje i održavanje betonskih parkirališta", [4])

1. Površine za manje prometnice i parkiranje osobnih automobila i pristupni trakovi – KATEGORIJA A		
2. Ulazni i uslužni trakovi za trgovačke centre – KATEGORIJA B		
3. Površine za manje prometnice i parkiranje autobusa: - površine za manje prometnice, parkiranje i unutarnji trakovi – KATEGORIJA B - ulazni i vanjski trakovi – KATEGORIJA C		
4. Površine za manje prometnice i parkiranje kamiona – KATEGORIJA B, C ili D		
Tip kamiona	Površine za manje prometnice i parkiranje te unutarnji trakovi	Ulazni i vanjski trakovi
Kamioni bez prikolica	Kategorija B	Kategorija C
Kamioni s prikolicom	Kategorija C	Kategorija D

Tablica 3/5: Preporuke za debljine ploča, cm (bez moždanika), za dvadesetogodišnji projektni period (ACI 330R-08 [1] i "Smjernice za projektiranje, građenje i održavanje betonskih parkirališta", [4])

f _{sav} (MPa):	k = 135 MPa/m (CBR 50)				k = 108 MPa/m (CBR 38)				k = 81 MPa/m (CBR 26)				
	4,5	4,1	3,8	3,5	4,5	4,1	3,8	3,5	4,5	4,1	3,8	3,5	
Kategorija prometa	A (ADTT=1)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	11	
	A(ADTT=10)	10	10	10	11	10	10	11	11	10	11	11	
	B (ADTT=25)	10	11	11	13	11	11	13	14	11	11	13	14
	B (ADTT=300)	13	13	14	14	13	13	14	14	13	14	14	15
	C (ADTT=100)	13	13	14	14	13	14	14	15	14	14	15	15
	C (ADTT=300)	13	14	14	15	14	14	15	15	14	15	15	17
	C (ADTT=700)	14	14	15	15	14	14	15	17	14	15	17	17
	D (ADTT=700)	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
f _{sav} (MPa):	k = 54 MPa/m (CBR 10)				k = 27 MPa/m (CBR 3)				k = 13,5 MPa/m (CBR 2)				
	4,5	4,1	3,8	3,5	4,5	4,1	3,8	3,5	4,5	4,1	3,8	3,5	
Kategorija prometa	A (ADTT=1)	10	10	10	11	10	11	11	13	11	13	13	14
	A(ADTT=10)	11	11	13	13	11	13	13	14	13	14	14	15
	B (ADTT=25)	13	13	14	15	14	14	15	15	15	15	17	18
	B (ADTT=300)	14	14	15	17	15	15	17	18	17	18	18	19
	C (ADTT=100)	14	15	15	17	15	17	17	18	17	18	19	19
	C (ADTT=300)	15	15	17	17	17	17	18	19	18	19	19	20
	C (ADTT=700)	15	17	17	18	17	18	18	19	18	19	20	22
	D (ADTT=700)	18	18	18	18	20	20	20	20	23	23	23	23

ADTT – prosječni 20-godišnji dnevni promet kamiona s najmanje 6 kotača (ekvivalentno osovinsko opterećenje od 100 kN)

k – modul reakcije posteljice

CBR – kalifornijski indeks nosivosti

R – koeficijent otpornosti

fsav – čvrstoća na savijanje

Usporedba troškova pokazala je da se beton malih čvrstoća može koristiti u područjima gdje nema ciklusa smrzavanja i odmrazavanja. Projektant mora odlučiti je li isplativije povećati debljinu ploče ili njenu čvrstoću.

Treba spomenuti da prema “Općim tehničkim uvjetima za radove na cestama” - knjiga IV, debljina nearmiranog betonskog kolnika ne smije biti manja od:

- 20 cm na cestama s vrlo teškim prometnim opterećenjem
- 18 cm na cestama s teškim prometnim opterećenjem
- 16 cm na cestama s ostalim prometnim opterećenjem

Na manjim prometnicama, parkirališnim i manipulativnim površinama je dozvoljena primjena nearmiranih betonskih kolnika debljine manje od 16 cm pri čemu je potrebno provesti postupak dimenzioniranja opisan u poglavlju 3.7.1. Primjeri ovakvih proračuna za različite slučajeve su dani u poglavlju 3.7.3.

Također, da slojeve ispod betonskog kolnika treba dimenzionirati u:

- cementom ili bitumenom vezanom materijalu za vrlo teško i teško prometno opterećenje
- vezanom i/ili mehanički stabiliziranom materijalu za srednje teško prometno opterećenje
- mehanički stabiliziranom materijalu za ostala prometna opterećenja

3.7.1. Postupak proračuna betonske kolničke konstrukcije parkirališnih površina

Dimenzioniranje krute kolničke konstrukcije temelji se na proračunu naprezanja koja se javljaju u ploči. Zamor betona javlja se pri ponavljanoj opterećenju i rasterećenju, kada omjer stvarnih naprezanja i vlačne čvrstoće betona prelazi 0,5. Iz toga slijedi da se za predviđeno prometno opterećenje može procijeniti razina zamora koju betonska ploča određenih svojstava može podnijeti. U okviru PCA (Portland Cement Association) metode dimenzioniranja (PCA 1984a, b) konstruirani su posebni nomogrami za određivanje naprezanja nastalih djelovanjem jednostrukih i dvostrukih osovinskih opterećenja na betonske kolničke ploče različitih debljina. Kao ulazni parametar potrebno je poznavati modul reakcije podloge ili k. Nomogrami vrijede za unutarnje ploče, odnosno ploče s osiguranim prijenosom opterećenja uklještenjem agregata na svim njihovim rubovima, što odgovara najčešćoj situaciji na parkiralištima. Kasnije su na temelju ove metode razvijena tri izraza za proračun naprezanja (Titus-Glover et al. 2004.; Gotlifet al. 2004.). Jednadžba (I) vrijedi za jednostruku, (II) za dvostruku, a (III) za trostruku osovinu.

$$\sigma_{eq} = \frac{6 \times (-2.659,853 + 1.202,6 \log(l) + 2,109725 \times l) \times (0,8742 + 0,427338 \times k^{0,447})}{h^2} \times \left[\left(\frac{106,757}{SAL} \right)^{0,06} \times \frac{SAL}{80,068} \right] \times 3,97672 \quad (I)$$

$$\sigma_{eq} = \frac{6 \times (4.788,7059 - 1.980,9 \log(l) + 3,89794 \times l) \times (0,8742 + 0,427338 \times k^{0,447})}{h^2} \times \left[\left(\frac{213,515}{TAL} \right)^{0,06} \times \frac{TAL}{160,136} \right] \times 3,97672 \quad (II)$$

$$\sigma_{eq} = \frac{6 \times (-276,788 + 134 \times \log(l) + 0,0326771 \times l) \times (11,3345 + 8,78356 \times k^{0,448})}{h^2} \times \left[\left(\frac{320,272}{TRIAL} \right)^{0,06} \times \frac{TRIAL}{240,204} \right] \times 3,97672 \quad (III)$$

Gdje je:

σ_{eq} – ekvivalentno naprezanje (MPa)

E – modul elastičnosti betona $E = f_{sav} \times 6.750$ (MPa)

f_{sav} – projektirana vlačna čvrstoća betona (MPa)

h – debljina ploče (mm)

k – modul reakcije posteljice (MPa/mm)

μ - Poissonov koeficijent betona 0,15

SAL – opterećenje jednostruke osovine kN

TAL – opterećenje dvostruke osovine kN

TRIAL – opterećenje trostruke osovine kN

$$l - \text{radijus relativne krutosti}, l = 4 \sqrt{\frac{E \times h^3}{12 \times k \times (1-\mu^2)}}$$

Za određivanje debljine ploče koristi se iterativni postupak. Na početku proračuna pretpostavi se debljina betonske ploče. U tu svrhu se mogu koristiti vrijednosti iz tablice 2. Pomoću izraza (I), (II) i (III), poznavajući ostale ulazne podatke, za svaki se tip osovine izračunava inducirano naprezanje. Nakon toga se izračunava omjer inducirano naprezanja i vlačne čvrstoće betona savijanjem za pretpostavljenu debljinu ploče. Za svaki se tip osovine zasebno, pomoću izraza (IV), računa dozvoljeni broj ponavljanja opterećenja tom osovinom.

$$N = 10 \left[\frac{-89,2857 \times \log(1-p)}{SR^{10,24}} \right]^{0,217}$$

Gdje je:

N – dozvoljeni broj ponavljanja opterećenja

SR – omjer naprezanja, $SR = \sigma_{eq} / f_{sav}$

p – vjerojatnost otkazivanja

(1-p) – vjerojatnost neotkazivanja konstrukcije, odnosno ukupna pouzdanost konstrukcije

Tada se projektni broj prijelaza određene osovine dijeli s dozvoljenim brojem ponavljanja opterećenja tom osovinom. Ovaj omjer, izražen u postotku, predstavlja iskorišteni dio kapaciteta kolničke ploče na zamor. Postupak se ponavlja za svaki tip osovine te se zbrajanjem utjecaja od pojedinih osovina dolazi do ukupno iskorištenog kapaciteta zamora kolničke ploče za cjelokupno prometno opterećenje. Smatra se da je kolnička ploča zadovoljavajuće dimenzionirana ako je iskorišteno manje od 125% njenog kapaciteta na zamor. Dozvoljeno je iskorištenje kapaciteta na zamor veće od 100% jer je poznato da će tijekom vremena čvrstoća betona rasti iznad projektirane čvrstoće.

Ukoliko je iskorišteno više od 125% kapaciteta betonske ploče na zamor, potrebno je ponoviti proračun s većom pretpostavljenom debljinom ploče. Ukoliko je iskorišten kapacitet zamora ploče vrlo malen, proračun se može ponoviti s manjom pretpostavljenom debljinom ploče. Na taj način se iterativnim postupkom odabire optimalna debljina betonske kolničke ploče.

Pouzdanost konstrukcije, jednostavno rečeno je čimbenik sigurnosti projektiranog kolnika. To je mjera vjerojatnosti da projektirani kolnik zadrži potpunu funkcionalnost do kraja projektnog razdoblja, odnosno dok se ne ispuni broj prijelaza osovina koji je predviđen kao prometno opterećenje. Projektiranje predviđa da će do otkazivanja kolničke konstrukcije doći ili uslijed zamora betona (pojava pukotina) ili uslijed erozije (ispiranje materijala donjih nosivih slojeva kolničke konstrukcije). Preporučena pouzdanost konstrukcije ovisi o tipu kolnika koji se projektira. Visoka pouzdanost se koristi za jako opterećene prometnice, predviđene za velike brzine prometa, dok se niska pouzdanost koristi za prometnice s predviđenim lakšim prometnim opterećenjem. Ovakav pristup omogućava projektantu da odabirom prikladne pouzdanosti konstrukcije dimenzionira kolničku konstrukciju usklađenu s praktičnim uvjetima projekta.

3.7.2. Proračun betonske kolničke konstrukcije cestovnog kolnika

Rezultate ispitivanja u okviru pokusa AASHTO iskoristili su i u Švicarskoj kako bi razradili metodu za dimenzioniranje krutih kolnika. Tu je metodu opisao Eisenmann u knjizi “Betonfahrbahnen” [9].

Postupak dimenzioniranja po toj metodi obuhvaća:

- određivanje nosivosti tla izraženog modulom reakcije tla k (MPa/m)
- određivanje ukupnog prometnog opterećenja u razdoblju dimenzioniranja
- određivanje debljine nosivog sloja
- određivanje potrebne debljine betonske ploče

Ovom metodom mogu se dimenzionirati cestovni kolnici, manje prometnice i prometna parkirališta, dok se drugom metodom (“Smjernice za projektiranje, građenje i održavanje betonskih parkirališta” [4]) mogu dimenzionirati manje prometnice, manipulativne površine i prometna parkirališta.

3.7.3. Primjeri proračuna betonske kolničke konstrukcije manjih prometnica, parkirališnih i manipulativnih površina

3.7.3.1. Proračun naprezanja za pristupni trak i manipulativnu površinu za promet teških vozila s jednim tipom vozila

Nosivost materijala posteljice

Posteljica na pristupnom traku i manipulativnoj površini za promet teških vozila je od kamenog materijala modula reakcije $k = 27 \text{ MPa/m}$. Na posteljicu će se izvoditi sloj od mehanički zbijenog drobljenog kamenog agregata debljine 30 cm. Prema tablici 3/2 modul reakcije podloge ispod betonske kolničke ploče, obzirom da se ugrađuje nosivi sloj od zrnatog kamenog materijala debljine 30 cm, je $k = 51 \text{ MPa/m}$ (CBR = 9) (interpolirana vrijednost).

Projektirani period

Dimenzioniranje kolničke konstrukcije provedeno je za projektirani period od 20 godina. Prosječna godišnja stopa rasta prometa teških vozila je 0 %. Za vrijeme projektiranih godina nije predviđeno značajnije održavanje kolnika.

Prometno opterećenje

Predviđa se trideset dostavnih vozila dnevno, a dostavno vozilo se pretpostavlja kao vozilo s jednostrukom prednjom osovinom od 50 kN i dvostrukom zadnjom osovinom od 80 kN.

Namjena površine

Namjena površine su utovar i istovar robe iz teretnih vozila. Površina se sastoji od pristupnog traka i manipulativnog dijela na kojemu se vrše utovar i istovar robe. Promet po površini je jednosmjerni.

Proračun naprezanja

Uz poznavanje modula reakcije podloge $k = 51 \text{ MPa/m}$ (CBR = 9) te uz proizvoljni odabir vlačne čvrstoće betona (za ovaj primjer odabrana $f_{sav} = 3,8 \text{ MPa}$) možemo pretpostaviti debljinu nearmirane betonske ploče od 15 cm. Za provjeru naprezanja prvo moramo odrediti broj prijelaza poznatih osovina tijekom projektiranih godina.

Izračun broja prijelaza u projektiranoj periodu

Za jednostruku osovinu od 50 kN broj prijelaza u projektiranoj periodu iznosi:

$$N_{50} = 30 \times 365 \times 20 = 219.000 \text{ prijelaza}$$

Gdje je 30 dnevni broj prijelaza, 365 su dani u godini, a 20 je broj godina.

Za dvostruku osovinu od 80 kN broj prijelaza u projektiranoj periodu iznosi:

$$N_{80} = 30 \times 365 \times 20 = 219.000 \text{ prijelaza}$$

Prema formulama (I) i (II) potrebno je za svaki tip osovine izračunati naprezanje u betonskoj ploči koje se javlja kao posljedica prijelaza preko ploče.

$$\sigma_{eq} = \frac{6 \times (-2.659,853 + 1.202,6 \log(l) + 2,109725 \times l) \times (0,8742 + 0,4284 \times k^{0,447})}{h^2} \times \left[\left(\frac{106,76}{SAL} \right)^{0,06} \times \frac{SAL}{80,068} \right] \times 3,97672 \quad (I)$$

$$\sigma_{eq} = \frac{6 \times (4.788,235 - 1.980,9 \log(l) + 3,89795 \times l) \times (0,8742 + 0,4284 \times k^{0,447})}{h^2} \times \left[\left(\frac{213,515}{TAL} \right)^{0,06} \times \frac{TAL}{160,136} \right] \times 3,97672 \quad (II)$$

Gdje su:

f_{sav} – projektirana vlačna čvrstoća betona (MPa)

E – modul elastičnosti betona $E = f_{sav} \times 6.750 \text{ (MPa)}$

h – debljina ploče (mm)

k – modul reakcije posteljice (MPa/mm)

μ – Poissonov koeficijent betona 0,15

SAL – opterećenje jednostruke osovine kN

TAL – opterećenje dvostruke osovine kN

$$l = \sqrt[4]{\frac{E \times h^3}{12 \times k \times (1-\mu^2)}} \quad (\text{mm})$$

Izračun modula elastičnosti betona

$$E = 6.750 \times 3,8 \text{ MPa} = 25.650 \text{ MPa}$$

Izračun radijusa relativne krutosti

$$l = \sqrt[4]{\frac{E \times h^3}{12 \times k \times (1-\mu^2)}} = \sqrt[4]{\frac{25.650 \text{ MPa} \times (100 \text{ mm})^3}{12 \times 0,051 \text{ MPa/mm} \times (1-0,15^2)}} = \sqrt[4]{\frac{25.650.000.000 \text{ mm}^4}{0,59823}} = 616,77 \text{ mm}$$

Izračun $\log(l)$, $k^{0,447}$, h^2

$$\log(l) = \log(616,77) = 2,790; k^{0,447} = 0,051^{0,447} = 0,264; h^2 = 150^2 = 22.500$$

Izračun naprezanja za jednostruku osovinu

$$\sigma_{eq} = \frac{6 \times (-2.659,853 + 1.202,6 \times 2,790 \text{ mm} + 2,109725 \times 616,77 \text{ mm}) \times (0,8742 + 0,427338 \times 0,264 \text{ MPa/mm})}{22.500 \text{ mm}^2}$$

$$\times \left[\left(\frac{106,76}{50 \text{ kN}} \right)^{0,06} \times \frac{50 \text{ kN}}{80,068} \right] \times 3,97672 \quad (I)$$

$$\sigma_{eq} = \frac{6 \times (-2.659,853 + 3.355,254 \text{ mm} + 1.301,212 \text{ mm}) \times (0,8742 + 0,1128 \text{ MPa/mm})}{22.500 \text{ mm}^2} \times [(2,135)^{0,06} \times 0,624] \times 3,97672 \quad (I)$$

$$\sigma_{eq} = \frac{6 \times (1.996,616 \text{ mm}) \times (0,9873 \text{ MPa/mm})}{22.500 \text{ mm}^2} \times [(2,135)^{0,06} \times 0,624] \times 3,97672 \quad (I)$$

$$\sigma_{eq} = \frac{11.823,96 \text{ MPa}}{22.500} \times [1,047 \times 0,624] \times 3,97672 \quad (I)$$

$$\sigma_{eq} = 1,37 \text{ MPa} \quad (I)$$

Izračun naprezanja za dvostruku osovinu

$$\sigma_{eq} = \frac{6 \times (4.788,7059 - 1.980,9 \times 2,790 \text{ mm} + 3,89794 \times 616,77 \text{ mm}) \times (0,8742 + 0,427338 \times 0,264 \text{ MPa/mm})}{22.500 \text{ mm}^2}$$

$$\times \left[\left(\frac{213,515}{80 \text{ kN}} \right)^{0,06} \times \frac{80 \text{ kN}}{160,136} \right] \times 3,97672 \quad (II)$$

$$\sigma_{eq} = \frac{6 \times (4.788,7059 - 5.526,71 \text{ mm} + 2.404,132 \text{ mm}) \times (0,8742 + 0,1128 \text{ MPa/mm})}{22.500 \text{ mm}^2} \times [(2,669)^{0,06} \times 0,4996] \times 3,97672 \quad (II)$$

$$\sigma_{eq} = \frac{6 \times (1.666,128 \text{ mm}) \times (0,9873 \text{ MPa/mm})}{22.500 \text{ mm}^2} \times [1,061 \times 0,4996] \times 3,97672 \quad (II)$$

$$\sigma_{eq} = \frac{9.866,81 \text{ MPa}}{22.500} \times 2,107 \text{ (II)}$$

$$\sigma_{eq} = 0,92 \text{ MPa (II)}$$

Izračun koeficijenta SR

Nakon proračuna naprezanja može se izračunati omjer naprezanja na način da se vrijednost (induciranog naprezanja) podijeli s čvrstoćom betona na savijanje.

Omjer induciranog naprezanja i projektirane vlačne čvrstoće po svakoj osovini iznosi:

SR za jednostruku osovину iznosi $1,37 / 3,8 = 0,36$

SR za dvostruku osovину iznosi $0,92 / 3,8 = 0,24$

Izračun dozvoljenog broja prijelaza

Nakon proračuna omjera pristupa se izračunu dozvoljenog broja prijelaza od jednostruke i dvostruke osovine prema formuli (IV).

$$N = 10^{\left[\frac{-89,2857 \times \log(1-p)}{SR^{10,24}} \right]^{0,217}} \text{ (IV)}$$

Gdje su

N – dozvoljeni broj ponavljanja opterećenja

SR – omjer naprezanja

p – vjerojatnost otkazivanja

(1-p) – vjerojatnost neotkazivanja konstrukcije, odnosno ukupna pouzdanost konstrukcije.

Za jednostruku osovину

$$N = 10^{\left[\frac{-89,2857 \times \log(0,95)}{0,36^{10,24}} \right]^{0,217}} \text{ (IV)}$$

$$N = 10^{\left[\frac{-89,2857 \times (-0,02227)}{2,86 \times 10^{-5}} \right]^{0,217}} \text{ (IV)}$$

$$N = 10^{11,239} = 1,735 \times 10^{11} \text{ (IV)}$$

Za dvostruku osovину

$$N = 10^{\left[\frac{-89,2857 \times \log(0,95)}{0,24^{10,24}} \right]^{0,217}} \text{ (IV)}$$

$$N = 10^{\left[\frac{1,9889}{4,50 \times 10^{-7}} \right]^{0,217}} \text{ (IV)}$$

$$N = 10^{27,671} = 4,684 \times 10^{27} \text{ (IV)}$$

Zamor ploče se dobije omjerom projektnog broja prijelaza i dozvoljenog broja prijelaza. Ovaj se postupak ponavlja za sva pretpostavljena opterećenja a „količine“ zamora se zbrajaju. Debljina ploče se usvaja ukoliko je ukupan zbroj svih zamora manji od 125 %.

Izračun zamora betonskog kolnika

Za jednostruku osovину $219.000 / 1,735 \times 10^{11} = 0,00 \%$

Za dvostruku osovину $219.000 / 4,684 \times 10^{27} = 0,00 \%$

Ukupni zamor je $0,00 \% + 0,00 \% = 0,00 \% < 125 \%$

Tablično prikazano:

Osovina	Opterećenje kN	Naprezanje MPa	SR	Dopušteni broj prijelaza	Projektni broj prijelaza	Zamor
Jednostruka	50	1,37	0,36	1,735E+11	219.000	0,00 %
Dvostruka	80	0,92	0,24	4,684E+27	219.000	0,00 %
					UKUPNO	0,00 %

Konstrukcija zadovoljava, no ista je predimenzionirana stoga se preporučuje optimizacija konstrukcije iterativnim postupkom. Odabrana je nova debljina ploče od 120 mm te se za istu provodi ponovni proračun.

PONOVNI PRORAČUN (2. iteracija)

Izračun modula elastičnosti betona

$$E = 6.750 \times 3,8 \text{ MPa} = 25.650 \text{ Mpa}$$

Izračun radijusa relativne krutosti

$$I = 4 \sqrt{\frac{E \times h^3}{12 \times k \times (1-\mu^2)}} = 4 \sqrt{\frac{25.650 \text{ Mpa} \times (120 \text{ mm})^3}{12 \times 0,051 \text{ MPa/mm} \times (1-0,15^2)}} = 521,726 \text{ mm}$$

Izračun log(I), $k^{0,447}$, h^2

$$\log(I) = \log(521,72) = 2,717; k^{0,447} = 0,051^{0,447} = 0,264; h^2 = 120^2 = 14.400$$

Izračun naprezanja za jednostruku osovину

$$\sigma_{eq} = \frac{6 \times (-2.659,853 + 1.202,6 \times 2,717 \text{ mm} + 2,109725 \times 521,726 \text{ mm}) \times (0,8742 + 0,427338 \times 0,264 \text{ MPa/mm})}{14.400 \text{ mm}^2}$$

$$\times \left[\left(\frac{106,757}{50 \text{ kN}} \right)^{0,06} \times \frac{50 \text{ kN}}{80,068} \right] \times 3,97672 \text{ (I)}$$

$$\sigma_{eq} = 1,83 \text{ MPa (I)}$$

Izračun naprezanja za dvostruku osovину

$$\sigma_{eq} = \frac{6 \times (4.788,7059 - 1.980,9 \times 2,717 \text{ mm} + 3,89794 \times 521,726 \text{ mm}) \times (0,8742 + 0,427338 \times 0,264 \text{ MPa/mm})}{14.400 \text{ mm}^2}$$

$$\times \left[\left(\frac{213,515}{80 \text{ kN}} \right)^{0,06} \times \frac{80 \text{ kN}}{160,136} \right] \times 3,97672 \text{ (II)}$$

$$\sigma_{eq} = 1,25 \text{ MPa (II)}$$

Izračun koeficijenta SR

Za jednostruku osovину omjer iznosi $1,83 / 3,8 = 0,48$

Za dvostruku osovину omjer iznosi $1,25 / 3,8 = 0,33$

Izračun dozvoljenog broja prijelaza

Za jednostruku osovину

$$N = 8,27 \times 10^5 \text{ (IV)}$$

Za dvostruku osovinu

$$N = 6,22 \times 10^{13} \text{ (IV)}$$

Izračun zamora betonskog kolnika

Za jednostruku osovinu $219.000 / 8,27 \times 10^5 = 26,49 \%$

Za dvostruku osovinu $219.000 / 6,22 \times 10^{13} = 0,00 \%$

Ukupni zamor je $26,49 \% + 0,00 \% = 112,09 \% < 125 \%$

Tablično prikazano:

Osovina	Opterećenje kN	Naprezanje MPa	SR	Dopušteni broj prijelaza	Projektirani broj prijelaza	Zamor
Jednostruka	50	1,83	0,48	8,27E+5	219.000	26,49 %
Dvostruka	80	1,25	0,33	6,22E+13	219.000	0,00 %
UKUPNO						26,49 %

Betonska kolnička ploča debljine 120 mm zadovoljava.

NAPOMENA:

Ukoliko prometuje više različitih vozila u projektom periodu, tada je potrebno za svaki tip osovine (jednostruke i dvostruke) i za svako osovinsko opterećenje proračunati zamor po istoj. Suma svih zamora mora biti manja od 125 % kako bi konstrukcija zadovoljavala.

3.7.3.2. Proračun naprezanja za pristupni trak i manipulativnu površinu za promet teških vozila s više tipova vozila

Nosivost materijala posteljice

Posteljica na pristupnom traku i manipulativnoj površini za promet teških vozila je od kamenog materijala modula reakcije $k = 54 \text{ MPa/m}$. Na posteljicu će se izvoditi sloj od mehanički zbijenog drobljenog kamenog agregata debljine 30 cm. Prema tablici 3/2 modul reakcije podloge ispod betonske kolničke ploče, obzirom da se ugrađuje nosivi sloj od zrnatog kamenog materijala debljine 30 cm, je $k = 86 \text{ MPa/m}$ (CBR = 28).

Projektirani period

Dimenzioniranje kolničke konstrukcije provedeno je za projektirani period od 30 godina. Prosječna godišnja stopa rasta prometa teških vozila je 1 %. Prema formuli za proračun faktora rasta prometa gdje je p projektirani period, a i prosječna godišnja stopa rasta proračunati je faktor rasta prometa $q = 35$.

$$q = \sum (1 + \frac{r}{100})^i$$

Prometno opterećenje

Predviđaju se 3 tipa dostavnih vozila za vrijeme projektiranih perioda. Prvi tip je vozilo s dvije osovine (jednostruka 36 kN i jednostruka 71 kN), drugi tip je vozilo s dvije osovine (jednostruka 44 kN i dvostruka 107 kN) te treći tip – vozilo s tri osovine (jednostruka 71 kN te dvije dvostruke 142 kN). Dnevni promet prvog vozila je 6 vozila/dan, za drugo vozilo je 4 vozila/dan, dok je za treće vozilo dnevni promet 5 vozila/dan.

Namjena površine

Namjena površine je utovar i istovar robe iz teretnih vozila. Površina se sastoji od pristupnog traka i manipulativnog dijela na kojemu se vrši utovar i istovar robe. Promet po površini je jednosmjernan, stoga će se za broj prijelaza osovine uzimati broj dnevnih prijelaza vozila.

Proračun naprezanja

Uz poznavanje modula reakcije podloge $k = 86 \text{ MPa/m}$ (CBR = 28), te proizvoljni odabir vlačne čvrstoće betona (za ovaj primjer odabrana $f_{sav} = 4,5 \text{ MPa}$) možemo pretpostaviti debljinu nearmirane betonske ploče od 14 cm.

Za provjeru naprezanja prvo moramo odrediti broj prijelaza poznatih osovina tijekom projektiranih perioda.

Izračun broja prijelaza u projektiranim periodima

- Vozilo TIP 1 – jednostruka osovina 36 kN – 6 dnevnih prijelaza
 – jednostruka osovina 71 kN – 6 dnevnih prijelaza
- Vozilo TIP 2 – jednostruka osovina 44 kN – 4 dnevna prijelaza
 – dvostruka osovina 107 kN – 4 dnevna prijelaza
- Vozilo TIP 3 – jednostruka osovina 71 kN – 5 dnevnih prijelaza
 – dvostruka osovina 142 kN – 5 dnevnih prijelaza
 – dvostruka osovina 142 kN – 5 dnevnih prijelaza

Sljedeći korak je stvaranje popisa svih osovina te zbrajanje njihovih dnevnih prijelaza.

- Jednostruka osovina 36 kN – 6 dnevnih prijelaza
 Jednostruka osovina 44 kN – 4 dnevna prijelaza
 Jednostruka osovina 71 kN – 11 dnevnih prijelaza
 Dvostruka osovina 107 kN – 4 dnevna prijelaza
 Dvostruka osovina 142 kN – 10 dnevnih prijelaza

Za svaku osovinu je potrebno izračunati broj prijelaza za projektirani period.

$$N_{36} = 6 \times 365 \times 35 = 76.650 \text{ prijelaza}$$

$$N_{44} = 4 \times 365 \times 35 = 51.100 \text{ prijelaza}$$

$$N_{71} = 11 \times 365 \times 35 = 140.525 \text{ prijelaza}$$

$$N_{107} = 4 \times 365 \times 35 = 51.100 \text{ prijelaza}$$

$$N_{142} = 10 \times 365 \times 35 = 127.750 \text{ prijelaza}$$

Prema formulama (I) i (II) potrebno je za svaki tip osovine izračunati naprezanje u betonskoj ploči koje se javlja kao posljedica prijelaza preko ploče.

Izračun zamora betonskog kolnika

Proračun kolničke konstrukcije možemo prikazati tablično.

Osovina	Opterećenje kN	Naprezanje MPa	SR	Dopušteni broj prijelaza	Projektirani broj prijelaza	Zamor
Jednostruka	36	1,04	0,23	1,03E+30	76.650	0,00 %
Jednostruka	44	1,26	0,28	5,45E+19	51.100	0,00 %
Jednostruka	71	1,97	0,44	1,84E+7	140.525	0,76 %
Dvostruka	107	1,27	0,28	2,13E+19	51.100	0,00 %
Dvostruka	142	1,66	0,37	5,03E+10	127.750	0,00 %
UKUPNO						0,76 %

Konstrukcija zadovoljava, no ista je predimenzionirana stoga se preporučuje optimizacija konstrukcije iterativnim postupkom. Odabrana je nova debljina ploče od 125 mm te se za istu provodi ponovni proračun.

U proračunu se mijenjaju radijus relativne zakrivljenosti I i h^2 .

Proračun kolničke konstrukcije s novim ulaznim podacima možemo ponovo prikazati tablično.

Osovina	Opterećenje kN	Naprezanje MPa	SR	Dopušteni broj prijelaza	Projektirani broj prijelaza	Zamor
Jednostruka	36	1,20	0,27	5,22E+21	76.650	0,00 %
Jednostruka	44	1,45	0,32	1,91E+14	51.100	0,00 %
Jednostruka	71	2,28	0,51	1,81E+5	140.525	77,80 %
Dvostruka	107	1,49	0,33	3,93E+13	51.100	0,00 %
Dvostruka	142	1,94	0,43	3,37E+7	127.750	0,38 %
					UKUPNO	78,18 %

Kolnička konstrukcija zadovoljava jer je ukupni kumulativni zamor manji od dozvoljenog (125 %). Usvaja se kolnička konstrukcija s nearmiranom betonskom pločom debljine 130 mm.

3.7.3.3. Proračun naprezanja za parkiralište osobnih vozila

Nosivost materijala posteljice

Posteljica na parkiralištu za promet osobnih vozila je od kamenog materijala modula reakcije $k = 27$ MPa/m. Na posteljicu će se izvoditi sloj od mehanički zbijenog drobljenog kamenog agregata debljine 25 cm. Prema tablici 3/2 modul reakcije podloge ispod betonske kolničke ploče, obzirom da se ugrađuje nosivi sloj od zrnatog kamenog materijala debljine 25 cm, je $k = 43$ MPa/m (CBR = 7) (interpolirana vrijednost).

Projektirani period

Dimenzioniranje kolničke konstrukcije provedeno je za projektirani period od 40 godina. Prosječna godišnja stopa rasta prometa vozila je 0 %.

Prometno opterećenje

Predviđa se dolazak i odlazak 200 osobnih vozila dnevno, a osobno vozilo se pretpostavlja kao vozilo s jednostrukom prednjom osovinom od 10 kN i jednostrukom zadnjom osovinom od 10 kN.

Ukupno se očekuje 400 prijelaza tipskog vozila preko najopterećenijeg dijela površine.

Namjena površine

Namjena površine je promet u mirovanju osobnih vozila. Površina se sastoji od pristupnog traka i parkirališnog dijela. Brzina prometovanja pristupnim trakom je 10 km/h te se može smatrati kao promet u mirovanju.

Proračun naprezanja

Uz poznavanje modula reakcije podloge $k = 43$ MPa/m (CBR = 7), te proizvoljni odabir vlačne čvrstoće betona (za ovaj primjer odabrana $f_{sav} = 4,1$ MPa) možemo pretpostaviti debljinu nearmirane betonske ploče od 14 cm. Za provjeru naprezanja prvo moramo odrediti broj prijelaza poznatih osovina tijekom projektirane periode.

Izračun broja prijelaza u projektiranoj periodu

Osobno vozilo – jednostruka osovina 10 kN – 400 dnevnih prijelaza
 – jednostruka osovina 10 kN – 400 dnevnih prijelaza

Sljedeći korak je stvaranje popisa svih osovina te zbrajanje njihovih dnevnih prijelaza.

Jednostruka osovina 10 kN – 800 dnevnih prijelaza

Za svaku osovinu je potrebno izračunati broj prijelaza za projektirani period.

$$N_{10} = 800 \times 365 \times 40 = 11.680.000 \text{ prijelaza}$$

Prema formuli (I) potrebno je izračunati naprezanje u betonskoj ploči koje se javlja kao posljedica prijelaza osovine od 10 kN preko ploče.

Izračun zamora betonskog kolnika

Proračun kolničke konstrukcije možemo prikazati tablično.

Osovina	Opterećenje kN	Naprezanje MPa	SR	Dopušteni broj prijelaza	Projektirani broj prijelaza	Zamor
Jednostruka	10	0,53	0,13	2,89E+107	11.680.000	0,00 %
					UKUPNO	0,00 %

Konstrukcija zadovoljava jer je zamor manji od dozvoljenih 125 %. Utjecaj osobnih vozila na betonsku ploču debljine 10 cm je zanemariv i teoretski bi se debljina mogla optimizirati. No zbog drugih utjecaja i tehnologije izvedbe se preporuča minimalna debljina kolnika od 10 cm.

U slučajevima kada je poznata debljina kolničke konstrukcije i svi ostali ulazni podaci, obrnutim postupkom dimenzioniranja se može utvrditi mogućnost prijelaza težih vozila. Ovdje se za usvojenu kolničku konstrukciju za osobna vozila daje primjer obrnutog postupka kako bi se provjerila mogućnost prijelaza vozila tipa TT3 s prednjom jednostrukom osovinom od 52,5 kN i zadnjom dvostrukom od 124 kN. Pretpostavlja se prosječna iskorištenost nosivosti vozila 70 %.

Uvrštavanjem svih podataka u formule (I) i (II) dobijemo inducirana naprezanja za svaku osovinu.

Za jednostruku $\sigma_{eq} = 2,54$ MPa

Za dvostruku $\sigma_{eq} = 2,54$ MPa

Omjer inducirano naprezanje i projektirane vlačne čvrstoće po svakoj osovinu iznosi:

SR za jednostruku osovinu iznosi $2,54 / 4,1 = 0,62$

SR za dvostruku osovinu iznosi $2,54 / 4,1 = 0,62$

Preko SR može se za svaku osovinu izračunati broj prijelaza preko kolnika prije zamora materijala.

$$N = 10^{\left[\frac{-89,2857 \times \log(1-p)}{SR^{10,24}} \right]^{0,217}} \quad (IV)$$

Gdje su

N – dozvoljeni broj ponavljanja opterećenja

SR – omjer naprezanja

p – vjerojatnost otkazivanja

(1-p) – vjerojatnost neotkazivanja konstrukcije, odnosno ukupna pouzdanost konstrukcije.

Za jednostruku $N = 2.393$ prijelaza

Za dvostruku $N = 2.393$ prijelaza

Obzirom da se zamori zbrajaju, uzmemo manji broj prijelaza i podijelimo ga s dva te dobijemo broj maksimalnih prijelaza. U ovom slučaju imamo ukupni zamor vrlo blizu dozvoljenih 125 %.

$$N_{max} = 2.393 / 2 = 1.196 \text{ prijelaza}$$

Za jednostruku osovinu $1.196 / 2.393 = 50,00$ %

Za dvostruku osovinu $1.196 / 2.393 = 50,00$ %

Ukupni zamor je $50,00$ % + $50,00$ % = 100 % < 125 %

Zaključuje se da će nearmirana betonska ploča usvojene debljine 10 cm za opterećenje osobnim vozilima i za zadane uvjete biti sposobna kroz projektirani period od 40 godina dodatno podnijeti 1.196 prijelaza teškog vozila TT3. Ova dodatna

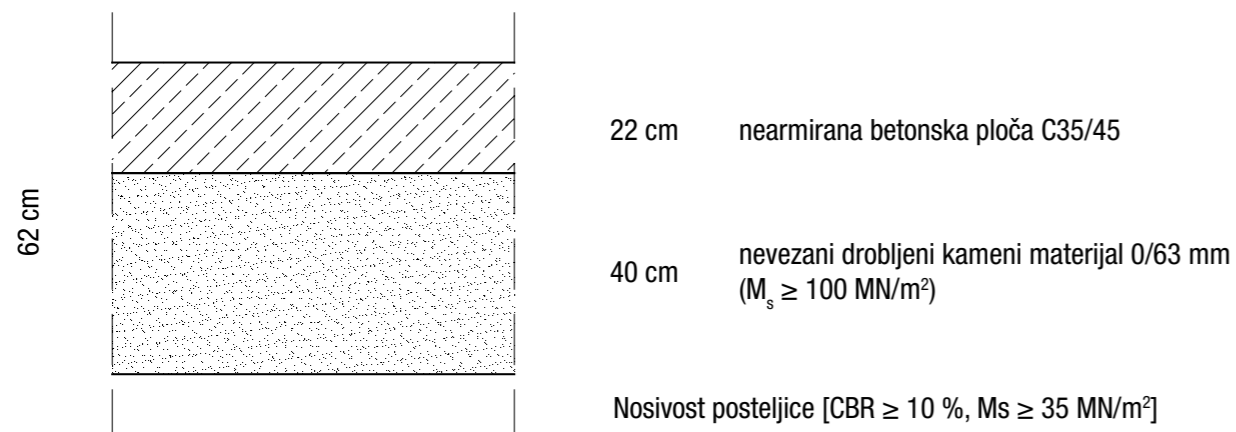
nosivost može, primjerice, biti dovoljna za vozila održavanja (održavanje rasvjete, čišćenje sustava za odvodnju oborinskih voda i sl.) tijekom projektnog perioda. Prema potrebi se proračun može provesti za više tipova teških vozila pri čemu se, naravno, utjecaji pojedinih vozila odnosno osovina na zamor materijala moraju zbrajati.

3.7.4. Primjer proračuna betonske kolničke konstrukcije cestovnog kolnika

S obzirom na vrstu opterećenja (statičko opterećenje, sile kočenja i ubrzanja), kolničku konstrukciju na prometnim površinama treba izvesti kao krutu kolničku konstrukciju.

Krutu (betonsku) kolničku konstrukciju potrebno je dimenzionirati s obzirom na predviđeno prometno opterećenje od $6,3 \times 10^6$ prijelaza ekvivalentnih osovina tijekom projektnog razdoblja (teško prometno opterećenje).

S obzirom na predviđeno prometno opterećenje pretpostavlja se betonska kolnička konstrukcija prikazana na slici 3/2.



Slika 3/2: Pretpostavljena struktura konstrukcije betonskog kolnika

Debljina betonske ploče pretpostavljena je s obzirom na modul reakcije podloge K (koji ovisi o modulu stižljivosti M_s) i prometnom opterećenju (švicarska metoda).

Provjera kritičnih naprezanja unutar kolničke konstrukcije provedena je metodom Westergaarda i Eisenmanna.

3.7.4.1. Proračun naprezanja u betonskoj ploči zbog prometnog opterećenja

Modul reakcije podloge

Modul reakcije podloge prema Odemarkovim rješenjima iznosi:

$$h_1^* = n \times h_1 \times \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_2}} \quad (\text{mm})$$

$n = 0,90$ za nevezane i bitumenom vezane slojeve

$n = 0,83$ za cementom vezane slojeve i beton

$$h_1^* = 770,05 \text{ mm}$$

$$k = \frac{E_2}{(h_1^*)}$$

$$k = 0,52 \text{ MPa/mm}$$

Proračun naprezanja provodi se prema izrazima Westergaarda.

Ulazni podaci za proračun:

sila od kotača $P = 41.000 \text{ N}$

specifično opterećenja kružnoj dodirnoj površini polumjera r $p = 0,6 \text{ N/mm}^2$

$$\text{polumjer dodirne površine } r = \sqrt{\frac{P}{p \times \pi}} = 150,82 \text{ mm}$$

$$r < 1,725 \times h \Rightarrow b = \sqrt{1,6 \times r^2 + h_0^2} - 0,675 \times h_0 \quad (\text{m}) \quad b = 143 \text{ mm}$$

Vlačno naprezanje s donje strane ploče za slučaj opterećenja u sredini ploče:

$$\sigma_{ps} = \frac{0,275 \times P}{h^2} \times (1 + \nu) \times \left[\log \left(\frac{E_{\text{BET}} \times h^3}{K \times b^4} \right) - 0,436 \right] \quad (\text{MPa})$$

$$\sigma_{ps} = 0,89 \text{ MPa}$$

Vlačno naprezanje s donje strane ploče za slučaj opterećenja na rubu ploče (u sredini ruba):

$$\sigma_{pr} = \frac{0,529 \times P}{h^2} \times (1 + 0,54 \times \nu) \times \left[\log \left(\frac{E \times h^3}{K \times b^4} \right) + \log \left(\frac{0,1 \times b}{1 - \nu^2} \right) - 1,08 \right] \quad (\text{MPa})$$

$$\sigma_{pr} = 1,92 \text{ MPa}$$

3.7.4.2. Proračun termičkih naprezanja u betonskoj ploči

Provjera termičkih naprezanja uslijed nejednolike promjene temperature odnosi se samo na betonsku ploču zastora.

Ulazni podaci za proračun termičkih naprezanja:

širina ploče $B = 3,5 \text{ m}$

dužina ploče (razmak poprečnih razdjelnica) $L = 5,0 \text{ m}$

temperaturni gradijent $\Delta t = 90 \text{ }^\circ\text{C/m}$

Kritična dužina ploče:

$$\frac{L}{B} = 1,43 \Rightarrow \frac{L}{B} > 1,2 \Rightarrow \text{pravokutna ploča}$$

$$l_{\text{krit}} = 33 \times h \quad (\text{mm})$$

$$l_{\text{krit}} = 7.260 \text{ mm}$$

Reducirano termičko naprezanje:

$$L < 0,9 \times l_{\text{krit}} \Rightarrow \sigma_{w^*} = 1,85 \times 10^{-5} \times \frac{(L - 400)^2}{h} \quad (\text{MPa})$$

$$\sigma_{w^*} = 1,78 \text{ MPa}$$

3.7.4.3. Ukupna naprezanja u betonskoj ploči

U sredini ploče javljaju se puna naprezanja od prometnog opterećenja i temperature:

$$\sigma_s = \sigma_{ps} + \sigma_{w^*t} \quad (\text{MPa})$$

$$\sigma_s = 2,67 \text{ MPa}$$

Zbog međusobne povezanosti ploča (moždanicima) naprezanje od prometnog opterećenja na rubu ploče smanjuje se za 30 %. Termičko opterećenje smanjuje se za 15 %.

$$\sigma_r = 0,70 \times \sigma_{pr} + 0,85 \times \sigma_{w^*t} \quad (\text{MPa})$$

$$\sigma_r = 2,86 \text{ MPa}$$

Mjerodavna su opterećenja na rubu ploče.

3.7.4.4. Usporedba stvarnih i dopuštenih naprezanja u betonskoj ploči

Provjera naprezanja u ploči provedena je za dvije varijante opterećenja:

- puno termičko opterećenje + 20 % prometnog opterećenja
- puno prometno opterećenje + 50 % termičkog opterećenja

Za beton C35/45 može se pretpostaviti vlačna čvrstoća od $\beta_{vl} = 5,0 \text{ MPa}$

Slučaj a)

$$N = 0,2 \times 1,84 \times 10^6 = 3,68 \times 10^5 \text{ ekvivalentnih osovina}$$

$$\sigma_T = 0,85 \times 1,78 = 1,51 \text{ MPa}$$

$$\sigma_p = 0,70 \times 1,97 = 1,35 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_T}{\beta_{vl}} = 0,30$$

Odnos dopuštenog naprezanja i betonske ploče i vlačne čvrstoće betona iznosi (Smithov dijagram):

$$\frac{\sigma_{pdop}}{\beta_{vl}} = 0,33$$

Uvjet koji mora biti zadovoljen da ne bi nastale pukotine u ploči:

$$f \times \frac{\sigma_p}{\beta_{vl}} < \frac{\sigma_{pdop}}{\beta_{vl}} \quad F_s = 1,1$$

$$0,32 < 0,33 \Rightarrow \text{Kolnička konstrukcija zadovoljava}$$

Slučaj b)

$$N = 1,84 \times 10^6 \text{ ekvivalentnih osovina}$$

$$\sigma_T = 0,50 \times 0,85 \times 1,78 = 0,76 \text{ MPa}$$

$$\sigma_p = 0,70 \times 1,96 = 1,35 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_T}{\beta_{vl}} = 0,15$$

Odnos dopuštenog naprezanja i betonske ploče i vlačne čvrstoće betona iznosi (Smithov dijagram):

$$\frac{\sigma_{pdop}}{\beta_{vl}} = 0,40$$

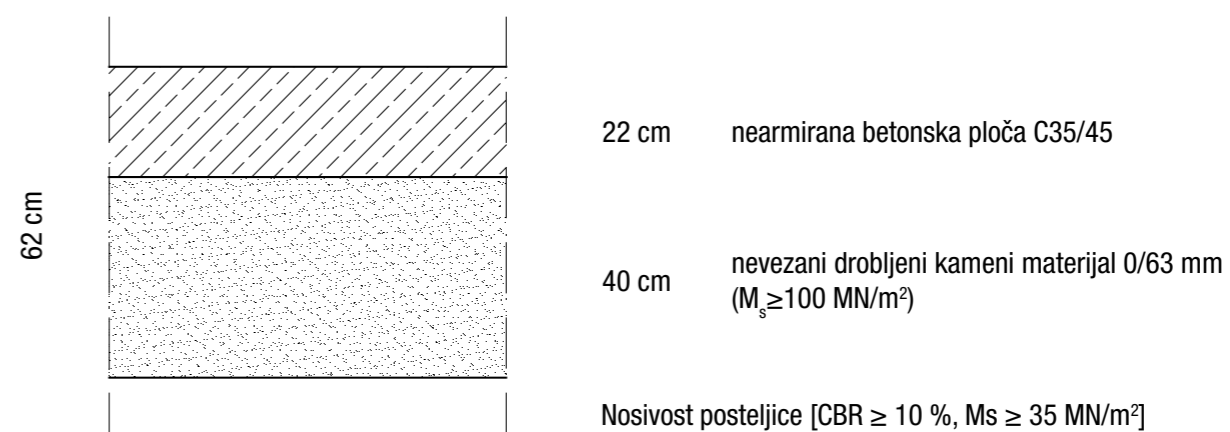
Uvjet koji mora biti zadovoljen da ne bi nastale pukotine u ploči:

$$F_s \times \frac{\sigma_p}{\beta_{vl}} < \frac{\sigma_{pdop}}{\beta_{vl}} \quad F_s = 1,1$$

$$0,32 < 0,40 \Rightarrow \text{Kolnička konstrukcija zadovoljava}$$

Usvojena struktura konstrukcije kolnika

Na osnovi naprezanja u slojevima kolničke konstrukcije uslijed djelovanja opterećenja i termičkih utjecaja usvaja se kolnička konstrukcija prikazana na slici 3/3.



Slika 3/3: Usvojena struktura kolničke konstrukcije

3.8. Razdjelnice

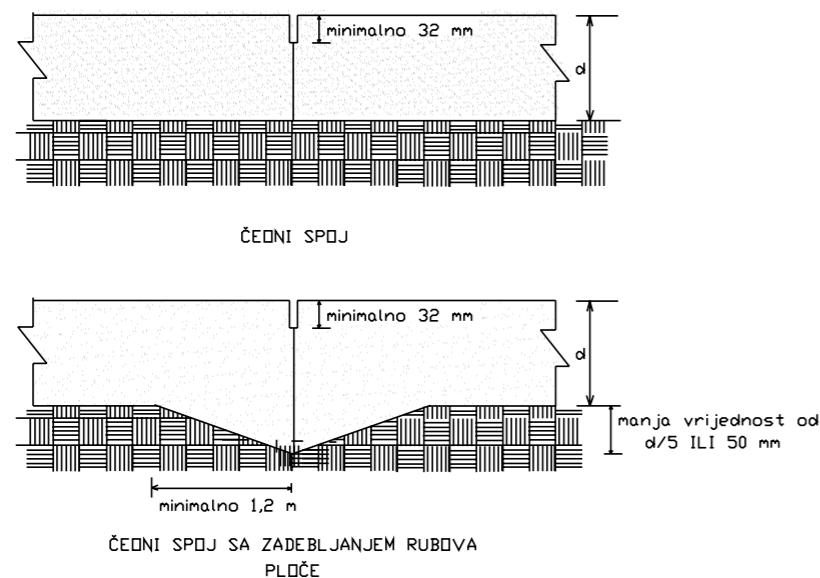
Razdjelnice se izvode na betonskim kolnicima kako bi se spriječilo nepredviđeno pucanje ploča od stezanja i temperaturnih promjena. Ako je širina betonskog kolnika veća od 7,5 m, kolnik se mora do te veličine podijeliti uzdužnim razdjelnicama.

Uobičajeno se izvode tri tipa razdjelnica (slike 3/4 i 3/5): prividne, pritisnute i prostorne. Razdjelnice se moraju izvesti na pravilnim razmacima, što ovisi o debljini ploče, čvrstoći betona, tipu agregata, klimatskim uvjetima. Sa smanjenjem razmaka razdjelnica smanjuje se njihova potrebna širina, čime se omogućava prijenos opterećenja preko ukliještenih zrna agregata.

Tablica 3/6: Razmak između razdjelnica (ACI 330R-08 [1] i "Smjernice za projektiranje, građenje i održavanje betonskih parkirališta", [4])

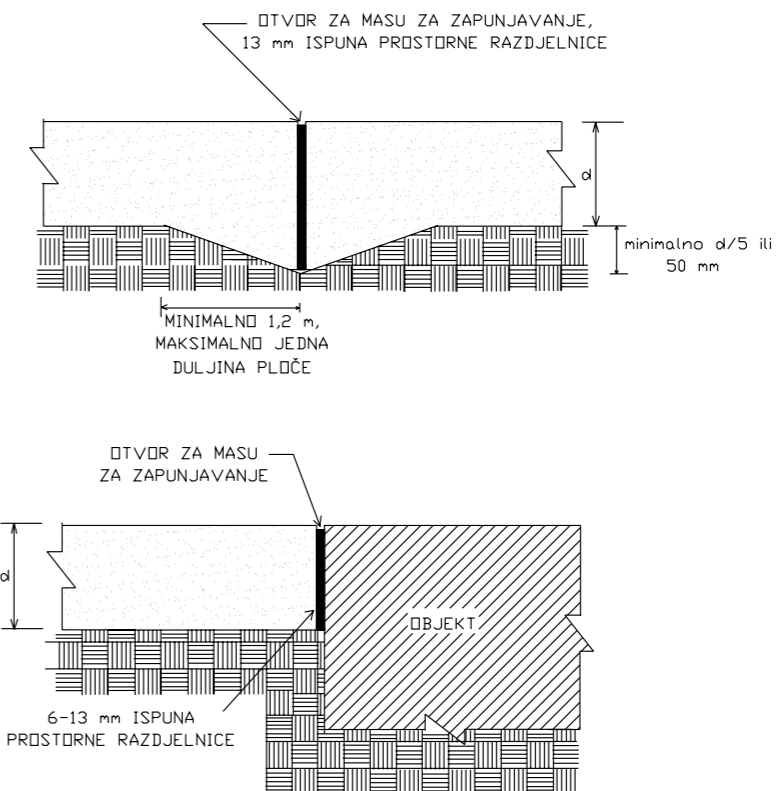
Debljina ploče, mm	Maksimalan razmak, m
100, 113	3
125, 140	3,8
>150	4,5

Pritisnute razdjelnice (radne). Pritisnute razdjelnice (obično uzdužne) razdvajaju betonski kolnik po cijeloj debljini. Osiguravaju dodirnu površinu betona ugrađenog s vremenskim razmakom. Poprečne se razdjelnice izvode kod prekida betoniranja (po završetku dnevnih radova ili kod naizmjenične ugradnje segmenata), a uzdužne povezuju trakove koji nisu bili betonirani istovremeno (betoniranje samo jednog traka). Čeoni se spojevi mogu koristiti na prometnim površinama za lako prometno opterećenje. Klinasti se spoj ne preporučuje za prijenos opterećenja preko razdjelnice zbog dosadašnjih loših iskustava. Poprečne je razdjelnice najbolje izvesti na lokacijama prividnih razdjelnica, a ako to nije moguće, unutar srednje trećine duljine ploče, uz ugradnju sidra (savijenih na krajevima). Ako je debljina ploče određena uz pretpostavku prijenosa opterećenja uklještenjem agregata, kod čeonih se spojeva rubovi ploča moraju podebljati za barem 20 %. Uzdužne razdjelnice na rubnim dijelovima prometnih površina mogu se povezati sidrima, a uglavnom je dovoljno sidra ugraditi samo na razdjelnice izvedene najbliže rubovima prometnih površina. Na spojevima ploča različitih debljina (gdje se spajaju trakovi za osobna i teška vozila) posteljica ispod tanje ploče mora biti oblikovana na način da osigura postepen prijelaz debljine, na minimalnoj duljini 1,2 m.



Slika 3/9: Pritisnute razdjelnice (ACI 330R-08 [1] i "Smjernice za projektiranje, građenje i održavanje betonskih parkirališta", [4])

Prostorne razdjelnice (dilatacijske) izvode se na spojevima betonskog kolnika i drugih građevina ili fiksnih objekata (šahtovi, pločnici, zgrade...) i omogućavaju neovisne pomake (stezanje i rastezanje) kolnika. To su vertikalne razdjelnice, koje se protežu punom debljinom ploče, uglavnom ispunjene stlačivim materijalom. Ako se izvode na dijelovima preko kojih će prelaziti vozila, rubovi ploča moraju se podebljati za 20 % ili 50 mm, što je veće (slika 3/10). Prethodno oblikovane ispune za razdjelnice (elastične ploče od bitumen mastiksa, pluta ili celuloze impregnirane bitumenom, spužvaste gume, reciklirane automobilske gume, i sl.) sprečavaju da se svježi beton veže za druge građevine tijekom i nakon betoniranja. Ispuna se mora prostirati po cijeloj debljini ploče, od posteljice do 2 - 3 cm ispod površine kolnika kako bi se razdjelnica mogla zapuniti s brtvenom trakom i masom za zapunjavanje. Prostorne se razdjelnice ne preporučuju za rutinsku uporabu na pravilnim razmacima zbog složenosti njihove izvedbe, nemogućnosti prijenosa opterećenja, te mogu biti razlog oštećenja kolnika i njegovog preranog otkazivanja.



Slika 3/10: Prostorne razdjelnice (ACI 330R-08 [1] i "Smjernice za projektiranje, građenje i održavanje betonskih parkirališta", [4])

3.9. Zapunjavanje razdjelnica, završno valjanje

Razdjelnice mogu ostati nezapunjene bez da dođe do smanjenja funkcionalnosti kolnika (uske razdjelnice na manjim razmacima smanjit će mogućnost infiltracije vode i krutih čestica) ili se mogu zapuniti odgovarajućim masama. Ako se koristi masa za zapunjavanje, ona mora biti otporna na ponavljajuće pomake i deformacije i sprečavati prodor vode i krutih čestica u razdjelnicu. Otvor za masu za zapunjavanje treba oblikovati prema dimenzijama preporučenim od proizvođača mase.

U normi HRN EN 14188-1,3 propisane su specifikacije za brtve i brtvene mase.

3.10. Nagibi kolnika

Nagibi kolnika moraju osigurati pravilnu odvodnju u svim odvodnim kanalima, oko prometnih otoka i drugih građevina te na raskrižjima i pješačkim prijelazima.

Minimalni nagib površine, kako bi se spriječilo stvaranje lokava, trebao bi biti 1 % ili 3 mm/300 mm. Uglavnom je preporučeni nagib 2 %, odnosno 6 mm/300 mm. Može se usvojiti i minimalan nagib budući da betonska površina zadržava svoj oblik ako je posteljica ravnomjerne nosivosti. Time se smanjuje količina zemljanih radova. Prilazni i ulazni trakovi mogu imati nagibe do 12 %, a površine za parkiranje do 6 %.

3.11. Površinska odvodnja

Prometne je površine potrebno projektirati i izgraditi na način da se voda što prije odvede s površine (nagibima), da se površina što prije osuši i da nema udubljenja u kojima bi se stvarale lokve. Projekt odvodnje mora biti usklađen s projektom razdjelnica kako bi se izbjegla odvodnja vode razdjelnicama. Neke prometne površine mogu služiti kao spremnici oborinske vode uz njeno kontrolirano ispuštanje (u tom se slučaju koristi propusni beton).

3.12. Rubnjaci i prometni otoci

Na velikim je prometnim površinama potrebno kontrolirati, usmjeravati i grupirati promet, što se postiže rubnjacima i prometnim otocima. Rubnjaci zadržavaju promet na kolniku i usmjeravaju otjecanje vode. Preporučuje se izvođenje rubnjaka monolitno s betonskim pločama (povezani sidrima), iako se mogu izvoditi i zasebno. Rubnjaci i odvodni kanali mogu se izvoditi i prvi da bi naknadno služili kao "kalup" za ugradnju betonske ploče kolnika. Razdjelnice se moraju protezati preko rubnjaka i odvodnih kanala. Prometnim se otocima osigurava odvajanje pješaka i vozila, te teških vozila i autobusa na jače dimenzionirane površine, i osigurava sprečavanje okretanja dugih vozila. Konačne se lokacije otoka preporučuju odrediti nakon određivanja lokacija razdjelnica.

4. PROIZVODNJA UVALJANOG BETONA

4.1. Ključni elementi u proizvodnji uvaljanog betona

Tvornica betona, koja proizvodi i isporučuje uvaljani beton mora imati certificiranu kontrolu tvorničke proizvodnje, uspostavljenu prema Tehničkom propisu za betonske konstrukcije i normama HRN EN 206 i HRN 1128. Osim navedenih propisa potrebno je zadovoljiti i zahtjeve Zakona o građevnim proizvodima.

Kao i kod proizvodnje običnog betona i u proizvodnji uvaljanog betona postoje određene faze proizvodnje koje imaju presudan utjecaj na kvalitetu proizvedenog betona, a nakon toga i utjecaj na kvalitetu izvedenog kolnika. Najkritičnije faze u proizvodnji uvaljanog betona dane su u nastavku.

4.1.1. Kontrola vlažnosti svježeg uvaljanog betona

Kontrola vlažnosti uvaljanog betona vrlo je važna faza proizvodnje jer mala razlika u doziranju količine vode uzrokuje velika odstupanja u vlažnosti cjelokupne mješavine. Kako je uvaljani beton vrlo osjetljiv na razlike u vlažnosti važno je odrediti ukupnu količinu vode u mješavini.

Osim vode koju doziramo u mješavinu određena količina vode nalazi se i u agregatu na deponiji i u boksovima pa treba više puta tijekom proizvodnje određivati vlažnost agregata. Podaci o vlažnosti agregata koji se određuju tijekom proizvodnog dana važan su podatak operateru na betonari koji tada može ispravno ocijeniti koliko treba dozirati vode u mješavinu i koliko se vlage gubi tijekom proizvodnog procesa. Nakon miješanja treba odrediti ukupnu vlažnost mješavine uvaljanog betona prije transporta betona na gradilište. Agregat na deponiji i u boksovima potrebno je zaštititi od naglih promjena vlažnosti i utjecaja nepovoljnih vremenskih prilika.

4.1.2. Sprečavanje pojave segregacije agregata i mješavine uvaljanog betona

Važna faza proizvodnje uvaljanog betona su i postupci ispravnog upravljanja skladištenjem agregata te unutrašnjim transportom agregata i svježe mješavine uvaljanog betona kako bi se spriječila pojava segregacije agregata. Skladištenje agregata na betonari, uređenje deponije, prebacivanje frakcija agregata u boksove treba obavljati iskusan strojar. Nakon procesa miješanja pretovar betona u sredstvo transporta, što su najčešće kamioni kiperi, također treba provoditi planski uz što manju segregaciju.

4.1.3. Usklađenost proizvodnje uvaljanog betona i zahtjeva s gradilišta

Kod proizvodnje uvaljanog betona treba unaprijed s naručiteljem dogovoriti sve pojedinosti vezane za isporuku betona, a među najvažnijima su mjesto, količina, vrijeme i dinamika isporuke. Potrebno je uskladiti proizvodnju, transport i ugradnju betona kako bi se izbjegli prekidi u radu finišera na gradilištu jer je to faktor koji utječe na kvalitetu izvedenog kolnika. Kod svakog zaustavljanja rada finišera i ponovnog pokretanja moguća je pojava neravnina i udubljenja koja rezultiraju lošom kvalitetom površine. Potrebno je osigurati dodatnu betonaru ako odabrana ne može proizvesti ugovorenu količinu betona za određeni projekt, ali u tome slučaju sastav uvaljanog betona i receptura treba biti kao i na osnovnoj betonari. Radno vrijeme betonare treba biti usklađeno sa zahtjevima gradilišta. Proizvođač treba biti opremljen s dovoljnim brojem transportnih sredstava te je unaprijed potrebno dobro isplanirati sve transportne rute i alternativne pravce u slučaju zastoja prometa, što je posebno važno u jako naseljenim područjima kao što su gradovi i sl. Preporučuje se da betonara koja isporučuje uvaljani beton ne bude udaljena više od 30 minuta vožnje od mjesta izvođenja kolnika. Za čitavo vrijeme transporta i stajanja do trenutka isporuke betona svježa mješavina uvaljanog betona treba biti na kamionu prekrivena i zaštićena odgovarajućim prekrivačima kako bi se gubitak vlage sveo na minimum ili spriječilo vlaženje mješavine.

Proizvodnja uvaljanog betona obuhvaća sljedeće osnovne procese:

- odabir sastavnih materijala
- skladištenje sastavnih materijala
- doziranje sastavnih materijala i miješanje betona

- kontrola tvorničke proizvodnje betona
- isporuka i transport uvaljanog betona na gradilište

4.2. Odabir sastavnih materijala

Pod sastavnim materijalima uvaljanog betona podrazumijevaju se: cement, agregat, voda, kemijski i mineralni dodaci (sukladno poglavlju 2. ovih Smjernica). Sastavni materijali koji se koriste u proizvodnji moraju zadovoljavati uvjete norme HRN EN 13877-1 i HRN EN 206 i ne smiju sadržavati štetne primjese u količinama koje mogu biti opasne za trajnost betona te moraju biti prikladni za namjeravanu uporabu betona.

Za sve sastavne materijale moraju biti izdane pravovaljane izjave o svojstvima i tehničke upute sukladno Zakonu o građevnim proizvodima.

4.3. Skladištenje sastavnih materijala

Sve sastavne materijale, cement, agregat, kemijske i mineralne dodatke betonu proizvođač treba propisno skladištiti na betonari sukladno preporukama proizvođača te u skladu sa zahtjevima norme HRN EN 206.

Cement mora biti uskladišten u zasebnom silosu. Ako betonara koristi više vrsta cemenata silosi obavezno trebaju biti označeni s oznakom koja se vrsta cementa u kojem nalazi.

Agregat za pripremu uvaljanog betona treba biti uskladišten u odgovarajućim boksovima podijeljen po frakcijama kako bi se izbjeglo njihovo miješanje. Boksovi s frakcijama agregata trebaju biti obilježeni kako bi se izbjegle greške kod doziranja. Kod skladištenja agregata treba obratiti pozornost da pri utovaru i prijevozu ne dođe do segregacije, što bi moglo imati nepovoljan učinak na kvalitetu betona. Zbog pada s velike visine kod transporta osim segregacije može doći i do razbijanja i drobljenja krupnijih zrna pa se stoga postupak unutrašnjeg transporta frakcija agregata treba obavljati s posebnom pažnjom. Također agregat treba zaštititi od mogućih zagađenja štetnim tvarima kao što su organske tvari, soli i sl. Agregat se na betonari treba po mogućnosti zaštititi od naglih promjena vlažnosti i utjecaja nepovoljnih vremenskih prilika (zagrijavanje, zaledivanje, prekrivanje snijegom i sl.).

Kemijski dodaci betonu trebaju se skladištiti prema preporukama proizvođača, u zaštićenom prostoru, u pravilu na temperaturama od 5 do 35 °C.

Mineralni dodaci koji se eventualno koriste za pripremu uvaljanog betona trebaju biti uskladišteni prema uputama proizvođača. To su najčešće silosi u kojima se skladišti i cement.

4.4. Doziranje sastavnih materijala i miješanje uvaljanog betona

Doziranje sastavnih materijala i njihovo miješanje jedna je od najvažnijih faza u proizvodnji uvaljanog betona. Kod doziranja sastavnih materijala potrebno je osigurati točnost uređaja za određivanje količine sastavnih materijala, a sve u skladu s normom HRN EN 206.

Oprema koja služi za miješanje svježih mješavina betona treba biti ispravna i održavana kako bi se moglo osigurati proizvodnju homogene smjese, odnosno ravnomjernu raspodjelu sastavnih materijala.

Proizvodnja uvaljanog betona, s obzirom na maksimalnu veličinu zrna agregata od 16 mm, može se provoditi na betonarama većeg kapaciteta na kojima se proizvodi obični beton a koje su opremljene prisilnim ili prinudnim, protustrujnim miješalicama za beton s vertikalnom osovinom za miješanje. To su betonare koje rade diskontinuirano, u ciklusima, kod kojih se proizvodnja i kontrola doziranja vode provodi računalno i koje osiguravaju dobro homogeniziranu smjesu svježeg betona. Beton se iz mješalice gravitacijski prebacuje u transportno sredstvo.

Nakon svakog miješanja bubanj mješalice treba biti ispražnjen do kraja kako bi se moglo osigurati pravilno miješanje sljedeće šarže. Treba imati na umu da se zbog reduciranog sadržaja vode u mješavini i slabe obradljivosti uvaljanog betona ovaj tip mješalice ne smije puniti do punog kapaciteta, jer se u tom slučaju neće osigurati homogena mješavina.

Iz istog razloga i vrijeme miješanja se za ovaj tip mješalice treba produžiti. Za vrijeme proizvodnje uvaljanog betona na betonari treba izbjegavati isporuku druge vrste betona jer je uvaljani beton osjetljiv na sve promjene sadržaja vlage.

Osim prisilnim protustrujnim miješalicama s vertikalnom osovinom uvaljani se beton može proizvoditi i prisilnim valnim miješalicama koje imaju horizontalnu osovinu za miješanje unutar nepokretnog bubnja i koje mogu biti jednostruke i dvostruke.

Najučinkovitije su mješalice kod kojih je omogućeno kontinuirano miješanje betonske smjese uz vrlo velike učinke rada i proizvodnju uvaljanog betona, što je vrlo često potrebno kod velikih projekata izgradnje cesta, kontinuirane (protočne) mješalice [8].

Proces miješanja odvija se na način da se na jednom kraju postrojenja kontinuirano doziraju sastavni materijali, a na drugom kraju izlazi gotova homogena smjesa svježeg uvaljanog betona koja je spremna za transport na gradilište. Kod kontinuiranog dotoka sastavnih materijala točnost doziranja je ponekad problematična pa se točnost doziranja i količine sastavnih materijala provjeravaju usporedbom s proizvedenom količinom smjese u vremenskom periodu (jedanput ili dva puta dnevno). Iz tog razloga ovaj tip betonare ne može biti certificiran prema važećim hrvatskim propisima.

Kontinuirane betonare najčešće se instaliraju na gradilištu ili u neposrednoj blizini gradilišta, tako da se transport betona vrlo često obavlja i transportnim trakama na mjesto ugradnje betona, ali je to češći slučaj kod izvođenja brana i drugih masivnih konstrukcija.

Vrsta postrojenja i odabir načina miješanja odgovornost je izvođača radova/dobavljača betona i ovisi o zahtjevima i veličini projekta, ekonomskim aspektima i udaljenosti do gradilišta.

4.5. Kontrola tvorničke proizvodnje betona

Kontrola tvorničke proizvodnje betona treba biti uspostavljena prema zahtjevima Tehničkog propisa za betonske konstrukcije te normi HRN EN 206 i HRN 1128. Osim navedenih propisa potrebno je zadovoljiti zahtjeve Zakona o građevnim proizvodima.

U točki 6.2. ovih Smjernica prikazane su detaljnije napomene o načinu kontrole betona u proizvodnji.

4.6. Isporuka uvaljanog betona na gradilište

Pri isporuci uvaljanog betona proizvođač treba dostaviti naručitelju otpremnicu za svaku isporučenu količinu betona na kojoj su ispisani podaci o proizvođaču, količini i vrsti betona koja se isporučuje i drugi podaci koji su definirani točkom 7.3 norme HRN EN 206.

Osim otpremnice proizvođač obavezno sukladno zahtjevima Zakona o građevnim proizvodima uz svaku isporučenu količinu betona treba naručitelju na gradilište dostaviti tehničku uputu za uporabu betona i izjavu o svojstvima kojom potvrđuje da je beton certificiran, odnosno da je beton prošao postupak ocjenjivanja i provjere stalnosti svojstava te vrednovanja kontrole tvorničke proizvodnje betona.

5. IZVOĐENJE KOLNIKA OD UVALJANOG BETONA

5.1. Osnovni uvjeti za izvođenje

Kolnici od uvaljanog betona izvode se zbijanjem betona opremom koja se inače koristi za ugradnju asfalta (finišeri i valjci) ili u novije vrijeme i specijalnim finišerima za ugradnju uvaljanog betona. Zbijanje je najvažnija faza kod izvođenja kolnika od uvaljanog betona jer osigurava gustoću, čvrstoću i površinsku teksturu te treba biti izvedeno s mnogo pažnje, uz adekvatnu kontrolu kvalitete tijekom izvođenja.

Osnovne faze kod izvođenja kolnika od uvaljanog betona su:

- priprema podloge
- transport uvaljanog betona na gradilište
- ugradnja uvaljanog betona finišerima
- zbijanje valjcima
- pravovremeno rezanje kolnika i izrada prividnih razdjelnica
- njega i zaštita betona

5.2. Priprema podloge

Zahtjevi za podlogu kolnika od uvaljanog betona isti su kao i za kolnik od običnog betona. Za izgradnju kvalitetne kolničke konstrukcije od kritične je važnosti dobro pripremljena posteljica. Podloga treba pružiti dovoljan otpor kako bi se osiguralo potpuno zbijanje uvaljanog betona kroz cijeli poprečni presjek kolnika.

Zemljani radovi moraju biti usklađeni s ugradnjom instalacija. U svrhu postizanja tražene nivelete posteljice, materijal se mora iskopavati ili dodavati. Neadekvatni materijali moraju se, ako je moguće, miješati s prikladnim tlom ili se moraju ukloniti i zamijeniti. Posteljica se može stabilizirati i vezivom. Preporučuje se dionice na kojima se materijal dodaje zbijati u nekoliko slojeva, na širinu najmanje 60 cm veću od predviđene širine kolnika (30 cm sa svake strane kolnika). Posteljica prije betoniranja mora biti zbijena, čista, nesmrznuta i jednolične glatke površine. Rovovi za instalacije moraju se prije betoniranja zapuniti odgovarajućim materijalom (nevezanim ili vezanim) i zbiti na zadanu vrijednost i visinu. Ako prije betoniranja dođe do značajnog slijeganja zbijenog materijala u rovu, on se mora iskopati i ponovno ugraditi. Zahtjevi za izradu posteljice propisani su u "Općim tehničkim uvjetima za radove na cestama" - knjiga II [3].

Kod glinovitog tla najprikladnije je tlo stabilizirati i na njega ugraditi nevezani mehanički zbijeni nosivi sloj od kamenog materijala. Tlo stabilizirano vezivom mora zadovoljavati zahtjeve norme HRN EN 14227- 10,13.

Donji nosivi sloj betonske kolničke konstrukcije može se izvesti od nevezanog, mehanički zbijenog kamenog materijala i hidrauličkim ili bitumenskim vezivom stabiliziranog agregata. Podloga betonske ploče ovisi i o prometnom opterećenju, pa uvjeti za posteljicu i nosivi sloj koji se zadaju za vrlo teško opterećenje neće vrijediti za lako prometno opterećenje, iako se konstrukcije ugrađuju na istom temeljnom tlu i u istom klimatskom području.

Ako se ugrađuje nosivi sloj nevezanog zrnatog kamenog materijala, on mora biti zbijen do zadane vrijednosti, propisane visine i ravnosti. Primjenjuju se sljedeće norme: HRN EN 13285 i HRN EN 13242. Za izradu nosivog sloja od zrnatog materijala vezanog hidrauličkim vezivom koriste se sljedeće norme: HRN EN 13282, HRN EN 14227-1,5. Zahtjevi za izradu nosivih slojeva od zrnatog kamenog materijala bez veziva i stabiliziranog hidrauličkim vezivom propisani su u "Općim tehničkim uvjetima za radove na cestama" - knjiga III [3].

Donji nosivi sloj kolničke konstrukcije treba, prije početka ugradnje betona, zadovoljavati zahtjeve kakvoće u pogledu stupnja zbijenosti, ravnosti površine i debljine sloja. Podloga treba biti jednoliko vlažna, a svu stajaću vodu, ostatke leda i sl. treba prije izvođenja ukloniti s podloge. Jednoliku vlažnost treba održavati tijekom izvođenja cijele dionice kolnika.

Prije početka ugradnje betona nadzorni inženjer treba provjeriti odgovaraju li nosivost, ravnost, vlažnost i odvodnja podložnog sloja projektnim specifikacijama te putem upisa u građevinski dnevnik odobriti ugradnju uvaljanog betona.

5.3. Plan betoniranja

S obzirom na opremljenost, izvođač radova treba detaljno u Planu kvalitete izvedbe kolnika od uvaljanog betona razraditi način ugradnje betona, navesti opremu kojom planira izvršiti ugradnju i zbijanje betona te definirati način na koji će provoditi kontrolu kvalitete radova i materijala.

Sve se te radnje planiraju u dokumentu koji se naziva Plan betoniranja, koji je sastavni dio Plana kvalitete izvedbe i kojeg izvođač radova treba izraditi prije početka radova.

U Planu betoniranja točno se definira koje se dionice kolnika izvode, pa čak i ako se radi o jednostavnim ravnim dionicama [4].

Plan betoniranja treba obuhvatiti **čitavu površinu dionice betoniranja**. Sukladno zahtjevima projekta konstrukcije potrebno je:

- odrediti širinu kolnika, odnosno širinu ugradnje betona uporabom finišera
- plan rezanja kolnika i izvedbe prividnih razdjelnica
- predvidjeti način izvedbe rubova kolnika
- predvidjeti detalje izvođenja oko fiksnih dijelova konstrukcije kao što su pješački otoci, ugibaldišta i sl.

Budući da se uporabom finišera može ostvariti od 85 do 90 % zahtijevane zbijenosti betona potrebno je na terenu procijeniti i odrediti radnu visinu ugradnje betona koja nakon zbijanja i valjanja treba zadovoljavati projektom traženu debljinu kolnika od uvaljanog betona.

Prije početka izvođenja potrebno je odrediti način na koji će se definirati rub kolnika. Ako se planira rezanje ruba, potrebno je izvesti kolnik širi za 15 do 25 cm (sa svake strane) od projektom zahtijevanog. Nakon ugradnje, višak betona potrebno je izrezati odgovarajućom opremom za piljenje. Alternativno je rješenje osiguranje rubnog pridržanja u obliku privremene oplate ili standardnom izvedbom rubnjaka.

Prije početka valjanja potrebno je definirati režim valjanja kojim se postiže jednoliko zbijanje uvaljanog betona tako da na kraju zbijenost rubova kolnika ima prihvatljivo odstupanje od zbijenosti sredine kolničke trake.

S planom betoniranja trebaju biti upoznati svi radnici kako bi se izbjegli nepotrebni zastoji u radu, a primjenu opreme, odabranu tehnologiju i Plan kvalitete izvedbe s Planom betoniranja treba prije početka radova odobriti nadzorni inženjer.

5.4. Transport betona na gradilište

Svježi beton treba transportirati na gradilište kamionima kiperima, bez miješanja, uz obavezno prekrivanje mješavine zbog sprečavanja gubitka vlage iz svježeg betona, odnosno radi zaštite od utjecaja iznenadne pojave kiše i drugih atmosferilija. Preporučuje se da vrijeme transporta ne bude dulje od 60 minuta, čak i u slučaju da je u mješavinu dodan usporivač vezanja [5].

Unaprijed je potrebno dobro isplanirati sve transportne rute i alternativne pravce u slučaju zastoja prometa, što je posebno važno u jako naseljenim područjima. Kod svake isporuka betona treba provjeriti je li sav beton istovaren. Ako dio betona ostane u kamionu ispraznit će se sa sljedećom isporukom i uzrokovati probleme na građevini [2].

Dinamika dostave mora biti određena radi kontinuiranog punjenja finišera. Dopušteno vrijeme stajanja neugrađenog betona (od proizvodnje do ugradnje) treba prethodno eksperimentalno utvrditi ovisno o vremenskim uvjetima ugradnje i temperaturi betona.

Proizvođač je dužan u tehničkoj uputi za uporabu betona propisati koliki je rok uporabe proizvoda. Isporuku betona i transport betona naručitelj i proizvođač betona trebaju regulirati ugovorom u kojem će biti definirane obveze i odgovornosti strana. Ako naručitelj sam transportira beton na gradilište, za isti je, od trenutka preuzimanja betona na betonari, odgovoran.

5.5. Oprema za betoniranje, ugradnju i zbijanje betona

Kao što je ranije navedeno, kolnici od uvaljanog betona izvode se zbijanjem betona opremom za ugradnju asfalta (finišeri i valjci) ili, u novije vrijeme, i specijalnim finišerima za ugradnju uvaljanog betona.

5.5.1. Finišeri za ugradnju asfalta

Velika prednost uvaljanog betona u odnosu na obični njegova je mogućnost ugradnje opremom koja se koristi kod ugradnje asfalta, kojom su naše izvođačke tvrtke dobro opremljene.

Finišer kod ugradnje betona vrši tzv. predvibriranje materijala koji se ugrađuje u kolnik te se, prema nekim iskustvima iz zapadnih zemalja, na ovaj način dobije čak oko 90 % tražene gustoće betona, dok se ostatak, do zahtijevane gustoće (zbijenosti), ostvaruje valjanjem uporabom raznih vrsta valjaka.

Finišera ima raznih proizvođača, namjena i veličina koji se odabiru s obzirom na projekt i mogućnosti izvođača. Opremljeni su vibracijskom pločom (pegla) koja izravna i zbija beton do određene debljine i nagiba sloja.

Finišer treba biti odgovarajuće snage i tehničkih karakteristika kako bi mogao ravnomjerno rasporediti i ugraditi dopremljeni uvaljani beton, bez pojave segregacije, uz zadovoljenje svih svojstava koja su zadana projektom, kao što su debljina kolnika, ravnost i površinska tekstura bez pojave neravnina, ulegnuća, kidanja površine ili pojave pukotina.

Finišeri mogu ugrađivati slojeve debljine od nekoliko cm pa sve do 30 cm u jednom sloju. Uvaljani beton može se ugrađivati u slojevima, pa se preporučuje da zbog zahtjeva ravnosti visina sloja ne prelazi 20 cm. Širina ugrađivanja može se kretati od 1 do 12 metara, ovisno o vrsti finišera i njegovim tehničkim mogućnostima.

5.5.2. Specijalni finišeri za uvaljani beton

U novije se vrijeme na tržištu sve više pojavljuju specijalni finišeri čija je namjena ugradnja uvaljanog betona. To su visoko modernizirani strojevi velike snage, tzv. "high density paver" koji se mogu koristiti i kod izvođenja brana i kod izvođenja prometnica.

Postupak zbijanja detaljnije je objašnjen u točki 5.6.1. ovih Smjernica.

5.5.3. Valjci

Valjanje betona kod kolnika od uvaljanog betona se izvodi uporabom raznih vrsta valjaka, ovisno o zahtjevima projekta. Najčešće se koriste statički i vibracijski valjci s čeličnim ili gumenim kotačima, a za zahtjevnije i nedostupne površine razne vibro ploče i nabijači za zbijanje uvaljanog betona. Postupak zbijanja detaljnije je objašnjen u točki 5.6.2. ovih Smjernica.

5.6. Ugradnja, zbijanje i završna obrada betona

Radove treba izvoditi grupa iskusnih i kvalificiranih radnika predvođenih visokostručnim voditeljem radova. Sva oprema i strojevi trebaju, prema svim svojim tehničkim karakteristikama, biti prikladni i spremni za izvođenje kolnika od uvaljanog betona prema zahtjevima projekta.

Beton treba proizvesti u centralnom pogonu na kojem će se osigurati dovoljna količina sastavnih materijala za proizvodnju betona. Potrebno je osigurati i rezervnu betonaru u slučaju kvara. Beton treba proizvesti sukladno zahtjevima Tehničkog propisa za betonske konstrukcije i normama HRN EN 206 i HRN 1128 te transportirati i ugraditi sukladno normi HRN EN 13670 uporabom finišera, valjaka i druge opreme za ugradnju uvaljanog betona.

5.6.1. Ugradnja uvaljanog betona

Odmah nakon isporuke svježeg betona na gradilište treba započeti s ugradnjom betona. Sva oprema, strojevi i osoblje trebaju biti spremni do dolaska betona na gradilište. S ugradnjom betona treba započeti, i sve faze izvedbe isplanirati, tako da se planira izvođenje pri povoljnim vremenskim uvjetima, dovoljan broj radne snage, dovoljan broj strojeva i druge opreme.

Ugradnju betona treba provoditi uporabom odgovarajućeg finišera koji treba raditi kontinuirano, bez zastoja. Finišer treba raditi tako da se osigura kontinuirano ravna površina bez pukotina, znakova povlačenja površine, kidanja, guranja i sl. Brzina izvođenja i rada treba biti u skladu sa zahtjevima projekta i zahtjevima za osiguranje maksimalne tražene zbijenosti koje se može ostvariti finišerom. Ako se kolnik od uvaljanog betona planira izvoditi u kasnijim večernjim satima ili noću, potrebno je osigurati adekvatnu rasvjetu.

U slučaju pojave iznenadne kiše potrebno je zaustaviti radove te izvedenu dionicu kolnika zaštititi prekrivanjem odgovarajućim prekrivačima (plastične folije, geotekstil) kako bi se zaštitila površina mladog betona. Eventualni nepredviđeni prekidi betoniranja moraju se završiti na dijelu kolnika gdje su i inače predviđene razdjelnice. Uvaljani beton ne smije se ugrađivati na podlogu na kojoj se nalazi veća količina stajanje vode ili tijekom jake kiše. Tijekom izvođenja treba imati dobru komunikaciju s betonarom te dobro organizirati dinamiku transporta betona na gradilište u odnosu na brzinu ugradnje i zbijanje betona.

Dinamika izvođenja, kontinuirani rad finišera i rad bez zastoja vrlo su važni faktori za kvalitetu izvedenog kolnika. Prema dosadašnjem iskustvu u normalnim uvjetima uvaljani beton treba biti ugrađen unutar 60 minuta od miješanja betona (početni kontakt cementa i vode), a za vrijeme vrućih ljetnih dana unutar 45 minuta [5].

5.6.2. Zbijanje uvaljanog betona

Valjanje betona u izvedbi kolnika od uvaljanog betona jedna je od najvažnijih faza jer se valjanjem ostvaruje konačna zbijenost betona u kolničkoj konstrukciji koja je najčešće određena kao > 98 %-tna zbijenost u odnosu na onu dobivenu modificiranim Proctorovim postupkom. Prema američkim autorima [2], tražena zbijenost rubova kolnika je minimalno 95 %-tna zbijenost.

S valjanjem betona treba započeti odmah nakon procesa ugradnje betona finišerom i treba biti završeno unutar 60 minuta od početka miješanja betona na betonari. Vrijeme ugradnje betona i valjanja može se produžiti upotrebom usporivača vezanja cementa.

Izvođač radova treba odrediti slijed i broj prolazaka valjaka te vrstu valjaka s kojom će izvoditi završno valjanje. Vibro valjci tijekom vibriranja obavezno se moraju kretati.

Valjanje betona treba obaviti uporabom prikladnih vibracijskih valjaka kao početno valjanje, glavno valjanje te na kraju završno valjanje.

Kolnike deblje od 20 cm treba izvoditi u dva sloja od kojih svaki treba dobro uvaljati.

Preporuka je europskih smjernica za uvaljane betone (ERMCO) [2] da se valjanje kolnika debljine 100 – 150 mm nakon istovara iz finišera provede na sljedeći način:

- lagano valjanje s valjkom od 4 tone
- rezanje kolnika i formiranje prividnih razdjelnica
- valjanje pneumatičkim valjkom s gumama od 10 tona
- valjanje statičkim valjkom od 10 tona

U slučaju debljih slojeva prve dvije faze su uglavnom iste, a zatim slijedi:

- zbijanje vibracijskim valjkom do 10 tona
- valjanje pneumatičkim valjkom s gumama od 10 tona
- valjanje statičkim valjkom od 10 tona

Prema nekim autorima, kod uvaljanog betona vrijedi pravilo da za 5 % smanjenja gustoće (tražene zbijenosti) dobivamo oko 40 % manju tlačnu čvrstoću ugrađenog betona određenu na uzorcima izvađenih iz konstrukcije [5].

Ostvarenje tražene gustoće osnovni je preduvjet osiguranja svih ostalih fizikalno-mehaničkih svojstva betona ugrađenog u kolnik, među kojima su najvažnija čvrstoća pri savijanju i tlačna čvrstoća te svojstva trajnosti. Valjanjem betona ostvaruje se završni izgled te kvaliteta površine [2], [5].

5.6.3. Završna obrada i izgled površine kolnika

Izgled i tekstura površine kolnika od uvaljanog betona ovisi o sastavu betona i tehnologiji ugradnje i zbijanja betona. Na većini projekata završna obrada kolnika završava valjanjem betona nakon čega se ne primjenjuju nikakvi postupci hrapavljenja ili zaglađivanja kolnika. Površina je vrlo slična onoj kod asfaltnih kolnika osim što je sive boje.

Gornja površina kolnika od uvaljanog betona najčešće je relativno grube teksture koja ostaje nakon završnog valjanja i pruža dovoljno dobru prionjivost prometnih sredstava za površinu kolnika uz povećano trenje što poboljšava otpornost na klizanje i kraći zaustavni put vozila. Zbog teksture površine kolnici od uvaljanog betona najviše se koriste u uvjetima cesta s manjim brzinama prometa i najviše kod industrijskih prilaznih cesta, skladišta, terminala, parkirališta, luka i sl. Glatku površinu moguće je dobiti i upotrebom veće količine finih čestica agregata, cementa ili mineralnih dodataka u mješavini.

Površina se također može obraditi dijamantnim brušenjem, što smanjuje buku, ili prevlačenjem slojem asfalta, što omogućava veće brzine prometa.

5.7. Neomeđeni rubovi, spoj kolnika od uvaljanog betona i susjedne građevine

Zbijenost izvedenog kolnika treba na svim površinama biti ujednačena, kako u sredini kolnika tako i na njegovim rubovima te treba zadovoljavati vrijednosti koje su zadane projektom konstrukcije.

Postizanje tražene gustoće na rubovima kompleksan je zadatak i moguće su sljedeće opcije:

- korištenje privremenih pridržanja (oplata) ili stalnih rubnjaka
- proširenje kolnika za 15 - 25 cm sa svake strane, zbijanje i naknadno rezanje viška slabije zbijenog betona (točka 5.3. ovih Smjernica)

Razdjelnice treba izvesti na spoju kolnika od uvaljanog betona i bilo koje druge susjedne građevine (materijala) kako bi se regulirala različita slijeganja. Ovo se može izvesti trakama od vlakana ili drugog odgovarajućeg materijala koji se postavlja po cijeloj visini uvaljanog betona. Uvaljani beton se tada ugrađuje s normalnim fiksiranim rubom.

5.8. Prividne razdjelnice

Pozicija razdjelnica mora biti zadana izvedbenim nacrtima u okviru projekta. Kod izvedbe "prividnih razdjelnica" s rezanjem betona treba započeti što je to tehnološki prije moguće, odnosno odmah nakon početnog valjanja betona. Posebno je važno na gradilištu pravilno odrediti vrijeme kad treba započeti s rezanjem betona radi sprječavanja nekontroliranog pucanja betona. Uz pomoć rastegnutog užeta, ili prikladnijeg alata, označi se mjesto buduće razdjelnice te se uporabom ručne pile s tankom oštricom izvrši zarezivanje betona do dubine od 1/3 do 1/4 debljine nosivog sloja uvaljanog betona.

Prividne razdjelnice ručno se pune bitumenskom emulzijom koja treba biti u skladu s normom HRN EN 13304. Nakon punjenja prividnih razdjelnica slijedi završno valjanje do postizanja tražene zbijenosti betona.

Uzdužne razdjelnice treba izvesti na razmacima od 3,5 metara, a poprečne na svakih 4 - 6 metara [2]. Prekidi betoniranja mogu biti samo na razdjelnicama pa eventualne nepredviđene prekide treba završiti pritisnutom razdjelnicom.

5.9. Njegovanje i zaštita betona

Uvaljani betoni imaju nizak sadržaj vode te zbog toga ne dolazi do izdvajanja vode ("bleeding"), ali su skloni sušenju pa ih je potrebno pravilno njegovati.

Uvaljani beton vrlo je osjetljiv na gubitak vlage na što se treba jako paziti tijekom transporta uvaljanog betona na gradilište, ali i tijekom izvođenja. Visoke dnevne temperature zraka ili jak vjetar ili kombinacija oba faktora mogu imati vrlo štetan utjecaj na kvalitetu isporučenog, odnosno ugrađenog betona. Preporučuje se prije same ugradnje uvaljanog betona namočiti podlogu, rubnjake i sve druge dijelove koji dolaze u dodir s uvaljanim betonom kako bi se spriječilo isušivanje tek ugrađenog uvaljanog betona [2].

Prijevremeno sušenje zaustavlja hidrataciju, smanjuje čvrstoću i trajnost površinskog sloja te je stoga njegovanje mladog betona proces od presudne važnosti. S njegovanjem betona treba započeti čim to omogućuje završene faze izvedbe. Zaštitu od neposrednog utjecaja sunca, vjetra i niskih temperatura treba započeti neposredno nakon ugradnje betona.

U slučaju korištenja kemijskih sredstava za njegu betona treba ih prije uporabe ispitati i njihovu učinkovitost dokazati u stvarnim uvjetima primjene. Izvođač radova treba pribaviti i dostaviti nadzornom inženjeru izjavu o svojstvima za kemijsko sredstvo za njegu betona koje se primjenjuje na gradilištu. Ne smiju štetno djelovati na beton i na prionjivost mase za zatvaranje razdjelnica.

Kemijska sredstva treba fino raspršiti i jednoliko nanijeti na površinu betona. Trebaju biti svijetle boje, tako da ne apsorbiraju sunčanu toplinu. Prije početka rada potrebno je osigurati dovoljnu količinu kemijskog sredstva te dovoljan broj prskalica za nanošenje. Nakon nanošenja sredstva za njegovanje betona nije dozvoljeno prometovanje niti valjanje.

Prskanje vodom i prekrivanje plastičnim folijama u trajanju od 7 dana također je učinkovito, ali u praksi je prskanje vodom često teško provedivo zbog nepažnje i neredovitog polijevanja čime je omogućeno sušenje između prskanja. Kada se predviđa da će temperatura zraka pasti ispod 0 °C, njegovanje vodom ne smije se primjenjivati već je potrebna termo-izolacijska zaštita betona.

Zaštitne plastične folije teško je zadržati na mjestu kod pojave jačeg vjetra. Ako izvođač razrađenom metodom kojom se ostvaruju primarni ciljevi o kontinuiranom njegovanju površinskog sloja osigura praktičnu alternativu njegovanju prskanjem sredstvima za njegu mladog betona, ista treba biti prihvaćena.

Ugrađeni beton, zasebno rubove i spojeve, treba tijekom ranog očvršćivanja zaštititi od mehaničkog oštećivanja.



Slika 5/1: Njegovanje ugrađenog uvaljanog betona

Zaštita od visokih temperatura: Tijekom razdoblja s visokim temperaturama preporučuje se provesti što brži transport, ugradnju i završnu obradu betona. Važno je osigurati kontinuirani dovoz i ugradnju betona (bez zastoja). Tijekom ili odmah nakon završne obrade betona može doći do pojave pukotina uslijed utjecaja razlika u temperaturama zraka i betona, niske relativne vlažnosti i/ili velike brzine vjetra. Ako se beton ugrađuje u takvim uvjetima, potrebno je što je moguće više skratiti vrijeme između ugradnje i završne obrade te minimizirati evaporaciju.

Betoniranje nije dozvoljeno ako je temperatura svježeg betona viša od +30 °C. Za vrijeme ljetnih visokih temperatura okoliša preporučuje se betoniranje započeti ili vrlo rano ujutro ili u kasnijim poslijepodnevima. Betoniranje u ranim jutarnjim satima bolji je izbor jer sastavni materijali betona, oprema za transport betona i ugradnju nisu još zagrijani od dnevnog utjecaja sunca.

Zaštita od niskih temperatura: Kako bi se smanjila opasnost od oštećivanja uslijed smrzavanja u ranoj fazi ugradnje i očvršćivanja betona potrebno je jako dobro planirati izvođenje s obzirom na vremenske uvjete. Kod uvaljanog betona, zbog relativno tankog presjeka i velike površine betoniranja, minimalna temperatura svježeg betona koji se ugrađuje u kolnik mora biti najmanje 7 °C.

Nakon dnevnog betoniranja potrebno je zaštititi beton prekrivanjem odgovarajućim prekrivačima (geotekstil, najlon) jer su noćne temperature redovito niže od dnevnih pa je opasnost od smrzavanja betona veća.

Kad se beton ugrađuje pri toplom i hladnom vremenu, treba primijeniti mjere točke 8 i dodatka E norme HRN EN 13670. U građevinski dnevnik treba pri niskim temperaturama upisati najnižu temperaturu betona pri ugradnji i najnižu temperaturu zraka tijekom 24 sata nakon betoniranja, a pri visokim temperaturama, najvišu temperaturu zraka i betona pri ugradnji.

Proizvođači betona trebaju svoje pogone pripremiti za ljetni period poduzimajući mjere kao što su hlađenje sastavnih materijala betona (voda i agregat), natkrivati deponije agregata, držati vozila za transport uvaljanog betona tijekom dana u hladu i slične mjere, a tijekom zimskog perioda grijanje sastavnih materijala (voda i agregat).

Zaštita od kiše: Ako postoji opasnost od kiše, potrebno je zaustaviti betoniranje i poduzeti sve mjere da se omogući očvršćivanje betona. Betoniranu površinu potrebno je prekriti plastičnim folijama koje se moraju prikladno (utezima) učvrstiti protiv naleta vjetra. Površine pod nagibom treba zaštititi i s gornje strane kako se po njima ne bi prelijevala voda.

5.10. Uporabna svojstva i svojstva koja utječu na trajnost kolnika

5.10.1. Otpornost na habanje

Kolnici od uvaljanog betona vrlo se često koriste kao kolnici u industrijskim pogonima gdje je otpornost na habanje jedan od najvećih zahtjeva [2]. U slučaju takvih zahtjeva u prvome redu agregat treba biti otporan na abraziju, odnosno na drobljenje (metoda Los Angeles HRN EN 1097-2). Projektom konstrukcije može se propisati razred otpornosti betona na habanje sukladno normi HRN 1128.

5.10.2. Završna obrada i izgled površine

Završni izgled i obrada kolnika od uvaljanog betona, kako je navedeno u točki 5.6.2. ovih Smjernica, može ostati kako je ugrađena, strojno zaglađena (helikopter), može biti obrađena dijamantnim brušenjem te izvedena s gornjim slojem od asfalta. Koja god se površina i vrsta završne obrade primijene ključno je da ista ima dobra svojstva ujednačenosti kvalitete površine, bez neravnina, udubljenja, pukotina, znakova kidanja i povlačenja. Površina kolnika i njegova tekstura trebaju dati dobru otpornost na klizanje, odnosno dovoljno trenje da se osigura dobra prionjivost transportnih sredstava za podlogu. Kvaliteta završne obrade najvažnija je za trajnost kolnika i očuvanje svih fizikalno-mehaničkih karakteristika kroz čitavi uporabni vijek kolnika uz što manju potrebu za održavanjem i popravcima [2].

5.10.3. Otpornost uvaljanog betona na smrzavanje i soli za odmrzavanje

Kolnici od uvaljanog betona, ako su ispravno izvedeni, imaju dobru otpornost na utjecaj smrzavanja i soli za odmrzavanje. Upitno je djelovanje aeranta u suhoj mješavini kao što je uvaljani beton i predmet je daljnjih istraživanja, kao i ovisnost otpornosti uvaljanog betona na smrzavanje i soli za odmrzavanje o sastavu mješavine.

Preduvjet ostvarenja otpornosti uvaljanog betona na smrzavanje je otpornost agregata na cikluse smrzavanja

i odmrzavanja. Uvaljani beton treba sadržavati dovoljnu količinu sitnih čestica te biti ugrađen kako je to definirano projektnom specifikacijom. Dobro "pakiranje" čestica sastavnih materijala, veća gustoća i zbijenost te manja propusnost doprinose otpornosti betona na utjecaj smrzavanja [2], [5].

Preporučljivo je na probnoj dionici uzeti uzorke za ispitivanje i prije početka projekta provesti prethodna ispitivanja otpornosti betona na smrzavanje i soli za odmrzavanje. Razredi izloženosti betona na smrzavanje i odmrzavanje definirani su u HRN EN 13877-2.

5.11. Probna dionica

Savjetuje se izvođenje probne dionice jer će se pokazati podobnost mješavine, prikladnost načina ugradnje, zbijanja i završne obrade površine [2]. Širina probne površine treba biti barem širine dva finišera jer će se tako ispitati postupak za izvedbu uzdužnih razdjelnica. Tamo gdje se može izvesti, uvaljani beton treba ugraditi preko podloge i donjeg nosivog sloja koji je sličan onom koji će se koristiti kod glavnih radova te će to biti bolji prikaz uvjeta ugradnje.

Probna površina treba biti pažljivo isplanirana s unaprijed određenim kriterijima prihvatljivosti te treba utvrditi najmanje sljedeće [2]:

- svježi beton mora biti dostavljen u odgovarajućoj količini
- svježi beton treba biti homogen i jednoliko izmiješan te treba imati sadržaj vlage tijekom ugradnje takav da može biti zbijen do zahtijevane gustoće
- da finišer može ugraditi uvaljani beton
- da način zbijanja i broj prolaza (valjanja) ostvaruje zahtijevanu zbijenost
- da se proces može završiti u zadanom vremenskom razdoblju
- da se ostvare dozvoljena geometrijska granična odstupanja
- da je završni izgled površine prihvatljiv
- da metoda za izvedbu uzdužnih razdjelnica funkcionira u praksi
- da postupak njege površine funkcionira u praksi

Sva pitanja i nedostaci koji se uoče tijekom izvođenja probne dionice trebaju biti raspravljani između svih strana i trebaju biti dogovorena rješenja prije početka izvođenja.

Svi zahtjevi i postupak izvođenja probne dionice trebaju biti jasno identificirani u projektnoj specifikaciji. Iako izvedba probne dionice može biti skupa na kraju se isplati, jer je dokazano da se troškovi smanjuju ako su svi problemi identificirani i riješeni prije početka glavnih radova.

5.12. Puštanje kolnika od uvaljanog betona u promet

Kolnike od uvaljanog betona, zbog njihovih svojstava, moguće je vrlo rano pustiti u promet [2].

Projektom konstrukcije treba propisati minimalnu tlačnu čvrstoću betona koja treba biti postignuta kako bi se promet mogao pustiti bez opasnosti za kvalitetu i trajnost ugrađenog betona te zbog sigurnosti korisnika. Brzina prirasta čvrstoće ovisi o mnogim faktorima među kojima su vrsta cementa, način ugradnje, vremenski uvjeti i sl. Izvedeni kolnik, prema dosadašnjem iskustvu, može se pri vanjskim temperaturama iznad +15 °C pustiti u gradilišni promet nakon 3 dana, a u redovni promet nakon 7 dana. Opterećivanje izvedene kolničke površine odobrava nadzorni inženjer.

Za pješački promet i povremeni promet laganih vozila kao što su osobni automobili, motocikli i sl. promet se može pustiti odmah nakon ugradnje i zbijanja betona bez opasnosti od oštećenja ili ulegnuća [2]. Nosivost uvaljanog betona ostvaruje se tijekom procesa zbijanja pri kojem dolazi do trenja među česticama i zrnima agregata.

5.13. Moguće pogreške kod izvođenja kolnika od uvaljanog betona

- prevelik ili premalen sadržaj vlage u mješavini uvaljanog betona može izazvati značajne probleme koji mogu utjecati na izvođenje, a nakon toga na fizikalno-mehanička svojstva ugrađenog betona, kvalitetu kolnika i njegovu trajnost
- ciljana gustoća ne može se ostvariti ako je sadržaj vlage izvan dozvoljenih odstupanja
- povećan sadržaj vlage može uzrokovati nedostatan zbijanje, neadekvatno zbijanje s mnogo površinskih grešaka, tonjenje opreme, lijepljenje betona na valjke u procesu valjanja betona
- nedostatna vlažnost mješavine može uzrokovati povećanje opasnosti od segregacije tijekom cijelog procesa ugradnje betona, probleme kod ugradnje, podizanje finišera, neravnine i udubine, kidanje površine, neadekvatnu zbijenost i otvorenu, grubu završnu obradu površine kolnika

6. KONTROLA KVALITETE IZVOĐENJA KOLNIKA OD UVALJANOG BETONA

6.1. Općenito

Zahtjevi za upravljanje kvalitetom trebaju biti propisani projektom konstrukcije u dijelu projekta pod nazivom Program kontrole i osiguranja kvalitete. Pod kontrolom kvalitete izvođenja kolnika od uvaljanog betona podrazumijevamo sljedeće faze:

- kontrola betona u proizvodnji (kontrola tvorničke proizvodnje betona)
- kontrola kvalitete prije i tijekom izvedbe radova
- kontrola kvalitete izvedenog kolnika od uvaljanog betona

6.2. Kontrola tvorničke proizvodnje betona

Kontrolu proizvodnje betona proizvođač betona treba u svemu provoditi prema Prilogu A Tehničkog propisa za betonske konstrukcije te sukladno zahtjevima normi HRN EN 206 i HRN 1128. U tablici 6/1 prikazani su osnovni postupci pri kontroli proizvodnje uvaljanog betona.

Tablica 6/1: Kontrola proizvodnje betona

Materijal	Nadzor ili ispitivanje	Svrha	Najmanja učestalost
Osnovni sastavni materijali: cement, agregat, voda	Prema tablici 29 HRN EN 206		
Kemijski dodaci betonu	Izjave o svojstvima, tehnička uputa	Provjera isporuke	Svaka pošiljka
Mineralni dodaci betonu	Izjave o svojstvima, tehnička uputa	Provjera isporuke	Svaka pošiljka
Oprema	Prema tablici 28 HRN EN 206		
Uvaljani beton	v/c i sadržaj cementa	Provjera uvjetovanih vrijednosti i kontrola sukladnosti	Kod početnih ispitivanja te u proizvodnji prema tablici 22 HRN EN 206
	Konzistencija svježeg betona (HRN EN 12350-4 s modifikacijom – poglavlje 2. ovih Smjernica)		Kod početnih ispitivanja, kod svake sumnje
	Optimalni udio vode i maksimalna suha gustoća prema Proctoru (HRN EN 13286-2)		Kod početnih ispitivanja, kod svake sumnje
	Udio vlage – ispitivanje vlažnosti uvaljanog betona		Kod početnih ispitivanja, minimalno 1 dnevno te kod svake sumnje
	Tlačna čvrstoća (HRN EN 12390-3) u kalupima prema poglavlju 2. ovih Smjernica		Kod početnih ispitivanja i prema tablici 17 norme HRN EN 206
	Vlačna čvrstoća cijepanjem (HRN EN 12390-6) – savijanje u korelaciji prema poglavlju 2. ovih Smjernica		Kod početnih ispitivanja
	Otpornost na habanje (HRN 1128, Dodatak M) – ako je deklariran razred izloženosti		Kod početnih ispitivanja
	Otpornost na smrzavanje i soli za odmrzavanje (HRN CEN/TS 12390-9)		Kod početnih ispitivanja i prema TPBK, Prilog A

6.3. Kontrola kvalitete prije i tijekom izvedbe radova

Kod izvođenja kolničke konstrukcije od uvaljanog betona treba osigurati potpunu kontrolu sukladnosti svih radova, materijala i proizvoda koji će se koristiti sa zahtjevima norme HRN EN 13670 te odredbama TPBK, prilog J, u svim fazama izvedbe kolnika od uvaljanog betona.

Izvođač radova odgovoran je za provedbu ispitivanja svježeg betona na gradilištu te ispitivanja očvrstelog betona u vlastitom laboratoriju, odnosno akreditiranom neovisnom laboratoriju. Ako laboratorij izvođača nije akreditiran za provođenje određenih metoda ispitivanja, sposobnost laboratorija za provedbu ispitivanja provjerava nadzorni inženjer prije početka radova.

U slučaju da izvođač radova nije osposobljen ili opremljen za provođenje kontrole kvalitete na gradilištu istu treba podugovoriti sa specijaliziranim i osposobljenim tvrtkama.

Izvođač treba obavezno prije početka radova dostaviti nadzornom inženjeru na uvid i odobrenje izrađen Plan kvalitete izvedbe kolnika od uvaljanog betona u kojem će se detaljno razraditi tehnologija izvedbe uvaljanog betona.

Plan kvalitete izvedbe minimalno treba sadržavati:

- podatke o građevini
- organizaciji gradilišta i izvođaču radova
- opis sustava upravljanja gradilištem i kvalitetom tijekom izvedbe i odgovorno osoblje, popis odabranih dobavljača i građevnih proizvoda prema zahtjevima projekta
- specifikaciju betona
- količine i odabrani tip betona
- isporuku, preuzimanje i gradilišni transport svježeg uvaljanog betona
- redoslijed, prekide i nastavke betoniranja, ugradnju, zbijanje i površinsku obradu uvaljanog betona
- njegu i zaštitu uvaljanog betona
- plan uzorkovanja i ispitivanja betona na gradilištu

Plan kvalitete treba sadržavati sve obrasce kojima se kontrolira i prati kvaliteta (Zapis o betoniranju, Zapisnik o uzorkovanju). Sve zapise koje vodi izvođač radova te način vođenja redovito treba kontrolirati nadzorni inženjer.

6.3.1. Specifikacija svojstava i kontrola uvaljanog betona kod ugradnje

Uvjetovana svojstva uvaljanog betona kod ugradnje su:

- udio vode – ispitivanje vlažnosti svježeg uvaljanog betona na gradilištu
- stupanj zbijenosti (ispitivanje nuklearnim denzimetrom prema ASTM D 1040 ili ispitivanje volumetrom prema HRN U.B1.016)

Postupak ispitivanja udjela vode i vlažnu gustoću svježeg uvaljanog betona trebaju, ovisno o predloženoj opremi i tehnologiji ugradnje betona, usuglasiti izvođač betonskih radova i proizvođač betona, a odobriti nadzorni inženjer.

6.3.1.1. Plan uzorkovanja i ispitivanja te učestalost ispitivanja

Tablica 6/2: Program kontrolnih ispitivanja betonskog kolnika u fazi izvedbe

Materijal	Nadzor ili ispitivanje	Svrha	Najmanja učestalost
Beton	Temperatura uvaljanog betona i zraka	Kontrola uvjeta ugradnje u skladu s projektnom specifikacijom	Dnevno
	Udio vode – ispitivanje vlažnosti svježeg uvaljanog betona	Provjera specifikacije	Na početku dionice izvođenja i u slučaju sumnje
	Stupanj zbijenosti (ASTM D 1040 / DIN 18125-2 / HRN U.B1.016)	Provjera sukladnosti s projektnim specifikacijama	min 3 ispitivanja za površine < 1.000 m ² ili na svakih 500 m ² za površine > 1.000 m ²

6.3.2. Specifikacija svojstava i kontrola kvalitete izvedenog kolnika

Kontrolu kvalitete izvedbe kolnika od uvaljanog betona izvođač radova treba u svemu provoditi prema zahtjevima projekta konstrukcije, Prilogu J Tehničkog propisa za betonske konstrukcije i norme HRN EN 13670.

Svojstva izvedenog betonskog kolnika nakon ugradnje potrebno je kontrolirati prema zahtjevima HRN EN 13877-2.

Specificirana svojstva izvedenog kolnika od uvaljanog betona mogu biti:

- debljina prema HRN EN 13877-2 (ispitivanje prema HRN EN 13863-3)
- ravnost (ispitivanje profilografom prema prEN 13036-5 ili mjernom letvom prema HRN EN 13036-7)
- hvatljivost vozne površine (ispitivanje prema HRN EN 13036-4)
- tlačna čvrstoća prema HRN EN 13877-2 (uzorkovanje prema HRN EN 12504-1 i ispitivanje prema HRN EN 12390-3)
- vlačna čvrstoća cijepanjem prema HRN EN 13877-1, (uzorkovanje prema HRN EN 12504-1 i ispitivanje prema HRN EN 12390-6)
- vlačna čvrstoća savijanjem prema HRN EN 13877-1, (uzorkovanje piljenjem iz konstrukcije i ispitivanje prema HRN EN 12390-5)
- otpornost na habanje, ako je uvjetovana (ispitivanje prema Dodatku M HRN 1128, Böhmeov postupak)
- otpornost na smrzavanje i soli za odmrzavanje (prema HRN CEN/TS 12390-9)
- dubina teksture vozne površine (ispitana prema normama HRN U.C4.018 ili HRN EN 13036-1)

Tlačnu čvrstoću i vlačnu čvrstoću cijepanjem ugrađenog betona treba ispitivati na uzorcima valjaka sukladno poglavlju 2. ovih Smjernica. Svaki bušeni uzorak prije ispitivanja čvrstoće treba ispiliti na ispitne dimenzije.

Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće na po 4 uzastopna rezultata koji se preklapaju (iz 4 uzorka) trebaju zadovoljiti kriterije iz Dodatka A norme HRN EN 13877-2:

$$X_{4m} \geq f_{ck,core} + 4$$

$$X_i \geq f_{ck,core} - 4$$

Navedena karakteristična tlačna čvrstoća valjka ($f_{ck,core}$) odnosi se na čvrstoću valjka jednakog promjera i visine. Ovako dobivena tlačna čvrstoća valjka izbušenog iz izvedenog kolnika (na valjku jednakog promjera i visine) prema HRN EN 13791 ekvivalentna je tlačnoj čvrstoći dobivenoj na laboratorijski izrađenom valjku odnosa visine i promjera 2:1 (vidi komentar u poglavlju 2. ovih Smjernica).

Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće cijepanjem na po 4 uzastopna rezultata koji se preklapaju (iz 4 uzorka) trebaju zadovoljiti kriterije iz Dodatka A norme HRN EN 13877-2:

$$X_{4m} \geq f_{tk,core} + 0,5$$

$$X_i \geq f_{tk,core} - 0,5$$

Uzorci se ispituju u starosti od 28 dana. Uzorci se mogu uzimati i ranije (nakon 7 dana starosti kolnika) te ih je do 28 dana starosti potrebno negovati prema HRN EN 12390-2.

Debljinu kolnika od uvaljanog betona mjeri se prema normi HRN EN 13863-1, na valjcima bušenim kroz cijeli kolnik za potrebe ispitivanja čvrstoće.

Ista treba zadovoljavati projektirani razred tolerancije iz HRN EN 13877-2.

Ravnost površine izvedene kolničke konstrukcije mjeri se profilografom prema prEN 13036-5 ili mjernom letvom dužine 3 m (prema HRN EN 13036-7) u uzdužnom smjeru (uobičajeno u sredini trake, ali najmanje 0,75 m od ruba). Pri mjerenju letvom svako sljedeće mjerenje treba preklopiti s prethodnim na dužini 1,5 m. U slučaju mjerenja profilografom, srednje vrijednosti rezultata ispitivanja, izraženih u IRI₁₀₀ jedinicama, ne smiju biti veće od 2, a pojedinačni rezultati ispitivanja ne smiju biti veći od 2,5. U slučaju mjerenja mjernom letvom, srednje vrijednosti rezultata ispitivanja ne smiju biti veće od 5 mm, a pojedinačne vrijednosti rezultata ispitivanja ne smiju biti veće od 7 mm.

Niti u jednom smjeru betonske površine ne smije biti ulegnuća većih od 3 mm u kojima se može zadržavati voda.

Hvatljivost vozne površine ispituje se prema HRN EN 13036-4. Srednje vrijednosti hvatljivosti, izražene u SRT jedinicama, ne smiju biti manje od 55, a pojedinačni rezultati ispitivanja ne smiju biti manji od 50.

Dubina teksture vozne površine ispituje se prema normama HRN U.C4.018 ili HRN EN 13036-1, a granične vrijednosti date su u tablici 6-03-10 OTU, knjiga 3. [3].

6.3.2.1. Plan uzorkovanja i ispitivanja te učestalost ispitivanja

Tablica 6/3: Program kontrolnih ispitivanja izvedenog betonskog kolnika

Materijal	Nadzor ili ispitivanje	Svrha	Najmanja učestalost
Uvaljani beton nakon ugradnje u kolnik	Debljina (HRN EN 13863-3)	Provjera sukladnosti s HRN EN 13877-2 (razred T5)	Na valjcima za ispitivanje čvrstoće
	Pukotine	Bez pukotina	Vizualno
	Ravnost (prEN 13036-5/HRN EN 13036-7)	Provjera sukladnosti s projektnim specifikacijama	Na cijeloj površini izvedenog kolnika
	Hvatljivost vozne površine (HRN EN 13036-4)	Provjera sukladnosti s projektnim specifikacijama	Najmanje tri ispitivanja na cijeloj površini izvedenog kolnika
	Tlačna čvrstoća na bušenim valjcima odnosa visine i promjera 1:1 (HRN EN 12504-1, HRN EN 12390-3)	Provjera sukladnosti s HRN EN 13877-2	Na svakih 1.000 m ² izvedenih površina, minimalno 4 uzorka
	Vlačna čvrstoća betona cijepanjem, na bušenim valjcima odnosa visine i promjera 1:1 (HRN EN 12504-1, HRN EN 12390-6)	Provjera sukladnosti s HRN EN 13877-1	Na svakih 1.000 m ² izvedenih površina, minimalno 4 uzorka

Tablica 6/3: Nastavak

Materijal	Nadzor ili ispitivanje	Svrha	Najmanja učestalost
Uvaljani beton nakon ugradnje u kolnik	Otpornost na habanje, na bušenim valjcima promjera 150 mm (HRN EN 12504-1, HRN 1128, Dodatak M)	Provjera sukladnosti s projektnim specifikacijama	Najmanje jedna serija ispitivanja (3 ispitna uzorka)
	Otpornost na smrzavanje i soli za odmrzavanje (prema HRN CEN/TS 12390-9)	Provjera sukladnosti s projektnim specifikacijama	Najmanje jedna serija ispitivanja (4 ispitna uzorka)
	Dubina teksture vozne površine (ispitana prema normama HRN U.C4.018 ili HRN EN 13036-1)	Provjera sukladnosti s odredbom OTU tablica 6-03-10	Jedno ispitivanje na 10.000 m ² (5 mjerenja)

Ukoliko projektant konstrukcije specificira svojstva uvaljanog betona koja nisu navedena u tablici 6/3, treba propisati učestalost ispitivanja i način ocjene zadovoljavanja kriterija.

6.4. Program nadzora nad izvedbom i obveze nadzornog inženjera u pogledu kontrole kvalitete izvedbe

Nadzorni inženjer dužan je kontrolirati dopremu i isporuku betona na mjestu ugradnje, i to pregledom otpremnice, vizualnom ocjenom izgleda betona te provođenjem nadzora nad ispitivanjem vlažnosti dopremljene mješavine.

Zbog posebnosti izvedbe preporučuje se da imenovani nadzorni inženjer bude diplomirani inženjer građevinarstva ili stručni specijalist inženjer građevinarstva s najmanje 10 godina ukupnog radnog iskustva i najmanje 5 godina radnog iskustva u nadzoru nad sličnim poslovima.

Prije početka betoniranja treba provjeriti jesu li:

- izvršene sve potrebne pripreme u pogonu za proizvodnju betona
- izvršene sve pripremne radnje na gradilištu, sukladne projektu i prema planu organizacije gradilišta izvođača radova
- na raspolaganju svi potrebni materijali, proizvodi i ispravna oprema
- prisutni svi planirani kvalificirani radnici s potrebnim iskustvom
- dostupna sva potrebna izvedbena dokumentacija i odgovorni rukovodeći radnici za pojedine faze izvedbe i nadzora

U obvezni dinamički mrežni plan izvedbe treba uključiti sve faze radova i očekivane vremenske prilike, odnosno njihov mogući utjecaj na dinamiku i kvalitetu izvedbe.

Nadzorni inženjer treba naročito provjeriti je li ispunjeno sljedeće:

Prije betoniranja

- proizvodnja i doprema betona sukladna zahtjevima projekta konstrukcije
- finišer (za razastiranje, ugradnju i za predzbijanje uvaljanog betona) sa svim specificiranim dijelovima ispravan i spreman
- sredstva za negovanje betona, u dovoljnoj količini i dostupna, na gradilištu
- fiksna oplata, ako se koristi, precizno postavljena i dobro učvršćena
- podloga kvalitetno pripremljena i postavljeni svi instalacijski i drugi uloženi elementi
- oprema za rezanje razdjelnica ispravna i u dovoljnom broju

Tijekom betoniranja

- vizualna kontrola dopremljenog betona, pregled otpremnice betona
- nadzor nad ispitivanjem vlažnosti dopremljene mješavine
- nadzor nad ispitivanjem stupnja zbijenosti
- ujednačenost dopreme betona prilagođena kontinuiranoj ugradnji, bez predugog transporta i dužih stajanja betona na gradilištu
- izgled površine betona i rubova kolnika nakon ugradnje
- kvaliteta završne obrade i zaštite betona, posebno u slučaju promjene vremenskih prilika (kiša, vjetar i sl.)
- ravnost površina
- pisana evidencija vremena završavanja betoniranja pojedinih dionica radi kasnijeg pravovremenog rezanja razdjelnica u preciznim terminima utvrđenim na pokusnoj dionici ovisno o vremenskim prilikama (temperatura betona)

Nakon betoniranja

- opći izgled i geometrija izvedenih površina
- kvaliteta izvedene završne površinske obrade i zaštite betona
- pravovremeno i kvalitetno rezanje razdjelnica
- kvalitetno brtvljenje razdjelnica
- pojava pukotina na predviđenim mjestima te, u slučaju pojave neočekivanih pukotina, pravovremena evidencija i sanacija istih
- eventualna pojava mogućih grešaka u vidu neravnina, segregacije, deformacija rubova i sl., te pravovremena sanacija istih
- mjerenje ravnosti i ostalih geometrijskih odstupanja od projektiranih vrijednosti
- pravovremeno i jednoliko raspoređeno uzimanje (bušenje) uzoraka za kontrolu sukladnosti ugrađenog betona s projektnim specifikacijama i važećim normama

Nadzorna služba mora kontinuirano pratiti sve faze izvedbe kolnika i zahtijevati pravovremeno otklanjanje svih uočenih grešaka. Nadzorni inženjer mora izraditi završni izvještaj s opisom izvršenog nadzora i ocjenom kvalitete izvedenih radova, uključujući i pribavljene isprave o sukladnosti i dokumentaciju o izvršenim kontrolnim ispitivanjima.

7. ODRŽAVANJE I POPRAVKI

Betonske se prometne površine grade za dulja projekta razdoblja, uz minimalna održavanja i popravke. U nekim slučajevima može doći do povremenih oštećenja. U ovom su poglavlju opisani postupci održavanja i popravaka.

7.1. Zapunjavanje razdjelnica i pukotina

Betonski kolnici mogu dugi niz godina uspješno funkcionirati, bez obzira na to jesu li im razdjelnice zapunjene ili ne. Razdjelnice na manjim razmacima i adekvatna odvodnja smanjit će infiltraciju vode do posteljice. Laki promet (s pretežno osobnim vozilima i rijetkim kamionima) uglavnom neće uzrokovati pojavu pumpanja vode i materijala podloge kroz razdjelnice.

U uvjetima kada je podloga loša i/ili je prometno opterećenje pretežno teško (kamioni) razdjelnice se zapunjavaju hladno- ili vruće-lijevanim masama. Prethodno oblikovane očvrsnule mase, koje se koriste na autocestama, uglavnom se ne koriste na manjim prometnicama i parkirališnim površinama.

Prije zapunjavanja otvor za masu mora se očistiti ispuhivanjem komprimiranim zrakom, uključujući sve kontaktne površine. Prije ugradnje vruće-lijevanih masa sve kontaktne površine moraju biti i suhe. Masa za zapunjavanje mora se ugrađivati pažljivo kako ne bi došlo do njenog izlivanja po površini betona. Svaki višak materijala mora se odmah ukloniti, a površina betona dobro očistiti. Upute proizvođača za miješanje i nanošenje mase za zapunjavanje moraju se striktno slijediti. Gornja površina mase za zapunjavanje ugrađuje se 3 do 6 mm ispod površine okolnog betona.

Pukotine se prije zapunjavanja na gornjem dijelu proširuju do određene dubine te se čiste ispuhivanjem. Na ovaj se način sprječava odlamanje rubova pukotina i smanjuje infiltracija vode do posteljice. U nekim je slučajevima isplativije zamijeniti ploču nego zapunjavati pukotine.

7.2. Popravak u punom poprečnom presjeku

Najučinkovitija metoda popravka jako oštećenih kolničkih betonskih ploča njihova je potpuna ili djelomična zamjena. Prije same zamjene vrlo je važno otkriti i ukloniti uzrok oštećenja. Lokalno oštećenu podlogu treba zamijeniti, a ako je do oštećenja ploča došlo zbog prometa koji je veći od pretpostavljenog za taj kolnik, ploče koje će se ugraditi moraju se ponovno dimenzionirati na debljinu koja će omogućiti dovoljnu nosivost.

7.2.1. Lokacija sanacije i tip razdjelnice

Inženjer će odrediti veličinu i lokaciju saniranog dijela konstrukcije kolnika te način spajanja s postojećom konstrukcijom. Za prometnice s lakim prometnim opterećenjem dovoljan je hrapavi spoj koji omogućuje uklještenje zrna agregata (ispod plitko zarezane površine betona betonska se ploča razbija pneumatskom bušilicom). Kod prometnica s težim prometnim opterećenjem (kamioni i autobusi) sanirani se dijelovi moraju s postojećim kolnikom povezati moždanicima. Granice sanirane površine određuju se s obzirom na veličinu oštećenja, ali ne smiju biti kraće od 2 m ili uže od polovice širine jedne ploče.

7.2.2. Priprema površine koja se sanira

Priprema uključuje rezanje rubova površine koja se sanira (ako se rubovi ne poklapaju s razdjelnicama). Preporučuje se rezanje ploče do dubine od 1/4 do 1/3 debljine ploče, a zatim razbijanje preostale debljine ploče pneumatskom bušilicom. Osim što je jeftinije od rezanja u cijeloj debljini ploče, osigurava hrapavu površinu na koju će se vezati novi beton. Razbijanje betonskog kolnika bacanjem čelične kugle ne preporučuje se jer udarni valovi mogu oštetiti okolni kolnik. Lomljenje ploče započinje se u centru područja sanacije, a ne na njegovim rubovima. Izlomljeni beton može se ukloniti utovarivačem.

Nakon uklanjanja razbijenog betona mora se pregledati podloga kako bi se utvrdilo njeno stanje. Sav materijal koji je oštećen ili rastresen mora se ukloniti i zamijeniti sa sličnim ili poboljšanim materijalom. Ako je prisutna voda, obavezno se mora ukloniti i pričekati da se podloga osuši prije ugradnje betona.

Budući da je vrlo teško postići traženu zbijenost sanirane podloge (posteljice ili donjeg nosivog sloja) preporučuje se zamjena materijala podloge s betonom ili nevezanim materijalom stabiliziranim vezivom.

7.2.3. Ugradnja betona

Posebna se pažnja mora posvetiti ugradnji betona na rubovima i u kutovima. Ako se kolnik mora otvoriti za promet ranije, obavezno je korištenje specijalnih mješavina betona s ranim prirastom čvrstoće.

7.3. Ojačanje podloge i niveliranje

Gubitak nosivosti podloge ispod betonskih ploča kolnika izazvat će značajna oštećenja konstrukcije kolnika. Ovakva se oštećenja uglavnom javljaju na prometnicama s pretežnim prometom teških kamiona i/ili autobusa te izgrađenim na slabo nosivoj podlozi. Na kolnicima s manje od 100 teških kamiona dnevno uglavnom nema opasnosti od pojave pumpanja materijala podloge i gubitka njene nosivosti. Za rješavanje ovakvih problema ispod betonskih ploča injektira se specijalna mješavina u svrhu poboljšanja nosivosti podloge i izdizanja ploča koje su slegnute (niveliranje). Preporučuje se prethodna usporedba troškova injektiranja i troškova potpune zamjene materijala.

7.3.1. Ojačanje podloge

Postoji mnoštvo mješavina koje se danas koriste za injektiranje (cement/ilovača, cement/vapno, cement/pucolan, cement/sitni pijesak), a uspješnost njihove ugradnje ponajprije ovisi o iskustvu izvođača. Injektiranje smjese trebalo bi se na prometnim površinama provoditi lokalizirano. Uglavnom do pumpanja materijala podloge dolazi kroz razdjelnice ili otvorene pukotine. Rupe za injektiranje buše se u ploči na udaljenosti najmanje 0,6 m od razdjelnice ili pukotine. Injektiranje se mora provoditi polako i pažljivo kako se ploča ne bi izdigla iznad razine okolnih ploča. Promet mora određeno vrijeme biti zatvoren (vrijeme njegovanja).

7.3.2. Niveliranje

Niveliranje je pumpanje cementne mješavine pod pritiskom ispod ploče kako bi se ona polagano podigla do željene visine. Slijeganje se može javiti bilo gdje ispod ploče, ali najčešće je to na dijelu gdje postoji nasip.

Općenito je rupe za injektiranje mješavine najbolje postaviti na mjesta gdje bi se, ako je moguće, ispod ploče postavili hidraulički nosači. Rupe se moraju izbušiti na udaljenosti 300 do 450 mm od rubova ploče ili poprečnih razdjelnica. Razmak između rupa ne smije biti veći od 2 m. Iznad udubljena zateže se uža (žica) koje se učvršćuje na najmanje 3 m od ruba udubljenja, a prema kojem će se mjeriti podizanje ploče s injektiranjem mješavine. Kako bi se izbjegla pojava pukotina, niti jedan dio ploče ne smije se odjednom podići za više od 6 mm. Promet je zabranjen dok mješavina ne očvrstne.

7.4. Presvlačenje postojećeg kolnika novim slojem

I asfaltne i betonske prometnice mogu se obnoviti presvlačenjem novim betonskim slojem. Prije ugradnje novog sloja moraju se prepoznati uzroci propadanja postojećeg kolnika. Popravci se mogu ili provesti na postojećem kolniku ili se rješenje može uklopiti u projekt sloja kojim se presvlači oštećeni kolnik. Propadanje kolnika na prometnicama uglavnom je posljedica sljedećih utjecaja: problemi s odvodnjom, preveliko prometno opterećenje, loši uvjeti podloge, neadekvatna debljina ploče, loša izgradnja, neprikladna mješavina ili loši materijali.

7.4.1. Presvlačenje postojećeg betonskog kolnika betonskim slojem

Uglavnom se sloj betona kojim se presvlači postojeći betonski kolnik izvodi s razdjelnicama, dok je u slučaju teškog prometnog opterećenja moguća i ugradnja kontinuirano-armiranog betonskog sloja bez razdjelnica. Novi betonski slojevi s razdjelnicama mogu biti nevezani, djelomično ili potpuno vezani s postojećim kolnikom. Razdjelnice djelomično i potpuno vezanih novih betonskih slojeva moraju se poklapati s onima postojećeg kolnika. Također, kod djelomično i potpuno vezanih novih betonskih slojeva moguća je pojava preslikavanja pukotina iz postojećeg kolnika.

- **Presvlačenje postojećeg betonskog kolnika betonskim slojem nevezanim za postojeći kolnik**

Kako bi se izveo sloj potpuno odvojen od površine postojećeg kolnika, potrebno je ispod njega, na postojeći kolnik, ugraditi odvajajući sloj, najčešće od asfalt betona. Sloj asfalt betona mora biti deblji od 25 mm kako bi se osiguralo neovisno djelovanje postojeće i nove betonske ploče. Samo se na ovaj način mogu presvlačiti jako oštećeni betonski kolnici.

- **Presvlačenje postojećeg betonskog kolnika betonskim slojem djelomično vezanim za postojeći kolnik**

Ako se svjež beton ugradi na površinu postojećeg kolnika bez pripreme, pretpostavlja se da će doći do djelomičnog vezanja novog i starog sloja. Zbog djelomične povezanosti postoji mogućnost preslikavanja pukotina iz postojećeg u novi sloj pa se ovaj tip presvlake preporučuje samo u slučaju da oštećenja postojećeg kolnika nisu velika.

- **Presvlačenje postojećeg betonskog kolnika betonskim slojem potpuno vezanim za postojeći kolnik**

Kako bi se osiguralo da novi sloj betona bude potpuno vezan na postojeći neophodno je pažljivo pripremiti površinu postojećeg kolnika, što uključuje uklanjanje masnoće, ulja, površinskih nečistoća, boje, nevezanog betona itd.

Kako bi se osiguralo da će doći do potpune povezanosti slojeva, potrebno je provesti terenska i laboratorijska ispitivanja predviđenog načina izvođenja. Izvođenje potpuno vezanog betonskog sloja ne preporučuje se izvoditi u razdobljima velikih temperaturnih promjena (rano proljeće ili kasna jesen).

Novi betonski slojevi potpuno vezani na postojeći betonski kolnik smiju se izvoditi samo na slabo oštećenim ili dobro saniranim betonskim kolnicima. Razdjelnice se u novom sloju moraju izvesti na lokacijama onih u postojećem sloju što ranije i u punoj debljini sloja.

7.4.2. Presvlačenje postojećeg asfaltnog kolnika betonskim slojem

Debljina betonskog sloja kojim se presvlači postojeći asfaltni sloj ovisi o tipu i volumenu prometa, čvrstoći podloge ispod novog sloja i svojstvima betonske mješavine.

Površine postojećeg asfaltnog kolnika prometnice koje su jako oštećene ili propale potrebno je prije presvlačenja sanirati: ojačati posteljicu, poboljšati odvodnju i/ili zamijeniti asfalt. Razdjelnice se u sloju betona izvode kao kod betonskih kolnika na tradicionalnoj posteljici.

7.5. Čišćenje kolnika

Ulje i masnoće koji kapaju iz vozila na prometnicama mogu ostaviti tamne mrlje na betonskoj površini. Općenito, naftne mrlje ne uzrokuju oštećenja ili propadanje betona, a s vremenom, oksidacijom i habanjem postat će manje vidljive. Ako su mrlje ipak estetski neprihvatljive, postoje fizički i kemijski postupci za njihovo uklanjanje. Prije čišćenja teških i ljepljivih mrlja materijal se mora ostrugati s površine, a suhi cement može se posipati preko mokrih mrlja kako bi upio ulje prije početka čišćenja.

7.5.1. Abrazivno čišćenje

Pjeskarenjem ili nekim drugim abrazivnim postupkom učinkovito se uklanjaju mrlje s betonskih površina. Tim se postupkom uklanja oko 2 mm površine betona. Postupak traje dulje od kemijskog čišćenja i uglavnom je skuplji jer ga moraju obavljati specijalisti.

Postoji mnoštvo komercijalnih kemijskih sredstava namijenjenih za čišćenje betonskih površina od masnih mrlja. Uglavnom sadrže natrijev metasilikat ili naftne destilate, a primjenjuju se na način da se preliju preko mrlje, utrljaju četkom i zatim isperu vodom koja uklanja tragove mrlje i sredstva za čišćenje.

Trljanje mrlje jakom otopinom sapunice, deterdžentom u prahu ili tercijarnim natrij fosfatom također će ukloniti mrlje od masnoće.

Još učinkovitije sredstvo je pasta od 5 %-tne otopine natrij hidroksida i kalcij karbonata koja se na mrlji ostavi 24 sata, zatim se ostruže i ispere toplom vodom.

Literatura

- [1] American Concrete Institute (ACI), ACI Committee 330; ACI 330R-08, Guide for Design and Construction of Concrete Parking Lots, 2008.
- [2] European ready mixed concrete organization (ERMCO); Guide to roller-compacted concrete, travanj 2013.
- [3] Hrvatske ceste; Opći tehnički uvjeti za radove na cestama, Knjige I-V, Zagreb, 2001.
- [4] Killingsworth B.; Thinking outside the box with roller compacted concrete pavements, Innovative Solutions – Benefiting Society, Proceedings from 12th International Symposium on Concrete Roads, Prague, 2014.
- [5] Portland Cement Association (PCA), National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University; Guide to roller-compacted concrete, kolovoz 2010.
- [6] Radić, J., Betonske konstrukcije - Građenje; Sveučilište u Zagrebu, Andris, 2007.
- [7] Schwabe Ž., Halle M.; Parkirališta s betonskom kolničkom konstrukcijom, Smjernice za projektiranje, građenje i održavanje betonskih parkirališta, Institut IGH, Zagreb, siječanj 2014.
- [8] Zollinger C.; Recent advances and uses of roller compacted concrete pavements in the United States, Innovative Solutions – Benefiting Society, Proceedings from 12th International Symposium on Concrete Roads, Prague, 2014.
- [9] Eisenmann, J.: Betonfahrbahnen, W. Ernst u. Sohn, Berlin-München-Düsseldorf, 1979.

Primijenjeni propisi, zakoni i norme

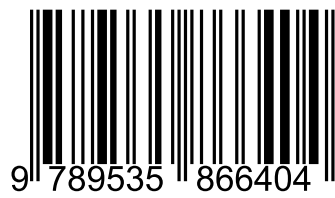
- Zakon o gradnji (NN 153/13)
- Zakon o građevnim proizvodima (NN 86/08, 25/13 i 76/13)
- Tehnički propis za betonske konstrukcije (NN 139/09, 14/10, 125/10 i 136/12)
- Tehnički propis o građevnim proizvodima (33/10, 87/10, 146/10, 81/11, 130/12, 81/13 i 136/14)
- Pravilnik o ocjenjivanju sukladnosti, ispravama o sukladnosti i označavanju građevnih proizvoda (NN 103/08, 147/09, 87/10, 129/11)
- Pravilnik o nadzoru osovinskog pritiska, ukupno dozvoljene mase i dimenzija vozila (NN 76/97, 141/02)
- Pravilnik o tehničkim uvjetima vozila u prometu na cestama (NN 51/10, 84/10, 145/11, 140/13 i 85/14)

ASTM C 1040/1040M-08:2013	Standard Test Methods for In-Place Density of Unhardened and Hardened Concrete, Including Roller Compacted Concrete, By Nuclear Methods
DIN 18125-2:1999	Fields tests for determination of soil density
HRN 1128:2007	Beton - Smjernice za primjenu norme HRN EN 206-1
HRN CEN/TS 12390-9:2006	Ispitivanje očvrsluloga betona - 9. dio: Otpornost na smrzavanje i odmrzavanje - Ljuštenje (CEN/TS 12390-9:2006)
HRN EN 1008:2002	Voda za pripremu betona - Specifikacije za uzrokovanje, ispitivanje i potvrđivanje prikladnosti vode, uključujući vodu za pranje iz instalacija za otpadnu vodu u industriji betona, kao vode za pripremu betona (EN 1008:2002)

HRN EN 1097-2:2011	Ispitivanja mehaničkih i fizikalnih svojstava agregata - 2. dio: Metode za određivanje otpornosti na drobljenje (EN 1097-2:2010)
HRN EN 12350-2:2009	Ispitivanje svježega betona - 2. dio: Ispitivanje slijeganjem (EN 12350-2:2009)
HRN EN 12350-3:2009	Ispitivanje svježega betona - 3. dio: Vebe ispitivanje (EN 12350-3:2009)
HRN EN 12350-4:2009	Ispitivanje svježega betona - 4. dio: Stupanj zbijenosti (EN 12350-4:2009)
HRN EN 12350-5_2009	Ispitivanje svježega betona - 5. dio: Ispitivanje rasprostiranjem (EN 12350-5:2009)
HRN EN 12350-6:2009	Ispitivanje svježega betona - 6. dio: Gustoća (EN 12350-6:2009)
HRN EN 12350-7	Ispitivanje svježega betona - 7. dio: Sadržaj pora - Tlačne metode (EN 12350-7:2009)
HRN EN 12390-13:2013	Očvrslul beton – 13. dio: Određivanje sekantnog modula elastičnosti pri tlaku (EN 12390-13:2013)
HRN EN 12390-2:2009	Ispitivanje očvrsluloga betona - 2. dio: Izrada i njega ispitnih uzoraka za ispitivanje čvrstoća (EN 12390-2:2009)
HRN EN 12390-3:2009+Ispr.1:2012	Ispitivanje očvrsluloga betona - 3. dio: Tlačna čvrstoća ispitnih uzoraka (EN 12390-3:2009)
HRN EN 12390-5:2009	Ispitivanje očvrsluloga betona - 5. dio: Čvrstoća ispitnih uzoraka na savijanje (EN 12390-5:2009)
HRN EN 12390-6:2009	Ispitivanje očvrsluloga betona - 6. dio: Vlačna čvrstoća cijepanjem ispitnih uzoraka (EN 12390-6:2009)
HRN EN 12390-7:2009	Ispitivanje očvrsluloga betona - 7. dio: Gustoća očvrsluloga betona (EN 12390-7:2009)
HRN EN 12504-1:2009	Ispitivanje betona u konstrukcijama - 1. dio: Izvađeni ispitni uzorci - Uzimanje, pregled i ispitivanje tlačne čvrstoće (EN 12504-1:2009)
HRN EN 12620:2013	Agregati za beton (EN 12620:2013)
HRN EN 12878:2005	Pigmenti za bojenje građevinskih materijala na bazi cementa i/ili vapna - Specifikacije i metode ispitivanja (EN 12878:2005)
HRN EN 13036-1:2004	Površinska svojstva cesta i aerodromskih operativnih površina - Ispitne metode - 1. dio: Mjerenje dubine makroteksture površine kolnika volumetrijskim postupkom (EN 13036-1:2001)
HRN EN 13036-4:2004	Površinska svojstva cesta i aerodromskih operativnih površina - Ispitne metode - 4. dio: metoda mjerenja otpornosti površine na klizanje - Ispitivanje klatnom (EN 13036-4:2003)
HRN EN 13036-7:2004	Površinska svojstva cesta i aerodromskih operativnih površina - Ispitne metode - 7. dio: Mjerenje neravnosti slojeva kolnika: ispitivanje mjernom letvom (EN 13036-7:2003)
HRN EN 13242:2013	Agregati za nevezane i hidraulički vezane materijale za uporabu u građevinarstvu i cestogradnji (EN 13242:2013)
HRN EN 13263:2009	Silicijska prašina za beton - 1. dio: Definicije, zahtjevi i kriteriji sukladnosti (EN 13263-1:2005+A1:2009)
HRN EN 13282:2013	Hidraulična veziva za ceste - 1. dio: Brzo otvrdnjavajuća hidraulična veziva za ceste - Sastav, specifikacije i kriteriji sukladnosti (EN 13282-1:2013)
HRN EN 13285:2010	Nevezane mješavine - Specifikacije (EN 13285:2010)
HRN EN 13286-1:2003	Nevezane i hidrauličkim vezivom vezane mješavine - 1. dio: Ispitne metode za određivanje laboratorijske referencijske gustoće i udjela vode - Uvod, opći zahtjevi i uzrokovanje (EN 13286-1:2003)

HRN EN 13286-2:2010	Nevezane i hidrauličnim vezivom vezane mješavine - 2. dio: Metode ispitivanja za određivanje laboratorijske suhe gustoće i udjela vode - Zbijanje prema Proctoru (EN 13286-2:2010)	HRN EN 206:2014 HRN EN 450-1:2013	Beton - Specifikacija, svojstva, proizvodnja i sukladnost (EN 206:2013) Leteći pepeo za beton - 1. dio: Definicije, specifikacije i kriteriji sukladnosti (EN 450-1:2012)
HRN EN 13286-3:2003	Nevezane i hidrauličkim vezivom vezane mješavine – 3. dio: Ispitne metode za određivanje laboratorijske referencijske gustoće i udjela vode - Vibracijsko zbijanje s kontroliranim parametrima (EN 13286-3:2003)	HRN EN 934-2:2004	Dodatci betonu, mortu i mortu za injektiranje - 2. dio: Dodatci betonu - Definicije, zahtjevi, sukladnost, označivanje i obilježavanje (EN 934-2:2001)
HRN EN 13286-4:2003	Nevezane i hidrauličkim vezivom vezane mješavine - 4. dio: Ispitne metode za određivanje laboratorijske referencijske gustoće i udjela vode - Vibrirajući čekić (EN 13286-4:2003)	HRN EN 934-6:2004+A1:2008	Dodatci betonu, mortu i mortu za injektiranje - 6. dio: Uzrokovanje, kontrola sukladnosti i vrednovanje sukladnosti (EN 934-6:2001+A1:2005)
HRN EN 13286-5:2009	Nevezane i hidrauličnim vezivom vezane mješavine - 5. dio: Ispitne metode za laboratorijsku referencijsku gustoću i udio vode - Vibracijski stol (EN 13286-5:2003)	HRN U.B1.016:1968 HRN U.C4.018:1984	Geomehanička ispitivanja - Određivanje zapreminske težine tla Ispitivanje otpora klizanju habajućeg sloja kolničkih konstrukcija. Metode mjerenja
HRN EN 13286-50:2005	Nevezane i hidrauličnim vezivom vezane mješavine - 50. dio: Metoda za izradu ispitnih uzoraka hidrauličnim vezivom vezanih mješavina zbijanjem Proctorovim zbijačem ili (zbijanjem) na vibracijskom stolu (EN 13286-50:2004)	prEN 13036-5:2006	Road and airfield surface characteristics - Test methods - Part 5: Determination of longitudinal unevenness indices
HRN EN 13286-51:2005	Nevezane i hidrauličnim vezivom vezane mješavine - 51. dio: Metoda za izradu ispitnih uzoraka hidrauličnim vezivom vezanih mješavina zbijanjem vibracijskim čekićem (EN 13286-51:2004)		
HRN EN 13286-52:2005	Nevezane i hidrauličnim vezivom vezane mješavine - 52. dio: Metoda za izradu ispitnih uzoraka hidrauličnim vezivom vezanih mješavina zbijanjem vibracijskim stlačivanjem (EN 13286-52:2004)		
HRN EN 13286-53:2005	Nevezane i hidrauličnim vezivom vezane mješavine - 53. dio: Metoda za izradu ispitnih uzoraka hidrauličnim vezivom vezanih mješavina aksijalnim stlačivanjem (EN 13286-53:2004)		
HRN EN 13304:2009	Bitumen i bitumenska veziva - Okvir za specifikaciju oksidiranih bitumena (EN 13304:2009)		
HRN EN 13670:2010	Izvedba betonskih konstrukcija (EN 13670:2009)		
HRN EN 13791:2007	Ocjena in-situ tlačne čvrstoće u konstrukcijama i predgotovljenim betonskim dijelovima (EN 13791:2007)		
HRN EN 13863-3:2005	Betonski kolnici - 3. dio: Ispitna metoda za određivanje debljine betonskog kolnika na bušenim jezgrama (EN 13863-3:2004)		
HRN EN 13877-1:2013	Betonski kolnici - 1. dio: Materijali (EN 13877-1:2013)		
HRN EN 13877-2:2013	Betonski kolnici - 2. dio: Funkcionalni zahtjevi za betonske kolnike (EN 13877-2:2013)		
HRN EN 14188-1:2005	Brtni umetci i (brtvene) mase - 1. dio: Specifikacije za vruće brtvene mase (EN 144188-1:2004)		
HRN EN 14188-3:2007	Brtni umetci i (brtvene) mase - 3. dio: Specifikacije za predgotovljene brtve (EN 14188-3:2006)		
HRN EN 14227- 10:2007	Mješavine vezane hidrauličnim vezivom - Specifikacije - 10. dio: Tlo obrađeno cementom (EN 14227-10:2006)		
HRN EN 14227- 13:2007	Mješavine vezane hidrauličnim vezivom - Specifikacije - 13. dio: Tlo obrađeno hidrauličnim vezivom za ceste (EN 14227-13:2006)		
HRN EN 14227-1:2005	Mješavine vezane hidrauličnim vezivom - Specifikacije - 1. dio: Zrnate mješavine vezane cementom (EN 14227-1:2004)		
HRN EN 14227-5:2004	Mješavine vezane hidrauličnim vezivom - Specifikacije - 5. dio: Mješavine vezane hidrauličnim vezivom za ceste (EN 14227-5:2004)		
HRN EN 197-1:2012	Cement - 1. dio: Sastav, specifikacije i kriteriji sukladnosti cementa opće namjene (EN 197-1:2011)		

ISBN 9789535866404



9 789535 866404