

VALJANI BETON

UVOD

- Valjani beton (eng. roller compacted concrete) je posebna tehnologija betona koja je dobila ime po metodi korištenoj za ugradnju
- Po sastavu smjese i svojstvima to je običan beton, ali se ugrađuje na način kao asfalt i/ili zemljani materijali
- Kruta konzistencija smjese je prilagođena zbijanju vibrovaljcima



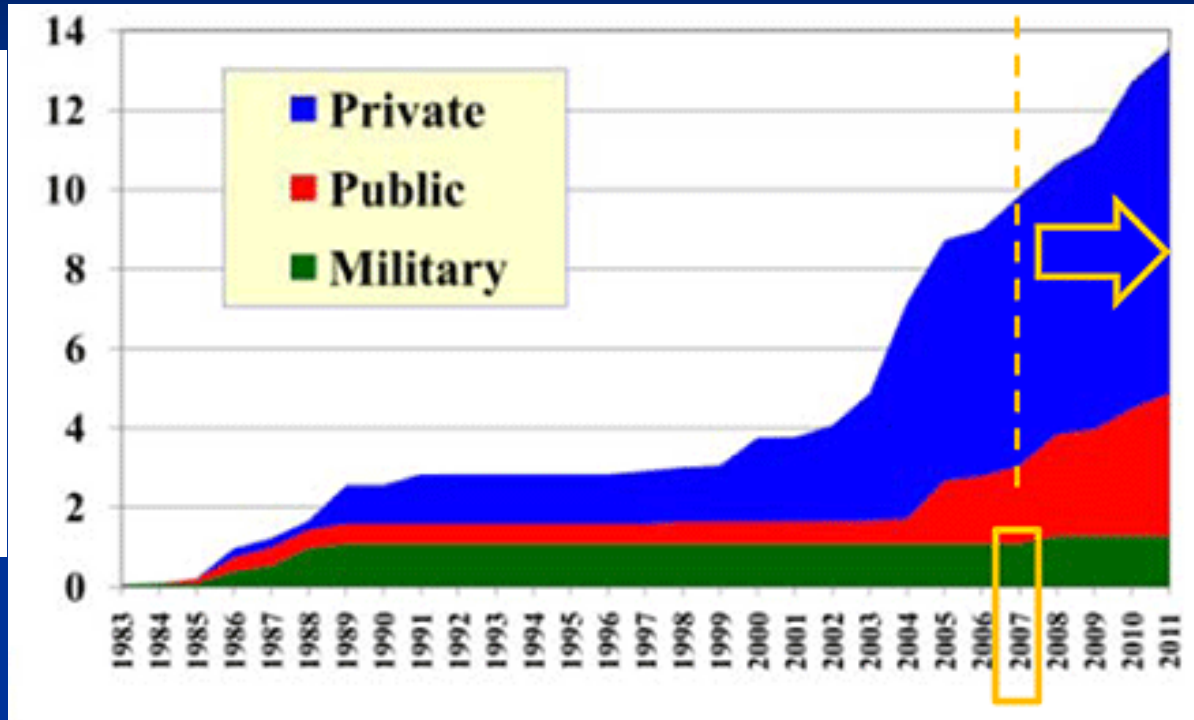
UVOD

- Osnovne prednosti u odnosu na obični beton:
 - veća brzina izvođenja radova,
 - skraćenje vremena potrebnog za betoniranje,
 - niža cijena betona (pogotovo u slučaju masivnog betona)
- Proizvodnja u betonarama, ugrađivanje finišerima, zbijanje valjcima



UVOD

·10⁶ sq yd (836 127) m²



Značajno povećanje primjene valjanog betona za gradnju prometnica u Americi

DANAŠNJA PRIMJENA

- Do današnjih dana valjani beton se u velikoj mjeri koristio za:
 - izradu nosivih slojeva kolničkih konstrukcija u cestogradnji,
 - izvedbu hidrotehničkih brana,
 - zamjenu slabonosivog tla u temeljima različitih objekata.



POVIJESNI RAZVOJ I PRIMJENA ZA GRADNJU BRANA OD VALJANOG BETONA

- Jedna od prvih primjena je 1975. godine pri sanaciji oštećenja na jednom od tunela temeljnog ispusta brane Tarbela u Pakistanu, čiji je ulazni dio odnijela voda pri prvom punjenju akumulacije.
- Primijenjen je kao jedini način koji je omogućuje sanaciju građevine u kratkom roku (prije kišne sezone). Za 44 dana ugrađeno je 35000 m³ valjanog betona.



POVIJESNI RAZVOJ I PRIMJENA ZA GRADNJU BRANA OD VALJANOG BETONA

- Sličan materijal upotrijebljen je na nekim američkim branama i desetak godina ranije pa su Amerikanci već krajem osamdesetih godina prošlog stoljeća imali i prvu normu za RCC (ACI 207.5R-89).
- Betonske brane od valjanog betona su 25 % do 50 % jeftinije (ovisi o količini betona) i brže se izvode.
- Do danas je izvedeno više od 450 visokih brana (> 15 m), neke od njih su visine i do 300 metara



Prva brana od valjanog betona-Willow Creek (SAD), u manje od pet mjeseci ugrađeno je više od 315 000 m³ valjanog betona, visina brane je 52 metra

PRIMJENA ZA GRADNJU BRANA OD VALJANOG BETONA

- Može se koristiti za izgradnju cijele brane ili samo za završni sloj
- Tlačne čvrstoće u rasponu od 5 do 30 MPa
- Brane od valjanog betona mogu imati veći nagib nego nasute brane, brža i jeftinija je gradnja

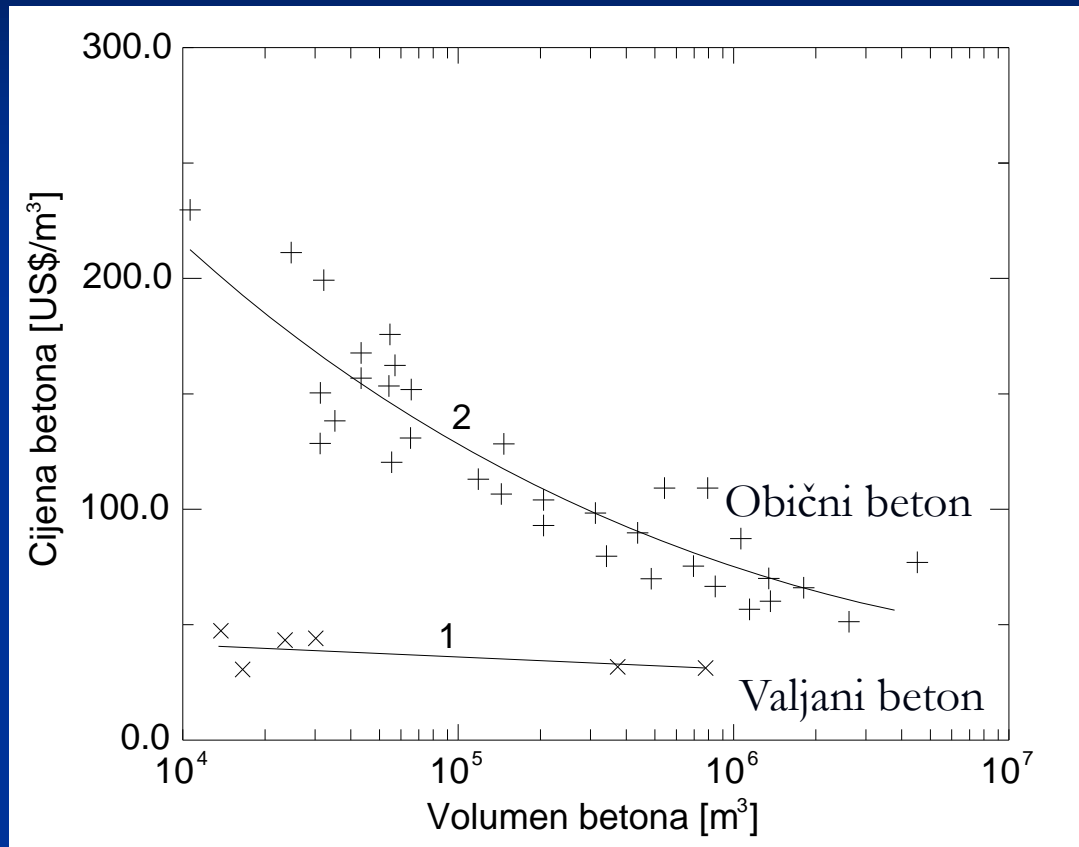


PRIMJENA ZA GRADNJU BRANA OD VALJANOG BETONA

- Cement se koristi u količini od 75 do 150 kg/m³ te oko 80 do 120 litara vode
- Ponekad se i veći dio količine cementa zamjenjuje mineralnim dodacima
- Koristi se nefrakcionirani kameni agregat, veličina maskimalnog zrna agregata je i do 150 mm



PRIMJENA ZA GRADNJU BRANA OD VALJANOG BETONA



- Usporedba cijene izvedbe građevine sa običnim betonom i valjanim betonom ovisi o količini ugrađenog betona

POVIJESNI RAZVOJ I PRIMJENA ZA GRADNJU PROMETNICA OD VALJANOG BETONA

- Prve prometnice od valjanog betona pojavljuju se 1930, u Švedskoj
- Prva primjena je 1942. za gradnju uzletno-sletne staze u Yakimi (SAD)
- Veća primjena od 70ih godina 20. stoljeća



Prometnice i parkirališta od valjanog betona u sklopu tvornice Honda u Lincolnu (SAD), valjani beton debljine 12,5 cm i 18 cm ugrađen je od 2000. do 2007. u prometnice ukupne površine od 917 000 m²

POVIJESNI RAZVOJ I PRIMJENA ZA GRADNJU PROMETNICA OD VALJANOG BETONA

- Od početka 80ih godina 20. stoljeća projekti gradnje prometnica i parkirališta u sklopu lučkih, željezničkih i avionskih terminala, te za potrebe industrije
- U posljednjih 15 godina porast primjene za gradnju slabo do srednje opterećenih prometnica s malom brzinom prometovanja



Parkirališta i pristupne ceste tvornice automobila General Motors u državi Tennessee (SAD), izgrađeno 1989. godine, ukupna površina veća od 543 000 m²



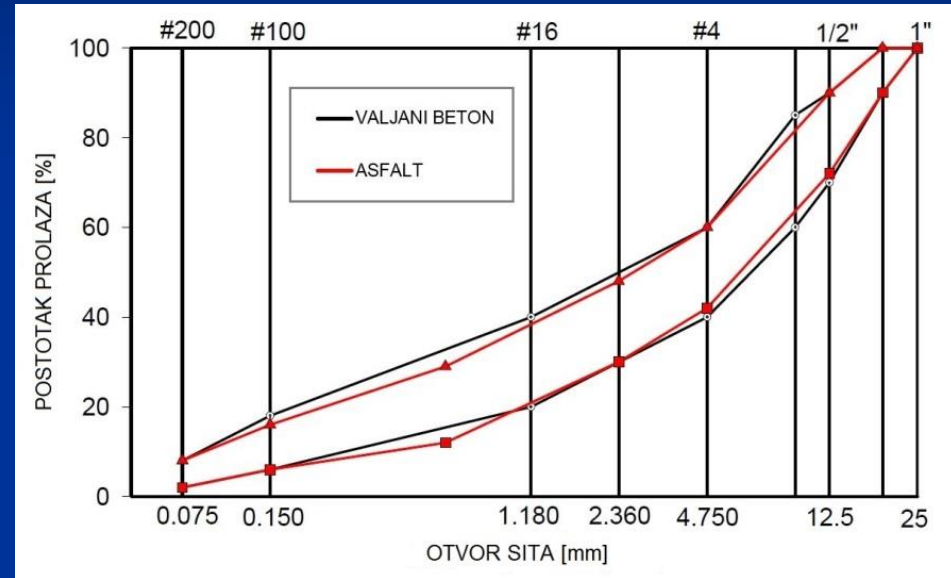
PRIMJENA ZA GRADNJU PROMETNICA OD VALJANOG BETONA

- Količina cementa 250 do 350 kg/m³
- Tlačne čvrstoće 25 do 45 Mpa, iako ima primjera i postignutih čvrstoća više od 60 MPa
- Maksimalno zrno agregata manje nego u hidrotehničkim građevinama (do 16 mm) radi završnog izgleda površine



SASTAV I SVOJSTVA SASTAVNIH KOMPONENTI

- Sastavne komponente su istog podrijetla i vrste kao za obični beton: cement, voda i trofrakcijski agregat
- Manji udio vode i cementa, a veći udio agregata u odnosu na obični beton
- Ukupna količina sitnog agregata na najmanjem situ je od 2 % do 8 %
- Optimalne granulometrijske krivulje agregata se razlikuju kod običnog i valjanog betona



Granične krivulje granulometrijskog sastava agregata za valjani beton i za asfalt

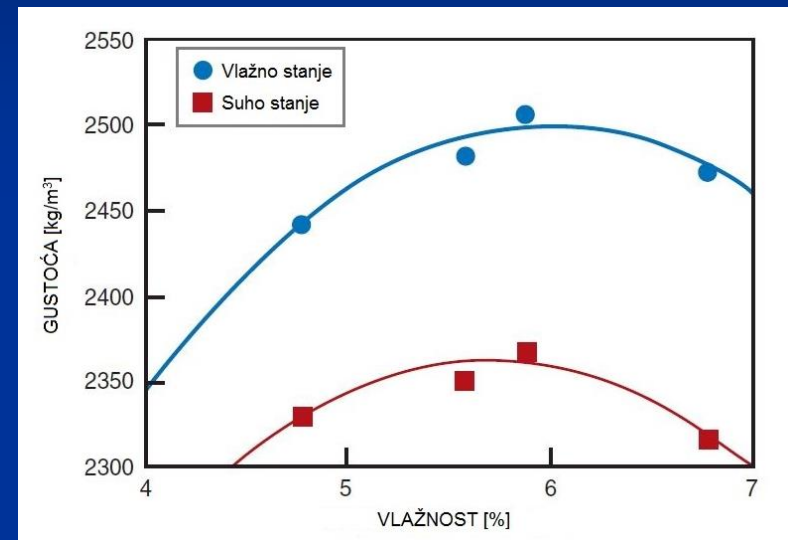
SASTAV I SVOJSTVA SASTAVNIH KOMPONENTI

- U sastavu valjanog betona nalazi se otprilike 85 vol. % agregata.
- Količina cementa u sastavu treba biti tolika da se osigura zatvorena površinska struktura betona, ali da ne dolazi do deformiranja betona prilikom zbijanja valjcima.
- Prevelika količina cementa može povećati sklonost pojavi pukotina i poskupiti proizvodnju betona, a bez nužnog poboljšanja mehaničkih i trajnosnih svojstava
- Ovako definiran sastav betona omogućuje mu lakšu ugradnju te smanjenje opasnosti od pojave segregacije betona.



SASTAV I SVOJSTVA SASTAVNIH KOMPONENTI

- Povećano vrijeme obradljivosti za ugradnju valjani beton treba imati kod betoniranja u ekstremno toplim klimatskim uvjetima, te pri izgradnji prometnica velike duljine i veće debljine sloja betona
- Kemijski dodaci u valjanom betonu koji se ponekad koriste su usporivači vezanja, superplastifikatori i aeranti
- Mineralni dodaci u sastavu valjanog betona su silikatna prašina i leteći pepeo



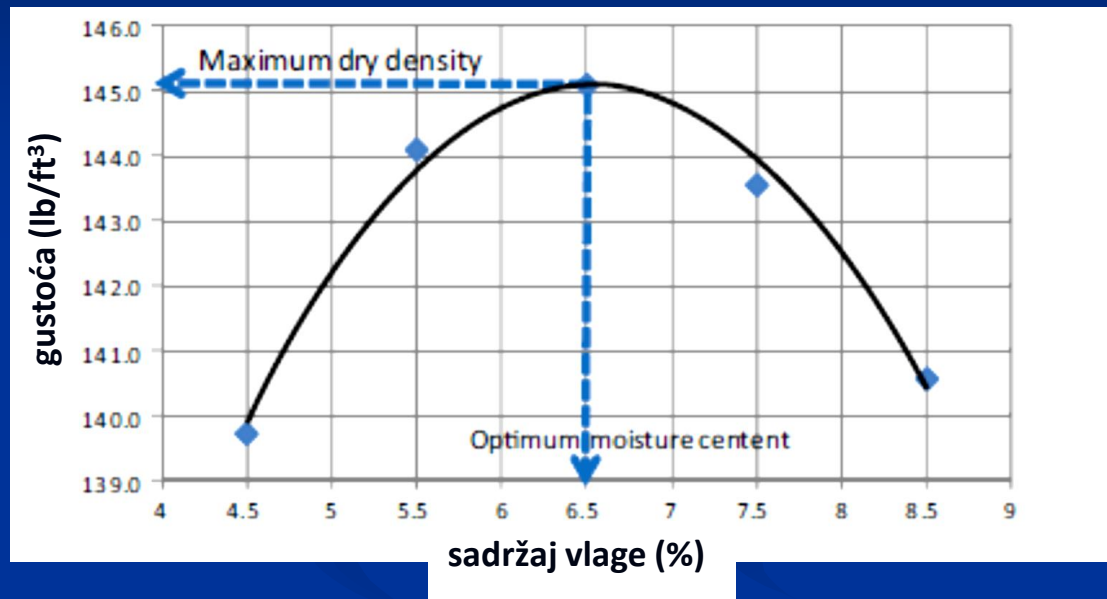
PROJEKTIRANJE SASTAVA VALJANOG BETONA

- Projektiranje sastava
 - Prema specificiranim ograničenjima konzistencije
 - Prema najekonomičnijem omjeru agregata i veziva
 - Prema konceptu ugradnje zemljanih materijala
- Za primjenu u cestogradnji u većini slučajeva se upotrebljava metoda bazirana na konceptu ugradnje zemljanih materijala



PROJEKTIRANJE SASTAVA VALJANOG BETONA

- Za korištenje metode projektiranja sastava bazirane na konceptu ugradnje zemljanih materijala nužno je za odabranu vrstu i granulometrijski sastav agregata poznavati ovisnost udjela vlage i maksimalne gustoće uzorka



Ovisnost sadržaja vlage i gustoće agregata
dobivene pomoću Proctorovog pokusa

VALJANI BETON U HIDROTEHNICI

- Iskustva hrvatskih stručnjaka s primjene prirodnog šljunka najvećeg zrna 90 mm u valjanom betonu na brani Mosul u Iraku, kod kojega se količina pijeska kretala od 15 do 25 %, pokazuju da bi ustvari trebalo oko 30 % pijeska.
- S današnje gradnje druge faze brane Tucuruí u Sjevernom Brazilu preporučena je (kao najnovije iskustvo) krivulja po jednadžbi:

$$Y = 3 \cdot (d / D_{\max})^{1/2} \pm 5$$

gdje je

Y = prolaz kroz sito otvora d u %

d = otvor sita u mm

D_{\max} = najveće nazivno zrno agregata u mm.

- Krivulja je dana za najveće zrno agregata 76 mm uz dodatni uvjet da prolaz na situ #200 bude 8 %.

SVOJSTVA U SVJEŽEM STANJU

- Za razliku od običnog betona konzistencija valjanog betona u svježem stanju je kruta, jer je prilagođena ugradnji pomoću asfaltnih finišera i zbijanju teškim valjcima.
- U svježem stanju valjani beton treba biti dovoljno suh i krut da nosi težinu 10-tonskih valjaka koji služe za zbijanje, a uz istovremeno posjedovanje dostatne količine vode nužne za hidrataciju cementa, postizanje zbijenosti i razvoj svojstava.

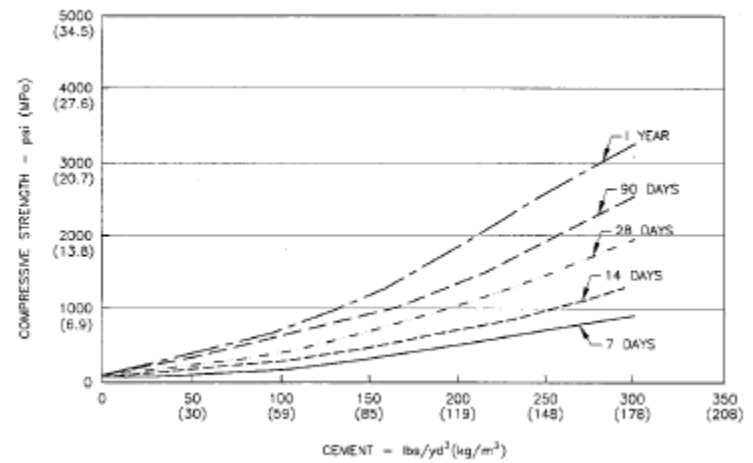
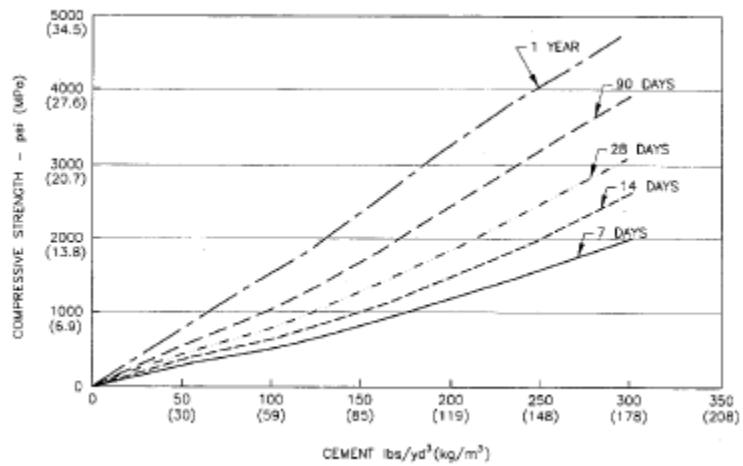
MEHANIČKA SVOJSTVA U OČVRSLOM STANJU

- Veće tlačne čvrstoće ima valjani beton koji se primjenjuje za gradnju prometnica od onog koji se koristi u hidrotehnici
- Glavni parametri koji utječu na čvrstoću valjanog betona su količina cementa, vodocementni omjer, kvaliteta agregata i stupanj zbijenosti betona
- Kod valjanog betona se postižu iste vrijednosti tlačne čvrstoće kao i kod običnog betona, ali uz korištenje manje količine cementa



MEHANIČKA SVOJSTVA U OČVRSLOM STANJU

- Smanjenjem stupnja zbijenosti sa 98 % na 95 %, tlačna čvrstoća se umanjuje i do 30 %
- Smanjivanjem stupnja zbijenosti uzorka sa 98 % na 95 % smanjuje se tlačna čvrstoća i do 30 %
- Valjani beton ima nešto veću vlačnu čvrstoću od običnog betona zbog guste strukture koja se postiže malim vodocementnim omjerom, gustim pakiranjem agregata i zbijanjem do maksimalne gustoće



MEHANIČKA SVOJSTVA U OČVRSLOM STANJU

- Valjani beton (kod gradnje prometnica) ima slične ili nešto veće vrijednosti modula elastičnosti od običnog betona
- Veće vrijednosti modula elastičnosti mogu se postići zbog nižeg vodocementnog omjera, gušće strukture i više agregata u sastavu
- Dobra otpornost na ciklička opterećenja



TRAJNOSNA SVOJSTVA

- Na dosad izvedenim kolnicima u SAD i Kanadi utvrđena dobra otpornost na mraz i nakon više od 30 godina korištenja
- Bitni zahtjevi za trajnost:
 - Vodocementni omjer manji od 0,40
 - Kvalitetan agregat dobrog granulometrijskog sastava
 - Stupanj zbijenosti minimalno 98 %
 - Dobro njegovanje betona



TRAJNOSNA SVOJSTVA

- Pokazano je da dodatak aeranta nije nužan za trajnost betona, ako su postignuti prethodni istaknuti trajnosni zahtjevi
- Pojedine laboratorijske metode ispitivanja otpornosti betona na mraz i sol daju loše rezultate ispitivanja, iako se taj isti beton zadovoljavajuće ponaša tijekom uporabe u istom takvom okolišu
- Deformacija skuplja uslijed sušenja je manja u valjanom nego u običnom betonu

SVOJSTVA VALJANOG BETONA U HIDROTEHNICI

- Tlačna čvrstoća uglavnom od 5 do 25 MPa, veća standardna devijacija
- Modul elastičnosti oko 10 GPa
- Slaba otpornost na smrzavanje
- Vodopropustan je, problem zaštite valjanog betona od prodora i gubitka vode rješava se vodonepropusnim ekranima i barijerama



Ugradnja valjanog betona s modificiranim uređajem za ugradnju asfalta

RAZLIKA IZMEĐU VALJANOG BETONA I ASFALTA

- Glavne prednosti kolnika od valjanog betona u odnosu na asfaltne kolnike je izostanak uobičajenih oštećenja asfaltnih kolnika kao što su kolotražnja, omekšavanja pri visokim temperaturama, oštećenja pod djelovanjem goriva i drugih tekućina, veći uporabni vijek, te manja potreba za redovnim i izvanrednim održavanjem.
- S druge strane nedostaci kolnika od valjanog betona u odnosu na asfaltni su veća hrapavost površine, slabija ravnost površine, te nemogućnost izvođenja kolnika od valjanog betona za veće brzine vozila.

RAZLIKA IZMEĐU VALJANOG BETONA I CEMENTNE STABILIZACIJE

- Zbog svoje specifične krute konzistencije valjani beton u svježem stanju dosta slični cementnoj stabilizaciji.
- Razlikuje se od cementne stabilizacije po većoj količini cementa, korištenju frakcioniranog drobljenog agregata, te činjenici da može biti u potpunosti nosivi sloj kolničke konstrukcije.

RAZLIKA IZMEĐU VALJANOG BETONA I BETONSKOG KOLNIKA

- Kolnik od valjanog betona se izvodi drukčijom opremom i tehnologijom od betonskog kolnika, sastavi betona su različiti, a cijena građenja valjanim betonom je bitno niža od izvođenja betonskog kolnika.
- Građenje tehnologijom valjanog betona je znatno brže od izvođenja betonskog kolnika.
- Valjani beton od svih tehnologija gradnje kolničkih konstrukcija prometnica stvara najmanju emisiju stakleničkih plinova.

PROIZVODNJA

- Valjani beton se proizvodi na uobičajeni način na velikokapacitetnim betonarama za proizvodnju običnog betona ili se ponekad kod manje osjetljivih primjena valjanog betona za tu namjenu grade posebna postrojenja kontinuiranog rada s pužnim transportom i homogenizacijom smjese.
- Rade se postrojenja s proizvodnjom većom od 250 m³ smjese valjanog betona na sat.
- U prvom (češćem) slučaju proizvodnja i kontrola doziranja vode provode se kompjutorski kao i kod običnog betona. U drugom slučaju kontinuiranog dotoka sastavnih materijala točnost doziranja sastavnih materijala je problematična. Kontrolira se protok (ili dotok) sastavnih materijala i uspoređuje s proizvedenom količinom smjese vremenski (jednom ili dva puta dnevno).

PROIZVODNJA

- Dulje vrijeme miješanja
- Pri proizvodnji treba imati dnevne podatke o granulometrijskom sastavu agregata i vlažnosti frakcija (pogotovo sitne frakcije)
- Transport do gradilišta pomoću kamiona
- Ne smije doći do segregacije betona



PROIZVODNJA



Proizvodnja u auto miješalicama

TRANSPORT

- Pri transportu kamioni trebaju imati ceradu da se spriječi prekomjerni gubitak ili porast vlažnosti mješavine
- Nakon svake isporuke valjanog betona treba očistiti vozila od zaostalog betona. Ako bi ti ostaci završili u kolniku, predstavljali bi mjesta lokalnih oštećenja
- Transport se treba obavljati kontinuirano s dovoljnim brojem vozila kako ne bi dolazilo do problema pri ugradnji i zbijanju

UGRADNJA I ZBIJANJE

- Bitno je osigurati izbalansiranost kapaciteta proizvodnje, transporta i ugradnje
- Maksimalno vrijeme koje smije proteći od početka miješanja na betonari do završetka valjanja treba biti 45 do 60 minuta
- Maksimalna preporučena debljina sloja valjanog betona je 25 cm, a minimalna je 10 cm



UGRADNJA I ZBIJANJE

- Zbijanje betona valjcima odmah nakon završetka ugradnje, obično treba 4 do 6 prijelaza valjaka
- Zbijanje betona valjcima završiti u roku od 15 minuta nakon završetka ugradnje finišerom
- Stupanj zbijenosti uglavnom od 96 % do 98 %
- Ispitivanja kvalitete betona ugrađenog u kolnik vrše se na uzorcima izbušenim iz kolnika



UGRADNJA



UGRADNJA



Do visine od 25 cm valjani beton se ugrađuje u jednom sloju

UGRADNJA



Vremenski razmak između ugradnje dva sloja po visini je 1 sat.
Eventualno u slučaju hladnog i kišovitog vremena može biti 2 do 3 sata.

UGRADNJA



Mogućnost zbijanja i do 93 % prije prijelaza vibrovaljaka

ZBIJANJE



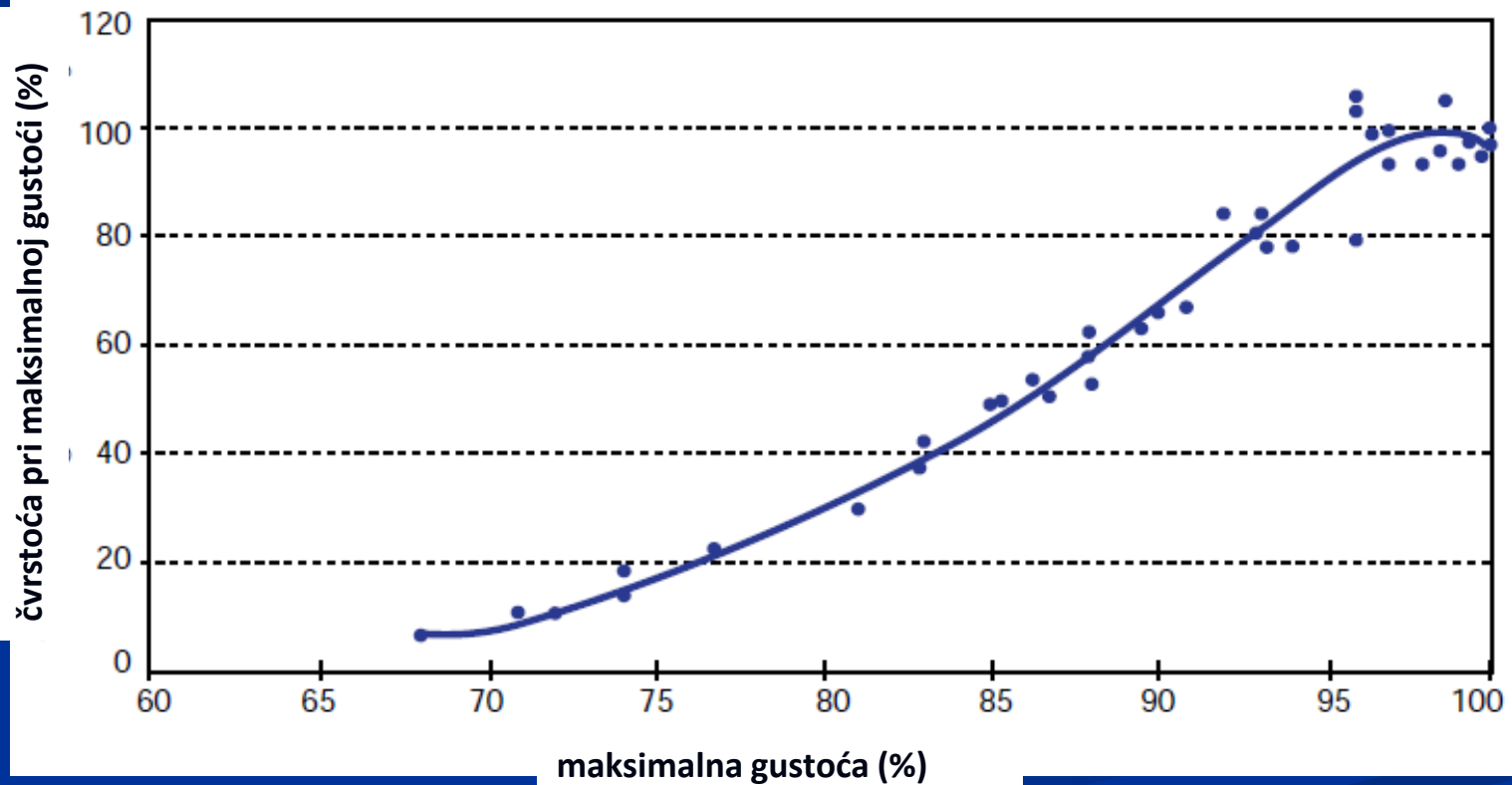
Uobičajeno zbijanje je sa četiri do šest prijelaza 10 tonskog vibro valjka čeličnim tandem kotačima

ZAVRŠNO ZBIJANJE



Završno zbijanje sa ciljem da se zagladi i poravna površina provodi se valjcima sa gumenim kotačima

OVISNOST ČVRSTOĆE O STUPNJU ZBIJENOSTI



NJEGOVANJE

- Njegovanje je vrlo važno za postizanje tražene čvrstoće i trajnosti
- Njegovanje treba početi što prije i trajati što duže, minimalno trajanje njegoivanja je 7 dana
- Tijekom prva 24 sata polijevanje vodom treba provoditi na način da ne dolazi do ispiranja čestica
- Pri starosti od 1 dana vrši se zapilavanje sa ciljem formiranja mjesta raspucavanja



NJEGOVANJE



Minimalno trajanje negovanja polijevanjem vodom je 7 dana

NJEGOVANJE



Njegovanje pomoću sprinkler sistema

NJEGOVANJE



Njegovanje polijevanjem sredstva za zaštitu i njegovanje betona, potrebna količina sredstva za njegovanje može biti i duplo veća nego kod običnog betona u zavisnosti o stupnju otvorenosti strukture i upijanju površine

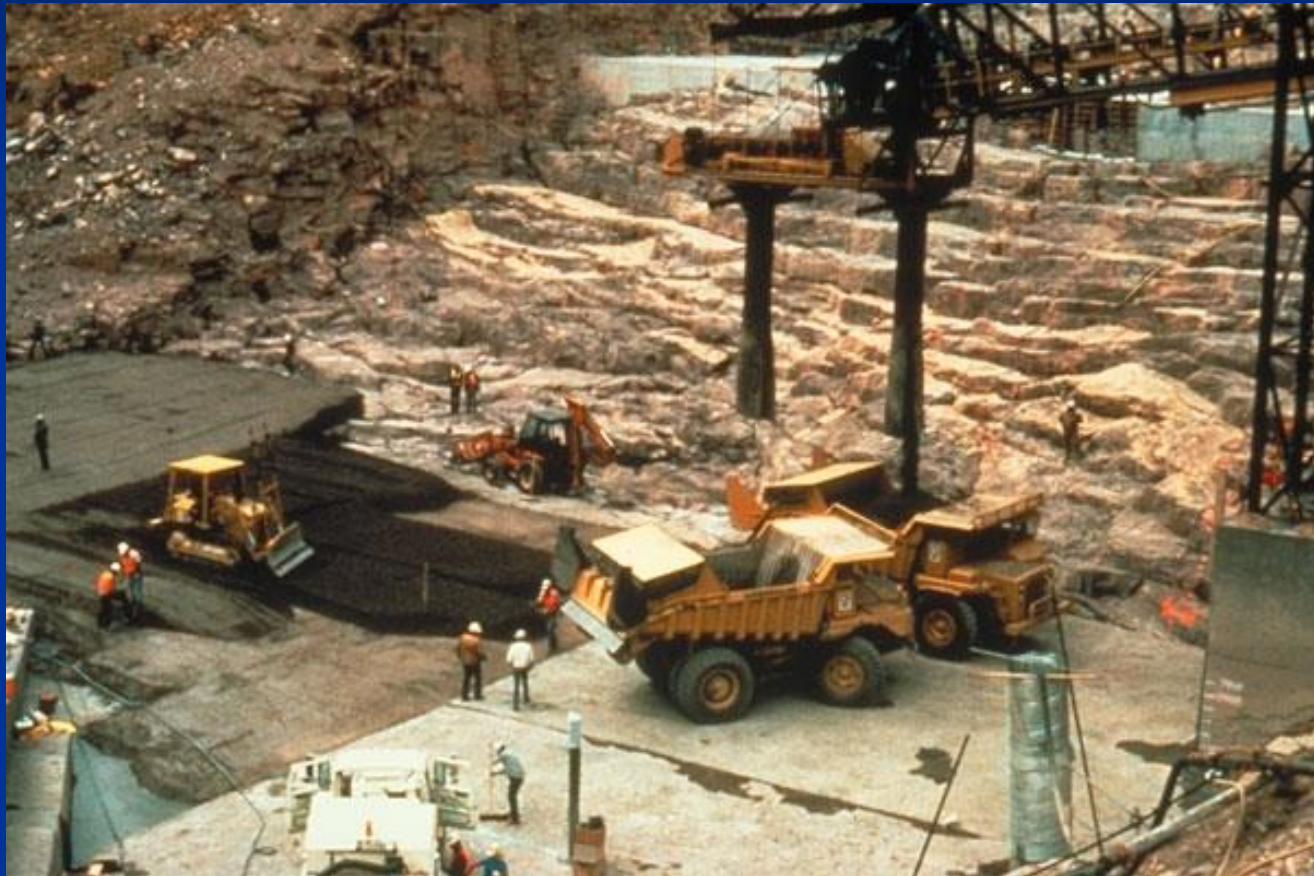
REZANJE SPOJEVA



Zapilavanje kolničke konstrukcije do četvrtine visine kolnika pri starosti betona od cca 1 dana, rezanje spojeva provodi se sa ciljem stvaranja potencijalnih mjesta za lokalno raspucavanje

IZGLED SPOJA IZMEĐU DVA SLOJA VALJANOG BETONA





Mješavina valjanog betona treba biti transportirana, ugrađena i zbijena u periodu od maksimalno 60 minuta od početka miješanja



KONTROLA KVALITETE VALJANOG BETONA

- Kontrola kvalitete provodi se prije, tijekom i nakon građenja valjanim betonom:
 - Prethodna laboratorijska ispitivanja valjanog betona i sastavnih komponenti – prethodni sastav
 - Izrada radne mješavine na pogonu za proizvodnju valjanog betona (betonara) – radni sastav
 - Kontrola svojstava valjanog betona tijekom ugradnje (konzistencija, stupanj zbijenosti i sl.)
 - Tekuća kontrola kvalitete valjanog betona na uzorcima valjanog betona uzetim tijekom ugradnje i bušenjem uzoraka oblika valjka iz izvedenog kolnika

PRIMJENA VALJANOG BETONA U HRVATSKOJ

- Gradnja tri spremnika za čuvanje naftnih derivata A-1514, A-1516 i A-1518 sa pripadajućom sigurnosnom i nadzornom opremom te pripadajućim instalacijama za prihvat i opremu
- Uporabna dozvola dobivena 2014. godine



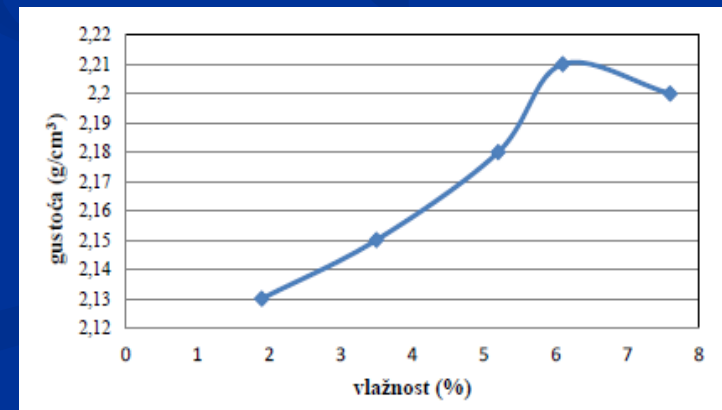
PRIMJENA VALJANOG BETONA U RH

- Oko sva tri spremnika izvedena je prometnica od valjanog betona početkom listopada 2013. godine
- Prema prvotnom projektom rješenju za izvođenje servisnog platoa trebalo je izvesti armiranobetonski kolnik debljine 20 cm
- Tehnologija valjanog betona je odabrana zbog niže cijene izvođenja i brže gradnje



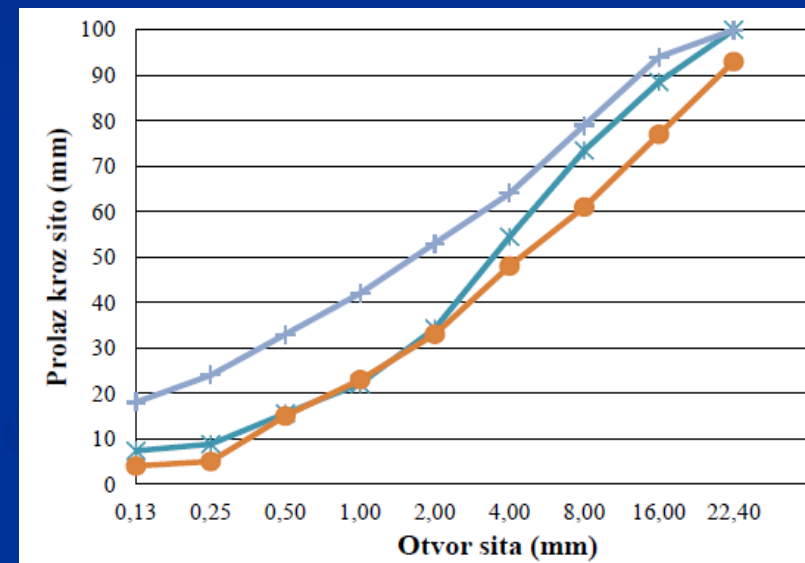
PRIMJENA VALJANOG BETONA U RH

- Prethodna laboratorijska ispitivanja uključuju ispitivanja sastavnih komponenti i optimalizaciju mješavine valjanog betona
- Komponente sastava:
 - Cement CEM II/B-M (S-V) 42,5N
 - Agregat drobljeni frakcija 0-4 mm, 4-8 mm, 8-16 mm, kamenolom Garica
 - Voda iz vodovoda



PRIMJENA VALJANOG BETONA U RH

- Na temelju prethodnih laboratorijskih ispitivanja odabrana je mješavina sa 300 kg/m^3 cementa i vodocementnim omjerom od 0,40
- Projektirani beton:
 - C30/37
 - XC4, XS1, XD2, XM2, XA1
 - $D_{\text{max}} 16$
 - Cl 0,40
 - Vebe konzistencija V1
 - Stupanj zbijenosti 96 %



PRIMJENA VALJANOG BETONA U RH

- Izvođenje probne dionice je prethodilo primjeni za izgradnju servisne ceste oko platoa
- Probna dionica izvedena je u duljini od 50 metara, debljina sloja valjanog betona je 16 cm
- Probna dionica je u neposrednoj blizini rezervoara



PRIMJENA VALJANOG BETONA U RH

- Dokaz kvalitete ugrađenog valjanog betona proveden je vađenjem uzoraka oblika valjka iz probne dionice i ispitivanjem u laboratoriju



Svojstvo	Rezultat ispitivanja
Tlačna čvrstoća, N/mm ²	38,7
Čvrstoća cijepanjem, N/mm ²	3,10
Otpornost na habanje, cm ³ /50 cm ²	17,43
Stupanj zbijenosti, %	96,5

PRIMJENA VALJANOG BETONA U RH

- Izgradnja prometnice za servisni plato oko rezervoara
- Prometnica je izvedena na sloju zrnatog kamenog materijala frakcije 0-63 mm debljine 24 cm
- Servisna cesta oko svakog rezervoara je duljine cca 250 m, širina 6 m, debljina sloja 16 cm



PRIMJENA VALJANOG BETONA U RH

- Izgradnja prometnice za servisni plato oko rezervoara
- Ukupno je upotrebljeno više od 1000 m³ valjanog betona
- Udaljenost betonare 20 km
- Važnost kontinuirane dopreme betona na gradilište i pravovremene ugradnje i zbijanja



PRIMJENA VALJANOG BETONA U RH

- Izgradnja prometnice za servisni plato oko rezervoara
- Za zbijanje je korišten valjak sa čeličnim tandem kotačima mase 10,6 tona
- Osiguran je minimalan broj od 6 prijelaza valjcima
- Vrijeme proteklo od početka miješanja do završetka zbijanja je 45 minuta



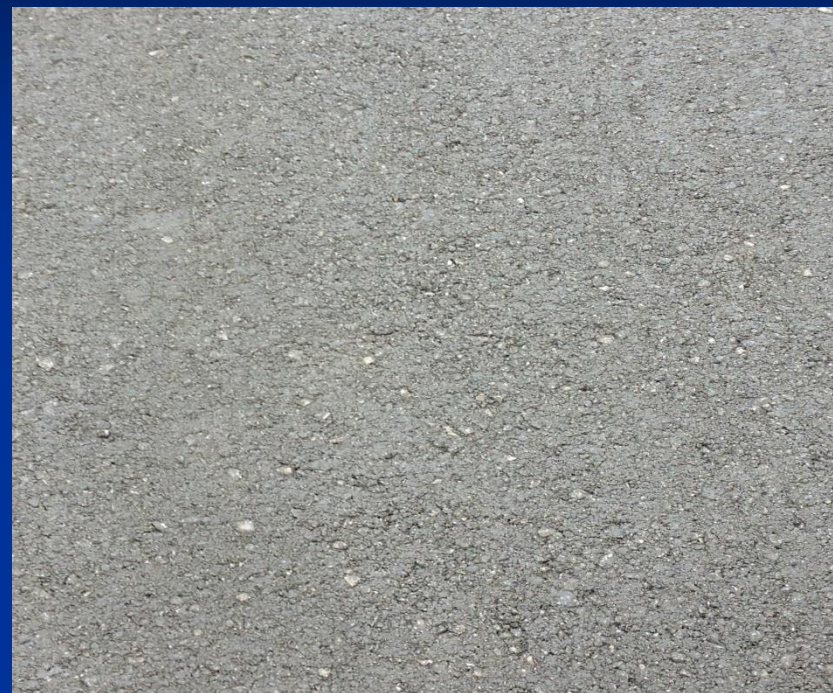
PRIMJENA VALJANOG BETONA U RH

- Izgradnja prometnice za servisni plato oko rezervoara
- Polijevanje prometnice sredstvom za njegovanje betona
- Zarezivanje betona do četvrtine visine kolničke konstrukcije svakih 6 metara



PRIMJENA VALJANOG BETONA U RH

- Rezultati ispitivanja uzoraka izvađenih iz kolnika zadovoljili su projektne zahtjeve



Svojstvo	Servisni plato	Servisni plato	Servisni plato
	A-1514	A-1516	A-1518
Tlačna čvrstoća, N/mm ²	38,4	38,9	39,7
Čvrstoća cijepanjem, N/mm ²	3,2	3,1	-
Otpornost na habanje, cm ³ /50 cm ²	18,9	-	18,1
Stupanj zbijenosti, %	97,4	96,7	96,8

ZAKLJUČAK

- Iskustva iz prve kolničke konstrukcije od valjanog betona pokazala su da je beton moguće proizvoditi u postojećim betonarama, ugrađivati ga finiđerima i zbijati valjcima
- Osnovne prednosti ove tehnologije izvedbe su brzina građenja, niža cijena izvedbe, veća trajnost u odnosu na asfalt, ali i manja brzina prometovanja u odnosu na asfalt
- Na temelju dosadašnjih iskustava sa valjanim betonom smatra se da posjeduje potencijal za veću primjenu u hrvatskom graditeljstvu

