

NEKA SVOJSTVA PENO-BETONA

Ksenija Janković¹
Dragan Bojović²
Ljiljana Lončar³

Rezime

U svetskoj praksi primena peno - betona je veoma raširena, naročito za prekrivanje i termičku izolaciju industrijskih i komercijalnih zgrada. Ovim projektom hteli smo da približimo građevinskoj javnosti mogućnosti primene određenih materijala, njihovih svojstava, tehnike dobijanja peno - betona i adekvatne načine ugradnje. Naznačena su glavna svojstva peno – betona (zapreminska masa u suvom stanju, zapreminska masa u svežem stanju, pritisna čvrstoća, modul elastičnosti, skupljanje usled sušenja, termička ekspanzija, termička provodljivost ...) . Takođe, ovde se daju mogućnosti primene peno betona u određenim delovima konstrukcije. Važno je napomenuti da je proizvodnja peno - betona u Evropi u ekspanziji, dok se peno - beton u Americi i Indoneziji koristi u značajnoj meri. Na osnovu toga jasno je da su i rezultati istraživanja na ovom polju u Americi na daleko višem nivou nego u Evropi.

Ključne reči: peno-beton, svojstva, polipropilenska vlakna

¹ Dr, dipl.inž.građ., Institut IMS, Beograd, Bulevar vojvode Mišića 43

² dipl.inž.građ., Institut IMS, Beograd, Bulevar vojvode Mišića 43

³ dipl.inž.građ., Institut IMS, Beograd, Bulevar vojvode Mišića 43

1. UVOD

Ćelijasti beton je laki beton koji sadrži stabilne ćelije vazduha ili gasa ravnomerno raspoređene u mešavini. Zavisno od zapreminske mase ćelijasti beton može uključivati primenu prirodnih ili veštačkih sitnih agregata.

Peno – beton je definisan kao beton spravljen sa ili bez dodavanja agregata Portland cementu, vodi i sredstvima za stvaranje pora vazduha u betonu, čija zapreminska masa u suvom stanju ne prelazi 800 kg/m^3 .

U svetskoj praksi primena peno - betona je veoma raširena, naročito za prekrivanje i termičku izolaciju industrijskih i komercijalnih zgrada. Važno je napomenuti da je proizvodnja peno – betona u Evropi u ekspanziji, dok se peno – beton u Americi i Indoneziji koristi u značajnoj meri.

U radu su prikazane mogućnosti primene određenih materijala, svojstva peno – betona, kao i rezultati sopstvenih istraživanja peno – betona proizvedenog dodavanjem pene na bazi amonijaka.

2. MATERIJALI ZA IZRADU PENO - BETONA

2.1 Cement

Cement mora ispunjavati uslove propisane standardima EN196 i EN197 ili nekog drugog područja na primer ASTM C150. Cementi mogu sadržati pored čistog portland cementa i zgoru visokih peći, pucolane, a može se koristiti i metalurški cement. Cementi sa dodatkom mogu uzrokovati nešto niže čvrstoće u toku prvih 3 do 5 dana. Primenom cemenata sa visokim ranim čvrstoćama moguće je povećati rane čvrstoće betona.

2.2 Agregat

Agregat koji se upotrebljava u proizvodnji peno - betona mora zadovoljavati uslove evropskih standarda ili nekog drugog područja na kome se proizvodi peno - beton. Kroz primenu u praksi se pokazalo da mnoge vrste agregata iako nisu ispunjavale uslove standarda u peno betonu su davale zadovoljavajuće rezultate, kako u pogledu zapreminske mase u suvom stanju, čvrstoće, trajnosti kao i drugo.

2.3 Voda

Uslovi za vodu su isti kao i za konvencionalan beton. Mora se obratiti pažnja da voda ne sadrži velike količine kiselina, alkalija, soli, ulja i organskih materijala koji bi mogli štetno da utiču na vreme vezivanja betona, čvrstoću betona kao i druga svojstva betona.

2.4 Pena

Prefabrikovana pena se proizvodi mešanjem koncentrata pene i vode sa kompresovanim vazduhom. Ova smeša se propušta kroz blender i na taj način joj se povećava zapremina do 30 puta. Zapreminska masa ovako dobijene pene se kreće u granicama od 34 do 64 kg/m³. Ovaj sistem se u praksi naziva generator pene i često se razlikuje zavisno od proizvođača.

Koncentrat pene mora imati svojstvo da proizvede stabilne mehure vazduha u betonu koji se mogu odupreti fizičkim i hemijskim silama kojima su izloženi za vreme mešanja, pumpanja, ugradnje i vezivanja betona. Ukoliko pena nije stabilna moglo bi doći do rušenja strukture pene i samim tim značajnog povećanja zapreminske mase u suvom stanju peno - betona.

Na tržištu postoji mnogo proizvođača koncentrata pene za proizvodnju peno - betona. U našem slučaju korišćen je koncentrat pene nemačke firme „Neopor“. Baza ovog koncentrata je potpuno prirodna. Osnova je amonijak što je čini veoma atraktivnom i na polju ekologije. Tako dobijen peno - beton se može smatrati potpuno ekološkim proizvodom.

2.5 Hemijski dodaci

Aeranti se često koriste, ali samo kod ćelijastog betona sa dodatkom agregata. Primena drugih hemijskih dodataka kao što su superplastifikatori i ubrzivači vezivanja moguća je, ali njihovo dejstvo u mešavini potrebno je dokazati na prethodnim probama kako bi se izbegao mogući štetan uticaj na peno - beton.

2.6 Vlakna

Poboljšanje niskih pritisnih i zateznih čvrstoća peno - betona može se unaprediti upotrebom vlakana u betonu. Primena ovih vrsta dodataka veoma je povoljna kada se pred peno - beton postavlja uslov za veće zatezne čvrstoće betona. Posebno se mogu unaprediti karakteristike betona koje su posledica značajnog skupljanja u betonu.

Najčešće se koriste polipropilenska i staklena vlakna. Polipropilenska vlakna mogu se koristiti kod veoma niskih zapreminskih masa betona dok se staklena vlakna koriste kada zapreminska masa u suvom stanju nije od presudnog značaja već se od betona traže neke druge karakteristike kao što je čvrstoća ili termički koeficijent provodljivosti.

3. GLAVNA SVOJSTVA PENO – BETONA

3.1. Zapreminska masa u suvom stanju

Zapreminska masa u suvom stanju se koristi da bi se predvidele fizičke karakteristike peno - betona. Ovo svojstvo se određuje postupkom opisanim u standardu SRPS U.N1.300 ili prema američkom standardu ASTM C495 ili ASTM C513. Osnovni postupak propisuje sušenje uzoraka do konstantne mase u trajanju od 24 sata na temperaturi $110\text{C}^{\circ} \pm 10^{\circ}\text{C}$. Kada je razlika dva merenja 0.1% od mase uzoraka smatra se da je dobijen osušen uzorak. Na osnovu mase osušenog uzorka i zapremine uzorka jednostavno je izračunati zapreminsku masu.

Ispitivanje ovog svojstva peno - betona je isto prema evropskim i američkim standardima. Na osnovu zapreminske mase mogu se predvideti ostala svojstva peno -betona.

3.2. Zapreminska masa u svežem stanju

Zapreminska masa u svežem stanju obično se meri na mestu ugradnje. Za izvođenje ovog ispitivanja na mestu ugradnje potrebna je kalibrisana posuda poznate zapremine, vaga i lenjir za ravnjanje betona u posudi. Izmeri se masa prazne posude i masa pune posude. Razlika ovih masa daje masu peno - betona. Prilikom ugradnje potrebno je da se laganim udarcima po posudi obezbedi adekvatno ugrađivanje peno - betona u posudu, a prilikom ravnjanja potrebno je da se obezbedi da gornja površina bude dovoljno ravna i paziti da prilikom merenja ne dođe do prosipanja peno - betona iz posude.

Koeficijent zapreminske mase u svežem stanju i zapreminske mase u suvom stanju varira zavisno od tipa lakog agregata. Mora se obavezno meriti zapreminska masa u svežem stanju kako bi se kontrolisala uniformnost zapreminske mase na mestu ugradnje a samim tim i kvalitet proizvodnje.

Ukoliko su poznati neki od parametara kao što su vlažnost agregata, količina mešanja, može se predvideti zapreminska masa u suvom stanju. Prema sledećoj formuli može se veoma lako izračunati:

$$O_c = (W_{da} + 1.2W_{ct}) / S \quad (1)$$

gde su:

O_c – aproksimativna vrednost zapreminske mase u suvom stanju,

W_{da} – masa suvog agregata u mešalici u kg,

W_{ct} – masa cementa u mešalici u kg,

S – zapremina peno - betona proizvedena u jednoj mešalici u m^3 ,

$1.2W_{ct}$ – težina cementa plus težina vode potrebna za hidrataciju u kg.

3.3. Pritisna čvrstoća peno - betona

Odnos pritisne čvrstoće peno - betona i zapreminske mase u suvom stanju je važan indikator kvaliteta peno - betona.

Prema ASTM standardima čvrstoće manje od 0.48 MPa nisu podobne za primenu u konstrukcijama već samo za posebne elemente u konstrukciji. U tim slučajevima se može koristiti za cevi, termičku izolaciju zidova, tunela itd.

3.4. Modul elastičnosti peno - betona

Ispitivanje modula elastičnosti peno - betona veoma je složeno s obzirom na niske pritisne čvrstoće peno - betona. Ispitivanje ove karakteristike traži izuzetno osetljivu opremu kao i veoma precizne uređaje za merenje dilatacija peno – betona. Prema podacima Američkog instituta za beton njegova vrednost je 0.14 – 0.69 GPa.

3.5. Skupljanje usled sušenja

Skupljanje betona i samim tim pucanje peno - betona usled skupljanja nije obično kritično za peno - beton koji se koristi za termo izolaciju i za popunjavanje delova konstrukcije. Za peno - beton koji ima konstruktivnu ulogu mora se računati sa skupljanjem. Skupljanje se radi u svemu prema standardu SRPS U.N1.300. Našim standardom se propisuje skupljanje nezavisno od primenjenog agregata, dok su američka iskustva pokazala da je veoma velika razlika u skupljanju peno – betona na osnovu primene različitih agregata.

3.6. Termička ekspanzija

Peno - beton se može izlagati veoma širokom temperaturnom opsegu. Termička ekspanzija peno - betona se mora računati i uzeti u obzir na mestima gde se očekuju velike promene temperature u toku eksploatacije peno - betona. Ovo širenje peno - betona može biti značajno kod primene peno - betona na krovovima, termoelektranama i drugim sličnim objektima. Koeficijent termičkog širenja zavisi u najvećoj meri od zapreminske mase peno - betona, ali i od primenjenog agregata. U sledećoj tabeli se daju granice termičkog koeficijenta širenja u zavisnosti od primenjenih agregata.

3.7. Walkability

Osobina peno betona da izdrži bez značajnih oštećenja normalno pešačko opterećenje naziva se *walkability*. Najbolja ocena ove osobine vrši se merenjem otisaka stopala koja ostaju na površini peno - betona. Ovo svojstvo se može poboljšati ako se povećava zapreminska masa peno - betona. Na mestima gde se očekuje veliko pešačko opterećenje moraju se obezbediti daske pomoću kojih se štiti površina peno - betona. Ovo je posebno značajno na krovovima industrijskih objekata.

3.8. Nailability

Svojstvo peno - betona da se bez oštećenja može kovati ekserima za bilo kakvu pogodnu podlogu se naziva *nailability*. Ovo je veoma važno kada se pričvršćivanje fasadnih ploča vrši ekserima ili šrafovim. Ovakav vid pričvršćivanja peno - betonskih ploča ne treba vršiti ukoliko proizvod nije stariji od 7 dana.

3.9. Termička provodljivost

Termička provodljivost peno - betona zavisi od mnogo faktora. Najveći uticaj na termičku provodljivost ima vlažnost peno - betona u momentu ispitivanja. Takođe, veoma veliki uticaj ima i zapreminska masa peno - betona. U svetu su vršena opširna ispitivanja termičke provodljivosti peno - betona. Na bazi tih istaživanja došlo se do formula za računске koeficijente termičke provodljivosti peno - betona. Ove formule se daju za peno - beton u suvom stanju i peno - beton čuvan u relativnoj vlažnosti vazduha od 50 do 60%. Za uzorke u suvom stanju relativno dobro se može iskoristiti sledeća formula:

$$K=0.072 \times e^{0.00125r} \quad (2)$$

Za peno - beton čuvan na sobnoj temperaturi i relativnoj vlažnosti vazduha od 50 do 60% važi sledeća jednakost:

$$K=0.087 \times e^{0.00125r} \quad (3)$$

gde je r zapreminska masa peno betona u kg/m^3 , e – prirodni logaritam $e=2.718$.

3.10. Negorivost

Prema SRPS standardima ispitivanje na vatrootpornost je obavezan ukoliko materijal sadrži organske materije. Ukoliko to nije slučaj smatra se da je materijal negoriv. Takođe, prema EN standardima očekivana klasa za peno beton je A1. Obim ispitivanja za ovaj tip proizvoda je i prema EN standardima znatno manji.

3.11. Difuzija vodene pare

Veoma značajna osobina peno - betona je i njegova sposobnost da provodi vodenu paru kroz svoju strukturu. To je veoma bitna karakteristika jer struktura peno - betona omogućava upijanje vodene pare iz sredine i njeno zadržavanje dok se ne steknu uslovi za njeno otpuštanje u okolni prostor. Ispitivanje odnosa difuzije vodene pare vrši se prema SRPS U.J5.600. Istim standardom se definišu orijentacione vrednosti odnosa difuzije vodene pare za veliki broj materijala.

Ukoliko je odnos difuzije vodene pare kroz materijal manji to je njegova sposobnost da prima vlagu iz sredine i oslobađa vlagu iz sebe veća.

4. REZULTATI ISPITIVANJA

4.1. Čvrstoća pri pritisku

Ispitivanje je vršeno u skladu sa SRPS standardima. Ispitan je veoma veliki broj uzoraka gde su varirane zapreminske mase u mokrom i suvom stanju na osnovu količine cementa u betonu.

Korišćena je jedna vrsta cementa kako bi rezultati mogli lakše da se porede. Vodocementni faktor nije variran već je zadržan na nivou koji je potreban da se maksimalno iskoristi pena prisutna u proizvodnji peno - betona. U sledećoj tabeli se daje prikaz rezultata šest partija uzoraka, njihove zapreminske mase u svežem i suvom stanju kao i dobijene srednje čvrstoće. Svaka partija je imala 9 uzoraka.

Tabela 1. *Pritisna čvrstoća peno - betona*

Partija	Datum izrade	Masa svežeg betona kg/m ³	Masa suvog uzorka kg/m ³	Srednja vrednost čvrstoće na pritisak MPa
Partija 1	22.08.2006.	568	522	2.4
Partija 2	23.08.2006.	517	479	2.0
Partija 3	12.09.2006.	445	427	1.2
Partija 4	14.09.2006.	396	351	0.8
Partija 5	14.09.2006.	646	583	2.5
Partija 6	15.09.2006.	406	357	1.0

4.2. Koeficijent toplotne provodljivosti

Ispitivanje je rađeno prema SRPS standardima. Ovaj podatak je veoma bitan za peno -beton zbog toga što je jedna od osnovnih primena peno - betona kao termoizolacionog materijala. Ova osobina je posebno izražena kod peno - betona niskih zapreminskih masa. Kako naši standardi zahtevaju da peno - beton određene zapreminske mase ima i određenu čvrstoću pri pritisku onda se ovo svojstvo ispitivalo na peno - betonu zapreminske mase od oko 420 kg/m³ koji je zadovoljio u smislu čvrstoće na pritisak. U sledećoj tabeli daje se zavisnost koeficijenta toplotne provodljivosti i temperature uzorka. Isti odnos dat je i grafičkim prikazom.

Tabela 2. *Koeficijent toplotne provodljivosti*

t _{sr} (°C)	20	30	40
l (W/(m•K))	0.0823	0.0850	0.0880

Da bi ovaj podatak slikovito prikazali napomenućemo da je koeficijent toplotne provodljivosti obične opeke oko 8 puta veći. Taj podatak nam govori da zid napravljen od peno - betona što se tiče termičkih karakteristika može da bude i do 8 puta tanji od zida istih termičkih karakteristika napravljenog od opeke.

4.3. Koeficijent difuzije vodene pare

Ispitivanje je izvršeno u skladu sa SRPS standardima. Na osnovu ispitivanja utvrđeno je da je koeficijent difuzije vodene pare kroz uzorak peno betona bio 1.9. Odnos difuzije vodene pare je veoma mali, čak je daleko ispod očekivanih vrednosti koje su u opsegu od 5 do 7 za peno - beton. Na osnovu analize dolazi se do zaključka da je dobijena vrednost na nivou vlaknastih gusto presovanih izolacionih materijala. Ovo je posebno značajno jer se na nivou projektovanja mogu dobiti značajne uštede. Ovako mali koeficijent difuzije vodene pare nam govori da zidovi od ovih materijala "dišu". Ovo je veoma dobro iz razloga povećane vlažnosti u prostoriji koja se može veoma efikasno rešiti primenom ovakve vrste materijala.

4.4. Zapreminske deformacije

Zapreminske deformacije peno – betona se ogledaju u njegovom skupljanju. Skupljanje peno – betona može biti značajno zavisno od primenjenih materijala prilikom njegove izrade. Materijali koji su korišćeni prilikom izrade peno betona su na početku ispitivanja davali veoma velike zapreminske deformacije. Da bi se sprečile značajne zapreminske deformacije pribeglo se rešenju sa polipropilenskim vlaknima. Uticaj vlakana se ogleda u tome što ona kompezuju skupljanje tako što primaju sile zatezanja koje se javljaju u toku sazrevanja peno betona. Polipropilenska vlakna imaju veoma malu zapreminsku masu tako da zapreminska težina nije bitno promenjena njihovom primenom u proizvodnji. Na taj način se dobila znatno veća otpornost peno betona na skupljanje, tako da je sa početnih 2.6 mm/m (peno beton bez polipropilenskih vlakana) skupljanje smanjeno na ispod 1 mm/m (peno beton sa polipropilenskim vlaknima).

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu svega što je rečeno o peno - betonu i rezultata ispitivanja jasno je da je peno -beton jedan od boljih termoizolacionih materijala. Njegove termičke karakteristike koje su ispitivane su daleko bolje od materijala koji se trenutno mogu naći na našem tržištu. U prilog tome je i činjenica da je koeficijent termičke provodljivosti i do 10 puta manji od nekih konvencionalnih materijala koji se kod nas koriste. Na osnovu toga može se lako zaključiti da je

debljina zida napravljenog od peno - betona daleko manja. Time se može povećati korisni prostor objekta i samim tim uvećati dobit prilikom izgradnje stambenih jedinica. Kod industrijske gradnje prednost korišćenja je takođe u većem korisnom prostoru. Samim tim moguće je veoma lako, već u izgradnji samog objekta, računati na energetska efikasnost objekta (smanjenje potrošnje energenata za zagrevanje objekata). Energetska efikasnost objekata izgrađenih od peno - betona se može izračunati a sa karakteristikama koje proizvodi od ove vrste betona imaju smatramo da bi uštede mogle biti i preko 10% u toku eksploatacije objekta.

Pored ovih karakteristika i energetske efikasnosti objekata takođe se mora istaći da se peno - beton pravi od isključivo ekoloških proizvoda. Naime, u samoj proizvodnji peno -betona koriste se tri osnovne komponente: voda, cement i pena. Pored ovih komponenti mogu se koristiti i staklena vlakna ili polipropilenska vlakna. Pena koju smo koristili prilikom izrade uzoraka u okviru ovog projekta je organskog porekla (proteinska). Kako ova pena ni u kom slučaju nije ekološki zagađivač može se slobodno reći da je reč o potpuno ekološkom proizvodu.

6. LITERATURA

- [1] *Guide for Cast-in-Place Low-Density Concrete*, Reported by ACI Committee 523, 1992
- [2] *Guide for Cellular concrete above 50 pcf and for aggregate concretes above 50 pcf with compressive strengths less than 2500 psi*, Reported by ACI Committee 523, 1993.