

Dodatki za beton: plastifikatorji, superplastifikatorji, hiperplastifikatorji

Lidija Černilogar, TKK Srpenica d.o.o., Srpenica

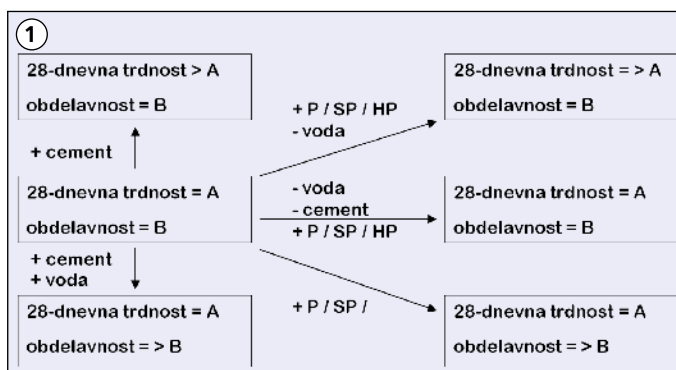
Za plastifikatorje (P), superplastifikatorje (SP) in hiperplastifikatorje (HP) lahko upravičeno rečemo, da so paradna, najpomembnejša skupina kemijskih dodatkov za beton, saj jih same ali v kombinaciji z drugimi kemijskimi in/ali mineralnimi dodatki uporabljamo preko celega leta za pripravo betonov najrazličnejših lastnosti/kvalitete.

Namen prispevka je kratka predstavitev omenjenih kemijskih dodatkov - od zgodovinskega vidika, mehanizma delovanja P / SP / HP do njihovih učinkov v betonu, možnosti uporabe v praksi ter njihovih prednosti in slabosti.

Kemijski dodatki za beton so po definiciji standarda SIST EN 934-2 (1) snovi/produkti, ki jih dodamo betonu v času mešanja v količinah < 5 % na maso cementa, zato da spremenimo lastnosti svežega in/ali strjenega betona. S tem izboljšamo lastnosti betona oziroma drugače povedano: s kemijskimi dodatki lahko pripravimo betone, ki imajo v svežem in/ali strjenem stanju zelene/zahtevane lastnosti, ki jih sicer ne bi mogli doseči.

Uporaba kemijskih dodatkov tako koristi (bi morala koristiti) proizvajalcem betona, izvajalcem betonarskih del in seveda investitorju objekta/konstrukcije;

- proizvajalci betona lahko pripravijo betone, ki odgovarjajo zahtevam izvajalcev za točno določen namen uporabe,
- izvajalci vgrajujejo betone, ki imajo (glede na izbrano



Koncept odgovarjajočih mešanic - vpliv P / SP / HP na obdelavnost in trdnost betona (5)

konstrukcijo) optimalne lastnosti tekom vgradnje ter zahtevane lastnosti v strjenem stanju,

- investitor pa prevzame objekt/konstrukcijo z vsemi zahtevanimi lastnostmi v smislu izgleda, konstrukcijskih in trajnostnih lastnosti.

Zgodovina

Znano je, da so že stari Rimljani dodajali svojim pučlanskim maltam kri, mleko in svinjsko mast. Po vsej verjetnosti so jih dodali zato, ker so slučajno odkrili, da izboljšajo obdelavnost sveže malte. Danes vemo, da so to odlični plastifikatorji in aeranti, ki so gotovo doprinesli k temu, da še danes lahko občudujemo nekatere objekte iz tistih časov.

Kemijske dodatke betonu, kakršne poznamo in kot jih pojmujejo danes, so prvi pričeli razvijati in uporabljati proizvajalci cementa in betona v ZDA okrog leta 1930, ko se je pričela masovna uporaba betona. Med prvimi uporabljenimi dodatki so bili P na osnovi modificiranih lignin-sulfonatov (LS), 1940 so jim sledili P na osnovi glukonatov

(GL), SP prve generacije na osnovi sulfoniranih naftalen-formaldehidnih kondenzatov (NFS) so bili razviti 1970, SP prve generacije na osnovi sulfoniranih melamin-formaldehidnih kondenzatov pa leta 1980. Z letom 1990 se pričena obdobje HP, to je učinkovitejših SP nove generacije, najprej na osnovi polivinilnih kopolimerov (PVCo), od leta 2000 dalje pa so jih nadomeščajo še

učinkovitejši HP na osnovi polikarboksilatov (PCE / PC).

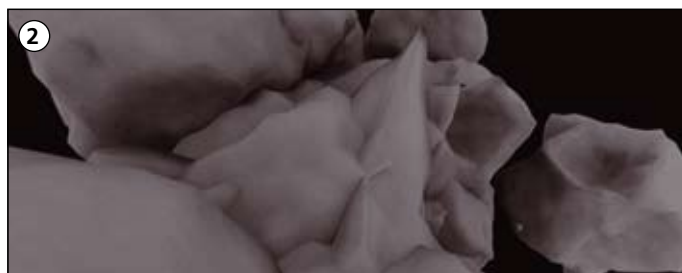
Tako hiter tehnološki razvoj od P do SP in HP je bil logična posledica vedno večjih in ostrejših zahtev po kakovosti in ekonomičnosti gradenj preko celega leta.

Mehanizem delovanja

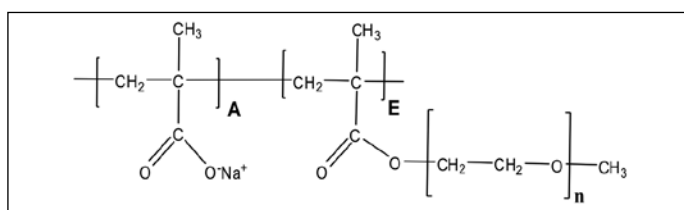
P / SP / HP so površinsko aktivne snovi, ki kot dispergant delujejo na principu zmanjšanja V/C faktorja, razlikujejo pa se po mehanizmu delovanja - dispergiranja.

P, SP in HP se z negativno nabitimi funkcionalnimi skupinami adsorbirajo na pozitivno nabito površino cementa.

P (LS, GL) in SP prve generacije (NFS, MFS) se adsorbirajo na cementne delce, jih omrežijo in zaradi elektrostatskega odboja enako nabitih delcev je preprečeno združevanje cementnih delcev (slika 2).



Delovanje SP: zgoraj - cementna pasta brez SP, spodaj - cementna pasta s SP (6)



Kemijska strukturna formula PCE superplastifikatorja (spodaj) in shematski prikaz povprečne molekule PCE (6) (zgoraj)

Tudi HP (PCE) se z negativno nabitimi skupinami adsorbirajo na cementne delce, vendar pa je v tem primeru združevanje cementnih delcev preprečeno zaradi steričnega-prostorskega odboja, ki ga povzročajo dolge glavne in stranske verige HP.

Za HP na osnovi PCE je značilno tudi, da adsorpcija poteka postopno in dalj časa kot pri P / SP, zato je njihova učinkovitost večja oz. čas obdelavnosti betonov pripravljenih s HP je običajno daljši kot čas obdelavnosti betonov pripravljenih s SP (slika 3).

Vedeti pa moramo, da je učinek P in SP, posebno pa HP, odvisen tudi od vrste dejavnikov: kemijske in mineralne sestave cementa (C3A, topni sulfati, specifična površina, vsebnost mineralnih dodatkov, dodatki za mletje cementa ...), doze cementa, vrste in sestave agregata, vrste in sestave mineralnih dodatkov, morebitnih drugih kemijskih dodatkov in pogojev dela.

Učinek v betonu

Vsi P / SP / HP, ne glede na kemijsko sestavo, izkazu-

jejo v betonu enak učinek, t.j. omogočajo zmanjšanje vodocementnega razmerja (V/C faktor) - zmanjšanje količine zamesne vode, potrebne za pripravo betona določene obdelavnosti ali drugače povedano:

- omogočajo zmanjšanje vodocementnega razmerja za določeno obdelavnost, in dozo cementa ali
- omogočajo povečanje obdelavnosti pri določenem V/C faktorju ali
- omogočajo zmanjšanje doze cementa.

V praksi se največkrat izkorišča kombinacija možnih učinkov, ki so shematsko prikazani s sliko 1.

Pomembno je, da z zmanjšanjem V/C faktorja ne povečamo samo trdnosti betona, ampak pomembno vplivamo na povečanje njegove trajnosti: npr. betoni enake obdelavnosti in trdnosti, pripravljene s P/SPS/HP (desna stran slike 1), imajo nižjo vsebnost vode in cementa, zato so v strjenem stanju manj porozni, manjša je stopnja krčenja in s tem možnost nastanka razpok, skozi katere v beton vstopajo agre-

Preglednica 1: Sposobnost redukcije vode in učinek na trajnost betona v konstrukciji

Vrsta dodatka	Učinek na trajnost
Plastifikator (5-10 %)	• Znižanje V/C faktorja → gostejši cementni kamen → manjša poroznost → manjši prodor vode z raztopljenimi plini in solmi.
Superplastifikator (5-25 %)	• Zmanjšanje doze cementa → manjša možnost krčenja → manjša možnost nastanka razpok.
Hiperplastifikator (5-40 %)*	• Povečanje vgradljivosti ob nespremenjenem V/C faktorju → boljše kompaktiranje, manjša poroznost.

*Sposobnost zmanjšanja vsebnosti zamesne vode ob nespremenjeni obdelavnosti betona, ki jo v splošnem omogočajo plastifikatorji, superplastifikatorji in hiperplastifikatorji. Zahteva SIST EN 934-2: T2 za plastifikatorje je 3 5 %. Zahteva SIST EN 934-2: T3.1 za superplastifikatorje je 3 12 %. Za hiperplastifikatorje ni standardne zahteve.

sivne snovi, ki povzročajo propad betona.

Razliko v učinkovitosti oziroma sposobnosti redukcije vode med P / SP / HP in njen posredni vpliv na trajnost betona prikazuje preglednica 1.

Kot nakazujejo že sama imena, se učinkovitost zmanjšanja zamesne vode povečuje od P preko SP do HP.

Uporaba v praksi

Zaradi navedenega je večina kemijskih dodatkov za

beton namenjena profesionalni uporabi. To pomeni, da je poleg ustrezne opreme za pripravo betona in izvajanje kontrole kvalitete svežega (in strjenega) betona pomembna usposobljenost osebja (od projektantov, proizvajalcev betona, izvajalcev betonerskih del, kontrolorjev), ki mora poznati zahteve relevantnih standardov za beton (2, 3, 4, idr.) in ki upošteva navodila proizvajalca dodatkov.

Preglednica 2: Področja uporabe Cementolov® - P / SP / HP TKK Srpenica

CEMENTOL	Plastifikatorji Delta EKSTRA / Delta EKSTRA W	Plastifikator - zemeljsko vlažni betoni SMB	Superplastifikatorji Zeta / Zeta P	Superplastifikatorji Zeta T	Hiperplastifikatorji Zeta PLUS/SUPER S HIPERPLASTI -170, -463,	HP z učinkom pospešila strjevanja Zeta SUPER SR/ HIPER ABK, HIPERPLASTI 972, -973, -974	Pospešilo strjevanja z učinkom SP - Omega F	Aerant z učinkom SP - SPA	Superplastifikator z dodatkom mikrosilike: Antikorodin	DOMAČA UPORABA
Zemeljskovlažni betoni / Betonski izdelki	○●	●								SMB estrihi - talno gretje
Betoni z regulirano konsistenco	●○		●	●	●	●	□			
Tekoči betoni			●	●	●	●	□	□		
Črni betoni	●○		●	●	●	●	□	□		
Masivni betoni	●○		○	○	○	○				
Podvodno betoniranje			○	○	○	○	□			
Brizgani betoni				○	○	○				
Vodonepropustni betoni	●○		●	●	●	●	□	□		Zeta
Betoni z višjo kemijsko odpornostjo			●	●	●	●			●	
Betoni odporni na mraz in soli	○		○	○	○	○	□	●	□	SPA
Betoniranje pri višjih temperaturah	●○			●	●					
Betoniranje pri nizkih temperaturah	○		○		○	●	●	□		Zeta + B NOVI + Omega P
Betoni visokih trdnosti			●	●	●	●	●		●	
Betoni z visoko kemijsko in mehansko odpornostjo									●	
Betoni z manjšim krčenjem / neskrčljivi betoni			○	○	○	○				
Samozgoščevalni betoni					●	●				

Opombe:

Glavna funkcija: ●

V kombinaciji z drugimi dodatki: ○

Učinek SP ni glavna funkcija dodatka: □

Obvezno upoštevati navodila proizvajalca iz tehnične informacije za dodatek in dodatna priporočila!

Nekatere kemijske dodatke pa lahko s pridom uporabljamo, tudi če dela sami izvajamo doma (preglednica 2). Pomembno je, da za dosego želenega učinka upoštevamo navodila proizvajalca dodatka.

Področja uporabe

P / SP / HP so nepogrešljivi, kadar želimo oziroma moramo:

- Izboljšati lastnosti svežega betona: zagotoviti zahtevano obdelavnost ob manjši vsebnosti zamesne vode; za-

gotoviti daljši čas zahtevane obdelavnosti idr.

- Zmanjšati stroške betonerskih del z lažjim in hitrejšim vgrajevanjem in/ali s krajšimi cikli pri proizvodnji predizdelanih betonskih izdelkov ob manjši porabi energije ipd.

- Pripraviti beton, ki ustreza specifičnim zahtevam, npr. ima predpisan V/C faktor, minimalno začetno ali končno trdnost, določen čas obdelavnosti idr., pa brez uporabe kemijskih dodatkov teh zahtev ne bi mogli izpolniti.
- Betonirati v neugodnih vremenskih razmerah, t.j. pozimi pri nizkih in poleti pri visokih temperaturah.
- Izboljšati kvaliteto strjenega betona, npr. povečati zgodnje in končne trdnosti, povečati vodonepropustnost in/ali zmanjšati kapilarno vodovpojnost, povečati odpornost na fizikalno in kemijsko agresijo in abrazijo idr. - povečati trajnost betona (preglednica 1).
- P / SP / HP torej omogočajo (preglednica 2):
- pripravo homogenih betonov vseh konsistenčnih stopenj: zemeljsko vlažnih betonov, betonov običajnih konsistenc od S1 do S5 do samozgoščevalnih betonov (SCC),
- pripravo transportnih betonov z dolgim časom obdelavnosti oz. mnogo počasnejšim padcem obdelavnosti tudi pri višjih temperaturah,
- vgrajevanje betonov v težjih pogojih oz. v zahtevnejše konstrukcije,
- pripravo betonov visokih zgodnjih in končnih trdnosti,
- pripravo betonov izbrane/določene trdnosti pri nižji dozi cementa,
- pripravo vodonepropustnih betonov in
- izboljšajo učinkovitost pospešila strjevanja pri zimskem betoniranju (preglednica 3),
- kompenzirajo padec trdnosti v aeriranih betonih,
- idr.

Preglednica 3: Učinek P / SP / HP na hidratacijo cementa oz. prirast trdnosti (betoniranje pri nizkih temperaturah)

Vrsta dodatka	Učinek na hitrost hidratacije oziroma temperaturo svežega betona
P / SP / HP	Znižanje V/C faktorja → manjša količina vode → manjša poraba toplote hidratacije za segrevanje vode → višja temperatura betona → hitrejši prirast trdnosti + Znižanje V/C faktorja → manjša količina vode → višje trdnosti
Dodatki z dvojnimi učinkom	
Pospešilo strjevanja z učinkom superplastifikatorja	Kot pospešilo strjevanja + Kot superplastifikator
Superplastifikatorji z učinkom pospešila prirastka trdnosti	Kot superplastifikator + Kot pospešilo strjevanja

Prednosti - slabosti

Med P / SP / HP izbiramo glede na to, kakšna stopnja učinkovitosti glede izboljšanja obdelavnosti oz. redukcije vode je potrebna za doseganje zahtevanih lastnosti svežega in/ali strjenega betona;

- kvalitetne betone konsistenčne stopnje do S3 in trdnostnega razreda C 25/30 do največ C 30/37 lahko pripravimo s P,

- za betone višjih konsistenčnih in trdnostnih razredov moramo uporabiti SP ali HP.

Glede na večjo učinkovitost HP se njihova uporaba večja, poraba SP pa manjša (slika 4).

V zadnjem času se vse bolj uveljavljajo tudi specialni betoni kot so:

- lahkogradljivi betoni (HFC - High Flowable Concrete), kjer že skoraj povsem prevladuje uporaba HP,

- samozgoščevalni (SCC - Self Compacting Concrete) in visokotrdni betoni (HSC - High Strength Concrete; s trdnostmi > 60 MP), ki pa jih lahko pripravimo izključno s HP.

Učinkovitost P / SP in HP je odvisna od vrste cementa (mineralna in kemijska sestava ...) in se lahko razlikuje tudi med različnimi šaržami cementa pri isti vrsti cementa istega dobavitelja; tovrstni vplivi so največji pri HP. Poleg tega so betoni pripravljani s HP mnogo občutljivejši na druge spremembe v sestavi betonske mešanice: količino vode, vrsto in količino agregata - predvsem finih delcev in mineralnih dodatkov idr., pa tudi na postopke priprave in vgradnje. Ta občutljivost je najbolj izrazita pri SCC betonih, kjer lahko že majhne spremembe privedejo do segregacije. Zato moramo biti pri delu s HP še posebej pazljivi - zagotoviti moramo konstantno kvaliteto vseh komponent betona in nato skrbno kontrolo vseh postopkov priprave, vgradnje in nege.

Zaključek

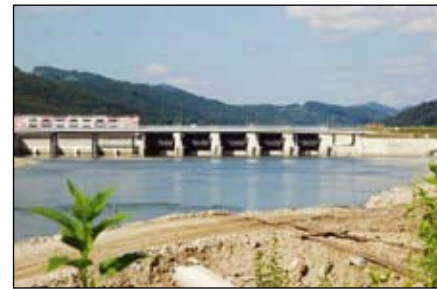
Plastifikatorji, superplastifikatorji in hiperplastifikatorji so nedvomno skupina kemijskih dodatkov, ki je nepo-

grešljiva pri pripravi betonov najrazličnejših kvalitete, ki jih pri različnih pogojih vgrajujemo v betonske konstrukcije ali izdelke najrazličnejših oblik in dimenzij. V zadnjih 40 letih se je veliko pozornosti posvečalo njihovu razvoju, učinkom v betonu in vplivu na trajnost. Glede na veliko število vedno zahtevnejših betonskih konstrukcij, izpostavljenih agresivnim okoljem in velikim mehanskim obremenitvam, gre razvoj v smeri izboljšanja obstoječih tipov in razvijanja novih tipov dodatkov, ki bi ob skrbno izbrani sestavi osnovnega betona prispevali k večji trajnosti betona v konstrukciji.

Ne glede na to ali za konkreten primer uporabe izberemo P, SP ali HP, moramo njegovo učinkovitost preveriti s predhodnimi preskusi na betonu izbrane sestave, s komponentami, ki bodo uporabljene v konkretnem primeru, in pri pogojih, ki bodo čim bolj podobni predvidenim pogojem v praksi.

Literatura

1. SIST EN 934-2: 2009, Kemijski dodatki za beton, malto in injekcijsko maso - 2. del: Kemijski dodatki za beton - Definicije, zahteve, skladnost in označevanje in obeleževanje.
2. SIST EN 206-1: 2003/A1:2004/A2:2005: Beton - 1. del: Specifikacija, lastnosti, proizvodnja in skladnost.
3. SIST 1026: Beton - 1. del: Specifikacija, lastnosti, proizvodnja in skladnost - Pravila za uporabo SIST EN 206-1 (revidirana izdaja)
4. SIST EN 206-9: 2010: Beton - 9. del: Dodatna pravila za samozgoščevalni beton (SCC)



Hidroelektrarna Blanca: plastifikator - Cementoli®: Delta Ekstra, Retard R2



Viadukt Malence in predor Golovec: superplastifikatorji - Cementoli: Zeta, Zeta T, Omega F, SPA, Eta

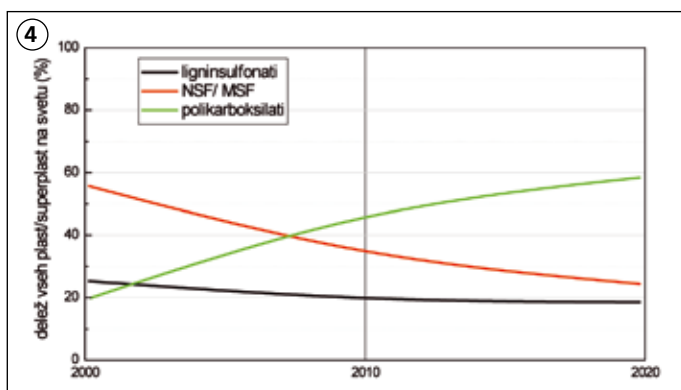


Garažna hiša Janina, Rogaška Slatina: hiperplastifikator - Cementoli®: Hiperplast 463, Antikontrakt T



Puhov most, Ptuj: hiperplastifikator - Cementoli®: Zeta Super S, Eta S

5. Rixom, M.R., Mailvaganam, N.P. (1986): Chemical Admixtures for Concrete, E&F.N. Spon Ltd, London - New York, str. 2.
6. Zevnik, L. (2010): Razvoj nove družine polikarboksilatnih superplastifikatorjev: kemijski vidik razvoja, Srečanje TTK Srpenica 2010, Bovec, 8. 10. 2010



Trend razvoja globalnega razmerja med P / SP / HP (6)