



Andrej Peteln

Lastnosti, označevanje in uporaba različnih vrst cementov

Strokovno srečanje OZS
Dutovlje, 5. marca 2026

1

Ponovimo, kar vemo o cementih

- Portlandski cement je dobil ime po rdečkasto-rumeni barvi kamna iz otoka Portland, ki je bila enaka barvi takratnega strnjenega cementa.
- Prve cementarne so bile postavljene v Angliji in ZDA že okoli leta 1830, v ostali Evropi pa so jih začeli postavljati v drugi polovici devetnajstega stoletja. Prva cementarna pri nas je bila postavljena v Trbovljah leta 1876.



2

Ako se tras u stopah na droben prah zmelje, z apnam in vodo zmeša, dá izveršno nepokončljivo mavto, ktera pod vodo se uterdi. Začeli so tedaj tras za mavto pri stavbah poleg vodárahiti, ter ga vodno mavto ali cement (to je, vot) imenujejo.

To je naravni cement.

Nedavno so pa začeli druge enake mešanice napravljati, ktere bi lastnosti naravnega cementa imele. Tako so navadni apneni mavti še nekoliko nepogašeniga apna, zdrobljeniga kremenali kresavnika pridavali.

Na prodaj se dobiva tako imenovani romanski cement, kteriga nar več rabijo, ki večidel iz apna in kremenali obstoji.

Na Laskim napravljajo cement iz tam obilne sperstenine — pucolanska pèrst imenovane — ki je jako imečitna za vodno mavto.

Angleži so sledeči cement iznajdli, kteriga po več mestih, kakor u Hamburgu pogostoma rabijo, ter jako hvalijo. Napravi se takole:

Vzame se po vagi 30 delov dobro spraniga in prescjaniga peska, 70 delov u prah razmetiga beliga apnenika in 3 dele zmlite svinčene gladine. Vse to se prav zmeša in pridene se na 1 cent take mešanice 10 funtov lanéniga olja, ktero se pred pól ure prekuha.

Praden se tak cement rabi, je še treba, dá ti- sti deli zidovja, ktere ima cement vkup voliti, se z lanénim oljem namažejo.

S tem cementam se dajo tudi vlažne stene ali mokri zidovi, ktere salnitar razjeda, prevleči in pokriti. Prevleka naj je četeri pavea debela; kmalo postane tako terda, da od salniterja ni duha ne sluha.

Dan današnji se mnogo sort cementa in pod raznimi imeni prodaja; pa po imenih se ni treba ravhati, ker vsak gospodar zamore — po zgorej podanimu predpisu — cement ali vodno mavto si sam napraviti.

3

Proizvodnja cementa

- Osnovna surovina za proizvodnjo cementa je lapor, ki je homogena zmes apnenca in gline, nastala v preteklih geoloških dobah s sedimentacijo. Ker naravnega laporja ni več dovolj za masovno proizvodnjo, se surovinsko mešanico, ki mora vsebovati 75-78% kalcijevega karbonata (CaCO_3), pripravlja z mešanjem apnenih in glinenih komponent. Apnencu, ki je vir CaO , je običajno primešan dolomit, ki v sistem vnaša MgO . Glinene komponente pa so nosilci SiO_2 , Al_2O_3 in Fe_2O_3 .
- Osnovne surovine pridobivajo v kamnolomih, kjer se surovine odstreljuje in odvažna na osnovno etažo v drobilnik.
- V drobilniku surovin se material drobi na granulacijo pod 30 mm.

4

Ker se surovinsko mešanico pripravlja iz zelo različnih komponent, jih je treba dobro homogenizirati. Homogenizacija poteka tako, da se surovine po drobljenju s tekočimi trakovi transportira v predhomogenizacijsko halo na velik kup, vzdolžno po hali, v več sto plasteh.

Material, ki ga je na enem kupu tudi več deset tisoč ton, se nato odvzema prečno in transportira v mlin surovin, kjer se melje v laporno moko z naštetimi dodatki:

- piritni ogorki in podobne Fe komponente za korekcijo vsebnosti Fe_2O_3 ,
- kremenčev pesek, za korekcijo vsebnosti SiO_2 ,
- boksit, za korekcijo vsebnosti Al_2O_3 ,
- sadra, za korekcijo vsebnosti SO_3 .

Laporno moko, to je sivo rumen fin prah, skladiščijo v homogenizacijskih silosih. Za polnjenje le-teh se uporabljajo različni elevatorji in ciklonski transporterji.

5

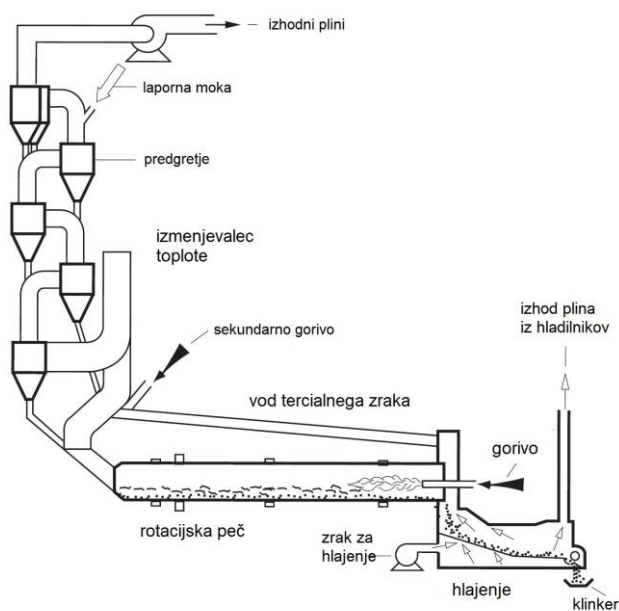
- Laporna moka gre nato skozi izmenjevalec toplote v peč. Izmenjevalec toplote je prvi del v procesu proizvodnje klinkerja, ki omogoča boljši izkoristek energije za pečenje klinkerja. Surovina pada skozi izmenjevalec v rotacijsko peč, kjer se dimni plini (iz peči) gibljejo v nasprotni smeri, torej navzgor. Pri tem pride v ciklonih do izmenjave toplotne energije med materialom in dimnimi plini. Temperatura surovine, ko pade v peč, je že 800- 820°C. Izmenjevalec toplote je tudi dober filter za hlapne komponente (alkalije, žveplo, kloride, lahko hlapne težke kovine), ki na ta način ostajajo v peči in ne zapuščajo sistema kot škodljive emisije.
- Peč je rotacijska, v Trbovljah (je bila) premera 5 m in dolžine 82 m, cev se med obratovanjem vrti s hitrostjo 1-2 obrata/min.
- Potrebno energijo za žganje klinkerja dovajajo skozi gorilnik na primarni strani peči, kjer klinker zapušča peč. Kot goriva uporabljajo zemeljski plin, mazut, premogov prah, odpadna olja, ali kombinacijo naštetih goriv. Peč lahko na sekundami strani pod izmenjevalcem kurijo tudi z odpadnimi gumami.

6

Surovino žgemo v rotacijski peči pri temperaturah do $\sim 1450^{\circ}\text{C}$. Pri tem se zmes delno raztali in oksidi se povežejo v **KLINKER MINERALE**, nastali klinker pa izpada iz peči v obliki kroglic.



Shema postrojenja za žganje PC klinkerja



- Klinker, ki izstopa iz peči skozi satelitske hladilnike, nameščene na obodu peči (v Trbovljah jih je bilo 10), hranijo nato v skladišču klinkerja.
- Od tam kroglice klinkerja transportirajo preko elevatorjev do mlinov cementa.
- Klinker se zmelje v komornih krogličnih mlinih z različnimi dodatki v fin sivo zelen prah - cement. Zahtevane karakteristike za posamezne tipe cementa dosegajo tudi z ustrezno finostjo mletja, pri tem so predvsem pomembni: specifična površina, ostanek na situ 90 mm in ustrezna porazdelitev delcev.
- Cement gre nato v skladišče cementa, kjer se pripravlja na kamionsko in vgonsko odpremo v vrečah in v razsutem stanju - rinfuzi.

9

Ker hidratacija poteka ob stiku cementa z vodo, mora biti površina cementa čim večja. Zato tovrstna veziva meljemo do ustrezne finosti. **FINOST MLETJA** določamo s sejanjem ali z merjenjem specifične površine z Blainovim aparatom. Masno razmerje med zamesno vodo in vezivom je **VODOVEZIVNO** razmerje.

Vodovezivno razmerje je zaradi tehnoloških zahtev običajno večje, kot bi bilo potrebno za kemijsko reakcijo. To je potrebno, da dosežemo ustrezno **obdelovalnost** testa ali paste. S tem namenom določamo **KONSISTENCO** testa (na razlezni mizici) ali **PRETOČNOST** paste (z lijakom).



(a)



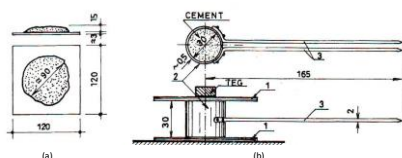
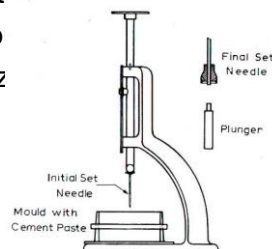
(b)



(c)

10

Iz tehnološkega vidika je pomembno tudi določiti, kdaj cement prične vezati in se torej začne prehod iz tekočega v trdno stanje. S tem namenom določamo **ZAČETEK** in **KONEC VEZANJA**. Ti dve količini nista fundamentalni, temveč dogovorno izbrani, v princip pa začetek vezanja predstavlja čas po zamešanju z vodo, po katerem zmesi z mešanjem ni več možno mobilizirati (in s tem obdelovati), konec vezanja pa čas po zamešanju, po katerem je zmes otrdela in odslej le še pridobiva na trdnosti. Obe količini določamo z **Vicatovim aparatom**.



Ker veziva med vezanjem spreminjajo svoj volumen – bodisi nabrekajo, bodisi se krčijo določamo **STALNOST VOLUMNA** z metodo kolačev ali z Le Chatelierjevimi prstani.

11

Proizvodnja cementa zahteva veliko energije

Zato je razvoj stalno živ, cementi pa se stalno spreminjajo:

- Racionalizacija proizvodnih procesov in postopkov,
- Uvajanje avtomatizacije,
- Povečevanje uporabe sekundarnih energentov (temperatura v peči je tako visoka, da omogoča nenevaren sežig odpadkov: odpadnih olj, gum, odpadkov zdravstva...)
- Zmanjševanje deleža klinkerja v cementu
- Prilagajanje okoljski in drugi zakonodaji
- Spreminjanje deleža in zamenjevanje mineralnih dodatkov cementu s ciljem optimizacije stroškov proizvodnje oz. cene cementa.

12

Sestava portland-cementnega klinkerja

- Mineraloška sestava portlandcementnega klinkerja se sestoji v glavnem iz štirih glavnih klinkerjevih mineralov ob prisotnosti manjše količine ostalih mineraloških komponent:
- Trikalcijev silikat (»alit«): $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (okrajšano C_3S) je najvažnejši cementni mineral, ki razvije visoke zgodnje trdnosti in visoko hidratacijsko toploto – delež 45 do 60 %.
- Dikalcijev silikat (»belit«): $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (okrajšano C_2S) razvija trdnosti počasneje, ki pa so v končni fazi visoke. Tudi razvoj hidratacijske toplote je počasnejši. Končna vrednost za razvito toploto je za približno polovico nižja kot pri C_3S – delež 20 do 30 %.
- Trikalcijev aluminat: $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (okrajšano C_3A) veže zelo hitro, razvija nizko trdnost že po enem dnevu, ki pa pozneje ne narašča več. Razvije visoko hidratacijsko toploto v prvih urah, povečuje krčenje in je proti sulfatom neodporen – delež 4 do 12 %.
- Tetraalkalcijev aluminatferit: $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (okrajšano C_4AF) strjuje počasi in je odporen proti sulfatnim vodam – delež 10 do 20 %.

13

V manjših količinah najdemo v cementu še naslednje minerale:

- Pentakalcijev aluminat: $5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ (okrajšano C_5A_3), ki ima podobne lastnosti kot C_3A .
- Prosto apno: CaO , ki nastane pri žganju klinkerja bodisi zaradi previsoke vsebnosti CaO v surovini, bodisi zaradi nepopolnega oziroma slabega žganja ali zaradi razpada trikalcijevega silikata zaradi nepravilnega hlajenja. Vsebnost prostega CaO preko 2% povzroča neobstočnost cementa, torej tudi betona (lasaste, mrežaste razpoke), ter hitro vezanje.
- Prosti MgO , ki je v količinah do 5 % neškodljiv, v večjih količinah pa povzroča neobstočnost.
- Od 2 do 12% steklaste faze (količina je odvisna od temperature sintranja klinkerja in načina hlajenja), ki prav tako vpliva na razvoj trdnosti in hidratacijsko toploto cementa.

Glede na to, da imajo opisani klinkerjevi oziroma cementni minerali različne lastnosti, je mogoče s spremembo vsebnosti osnovnih komponent dobiti cement različnih lastnosti.

14

Oksidi			
Ime	Formula	Oznaka	Delež (%)
kalcijev oksid	CaO	C	65
silicijev oksid	SiO ₂	S	20
aluminijev oksid	Al ₂ O ₃	A	5
železov oksid	Fe ₂ O ₃	F	3

Za označevanje oksidov
in mineralov cementa
uporabljamo
sledeče oznake:

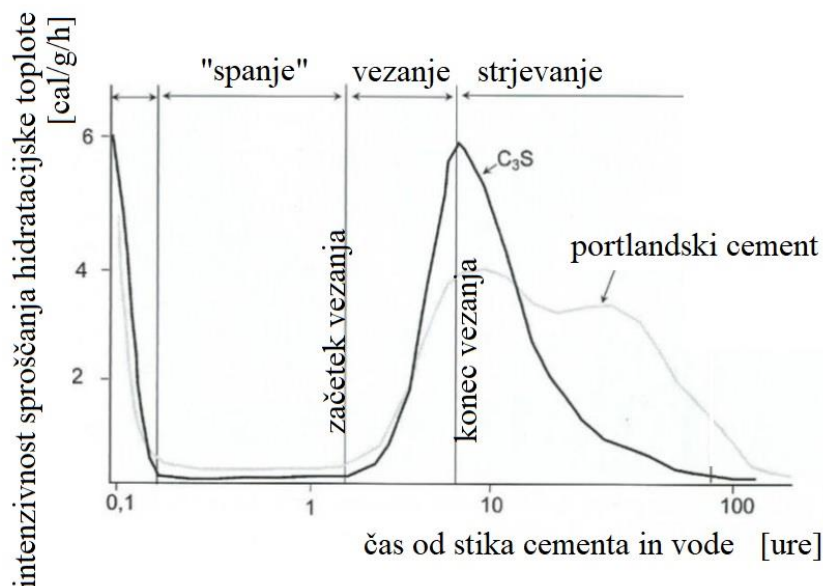
Klinker minerali			
Ime	Formula	Oznaka	Delež (%)
dikalcijski silikat	2CaO·SiO ₂	C ₂ S	15
trikalcijski silikat	3CaO·SiO ₂	C ₃ S	55
trikalcijski aluminat	3CaO·Al ₂ O ₃	C ₃ A	10
tetrakalcijev aluminat ferit	4CaO·Al ₂ O ₃ ·Fe ₂ O ₃	C ₄ AF	10

Hidratacija cementa je kompleksen kemijsko-fizikalni proces, katere najpomembnejši produkti so hidrati kalcijevega silikata C-S-H in kalcijev hidroksid Ca(OH)₂. Glavne reakcije so:

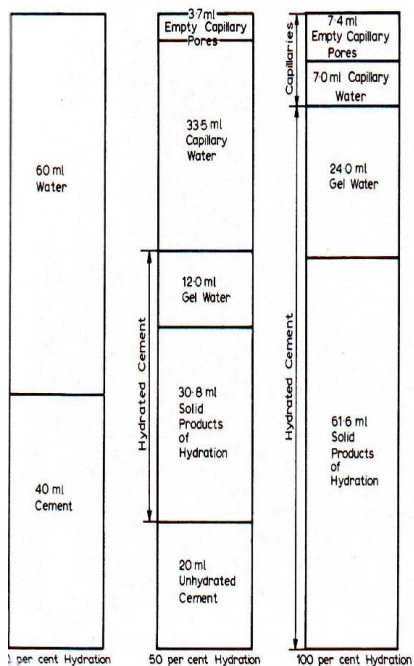
- $2C_3S + 6H \rightarrow C_3S_2H_3 + 3Ca(OH)_2 + Q_1$
 - $2C_2S + 4H \rightarrow C_3S_2H_3 + Ca(OH)_2 + Q_2$
 - $C_3A + 6H \rightarrow C_3AH_6 + Q_3$
 - $C_4AF + 2Ca(OH)_2 + 10H \rightarrow C_3AH_6 + C_3FH_6 + Q_4$
 - $C_3A + 3CaSO_4 + 31H \rightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O + Q_5$
- $C_3S_2H_3$ tobermoritni gel
 - $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$ etringit

Kristali etringita povečujejo volumen, razvijajo se zelo hitro, ustvarijo nekakšne luskice okoli cementnih zrn → otežen dostop vode do cementa → zavlačenje začetka hidratacije, ki bi se sicer začela že takoj po dodanju vode cementu

Dinamika sproščanja hidratacijske toplote



17

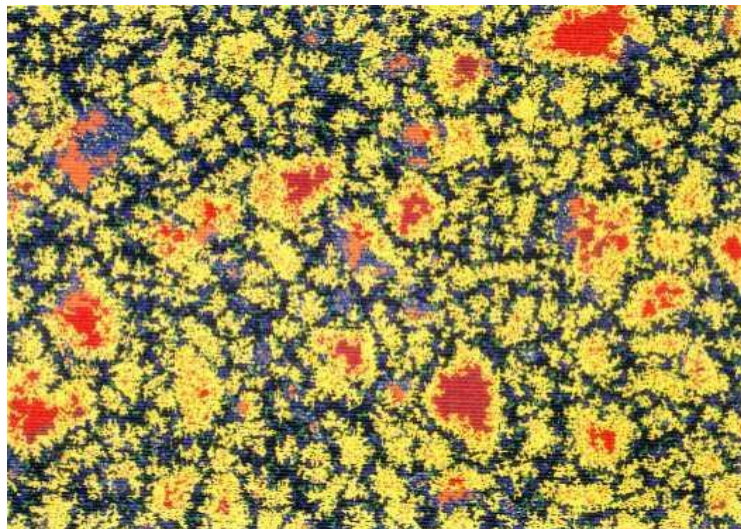


Med hidratacijo najprej reagirajo minerali, ki se nahajajo na površini cementnih zrn, za nadaljnji potek hidratacije pa je potrebna difuzija vode v notranjost zrn cementa. Volumen hidratacijskih produktov je manjši od volumna reaktantov, kar se odraža v **krčenju** med strjevanjem.

Gelske pore so napolnjene z vodo, ki stalno ostaja v njih in tudi ne more zmrzniti v normalnih pogojih.

18

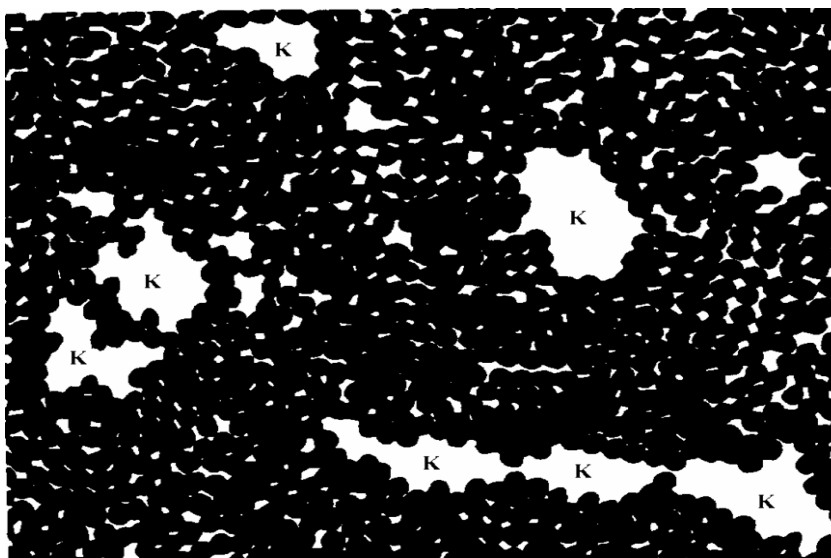
Mikrostruktura cementne paste pri 76% hidrataciji



rumeno C-S-H, rdeče nehidratiziran jedro, modro C-H

19

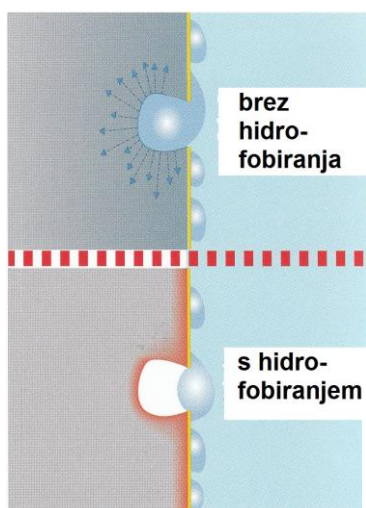
Shematski prikaz strukture strdelega betona



Črno: čvrsti hidratacijski produkti belo vmes: gelske pore velike praznine "K": kapilarne pore

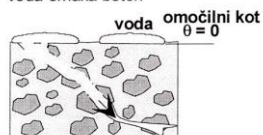
20

Kapilarna poroznost betona je tudi razlog za “izcvetanje”



**Preprečevanje
vstopanja
vode v
porozen
material**

običajna površina betona
voda omaka beton



voda prodira v pore
zaradi kapilarnega srka

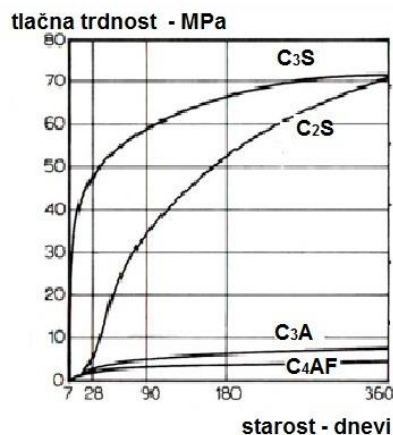
hidrofobirana površina betona
voda slabo omaka beton



voda ne prodira v pore

Trdnost strjene cementne paste je odvisna v glavnem od mineralov C_3S in C_2S

Zamesna voda se v strjeni pasti nahaja bodisi med sloji hidratacijskih produktov (= **gelna voda**, ki je čvrsto vezana in nemobilna, zato je del trdne faze), bodisi v kapilarnih porah (= **kapilarna voda**, ki ni čvrsto vezana in je torej mobilna).



Razvoj trdnosti posameznih cementnih mineralov

23

Na reakcijo cementa ima pomemben vpliv količina vode

Pri v/c pod 0,40 vode ni dovolj, da bi zreagirala ves cement

Vsa voda nad v/c 0,40 ostane odvisna in formira v cementnem kamnu kapilarne pore.

Po drugi strani pa hidratacija, ki začne na površini cementnih zrn, napreduje v globino zrn vse počasneje. V praksi vsa drobna zrnca v celoti zreagirajo, pri grobih zrnih pa jedra ne.

mineral	globina hidratizacije μm				
	po 3 dneh	po 7 dneh	po 28 dneh	po 3 mes.	po 6 mes.
C_3S	3,5	4,7	7,9	14,5	15,0
C_2S	0,6	0,9	1,0	2,6	2,7
C_3A	10,1	10,4	11,2	13,5	14,5
C_4AF	7,7	8,0	8,4	12,2	13,2

Op.: pretežna velikost cementnih zrn: 10 do 50 μm

24

Hitrost hidratacije povečamo s fineje mletim cementom, z višjo temperaturo in višjim v/c

Ob hidrataciji se sprošča toplota, različno za različne cementne minerale.

Pomemben produkt hidratacije je tudi prosto apno, ki omogoča aktiviranje pucolanskih veziv → boljša kemijska obstojnost, nižja cena cementa

mineral	hidratacijska toplota cem. mineralov kJ/kg					
	trajanje procesa hidratacije (dni)					
	3	7	28	90	180	∞
C ₃ S	406	461	486	519	566	670
C ₂ S	63	105	168	197	230	352
C ₃ A	591	662	876	930	1026	1090
C ₄ AF	176	252	377	415	-	570 ²⁵

Cementi se stalno spreminjajo

- **Sprememba oznake cementa 42,5 – SPECIALNI**
08. maj 2009, Anhovo

- Spoštovani kupec / stranka,
- Obveščamo vas o spremembi, ki smo jo izvedli pri Specialnem cementu. Sprememba se nanaša na oznako cementa:

Dosedanja oznaka: CEM II/A-S 42,5 R

Nova oznaka: **CEM II/A-M (LL-S) 42,5 R**

Trgovsko ime, ki ostaja isto: CEMENT 42,5 – SPECIALNI

Po zahtevah standarda za običajni cement SIST EN 197-1 smo zaradi manjše spremembe v sestavi cementa morali spremeniti oznako, kot je navedeno zgoraj. Do sedaj se je Specialni cement mlel z dodatkom žlindre ter z do 5% dodatka apnenca kot filerja, kar ni potrebno definirati v oznaki cementa.

Pri novem Specialnem cementu nekoliko spreminjamo razmerje apnenec / žlindra, vendar, ker bo apnenca več kot 5 %, mora biti to razvidno iz oznake cementa.

Kakšna je posledica spremembe vrste cementsa za uporabnika

- Zavedamo se, da imajo spremembe pri cementih lahko posledice pri uporabnikih, zato smo testirali cement tudi na betonih. Preiskave je izvedel inštitut IGMAT, rezultati preiskav potrjujejo, da ne gre za pomembno spremembo cementsa, v primeru katere dodatek A standarda SIST EN 206-1 zahteva nov začetni tipski preskus (ZTP).

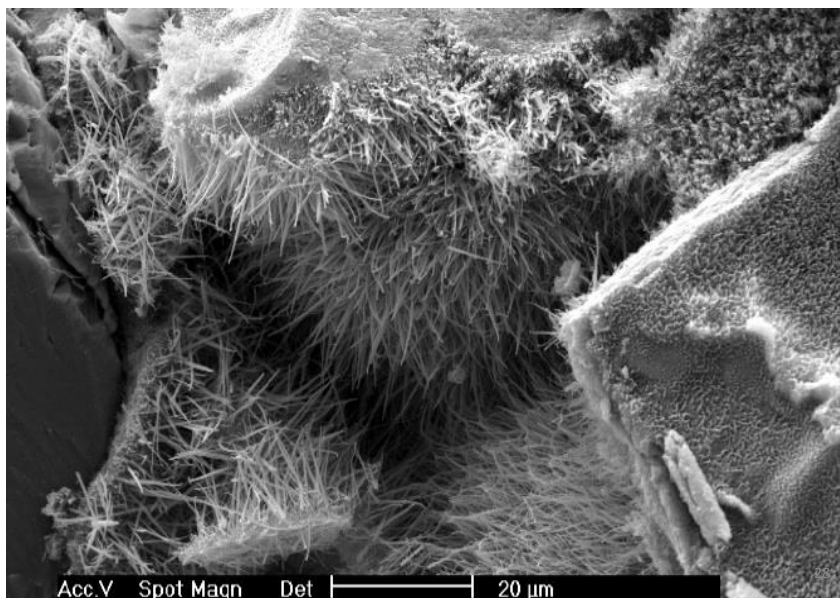
Poleg tega smo vzpostavili kontakt z vsemi tremi certifikacijskimi organi: IGMAT, IRMA in ZAG, ki izvajajo nadzore v betonarnah, za pridobitev mnenja o potrebnem ravnanju ob navedeni spremembi. Od vseh treh smo prejeli usklajeno mnenje, da ne gre za pomembno spremembo, zato niso potrebne predhodne preiskave.

- Uporabniki lahko začnejo z uporabo novega cementsa, pri tem je potrebno slediti naslednjim navodilom:

"Proizvajalec betona pri uporabi nove vrste cementsa takoj pristopi k izdelavi ZTP-ja, in sicer na najmanj eni vrsti betona, za najpogostejše proizvajano vrsto betona skladno z aneksom A standarda SIST EN 206-1 in SIST 1026. Proizvajalec betona je dolžan izdelati primerjalno poročilo med obema uporabljenima vrstama cementsa, za vse lastnosti, ki so predmet aneksa A v standardu SIST EN 206-1 in SIST 1026. Trajnostne karakteristike za vse vrste betona se izvedejo v roku 6 mesecev od začetka uporabe nove vrste cementsa. Preskusi trajnostnih karakteristik se uporabijo tudi v namen dokazovanja kontrole skladnosti za ostale karakteristike."

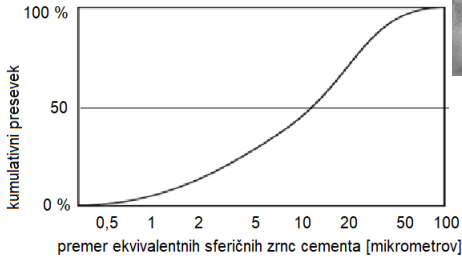
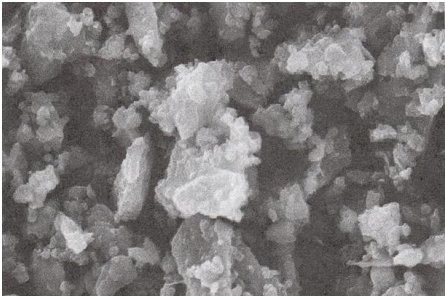
27

Cementni kamen pod mikroskopom: C-S-H kristali (v betonu povežejo agregatna zrna)



Delci cementa pred dodano vodo

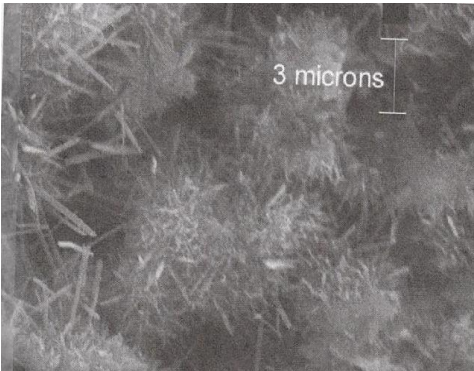
(širina slike 90 mikrometrov)



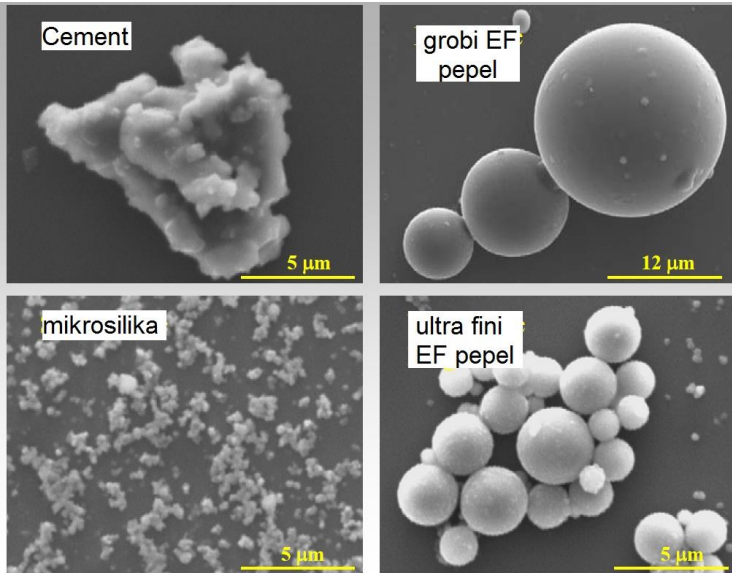
Tipična razporeditev velikosti zrn cementa CEM I in CEM II

Hidratizirani cement

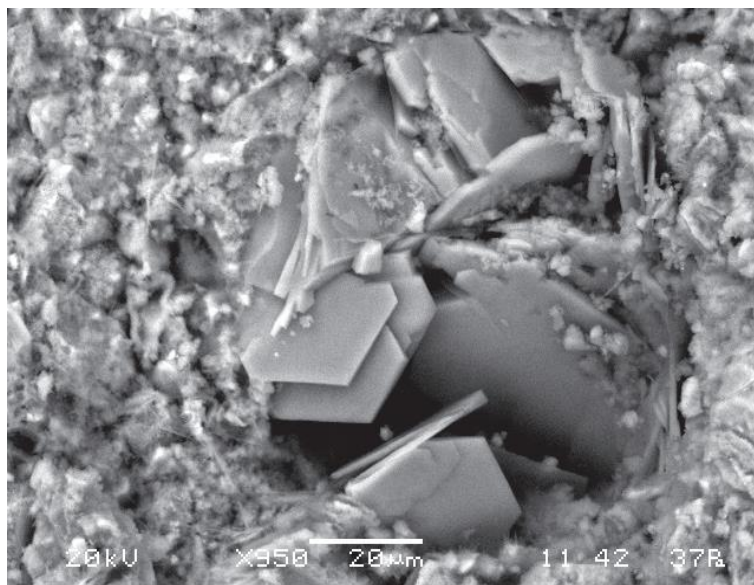
(širina slike 20 mikrometrov)



Primerjava oblike in velikosti zrn veziv



Kristali apna v C-S-H gelu



Standardi

Skladno z evropsko uredbo 305/2011 ter Zakonom o gradbenih proizvodih ZGPro-1 (Ur. list RS 82/2013) urejajo področje proizvodnje cementa harmonizirani standardi EN, ki so v Sloveniji prevzeti kot SIST EN.

Vsi standardi za cement so obvezni, sistem potrjevanja skladnosti je 1⁺.

Obvezno je tudi označevanje cementa z znakom CE, kjer so za vsak cement navedeni tudi dodatni podatki (npr. oznaka dodatka cementu, mejna vrednost za klorid, sulfate ali žarilno izgubo).

Anhovo CEM II/B-M (LL-V)42,5 N
„osnovni“, „Universal“, sedaj „ACEM 2-65 SPECIAL“

Proizvod	UNIVERSAL 42,5 N je portlandski mešani cement z dvema mineralnima dodatkom (M), trdnostnega razreda 42,5 in običajnih zgodnjih trdnosti (N). Proizveden je v skladu s standardom SIST EN 197-1 v tovarni SALONIT ANHOVO, d.d.		
Sestava	Portland cementni klinker, mešani mineralni dodatek (apnenec - LL, elektrofiltrski pepel - V), do 5% polnil, sadra		
Lastnosti	Cement odlikuje dobra uravnoteženost sestave in lastnosti, optimalen razvoj trdnosti in dobra obdelavnost betona za najširši spekter aplikacij v gradbeništvu.		
Uporaba	Cement je namenjen za široko uporabo v gradbeništvu: za individualno gradnjo, za manj zahtevne armirane in nearmirane betone, pri izdelavi estrihov, industrijskih in drugih tlakov ter različnih betonskih izdelkov. Primeren tudi za stabiliziranje zmesi kamnitih zrn za nosilne plasti voziščnih konstrukcij – izvedbo ti. cementne stabilizacije.		
Tehnični podatki	Povprečne vrednosti lastnosti cementa		
	Zgodnja tlačna trdnost (2 dni)	24 MPa	
	Standardna tlačna trdnost (28 dni)	48 MPa	
	Čas začetka vezanja	170 min	
	Specifična masa	2,97 g/cm ³	
	Vsebnost vodotopnega kroma (VI) je v skladu z zahtevami Uredbe (ES) št. 1907/2006.		
Dobava	v razsutem stanju, v 25 kg vrečah		
Skladiščenje	Skladiščiti v nepoškodovani embalaži, pokritih, hladnih in suhih prostorih, zaščiteni pred zračno vlago. Rok skladiščenja 3 mesece za cement v razsutem stanju in 6 mesecev za cement v vrečah.		
Zagotavljanje kakovosti	Kakovost proizvodov zagotavljamo s stalnim nadzorom kakovosti v tovarni. Zunanji nadzor izvaja Zavod za gradbeništvo Slovenije. Št. certifikata o nespremenljivosti lastnosti: 1404-CPR-2184		

33



IZJAVA O LASTNOSTIH

CEM II/B-M (LL-V) 42,5 N

IOL št. 1404-CPR-2184, Verzija 8.0, April 2024

1. Enotna identifikacijska oznaka tipa proizvoda:

2. Predvidena uporaba:

3. Proizvajalec:

4. Sistem ocenjevanja in preverjanja nespremenljivosti lastnosti:

5. Harmonizirani standard:
Priglaseni organ:

6. Navedene lastnosti

Portlandski mešani cement EN 197-1
CEM II/B-M (LL-V) 42,5 N

priprava betona, malte, injekcijske mase in drugih mešanic za gradnjo in proizvodnjo gradbenih proizvodov

ALPACEM CEMENT, d.d.,
Anhovo 1, 5210 Deskle, Slovenija

Sistem 1+

EN 197-1:2011
ZAG – Zavod za gradbeništvo Slovenije, št. 1404

Blizvena značilnost	Lastnost
Običajni cementi (podružine), Sestavine in sestava	CEM II/B-M (LL-V)
Tlačna trdnost (zgodnja in standardna)	42,5 N
Čas začetka vezanja	Ustreza
Prostorninske obstojnost	
- ekspanzija	Ustreza
- vsebnost sulfata (kot SO ₃)	Ustreza
Vsebnost klorida	Ustreza
Žarilna izguba elektrofiltrskega pepela	Max. 7,0 %

Lastnosti proizvoda, navedenega zgoraj, so v skladu z navedenimi lastnostmi. Za izdajo te izjave o lastnostih je v skladu z Uredbo (EU) št. 305/2011 odgovoren izključno proizvajalec, naveden zgoraj.

Podpisal za in v imenu proizvajalca:


Tatjana Pešič
Vodja kontrole kakovosti in laboratorijev


Anketa št. 1404
Tomaž Vuk
Predsednik uprave

34

Danes veljavni obvezni standardi za cement

- [SIST EN 197-1:2011](#) - Cement - 1. del: Sestava, zahteve in merila skladnosti za običajne cemente
- [SIST EN 197-5:2021](#) - Cement - 5. del: Portlandski mešani cement CEM 11/C-M in mešani cement CEM VI
- [SIST EN 413-1:2011](#) - Zidarski cement - 1. del: Sestava, zahteve in merila skladnosti
- [SIST EN 14216:2015](#) - Cement - Sestava, zahteve in merila skladnosti za posebne cemente z zelo nizko toploto hidratacije
- [SIST EN 14647:2005 + AC 2007](#) - Kalcijev aluminatni cement – Sestava, zahteve in merila skladnosti
- [SIST EN 15743:2010 + A1:2015](#) - Supersulfatni cement - Sestava, zahteve in merila skladnosti za običajne cemente

35

Vsebina standarda SIST EN 197-1

- Predgovor
- Uvod
- 1 Obseg in področje uporabe
- 2 Zveze s standardi
- 3 Definicije
- 4 Cement
- 5 Sestavine
- 6 Sestava in označevanje
- 7 Mehanske, fizikalne in kemijske zahteve ter zahteve za trajnost
- 8 Standardno označevanje
- 9 Merila skladnosti
- Dodatek A (informativni): A-odstopanja
- Dodatek ZA (informativni): Pogoji za označevanje običajnih cementov, ki sodijo pod Uredbo ES o gradbenih proizvodih, z znakom CE

36

- EN 197-1 določa in postavlja zahteve za 27 različnih običajnih cementov in njihove sestavine. Definicija vsakega cementa vključuje deleže, v katerih se morajo sestavine mešati, da bi se proizvedli ti različni proizvodi, ki obsegajo šest trdnostnih razredov.
- Poleg predpisanih zahtev je pomembna tudi izmenjava dodatnih informacij med proizvajalcem cementa in uporabnikom.

37

Definicije

- Glavna sestavina: Posebej izbrani neorganski material, katerega masni delež znaša več kot 5 % vsote vseh sestavin.
- Manj pomembna sestavina: Posebej izbrani neorganski material, katerega masni delež ni večji od 5 % vsote vseh sestavin. Ni je treba posebej deklarirati v oznaki vrste cementa.
- Trdnostni razred cementa: Razred tlačne trdnosti.
- Karakteristična vrednost: Vrednost za predpisano lastnost, izven katere leži določen odstotek Pk vseh vrednosti populacije.
- Hidratacijska toplota: Količina toplote, ki se sprosti ob reakciji cementa z vodo v danem časovnem obdobju.
- Nizko hidratacijski cement: Običajni cement z omejeno vrednostjo hidratacijske toplote.
- Sulfatno odporen cement: Običajni cement, ki izpolnjuje zahteve za sulfatno odpornost.
- Cement sestoji iz glavnih in manj pomembnih sestavin, potrebnega kalcijevega sulfata in uporabljenih dodatkov cementu.

38

Glavne sestavine

- 1. Portlandcementni klinker (K)
Portlandcementni klinker je proizveden s sintranjem natančno predpisane mešanice surovin, ki vsebujejo elemente, običajno izražene v obliki oksidov CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , in majhne količine drugih snovi. Portlandcementni klinker je hidravlični material, ki mora vsebovati najmanj dve tretjini mase kalcijevih silikatov ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ in $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), ostanek pa sestoji iz klinkerjevih faz, ki vsebujejo aluminij in železo, ter drugih spojin.
Klinker sulfatno odpornega cementa ima omejeno vsebnost C_3A .
- 2. Granulirana plavžna žlindra (S)
Granulirana plavžna žlindra se dobi s hitrim hlajenjem žlindrine taline s primerno sestavo, ki se dobi s taljenjem železove rude v plavžu in vsebuje najmanj dve tretjini mase steklaste žlindre. Granulirana žlindra ima hidravlične lastnosti, če je primerno aktivirana.
- 3. Pucolanski materiali (P, Q)
Pucolani so naravne snovi, silikatne ali silikatno-aluminatne sestave. Pucolani, zmešani z vodo, se sami ne strjujejo, toda fino zmleti v prisotnosti vode in pri normalni zunanji temperaturi reagirajo z raztopljenim kalcijevim hidroksidom $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Pri tem nastanejo spojine kalcijevih silikatov in kalcijevih aluminatov, ki dajejo trdnost. Te spojine so podobne tistim, ki nastanejo pri hidrataciji portlandcementnega klinkerja.

Naravni pucolani (P) so ponavadi snovi vulkanskega izvora ali sedimentne kamnine s primerno kemično in mineraloško sestavo.
Naravni kalcinirani pucolani (Q) so snovi vulkanskega izvora, gline, skrilavci ali sedimentne kamnine, aktivirani s termično obdelavo.

39

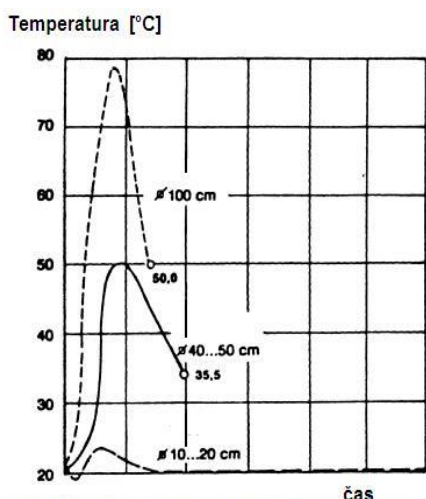
40

4. Elektrofiltrski pepeli (V, W)

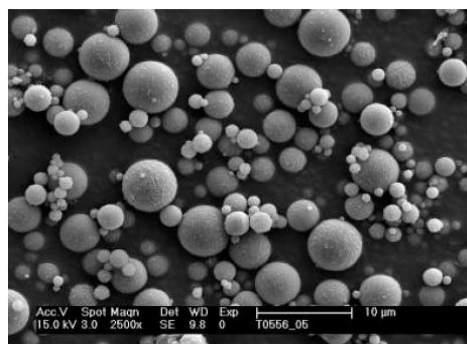
- Elektrofiltrski pepel se dobi z elektrostatičnim ali mehanskim izločanjem prašnih delcev iz dimnih plinov peči, ki so kurjene z uprašenim premogom. Pepel, dobljen na druge načine, se ne sme uporabljati za cement, ki je skladen z EN 197-1.
- Elektrofiltrski pepel je po naravi silikatno-aluminatni (silicijski) ali silikatno-apneni (kalcijski). Prvi ima pucolanske lastnosti, drugi ima lahko dodatno še hidravlične lastnosti. Žarilna izguba elektrofiltrskega pepela, preskušena z enournim žarjenjem, se ugotavlja s ciljem omejevanja količine nezgorelega premoga v pepelu. Klase žarilne izgube so tri (0 do 5%, 2 do 7 % in 4 do 9 %). Pepel z visoko žaroizgubo lahko vpliva na učinek aeranta v betonu.
- Pri silicijskem EF pepelu (V) mora biti delež reaktivnega kalcijevega oksida manjši od 10,0% mase, delež prostega kalcijevega oksida pa pod 1,0 % mase. Sprejemljiv je tudi EF pepel, ki vsebuje do 2,5 % mase prostega kalcijevega oksida, ob predpostavki, da ekspanzija (prostorninska obstojnost) ni večja od 10 mm.
- Delež reaktivnega silicijevega dioksida mora biti najmanj 25 % mase.
- Kalcijski elektrofiltrski pepel (W) vsebuje predvsem reaktivni kalcijev oksid (CaO), reaktivni silicijev dioksid (SiO_2) in aluminijev oksid (Al_2O_3). Delež reaktivnega kalcijevega oksida ne sme biti manjši od 10,0 % mase. Kalcijski elektrofiltrski pepeli, ki vsebujejo od 10,0 % do 15,0 % mase reaktivnega kalcijevega oksida, morajo vsebovati najmanj 25,0 % mase reaktivnega silicijevega dioksida

41

EF pepel omogoča znižanje hidratacijske toplote



Hidratacijsko segretje betonskih elementov različnih debelin (cement CEM II/A 450 kg/m³)



42

5. Žgani skrilavec (T)

- Žgani skrilavec, zlasti žgani oljni skrilavec, se proizvaja v posebnih pečeh pri temperaturi približno 800 °C. Zaradi sestave naravnega materiala in proizvodnega procesa vsebuje žgani skrilavec faze klinkerja, pretežno dikalcijev silikat in monokalcijev aluminat. Žgani skrilavec vsebuje poleg majhnih količin prostega kalcijevega oksida in kalcijevega sulfata tudi večji delež pucolansko aktivnih oksidov, zlasti silicijevega dioksida.

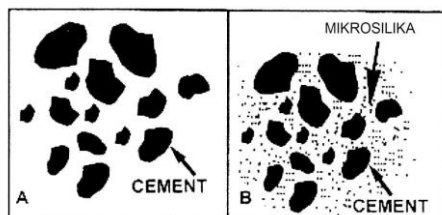
6. Apnenec (L, LL)

- Apnenec mora izpolniti sledeče zahteve:
 - vsebnost kalcijevega karbonata (CaCO_3), izračunana iz vsebnosti kalcijevega oksida, mora biti najmanj 75% mase;
 - vsebnost gline, ugotovljena s preskusom z metilenmodrim, ne sme biti večja od 1,20 g/100 g.
 - vsebnost skupnega organskega ogljika (TOC), mora ustrezati enemu od teh meril:
 - LL : ne sme biti večja od 0,20 % mase,
 - L : ne sme biti večja od 0,50 % mase.

7. Mikrosilika (D)

- Mikrosilika nastaja v proizvodnji silicijevih in ferosilicijevih zlitin v elektropečeh pri redukciji zelo čistega kremenca s premogom in sestoji iz zelo drobnih kroglastih delcev, ki vsebujejo najmanj 85 % mase amorfnega silicijevega dioksida.
- Mikrosilika mora izpolniti te zahteve:
 - žarilna izguba z enournim žarjenjem ne sme biti večja od 4,0 % mase;
 - specifična površina neobdelane mikrosilike mora biti najmanj 15,0 m²/g

43

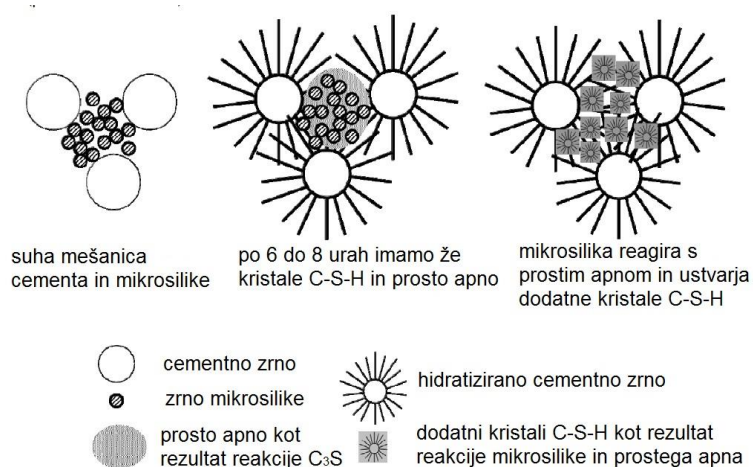


Mikrosilika
(po obveznem SIST EN 13263,
sistem potrjevanja skladnosti 1*)
tudi izrazito poboljša obdelovalnost
sveže mešanice s cementnim vezivom

- Mikrosilika vsebuje običajno 85 do 98 % SiO_2 , delci so kroglice, pretežne velikosti pod 0,1 μm (=cca 300×drobnejši od povprečnega zrna cementa).
- Mikrosilika je zaradi svoje sestave, visoke finosti in visoke površinske energije zelo aktiven mineralni dodatek. V nasičeni raztopini kalcijevega hidroksida se raztaplja že v prvih 5 do 15 minutah.
- Z dodatkom mikrosilike betonu zmanjšamo velikost kapilarnih por, tako povečamo trdnosti, nepropustnost in trajnost. Mikrosilika poveže prosto apno v netopno obliko (→ zasilna zamenjava za SR cement).
- Mikrosilika zmanjša vpliv šibkih točk na spoju cementnega kamna in agregata, ko vpliva na ugodnejšo orientiranost kristalov $\text{Ca}(\text{OH})_2$ v kapilarnih porah glede na površino zrn agregata.

44

Mikrosilika izrazito vpliva na vrsto nastalih kristalov v cementnem kamnu

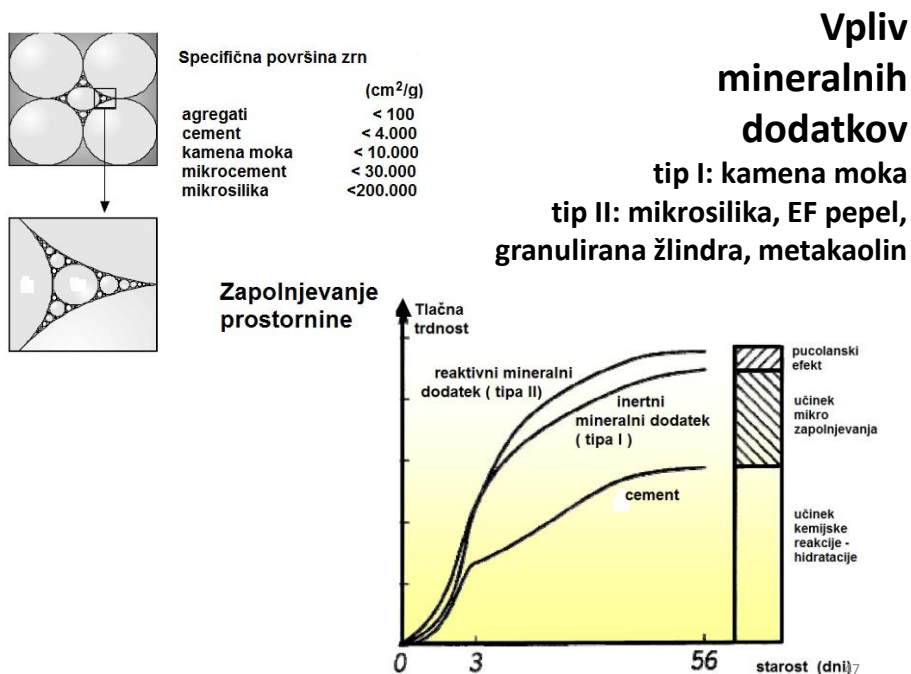


45

8. Metakaolin

METAKAOLIN dobimo s kalcinacijo čistega kaolina pri temperaturi 650-850°C in mletjem na ustrezno finost. Ta material ima zelo visoko pucolanske aktivnosti.

46



Kalcijev sulfat

- Med proizvodnjo cementa se za kontrolo vezanja dodaja k drugim sestavinam cementa kalcijev sulfat. Kalcijev sulfat je lahko sadra (kalcijev sulfat dihidrat, $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$), polhidrat ($\text{CaSO}_4 \times 1/2 \text{H}_2\text{O}$), anhidrit (brezvodni kalcijev sulfat, CaSO_4) ali kakršnakoli mešanica le-teh. Sadra in anhidrit se nahajata v naravi. Kalcijev sulfat je tudi stranski proizvod npr. razžveplevanja.
- Masni delež kalcijevega sulfata mora biti pod 5 %.

Dodatki cementu

- Po EN 197-1 so dodatki cementu sestavine, ki niso zajete v prejšnjih točkah in se dodajajo zato, da bi se izboljšal proces proizvodnje (npr. aditivi za lažje mletje) ali lastnosti cementa.
- Skupna količina dodatkov cementu (razen pigmentov) ne sme presegati 1,0% mase cementa. Ti dodatki cementu ne smejo pospeševati korozije armature ali poslabšati lastnosti cementa ali betona ali malte, ki sta pripravljena s tem cementom.
- Če so pri proizvodnji cementa uporabljeni kemijski dodatki za beton, malto ali injekcijsko maso, skladni s serijo EN 934, mora biti na vrečah ali spremnih dokumentih takšnega cementa navedena standardna oznaka kemijskega dodatka.

49

Sestava cementov in označevanje po SIST EN 197-1

VRSTA CEMENTA	OPIS	GLAVNE SESTAVINE IN OZNAKE	DELEŽ MINERALNIH DODATKOV*
CEM I	čisti portlandski cement	klinker	100% klinker
CEM II	portlandski cement z mineralnimi dodatki	klinker, granulirana plavžna žindra (S), mikrosilika (D), pucolan (P, Q), elektrofilitrski pepel (V, W), žgani skrilavec (T), apnenec (L), mešani mineralni dodatek (M)	II/A (S,D,P,Q,V,W,T,L) 6-20% II/B (S,D,P,Q,V,W,T,L) 21-35%
CEM III	žlindrin cement	klinker, granulirana plavžna žindra (S)	III/A (S) 36-65% III/B (S) 66-80% III/C (S) 81-95%
CEM IV	pucolanski cement	klinker, mikrosilika (D), pucolan (P, Q), elektrofilitrski pepel (V)	IV/A (D,P,Q,V) 11-35% IV/B (D,P,Q,V) 36-55%
CEM V	mešani cement	klinker, granulirana plavžna žindra (S), pucolan (P, Q), elektrofilitrski pepel (V)	V/A (S, P,Q,V) 36-60% V/B (S, P,Q,V) 61-80%

* Vsi navedeni deleži mineralnih dodatkov se nanašajo na celotno maso glavnih komponent cementa, t.j. na maso cementa brez sadre in polnil.

50

Vrste cementov po SIST EN 197-5: 2021

Vrsta cementa	Opis	Glavne sestavine (masni odstotki)		
		klinker	Žlindra (S)	Pucolani (P, Q), EF pepel (V,W), žgani skrilavec (T), apnenec (L, LL)
CEM II/C-M	Portlandski cement z mineralnimi dodatki	50 do 64 %	36 do 50 % je delež dveh med zgoraj navedenimi mineralnimi dodatki, poda se ju v oklepaju	
CEM VI (S-P)	Mešani cement	35 do 49 %	31 do 59 %	6 do 20 % <u>pucolanov</u>
CEM VI (S-V)				6 do 20 % EF pepela
CEM VI (S-L)				6 do 20 % apnenca
CEM VI (S-LL)				6 do 20 % apnenca

51

Proizvodni program Alpacem (= Salanit) Anhovo

Komercialno ime	Oznaka po standardu
ACEM 2-65 SPECIAL	CEM II/B-M (LL-V) 42,5 N v vrečah in rinfuzi
ACEM 2-80 SPECIAL	CEM II/A-M (LL-S) 42,5 R le v rinfuzi
ACEM 2-50 PRIMO	CEM II/C-M (S-LL) 32,5 R le v vrečah
ACEM 2-50 SPECIAL	CEM II/C M (S-LL) 42,5 N le v rinfuzi
ACEM 2-65 SPECIAL CAL	CEM II/B – LL 32,5 R le v vrečah
ACEM 1-95 ULTRA SR	CEM I 42,5 R – SR 0 le v rinfuzi
ACEM 2-80 SPECIAL CAL	CEM II/A – LL 42,5 R le v rinfuzi
ACEM 3-20 PRIMO	CEM III/B 32,5 N – LH/SR le v rinfuzi
MALTIT	MC 5 v vrečah in rinfuzi
ACEM 1-95 ULTRA	CEM I 52,5 R v vrečah in rinfuzi
ACEM 1-95 PRIMO	CEM I 42,5 N le v rinfuzi
ACEM 2-80 SPECIAL PLUS	CEM II/A M (LL-S) 42,5 R le v rinfuzi

Razlaga: SR sulfatno odporen
LH z zmanjšanim sproščanjem hidratacijske toplote

52

Sulfatno odporni CEM I ima tri stopnje sulfatne odpornosti:

- CEM I – SR0 (vsebnost $C_3A = 0 \%$)
- CEM I – SR3 (vsebnost $C_3A \leq 3 \%$) in
- CEM I – SR5 (vsebnost $C_3A \leq 5 \%$)
- Ostali sulfatno odporni cementi so: CEM III/B-SR, CEM III/C-SR, CEM IV/A-SR in CEM IV/B-SR.
- Najbolj občutljiva komponenta klinkerja na sulfate je C_3A . Sulfatno odpornost zato poveča višja vsebnost žindre, naravnih pucolanov ali silicijevega EF pepela. Ti mineralni dodatki „razredčijo“ klinker (in posledično zmanjšajo povprečni delež C_3A v cementu), vplivajo pa tudi na strukturo strnjenega cementnega kamna (zmanjšajo prodor vode in difuzijo anionov, kot SO_4^{2-} , Cl^- ali CO_3^{2-}). Mineralni dodatki vežejo prosto apno, kot najmanj odporno komponento cementa v vseh agresivnih okoljih.

53

Sulfatno korozijo opazamo kot pojav nabrekanja, pojav razpok, izgubo vezivnih lastnosti in znižanje trdnosti betona.

Sulfatna korozija je kompleksen pojav, v katerem se prepleta več različnih procesov in reakcij. Oteževalne okoliščine so prisotnost nekaterih ionov (Mg^{2+} , Na^+ , amonijev ion, nizke temperature in karbonatni ion), cikli sušenja in vlaženja, olajšan transport snovi v cementni kamen. Primeri agresivnih okolij: močvirja, kmetijski objekti (silaža, gnojna jama, hlevske gredice), odpadne vode, bazeni bioplinarn, čistilne naprave in greznice.

Nekaj ukrepov za sulfatno obstojnost

	Želena lastnost	Ukrep
Preprečevanje škodljivih reakcij	Primerna mineralna sestava veziva	Sulfatno odporni cementi
Preprečevanje transportnih pojavov	Nizka permeabilnost, nizko izluževanje	Nizek C/S faktor C-S-H, dodatki pucolanskih materialov, nizek V/C faktor
	Material brez poškodb	Primerna nega, zrelost materiala ob obremenitvi, cementi z nizkimi skrčki ...

54

- Cementi z nizko hidratacijsko toploto imajo dodatno oznako »LH«. Zanje velja omejitev sproščanja toplote max. 270 J/g pri 7 dneh (skladno s testom EN 196-8).
- Za razrede zgodnje trdnosti se uporabljajo oznake
 - »L« - nizka zgodnja trdnost,
 - »N« - običajna zgodnja trdnost in
 - »R« - visoka zgodnja trdnost.
- Tipični cementi z nizko zgodnjo trdnostjo (z dodatno oznako »L«) so žlindrini (=CEM III) cementi. Ti cementi lahko zahtevajo posebne ukrepe, npr. poznejše razopaženje in odstranitev podpor ali daljšo nego v slabih vremenskih pogojih.

55

Mehanske in fizikalne zahteve, navedene kot karakteristične vrednosti

Trdnostni razred	Tlačna trdnost (MPa)				Čas začetka vezanja min	Prostorninska obstojnost (ekspanzija) mm
	Zgodnja trdnost		Standardna trdnost			
	2 dneva	7 dni	28 dni			
32,5 L	-	≥ 12,0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75	≤ 10
32,5 N	-	≥ 16,0				
32,5 R	≥ 10,0					
42,5 L	-	≥ 16,0	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	
42,5 N	≥ 10,0	-				
42,5 R	≥ 20,0	-				
52,5 L	≥ 10,0	-	≥ 52,5	-	≥ 45	
52,5 N	≥ 20,0	-				
52,5 R	≥ 30,0	-				

56

SIST 1026 - Preglednica N.3: Uporabnost cementov po SIST EN 197-1 za proizvodnjo betonov, skladnih s SIST EN 206-1 (informativna)

	Ni novarnosti korozije ali agresivnega delovanja	Stopnje izpostavljenosti																							
		Korozija zaradi karbonatizacije	Korozija zaradi kloridov										Zmrzovanje/tajanje	Kemično agresivno okolje						Abrazija					
			Morska voda					Drugi kloridi						Sulfati (SO ₄ ²⁻)									Druge kemične karakteristike		
			X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2		XD3	XF1	XF2 ¹⁾	XF3 ²⁾	XF4 ²⁾	XA1				XA2	XA3	XA1
1	CEM I	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
2	CEM III/A-S	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
3	CEM III/B-S	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
4	CEM III/A-D	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
5	CEM III/A-P	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
6	CEM III/B-P	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
7	CEM III/A-Q	+	X	X	X	X	X	+	+	+	X	X	X	X	X	+	+	+	+	+	+	X	X	X	
8	CEM III/B-Q	+	X	X	X	X	X	+	+	+	X	X	X	X	X	+	+	+	+	+	+	X	X	X	
9	CEM III/A-V	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	X	X	+	
10	CEM III/B-V	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	X	X	+	
11	CEM III/A-W	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	X	X	+	
12	CEM III/B-W	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	X	X	+	
13	CEM III/A-T	+	X	X	X	X	+	+	+	+	X	X	X	X	X	+	+	+	+	+	+	X	X	X	
14	CEM III/B-T	+	X	X	X	X	+	+	+	+	X	X	X	X	X	+	+	+	+	+	+	X	X	X	
15	CEM III/A-L	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	X	X	+	
16	CEM III/B-L	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	X	X	+	
17	CEM III/A-LL	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	X	X	+	
18	CEM III/B-LL	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	X	X	+	
19	CEM III/A-M	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	X	X	+	
20	CEM III/B-M	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	X	X	+	
21	CEM III/A	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	X	X	+	
22	CEM III/B	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	X	X	+	
23	CEM III/C	+	X	X	X	X	+	+	+	+	X	X	X	X	X	+	+	+	+	+	+	X	X	+	
24	CEM IV/A	+	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
25	CEM IV/B	+	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
26	CEM V/A	+	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
27	CEM V/B	+	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

Legenda

+ Uporabi je primerna.

- Uporaba se odsvetuje in je mogoča le na podlagi dokaznih preiskav.

X Uporaba je mogoča na podlagi dokaznih preiskav.

¹⁾

Priporočljiva je uporaba sulfatno odpornega cementa.

²⁾

Uporaba koncepta k-vrednosti z EF: pepelom ni primerna.

57

SIST EN 14216

- SIST EN 14216 obravnava cemente z zelo nizko toploto hidratacije, označuje jih z »VLH«, npr. VLH III/C 22,5, VLH IV/B-P 22,5 ali VLH V/A (S-V) 22,5.
- Pri vseh teh cementih je karakteristična trdnost po 28 dneh med 22,5 in 42,5 MPa, začetek vezanja ≥ 75 minut, prostorninska obstojnost (ekspanzija) ≤ 10 mm, hidratacijska toplota < 220 J/g.

58

SIST EN 15743

- SIST EN 15743 obravnava supersulfatni cement. Ta vsebuje vsaj 75 % granulirane plavžne žlindre (iz hitrega hlajenja žlindre z vodo ali skozi vodo) in 5 do 20 % kalcijevega sulfata (dihidrata, polhidrata ali anhidrita). Portlandskega cementnega klinkerja je do 5%. So pa še aditivi za pospešitev aktivacije in za hitrejšo hidratacijo žlindre.
- Trdnostni razredi so 32,5 do 52,5, hidratacijska toplota pod 220 J/g.
- Primer oznake: SSC 32,5 L ali SSC 42,5 N
- Tega cementa se ne sme mešati s PC cementom, apnom ali mavcem. Dobro je treba očistiti transportna vozila. Cement je problematičen za toplotno obdelavo (»s parjenjem«), tudi razopazjenje je možno šele kasneje.

59

SIST EN 14647

- SIST EN 14647 obravnava kalcijev aluminatni cement. Surovina je povsem drugačna od portlandskega cementa: aluminatna in kalcijeva. Cement se v posebnih (ne rotacijskih) pečeh žge do višje temperature, da se surovina že stali. Vsebnost aluminatov (Al_2O_3) je med 35 in 58%.
- Oznaka: CAC
- Tlačna trdnost po 6 urah ≥ 18 MPa, po 24 urah ≥ 40 MPa, 28-dnevne trdnosti niso bistvene. Za dobro obdelovalnost se priporoča doza cementa minimalno 400 kg/m³. Priporočeno v/c razmerje je do 0,40, da se tako kompenzira fenomen konverzije (= prekrizalizacije), ki povzroči izgubo dela trdnosti.
- Pri reakciji z vodo najprej nastaneta nestabilna heksagonalna hidrata CAH_{10} in C_2AH_8 , ki kasneje v okviru neizogibne in ireverzibilne konverzije preideta v stabilna kubična hidrata C_3AH_6 ter AH_3 . Konverzija traja pri 20°C več let, pri 80°C pa le par ur, ob njej se poveča tudi poroznost cementnega kamna. Apnenčev agregat za mešanje betona lahko konverzijo upočasni. Po konverziji trdnost ne pada več.

60

v/c razmerje	trdnost pred konverzijo	trdnost po konverziji
0,35	82 MPa	45 MPa
0,45	65 MPa	27 MPa
0,55	48 MPa	16 MPa
0,65	47 MPa	8 MPa

- Kalcijevega aluminatnega cementa se ne sme mešati z apnom (vezanje bi se pospešilo, strjevanje upočasnilo, končne trdnosti so nižje) ali s portlandskim cementom (ko lahko dobimo celo hitrovezno mešanico). Hidratacijska toplota je visoka, med 400 in 500 J/g, ker še sama reakcija poteka zelo hitro, lahko znotraj betona že po parih urah izmerimo temperaturo 70°C in več. Zato obstaja velika nevarnost temperaturnih razpok.
- Cement nima nevarnega nabrekanja, krčenje je podobno kot pri portlandskem cementu, potrebna je skrbna nega v izogib zgodnjim razpokam.
- Cementni silos je treba pred polnjenjem z aluminatnim cementom skrbno izprazniti in očistiti. Agregat ne sme vsebovati sljude, feldspata in prostih alkalij. Ni dovoljena uporaba reciklažne vode (ker so v njej ostanki portlandskega cementa). Kemijski dodatki betonom imajo lahko drugačen učinek.
- Alumintani cement zagotavlja boljšo kemijsko odpornost, boljšo odpornost na visoke temperature in temperaturne šoke, višjo abrazijsko odpornost, lažje betoniranje pozimi. Uporaben je tudi za hitro sanacijo običajnih betonskih elementov, z epoksidnim veznim slojem.

61



z varro že 20 let

TEHNIČNI LIST: ISTR4-40
Hitrovezni kalcijev aluminatni cement (CAC)

Splošne informacije
ISTR4 40 je hitrovezni kalcijev aluminatni cement (CAC), z visokimi zgodnjimi trdnostmi. Te so bistveno višje od običajnega kalcijevega silikatnega cementa (Portland cement). ISTR4 40 je sestavljena iz kalcijevih aluminatov z naslednjimi značilnostmi:

- Zelo zgodnje trdnosti
- Odpornost na visoke temperature
- Visoka odpornost proti obrabi
- Odpornost proti koroziji biogene žveplove kisline (BSAC)
- Razvije veliko toploto pri hidrataciji, zato je uporaben za betoniranje pri zelo nizkih temperaturah.

ISTR4 40 ustreza zahtevam EN 14647 za kalcijev aluminatni cement.
ISTR4 40 v originalni embalaži ima rok trajanja cca. šest (6) mesecev, če je shranjena na suhem.

Proizvodnja
ISTR4 40 je pridobljen s taljenjem izbranih surovin (boksit in apnenec) v posebnih pečeh. Po ohlajanju klinkerja, se ga fino zmele v krogljčnem mlinu. Cement izdeluje podjetje CALUCEM d.d.

Čas uporabnosti in potreba po vodi
Testiranje so izvedena s standardno malto na osnovi standarda EN 14647, ki vsebuje pesek ter vodo in cement v razmerju 0,41 vode na 1kg cementa.

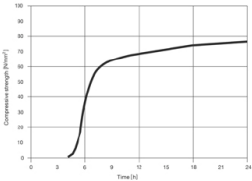
- Začetek vezanja: 1-4 h
- Konec vezanja: največ 6ur po začetku vezanja
- Povpraševanja po vodi: 24 ± 2%

Razvijanje moči
ISTR4 40 je cement z zelo visoko zgodnjo trdnostjo in visoko tlačno trdnostjo. Po enem dnevu je tlačna trdnost višja od tlačne trdnosti Portland cementa CEM I 52,5 R po 28 dneh. Testiranje je bilo izvedeno z malto v prizmah 4 x 4 x 16 cm, izdelano po DIN EN 14647, ki vsebujejo CEN-standardni pesek in z razmerjem voda / cement v višini 0,4.

Čas	6 h	1 d	3 d
Upogibna trdnost N/mm ²	4-8	7-10	9-12
Tlačna trdnost N/mm ²	30-70	60-100	70-120

Vsebnost vode po 24 urah: <2%

62



**TEHNIČNI LIST: ISTRA-40**

Hitrovezočni kalcijev aluminatni cement (CAC)

Tlačna trdnost s klasičnim Portland cementom po 28 dneh je oca 50N/mm² torej približno polovico trdnosti z ISTRA 40. Mešanice s Portland cementom začnejo vezati že po nekaj minutah, konec vezanja pa se podatja. Strogo je prepovedano mešanje betona ali malte po začetku vezanja. POZOR mešanice s Portland cementom niso primerne za konstrukcijske betone s statičnimi obremenitvami.

Odpornost proti koroziji

Visoka odpornost na odpadne vode v kombinaciji z izjemno odpornostjo proti obrabi in visoko odpornostjo proti koroziji žveplove kisline (BSAC) omogoča uporabo ISTRA 40 za kanalizacijske sisteme in odpadne vode. Kalcijev aluminat, ki se tvori pri hidrataciji je izredno odporen na agresivne, rahlo kisle vode (pH faktor> 3), vključno z vodotopnimi sulfati kot tudi mineralnimi soli, kloridi, nitrati in morsko vodo.

Odpornost na visoke temperature

V suhem betonu z ISTRA 40, se pri povišani temperaturi zelo počasi sproščajo hidratne vode, zato ne pride do pokanja betona kot pri Portland cementu. Pri visokih temperaturah (> 1000 °C), nastane keramična vez med aluminatnim cementom in ognjezdružnim agregatom. Zato je istra 40 odlično vezivo za ogrevane betone in malte.

Tehnični podatki

Naslednji podatki predstavljajo tipične izmerjene vrednosti. Kemijska sestava (%):

SiO ₂	≤ 6
Al ₂ O ₃	38-42
Fe ₂ O ₃	13-17
CaO	37-40
MgO	< 1,5
SO ₃	< 0,4

Mineraloška sestava

ISTRA 40 vsebuje predvsem monokalcijev aluminat (CA). Ta mineralna faza je odgovorna za visoke zgodnje trdnosti. Ko se cement zmeša z vodo se formira kalcijev aluminat hidrat kot produkt hidratacije.

Mineralna faza ISTRA 40

Glavna mineralna faza:	CA
manjši del mineralne faze:	C ₄ A,F, C ₂ A,S, C ₁₂ A ₇

Tehnične lastnosti cementa

ostanek na situ:	90 μm < 5%
specifična površina (Blaine):	3200-3700 cm ² /g
gostota:	1.15 g/cm ³
prostorninska masa:	3.2-3.3 g/cm ³
požarna odpornost cementa:	1270 °C

Varnostna navodila

Potrebno je upoštevati običajne varnostne ukrepe za cement. Podrobne informacije so v varnostnem listu.

Kakovost

Kot vsi drugi izdelki koncerna Calucem, je tudi proizvodnja ISTRA 40 pod strogim nadzorom kakovosti, ki se redno periodično izvajajo. Proizvodni obrat je certificiran v skladu z EN ISO 9001 - številka potrdila CH99/0297 in sistemom ravnanja z okoljem EN ISO 14001 - številka certifikata CH02/0962.

Tehnični list je približen prevod angleškega originala, ki ga dobite na naslovu:

<http://www.calucem.com/index.php?id=12>

63

Ostali cementi

- SIST EN 413 obravnava zidarski cement. Vezanje in strjevanje sloni na portlandskem cementu, ki ga je vsaj 25 % (za klaso MC 5) oziroma vsaj 40 % za obe višji klasi.

Oznake: MC 5, MC 12,5, MC 12,5 X, MC 22,5 in MC 22,5 X

»X« pomeni zidarski cement, ki ni aeriran.

- Ekspanzivni cement (ima še dodatek za nabrekanje)
- Beli cement (je običajno kar čisti portlandski cement CEM I R), ki ima izbrano surovino

64

MALTIT® z oznako po standardu SIST EN 413-1 Zidarski cement MC 5.
Maltit® je zidarski cement trdnostnega razreda 5, z dodanim sredstvom za aeriranje

- Lastnosti**
- boljša zračnost v primerjavi s tradicionalnimi maltami
 - povišana obstojnost ometov
 - povišan izolacijski učinek
 - dobra obdelavnost in oprijemljivost z mnogimi tipi podlage
 - hitro sušenje

Kemijske in fizikalne zahteve	Zahteve standarda	Povprečne vrednosti
Vsebnost sulfata (kot SO3)	≤ 2,5 %	< 2 %
Vsebnost zraka	8 % – 22 %	14 – 16 %
Tlačna trdnost, 28 dni	5 MPa – 15 MPa	8 MPa – 12 MPa
Netopni ostanek	≤ 5,0 %	0,5 %
Mehanske in fizikalne zahteve		
Zgodnja trdnost, 2 dni	≥ 10,0 MPa	25 MPa
Standardna trdnost, 28 dni	42,5 – 62,5 MPa	50 MPa
Čas začetka vezanja	≥ 60 min	160 min
Prostorninska obstojnost	≤ 10 mm	< 1 mm

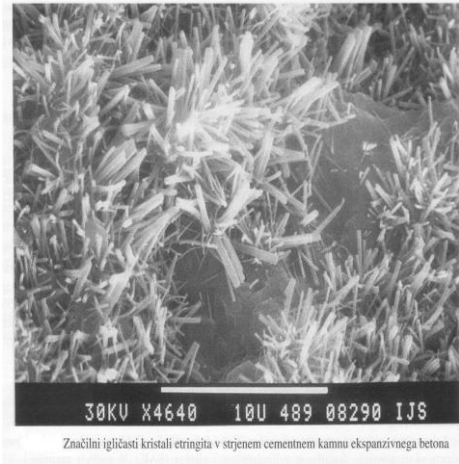
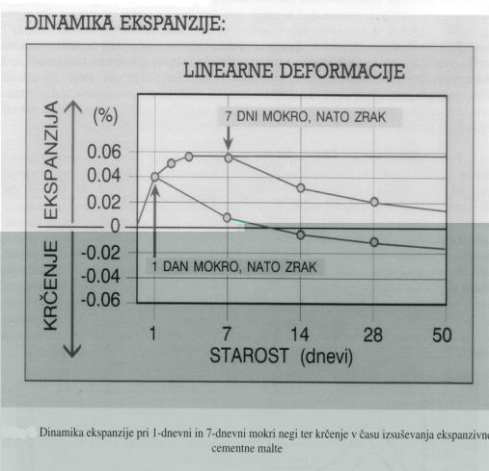
65

Maltit – mešalna razmerja

Vrsta malte	Volumensko razmerje MALTIT® : pesek	Primerna zrnastost peska	Poraba MALTIT®-a za 1 m3
Malta za zidanje	1 : 3	0 – 4 mm	300 – 340 kg
Malta za grobi omet	1 : 4	0 – 4 mm	240 – 280 kg
Malta za fini omet	1 : 2	0 – 1 mm	380 – 420 kg
	1 : 3	0 – 1 mm	280 – 320 kg

66

Dodatek za nabrekanje (sulfoaluminatni ekspanditor)
kristali etringita



67

običajni (sivi) cement

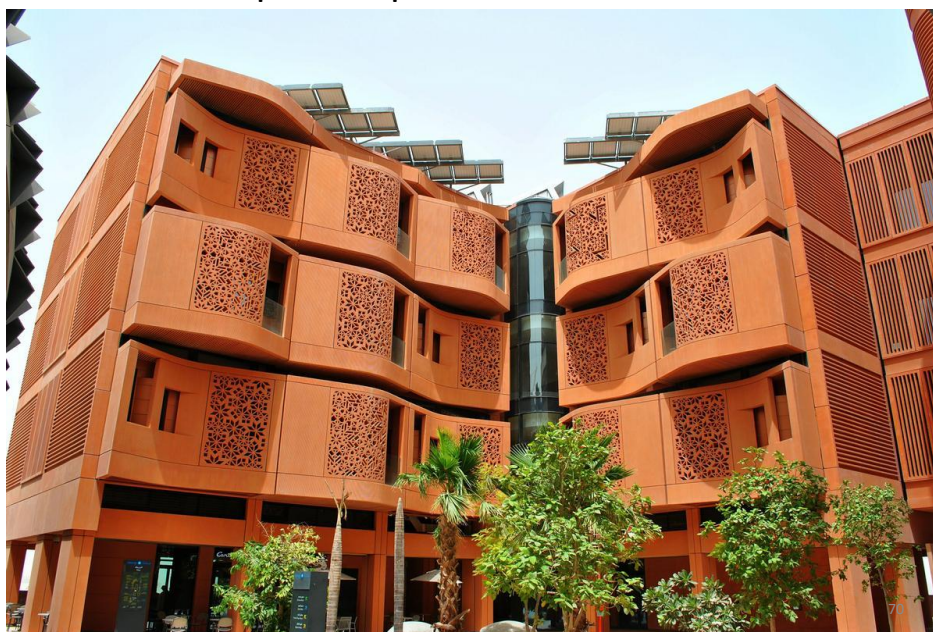
beli cement



8



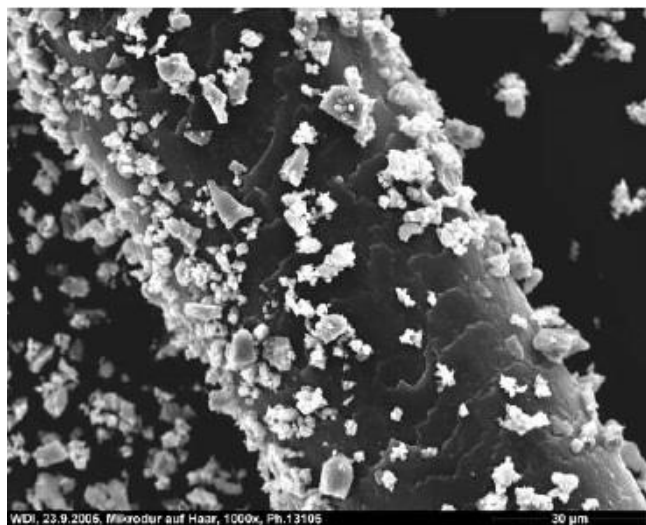
Z uporabo poliuretanskih matric







Mikro-cement



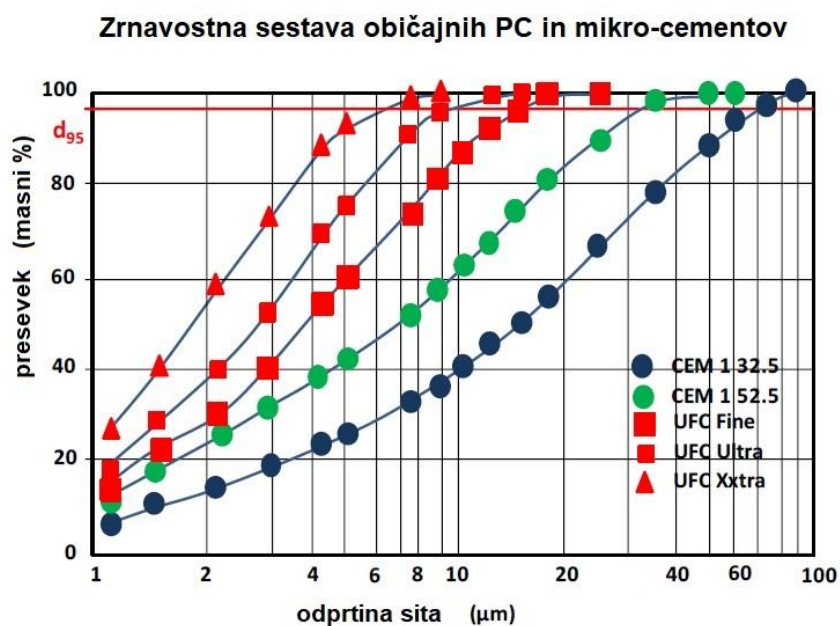
74

SIST EN 12715:2000 »Izvedba posebnih geotehničnih del – Injektiranje« določa, da sme biti za mikro-cement presevek na situ 20 mikronov najmanj 95 % in na situ 7,5 mikrona najmanj 50 %.

Mikro-cementi se uporabljajo:

- za injektiranje kamenin tunelov, jam in rudnikov pred in po izkopu – s ciljem tesnitve proti vodi in stabilizacije kamenin
- za injektiranje razpok v betonu
- za konsolidacijo šibkih in razdrobljenih skal
- za injektiranje zemljin – s ciljem stabilizacije in tesnitve proti podtalnici
- za zatesnjevanje vodnih vodov in kanalov

75



76

Glede na pogoje in element, ki ga izdelujemo, je torej pametno določiti optimalno vrsto cementa



77