

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



DIPLOMSKA NALOGA

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE STOPNJE OPERATIVNO GRADBENIŠTVO

Ljubljana, 2023

Univerza
v Ljubljani

*Fakulteta za
gradbeništvo in
geodezijo*



Kandidat/-ka:

Diplomska naloga št.:

Graduation thesis No.:

Mentor/-ica:

Predsednik komisije:

Somentor/-ica:

Član komisije:

Ljubljana, _____

POPRAVKI – ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
----------------	------------------	---------	--------

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju izr. prof. dr. Andreju Kryžanowskemu in somentorju mag. Dejanu Bogataju, kot tudi vsem sodelavcem za pomoč pri pisanju diplomske naloge in odgovorom na vsa moja strokovna vprašanja. Zahvaljujem se tudi Gorenjski Gradbeni Družbi d.d., ki me je finančno podpirala pri zadnjem letu študija. Zahvaljujem se moji družini za spodbudo in pomoč pri študiju, še posebej moji mami ter punc.

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 691.32:72(497.4Bled)(043.2)
Avtor: Urh Starina
Mentor: izr. prof. dr. Andrej Kryžanowski, univ.dipl.inž.grad.
Somentor: mag. Dejan Bogataj, univ.dipl.inž.grad.
Naslov: Tehnologija vgradnje in finalna obdelava konstrukcijskih betonov na primeru izgradnje Muzeja sodobne umetnosti Bled »Lah contemporary«
Tip dokumenta: Diplomaska naloga – visokošolski strokovni študij
Obseg in oprema: 62 str., 9 pregl., 52 sl., 16 vir.
Ključne besede: vidni beton, beton, izvedba, finalna obdelava, tehnologija

Izvleček

V sodobnem gradbeništvu je vidni beton zaradi svoje estetske privlačnosti vse bolj uporabljen arhitekturni element. V tej diplomski nalogi je na praktičnem primeru Muzeja sodobne umetnosti »Lah contemporary« na Bledu predstavljena izvedba vidnih betonov ter vseh pripadajočih pogojev. Definirane so splošne zahteve vidnih betonov, ki jih povezujem z zahtevami obravnavanega objekta. Predstavljen je vidni beton ter opisana betonska mešanica in zahteve, povezane s pripravo betonske mešanice vidnega betona. Opisan je postopek vgradnje betona ter zahteve povezane z vgradnjo. Poleg tega je opisana še zaključna obdelava vidnih betonov ter s tem povezan primer zapolnjevanja lukenj od vezav opaža in reološke lastnosti otrdelega betona. Za konec podam nekaj primerov izvedbe in rešitev posebnih detajlov, ki so se izvajale na objektu.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 691.32:72(497.4Bled)(043.2)
Author: Urh Starina
Supervisor: Assoc. Prof. Andrej Kryžanowski, Ph.D.
Co-supervisor: M.Sc. Master Dejan Bogataj, B.Sc.
Title: Installation technology and final processing of structural concretes on the example of the construction of the Museum of Contemporary Art Bled "Lah contemporary"
Document type: Graduation Thesis – Higher professional studies
Notes: 62 p., 9 tab., 52 fig., 16 ref.
Keywords: visible concrete, concrete, execution, concrete final processing, technology

Abstract

In modern construction, visible concrete is increasingly used due to its aesthetic attractiveness. In this thesis, the practical case of the Museum of Contemporary Art in Bled presents the implementation of visible concretes and all associated conditions. I define the general requirements of visible concrete, which I associate with the requirements of the object. The visible concrete is presented and the concrete mixture described and the requirements related to the preparation of the recipe of visible concrete. The installation process of concrete and the requirements related to installation is described. In addition, the finishing of visible concrete is described, as well as the associated case of filling the holes from the bindings of panelling and the reologic properties of hardened concrete. Finally, I give some examples of the implementation and solutions of the specific details that were implemented on the building.

VSEBINA

POPRAVKI – ERRATA.....	I
ZAHVALA.....	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
KAZALO SLIK.....	VII
KAZALO PREGLEDNIC	IX
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI / ABBREVIATIONS AND SYMBOLS.....	X
1 UVOD	1
1.1 Namen in cilj diplomskega dela	1
2 OBJEKT IN ZAHTEVE.....	3
2.1 Notranja kontrola gradnje	4
2.2 Splošne zahteve za obdelave pri opaženi površini za vidne betone	6
2.3 Odstopanja ravnosti.....	8
2.4 Barvno odstopanje	9
2.5 Zahteve povezane z nego in zaščito betona	10
2.6 Zahteve pri delovnih stikih.....	12
2.6.1 Bela kad	13
2.6.2 Razpoke v betonu.....	14
2.6.3 Reološke lastnosti otrdelega betona.....	14
2.6.4 Krčenje betona	14
3 VIDNI BETON	17
3.1 Vrsta betonov, uporabljenih pri gradnji.....	17
3.1.1 Cement.....	20
3.1.2 Agregat.....	20
3.2 Razred poseda.....	22
3.3 Dodatki betona	22
4 VGRAJEVANJE BETONA	24
4.1 Zgoščevanje betona	25
4.1.1 Faznost zgoščanja	27
4.1.2 Revibriranje	28
4.2 Zaključna obdelava vidnih betonskih površin.....	29
4.3 Zapolnjevanje lukenj od vezav opaža.....	32
4.3.1 Zaščitni premazi.....	33
5 PRIMERI REŠEVANJA DETAJLOV.....	36
5.1 Reševanje problema segregacije na območju pod odprtini.....	36
5.1.1 Predlog za drugačno izvedbo detajla	37
5.2 Dvojni opaž pri špaleti.....	39
5.2.1 Predlog za drugačno izvedbo detajla	42
5.3 Sanacija segregacije	43

5.3.1	Predlog za drugačno izvedbo, ki bi zmanjšala problem segregacije	45
6	ZAKLJUČEK	47
VIRI		49

KAZALO SLIK

Slika 1: Prikaz gradbišča v naravi (Microsoft Bing zemljevidi, 2023)	3
Slika 2: Organizacija gradbišča.....	4
Slika 3: Idealizacija vidnih površin za različne razrede VB (SIST EN 13670, 2010)	7
Slika 4: Teoretični prikaz merjenja ravnosti	9
Slika 5: Prikaz barvnega odstopanja med dvema sosednjima površinama za 1 odtenek (SIST TP CEN/TR 15739, 2009)	10
Slika 6: Prikaz barvnega odstopanja med dvema diagonalnima površinama za 1 odtenek (SIST TP CEN/TR 15739, 2009)	10
Slika 7: Prikaz delovnega stika	12
Slika 8: Prikaz delovnega stika ter stikov vezanih plošč (z rdečo delovni stik, z zeleno stiki vezanih plošč).....	13
Slika 9: Skica zidu - zaporednost betoniranja po principu "šahovnice".....	14
Slika 10: Prikaz preizkusa maksimalne globine prodora vode v beton (Vir: Water penetration test)... ..	19
Slika 11: Prikaz teksture betona po brušenju in štokanju.....	21
Slika 12: Betoniranje z avtočrpalko	24
Slika 13: Betoniranje s košaro s pomočjo žerjava.....	24
Slika 14: Pošpricane armaturne palice z betonom.....	25
Slika 15: Prikaz vibriranja stene.....	26
Slika 16: Prikaz pravilnega in nepravilnega načina zgoščevanja betona (Šušteršič, J., Ercegovič, R. 2021)	26
Slika 17: Prikaz hitrosti vgradnje betona z eno vibracijsko iglo glede na karakteristike igle. (Šušteršič, J., Ercegovič, R. 2021)	27
Slika 18: Primeri delovnega območja vibratorja - razmik med vbodom igle glede na debelino vibracijske igle (Šušteršič, J., Ercegovič, R. 2021)	27
Slika 19: Nastanek razpoke nad armaturno palico zaradi naknadnega posedanja betona (Šušteršič, J., Ercegovič, R. 2021).....	28
Slika 20: Prikaz faznosti zgoščevanja in spajanja dveh slojev betona med zgoščevanjem z iglo (Šušteršič, J., Ercegovič, R. 2021)	28
Slika 21: Uporabljeno orodje za brušenje betona.....	29
Slika 22: Prikaz različnih struktur betona na delovnem stiku po brušenju in štokanju	30
Slika 23: Brušenje stene	30
Slika 24: Štokanje stene	31
Slika 25: Uporabljeno orodje (udarna glava) za štokanje betona.....	31
Slika 26: Na zgornjem delu štokan beton, spodaj samo brušen	31
Slika 27: Prikaz sanacije zračnih luknjic s polimerno maso	32

Slika 28: Sanacija po brušenju in štokanju	32
Slika 29: Primer nevidnega dela stene s sistemskimi opaži (na levi je odtis od čepa, na desni pa luknja od vezave opaža)	33
Slika 30: Luknja od vezave opaža (vidni beton)	33
Slika 31: Zapolnjena luknja od vezave opaža	33
Slika 32: Luknja po brušenju.....	33
Slika 33: Odprtina za okno (notranja nevidna stran).....	36
Slika 34: Prikaz odprtine v opaznem načrtu (Vir: Dolenec, A., Pelc., L., Kern, P., Lončar, K., Čeligoj, T., Bučar Kitner, B., Rotar, M., Kitner (PZI), 2021).....	36
Slika 35: Skica delovnih faz, delovnih stikov in pozicij vezanih plosč.....	37
Slika 36: Opaž špalete odprtine in cevi	37
Slika 37: Zaključen detajl.....	37
Slika 38: Prikaz rešitve z odprtino.....	38
Slika 39: Skica faz betoniranja	38
Slika 40: Skica predloga ojačitve opaža	39
Slika 41: Skica detajla vidnega betona	40
Slika 42: Prikaz pasu betona okoli odprtine	40
Slika 43: Zaključek vidnega dela z vrati (neustrezno).....	40
Slika 44: Skica zaključka odprtine brez in z letvico (leva stran brez, desna z letvico – pred in po brušenju)	41
Slika 45: Prikaz neustreznega zaključka okna.....	41
Slika 46: Prikaz roba po razopažanju dvojnega opaža	42
Slika 47: Odrezan rob – brez odkruškov	42
Slika 48: Skica faz rešitve brušenja stene.....	43
Slika 49: Primer segregacije	43
Slika 50: Prikaz sanacije segregacije betona	44
Slika 51: Prikaz saniranega dela stene po betonaži	44
Slika 52: Prikaz rešitve segregacijskih mest s kontraktorskimi cevmi	45

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Priporočilo za določitev izvedbenega razreda (SIST EN 13670, 2010).....	5
Preglednica 2: Splošne zahteve za obdelave pri opaženi površini in razredi vidne površine betona (SIST EN 13670, 2010).	6
Preglednica 3: Razred ravnosti (SIST TP CEN/TR 15739, 2009).	8
Preglednica 4: Odstotek predpisane karakteristične tlačne trdnosti po 28 dneh glede na razred nege (SIST TP CEN/TR 15739, 2009).....	11
Preglednica 5: Najkrajši čas nege (SIST TP CEN/TR 15739, 2009).	11
Preglednica 6: Stopnja izpostavljenosti (Bokan Bosiljkov, V. 2023).	17
Preglednica 7: Predvidene vrste betona za različne gradbene elemente (Šušteršič, J., Ercegovič, R. 2021).	19
Preglednica 8: Vrste cementov (SIST EN 197-1, 2011).	20
Preglednica 9: Razred poseda (SIST EN 12350-2, 2019)	22

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI / ABBREVIATIONS AND SYMBOLS

SIST	Slovenski inštitut za standardizacijo
EN	(nemško Europäische Norm); evropski standard
VB	Vidni beton
TR	(angleško Technical Report); tehnično poročilo
TP	Tehnično poročilo
CEN	(angleško Committee for Standardization); Evropski odbor za standardizacijo
PV	Prodor vode

1 UVOD

Beton je postal ključni gradbeni material v nosilnih konstrukcijah številnih vrst objektov. Uporablja se ga zaradi svoje visoke trdnosti, obstojnosti, ognjevarnosti in relativno nizkih stroškov. Ena od glavnih prednosti betona je njegova prilagodljivost in oblikovalska svoboda. Beton je lahko ulit v različne oblike in velikosti ter omogoča izdelavo kompleksnih geometrijskih oblik. Ta prilagodljivost omogoča graditeljem in arhitektom ustvarjanje edinstvenih ter inovativnih zgradb, ki izstopajo tako po svoji funkcionalnosti kot tudi estetiki.

Kljub vsem prednostim betona pa je ključnega pomena pravilno izvajanje tehnologije vgradnje. Pravilna priprava betonske mešanice, nadzor kakovosti in izpolnjevanje standardnih zahtev so bistveni koraki za zagotavljanje trajnosti in zanesljivosti betonskih konstrukcij.

1.1 Namen in cilj diplomskega dela

Za temo, povezano z vidnimi betoni, sem se odločil, ko sem pri projektu Muzej sodobne umetnosti Bled videl, kako zahtevna je sama izvedba vidnih betonov. Zanimalo me je, kakšne so zahteve pri uporabi vidnih betonov na projektu, hkrati sem želel preučiti rešitve posebnih detajlov, ki jih ne vidimo na običajnih objektih. Pri obravnavanih detajlih iz gradbišča, želim izpostaviti pomanjkljivosti in prednosti, ter podati svojo rešitev.

Namen diplomskega dela je raziskati in analizirati različne vidike tehnologije vgradnje betona oziroma vidnih betonov in s tem povezanimi zahtevami. Osredotočiti se moram na pomembne vidike, kot so notranja kontrola kakovosti, priprava betonske mešanice, in vse pripadajoče zahteve – vgradnjo, zgoščevanje, zaključno obdelavo površine ter načine končne zaščite betonskih konstrukcij. Za konec bom opisal nekaj rešitev detajlov na objektu in predlagal izboljšave.

Cilj diplomskega dela je podrobno prikazati in raziskati zahtevnost izvedbe vidnega betona v gradbeništvu na primeru izgradnje Muzeja Sodobne Umetnosti na Bledu. Vidni beton predstavlja posebno zahtevno področje, saj projekt zahteva visoko kakovost končnega izdelka tako glede estetskega videza kot tudi tehničnih lastnosti.

»Ta stran je namenoma prazna.«

2 OBJEKT IN ZAHTEVE

Obravnavani objekt Muzej sodobne umetnosti »Lah Contemporary« bo razstavni in skladiščni prostor za zasebno umetniško zbirko. Objekt ima približno 2500 m² notranjih razstavnih prostorov. Razstavljena dela zahtevajo poseben način osvetlitve z umetno ali naravno svetlobo, določene dimenzije prostorov, akustične in klimatske pogoje. (Dolenec, A., Pelc, L., Kern, P., Lončar, K., Čeligoj, T., Bučar Kitner, B., Rotar, M., Kitner, 2021) Objekt je izveden kot monolitna armiranobetonska konstrukcija in je delno vkopan, kar pomeni, da je na zadnjem delu objekt zasut do višine 2. etaže. Temeljen je na armiranobetonski temeljni plošči debeline 50 cm. Stene na zunanji strani objekta so vidne in predstavljajo fasado objekta, zato se toplotna izolacija izvaja na notranji strani objekta. Vsa vrata – notranja in zunanja so izdelana iz masivnega lesa, aluminijasta in kovinska.

Z gradnjo objekta smo pričeli v oktobru 2021, ki je trenutno še v teku. Gradbišče je urejeno na gradbeni parceli z dostopnim mestom iz severozahodnega dela objekta. Označeno je z gradbiščno tablo in zaščiteno z gradbiščno ograjo. Gradbiščna deponija je postavljena na gradbiščni parceli. V času gradnje smo morali poskrbeti, da se na cesto ne nanašata pesek in blato. Po končani gradnji bomo morali zagotoviti kakovostno vrnitev vseh prizadetih površin v prvotno stanje (npr. dostopna cesta). Deponija materiala je blizu vhoda gradbišča, kjer jo doseže žerjav. Pri večini izvajanja gradbenih del sta bila postavljena dva žerjava, saj z enim ne bi dosegli celotnega območja gradbišča. Na sliki 2 je prikazana organizacija gradbišča v fazi po odstranitvi enega žerjava. Deponija za zemeljska dela je približno 500 m oddaljena od gradbišča, saj na samem gradbišču ni dovolj prostora za odlaganje. Na gradbišču smo zaradi zahtevnosti projekta ter vizualizacije detajlov izvajali testno polje, na katerem smo predhodno testirali uporabnost vseh uporabljenih materialov in preverili izvedbo arhitektonskih detajlov, ki so bili uporabljeni v sami gradnji.



Slika 1: Prikaz gradbišča v naravi (Microsoft Bing zemljevidi, 2023)



Slika 2: Organizacija gradbišča

Udeleženci pri gradnji objektov so:

- **Investitor** je pravna ali fizična oseba, ki naroči graditev objekta, ali jo sam izvaja in projekt financira,
- **projektant** je pravna ali fizična oseba, ki opravlja storitve pri projektiranju,
- **izvajalec** je pravna ali fizična oseba, ki opravlja fizično gradnjo objekta in skrbi za organizacijo gradbišča, izvedbo gradbenih in/ali drugih del, upravljanje z delovno silo oz. podizvajalci in nabavo materialov,
- **nadzornik** je pravna ali fizična oseba in je neodvisni strokovnjak na področju gradbeništva, ki spremlja izvajanje gradnje v imenu investitorja.

Na obravnavanem projektu je investitor ARTARHIV d.o.o., projektant za gradbena dela ELEA iC, d.o.o., nadzornik IM PROJEKT d.o.o., izvajalec gradbenih del pa je Gorenjska Gradbena Družba d.d. Avtor projekta oz. arhitekt je David Chipperfield Architects ltd. Izvajalec gradbenih del je tudi vodilni izvajalec in posledično koordinira celotno gradnjo (za elektroinštalacijska, strojnoinštalacijska dela itd.). Gorenjska Gradbena Družba d.d. ima na gradbišču imenovano osebo za notranjo kontrolo gradnje.

V fazi gradnje sem pomagal pri notranji kontroli gradnje in pri obračunu gradbenih del. Z osebo, imenovano za notranjo kontrolo gradnje, sem kontroliral gradbene elemente ter sestavljal poročila skladnosti izvedbe. Pri obračunu sem delal priloge za knjigo gradbenih del. Priloge sem sestavljal na skicah ali načrtih, kjer so bile razvidne dimenzije gradbenih elementov, nato sem v Excelu izračunal količine.

2.1 Notranja kontrola gradnje

Za kvalitetno izveden objekt je najpomembnejša ustrezna izvedba. Za doseglo najboljše izvedbe je pomembna tudi notranja kontrola graditelja, saj se s tem na gradbišču izboljša izvedba pri graditelju ter morebitnih podizvajalcih. Standard SIST EN 13670 daje priporočilo za določitev izvedbenega razreda, ki nam pove, kaj in kako pogosto mora oseba, ki je izbrana za notranjo kontrolo kakovosti opravljati

nadzor. Skladno s standardom se v izvedbeni specifikaciji objekt uvršča v 2. izvedbeni razred (preglednica 1).

Pri 2. izvedbenem razredu je zahtevana notranja kontrola gradnje, ki mora zlasti zajeti dela z betonom in armaturo na elementih, ki so posebej pomembni za nosilnost in trajnost konstrukcije. Pri drugih konstruktivnih elementih se izvajajo naključna preverjanja, katerih obseg je odvisen od pomena elementa za nosilnost in trajnost konstrukcije. Vodstvo graditelja imenuje osebo za izvajanje notranje kontrole, ki mora imeti najmanj tri leta delovnih izkušenj pri izvajanju betonskih konstrukcij. (Standard SIST EN 13670, 2010)

Preglednica 1: Priporočilo za določitev izvedbenega razreda (SIST EN 13670, 2010).

Merilo za določitev izvedbenega razreda	1. izvedbeni razred	2. izvedbeni razred	3. izvedbeni razred
Vrsta konstrukcij	Stavbe do dveh nadstropij	Stavbe višje od dveh nadstropij Mostovi z razponom do 15 m Enostavni hidrotehnični objekti Enostavni objekti na cestah	Mostovi z razponom nad 15 m Stolpnice Hidrotehnični objekti Energetski objekti Objekti prometne infrastrukture
Konstrukcijski element	Nosilci in plošče z razponom do 10 m Običajne stene in stebri Enostavni pasovni in točkovni temelji	Nosilci in plošče z razponom nad 10 m Vitke stene in stebri Zahtevnejši plitvi in globoki temelji Oboki in lokovi z razponom do 10 m Enostavni prednapeti elementi	Zelo zahtevni plitvi in globoki temelji Lokovi z razponom nad 10 m Prednapeti elementi
Tehnologija gradnje	Betoniranje na objektu	Betoniranje na objektu Gradnja z montažnimi betonskimi elementi	Betoniranje na objektu Gradnja z vnaprej izdelanimi proizvodi in elementi s posebnimi tolerancami
Trdnostni razred betona	Do vključno C 25/30	Vsi	Do vključno C 50/60
Stopnja izpostavljenosti	X0, XC 1, XC 2	Vse	Vse
Armiranje	Običajno jeklo	Običajno jeklo in jeklo za prednapenjanje	Običajno jeklo in jeklo za prednapenjanje

Standard podaja tudi obseg in najmanjšo pogostost pregledov ter preizkusov posamezne vrste betona na mestu vgrajevanja za notranjo kontrolo kakovosti. Oceno skladnosti vgrajenega betona mora pripraviti izvajalec gradbenih del ali oseba, ki izvaja notranjo kontrolo kakovosti v obliki končne ocene kakovosti vgrajenega betona. Končna ocena o kakovosti vgrajenega betona, ki obsega:

- poročilo o vizualnem pregledu zgrajene konstrukcije ter ugotovljenih napakah in poškodbah na površini posameznih elementov,
- poročilo o vrednotenju rezultatov in preizkusov vseh lastnosti in prav tako oceno skladnosti,
- izjavo, da vgrajeni beton izpolnjuje zahteve, navedene v izvedbeni specifikaciji in v projektu betoniranja. (SIST EN 13670, 2010)

Na primeru izgradnje Muzeja Sodobne Umetnosti Bled je bila zahtevana:

- kontrola materialov v obliki pregleda certifikatov, izjav o lastnostih ali tehničnih soglasij za vse uporabljene materiale pri gradnji nosilne konstrukcije,
- ocena skladnosti betona in izjava o izpolnjevanju zahtev.

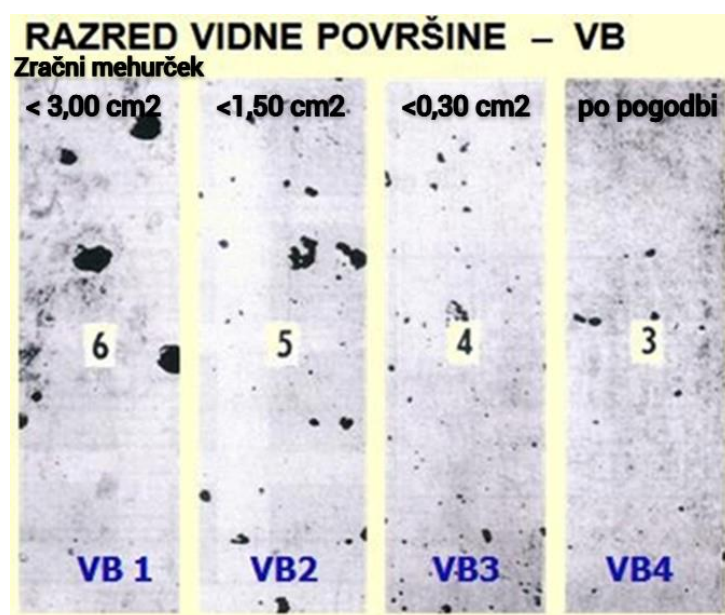
2.2 Splošne zahteve za obdelave pri opaženi površini za vidne betone

Standard SIST EN 13670 podaja tudi zahtevo obdelave in razrede vidnih površin betona (preglednica 2). Na sliki 3 so vizualizirane različne vrste vidnega betona.

Preglednica 2: Splošne zahteve za obdelave pri opaženi površini in razredi vidne površine betona (SIST EN 13670, 2010).

Vrsta	Običajna uporaba	Splošne in/ali posebne zahteve, razred vidne površine betona (VB)
Osnovna obdelava VB 0	Če ni potrebna nobena posebna zahteva –npr. temelji	Brez segregacije, krušenja robov ali izcedkov. Izvedena poravnava z letvijo, zaribana oziroma zaglajena zgornja – odprta ploskev. Beton brez zahtev za vidno površino, VB 0
Navadna obdelava VB 1	V primeru, ko zunanji videz ne igra vloge ali kadar je obdelava z nanosom - kot na primer ometanje površin ali nevidne površine, npr. notranjost cevi ali dvigalnih jaškov.	Enako kot za VB 0, ter dodatno: brez večjih zračnih luknjic, vendar največ 3 % na celotno površino. Koncentracija por v skupinah na 10 % od celotne površine. Opazovalec je najmanj na 10 m od površine betona.
Enostavna obdelava VB 2	V primeru, kjer ima vizualni izgled ključno vlogo – kot na primer površine, ki so priložnostno vidne in neposredno pobarvane ter obdelane.	Enako kot za VB 1 in dodatno: - brez večjih zračnih luknjic, največ 2 % na celotno površino. Koncentracija por v skupinah na 5 % od celotne površine. Površine se lahko še fino brusi kot dodaten zahtev pri barvanju arhitektonsko obdelanih površin. Opazovalec je najmanj na 5 m od površine betona.

Posebna obdelava VB 3	V primeru, ko je beton viden in predstavlja fasado objekta.	Brez segregacije, krušenja robov, izcedkov, eflorescence in mikro razpok na površinskem sloju. - Barvno odstopanje dovoljeno po kriteriju C(3), - zračne luknjice in tekstura po T(3) – glej sliko 3, - ravnost pa po kriteriju P(3) prCEN/TR 15739:2007 (E) oz. največ 6 mm pod ravnilom 200 mm oz. 12 mm pod 2 m letvijo. Pri opazovalcu, oddaljenem najmanj 5 m od površine betona, opažena napaka na površini ne sme biti večja od 15 cm².
Posebna obdelava VB 4	Reprezentančni elementi objekta – visoka gradnja, nizka gradnja	Enako kot za VB 3, dodatno pa: - barvno odstopanje dovoljeno po kriteriju C(4), - zračne luknjice in tekstura po T(4), - ravnost pa po kriteriju P(4) prCEN/TR 15739:2007 (E) oz. največ 3 mm pod ravnilom 200 mm oz. 8 mm pod 2 m letvijo. Površine lahko dodatno štokamo, fino ali grobo brusimo, peskamo z abrazivom ali kemično zavlečemo. Pri opazovalcu, oddaljenem najmanj 2 m od površine betona, opažena napaka na površini ne sme biti večja od 6 cm². O nadaljnjih zahtevah se dogovorita naročnik in izvajalec v pogodbi.



Slika 3: Idealizacija vidnih površin za različne razrede VB (SIST EN 13670, 2010)

Na primeru izgradnje Muzeja Sodobne Umetnosti Bled je zahtevan razred vidne površine VB 4, in sicer;

- barvno odstopanje dovoljeno po kriteriju C(4),
- zračne luknjice in tekstura po T(4), ki je specificirana v pogodbi; predpisuje največjo zračno luknjico površine 0,25 cm² (največji premer 5,64 mm) in globine manj kot 2 mm, omejuje skupno površino vseh zračnih luknjic na 1,2% celotne površine ter omejuje koncentrirane zračne luknjice na opazovanem delu površine na največ 2,5% opazovanega dela površine
- ravnost pa po kriteriju P(3).

Po uskladitvi z naročnikom so na vseh zunanjih vidnih površinah dovoljene manjše nepravilnosti v strukturi betona, površinska odstopanja v obliki efekta videza »marmorja«, potemnitve površine betona v linijah stikov opažev zaradi manjšega iztekanja iz opažev. Izvajalec pa ne more izvesti površine vidnega betona brez por zaradi mehurčkov v betonu, konstantne struktura por, površine brez prask in mikro razpok.

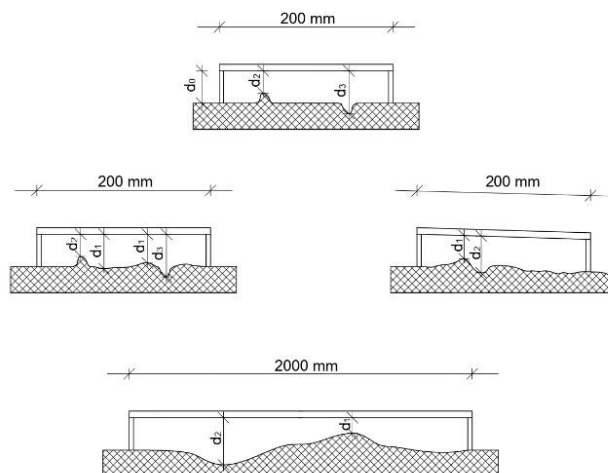
2.3 Odstopanja ravnosti

Dokument SIST TP CEN/TR 15739, ki vsebuje smernice za površinski videz prefabriciranega betona ter metode za preverjanje in ocenjevanje skladnosti videza prefabriciranega betona (lahko se uporablja tudi za opis videza izdelkov, za katere ni standarda), predpisuje splošno in lokalno ravnost za razred, je pomembno preverjanje ravnosti za doseg pravih projektnih zahtev. Za ravnost je bil v projektu izvajanja betonskih konstrukcij predpisan razred P(3) – preglednica 3.

Preglednica 3: Razred ravnosti (SIST TP CEN/TR 15739, 2009).

Razred ravnosti	Splošna ravnost (merjeno z dolžino letve 2 m)	Lokalna ravnost (merjeno z ravnilom dolžine 0,20 m)
P (0)	Ni pomembno	
P (1)	≤ 15 mm	≤ 6 mm
P (2)	≤ 8 mm	≤ 3 mm
P(3)	≤ 5 mm	≤ 2 mm
P(4)	Specificirano v pogodbi	

Splošno ravnost preverjamo tako, da letev postavimo v vse smeri površine, nato je največja razdalja med površino in letvijo je odstopanje ravnosti. Lokalna ravnost izvajamo z 20 cm ravnilom. Ravna roba ravnila moramo premakniti tako, da bi našli najvišjo grudo in najglobljo vdolbino, kjer je gruda na sliki 4; d₀ – d₂, vdolbina pa; d₃ – d₀. Merodajna je največja razdalja (npr. na levi ali desni strani utoru) med grebenom (d₁ – d₂) in utorom (d₃ – d₁) je merodajna. Valovitost (d₁ – d₂) je izmerjena z najvišjo in najnižjo točko pod ravnino z letvijo.



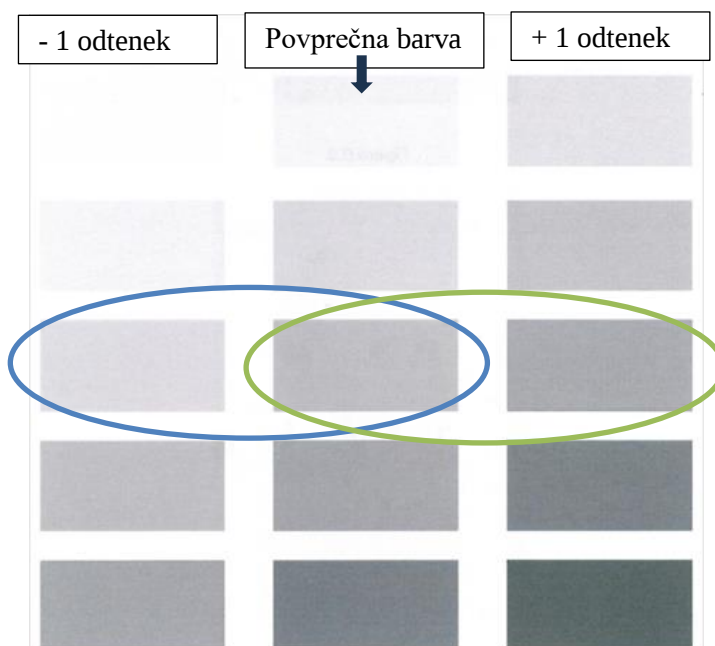
Slika 4: Teoretični prikaz merjenja ravnosti

2.4 Barvno odstopanje

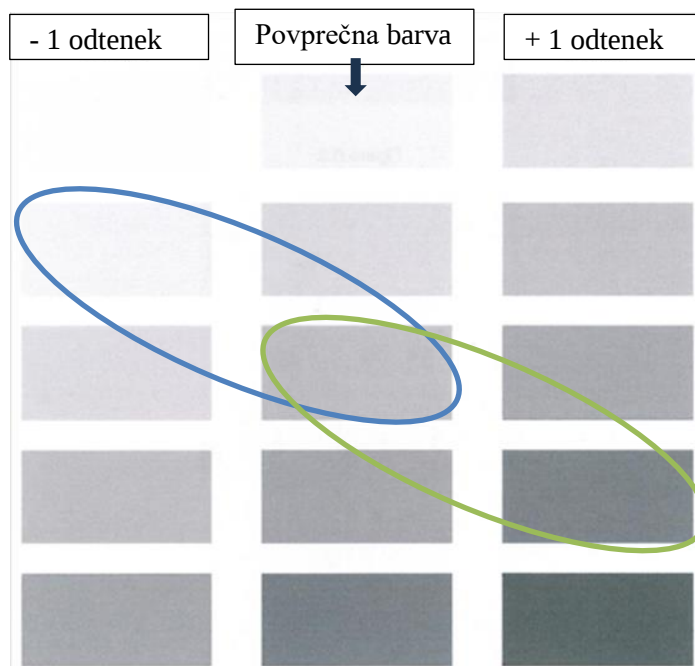
Barvno odstopanje je pri vidnih betonih pomemben faktor estetskega izgleda. Pri različnih pogojih betoniranja z enako betonsko mešanico se lahko zgodi, da je odtenek drugačen. Zato dokument SIST TP CEN/TR 15739 določa največje dovoljeno barvno odstopanje po naslednjih kriterijih:

- C (0), C (1), C (2) – nepomembni kriterij
- C (3) – dopustno odstopanje med sosednjima površinama znaša 1 odtenek,
– dopustno odstopanje med ne sosednjima površinama znaša 2 odtenka,
- C (4) – dopustno odstopanje med sosednjima površinama znaša 1 odtenek,
– dopustno odstopanje med ne sosednjima površinama znaša 1 odtenek. (SIST TP CEN/TR 15739, 2009)

Barvno odstopanje za obravnavani objekt je dovoljeno po kriteriju C(4), skladno s SIST TP CEN/TR 15739, kjer je prikazano barvno odstopanje s CIB lestvico sivine. Dopustno odstopanje med dvema sosednjima površinama na lestvici sivine CIB torej znaša 1 odtenek proti povprečni barvi. Dopustno odstopanje med dvema diagonalnima površinama pa znaša 1 odtenek proti povprečni barvi (slika 5 in 6).



Slika 5: Prikaz barvnega odstopanja med dvema sosednjima površinama za 1 odtenek (SIST TP CEN/TR 15739, 2009)



Slika 6: Prikaz barvnega odstopanja med dvema diagonalnima površinama za 1 odtenek (SIST TP CEN/TR 15739, 2009)

2.5 Zahteve povezane z nego in zaščito betona

Pri vidnem betonu je zelo pomembna nega in zaščita betona. Pri neustrezni negi mladega betona se pojavijo razpoke in mikrorazpoke, ki jih želimo čim bolj zmanjšati.

Mladi beton moramo negovati in zaščititi, da:

- zmanjšamo plastično tečenje,
- zagotovimo ustrezno trdnost površine,
- zagotovimo ustrezno trajnost v območju površinske plasti,
- zaščitimo pred škodljivimi vremenskimi razmerami,
- preprečimo zmrzovanje,
- zaščitimo pred škodljivimi vibracijami, udarci ali poškodbami. (SIST TP CEN/TR 15739, 2009)

Po končanem zgoščevanju in obdelavi površine betona moramo (izvajalec) del površine nemudoma negovati. S postopki nege moramo doseči počasno izparevanje s površine betona ali ohranjati stalno mokro površino. Za doseg tega si pomagamo s folijo in filcem, ki pokrije betonsko površino. Naravna nega zadostuje, če so ves potrebni čas nege razmere takšne, da je hitrost izparevanja s površine betona majhna, npr. v vlažnem, deževnem ali meglenem vremenu. (SIST TP CEN/TR 15739, 2009)

Izbira razredov nege je odvisna od stopenj izpostavljenosti izbrane sestave betona in izbrane debeline krovne sloja nad armaturo. Na obravnavanem objektu je predpisano betoniranje po principu šahovnice, kar v praksi pomeni betoniranje segmentov. V prvi fazi se betonira prvi segment in vsak drugi, nato se betonirajo še preostali vmesni segmenti (slika 9).

Predviden je 3. razred nege, ki predpisuje doseganje 50 % predpisane karakteristične tlačne trdnosti po 28 dneh (preglednica 4). Po betoniranju enega segmenta moramo počakati, da beton doseže vsaj 50 % predpisane karakteristične tlačne trdnosti. Šele nato lahko betoniramo sosednji segment, vendar je bilo zaradi reoloških lastnosti betona dogovorjeno, da se opaž betona odstrani po 14 dneh betoniranja stene. Po podatkih preizkusov tlačne trdnosti betona za zunanje stene z vidnim betonom VB 4 po 7 dneh doseže 80 % tlačne trdnosti.

Preglednica 4: Odstotek predpisane karakteristične tlačne trdnosti po 28 dneh glede na razred nege (SIST TP CEN/TR 15739, 2009).

	1. razred nege	2. razred nege	3. razred nege	4. razred nege
Odstotek predpisane karakteristične tlačne trdnosti po 28 dneh	Ni primerno	35 %	50 %	70 %

Razred nege podaja najkrajši čas nege in je odvisen od temperaturnega pogoja ter razvoja tlačne trdnosti posamezne sestave (betonske mešanice) betona. Razvoj trdnosti betona je razmerje med srednjo tlačno trdnostjo po 2 dneh in srednjo tlačno trdnostjo po 28 dneh, določeno iz začetnih preizkusov ali na podlagi poznanih lastnosti betona s primerljivo sestavo. (SIST TP CEN/TR 15739, 2009) Razvoj trdnosti betona v našem primeru je po podatkih preizkusov tlačne trdnosti hiter ($r \geq 0,50$) – preglednica 5.

Preglednica 5: Najkrajši čas nege (SIST TP CEN/TR 15739, 2009).

Temperatura na površini betona (t), °C	Najkrajši čas nege, dni		
	Razvoj trdnosti betona $f_{cm2}/f_{cm28} = r$		
	Hiter	Srednji	Počasen

	$r \geq 0,50$	$0,50 > r \geq 0,30$	$0,30 > r \geq 0,15$
$t \geq 25$	1,5	2,5	3,5
$25 > t \geq 15$	2,0	4	7
$15 > t \geq 10$	2,5	7	12
$10 > t \geq 5$	3,5	9	18

Po odstranitvi opaža mora izvajalec del glede na izvedbeni razred vse površine pregledati, ali so skladne z zahtevami. Nego betona moramo skladno z izvedbeno specifikacijo za vse zunanje vidne betone VB 4 izvajati še vsaj 10 dni po odstranitvi opaža, za nevidne pa vsaj 3 dni. Na gradbišču smo nego betona izvajali dlje od predpisanega časa, odvisno od betoniranja pri nizkih ali pri visokih temperaturah. Pri nizkih temperaturah smo nego betona izvajali do 14 dni. Betonsko površino smo pokrili s filcem in stalno vlažili.

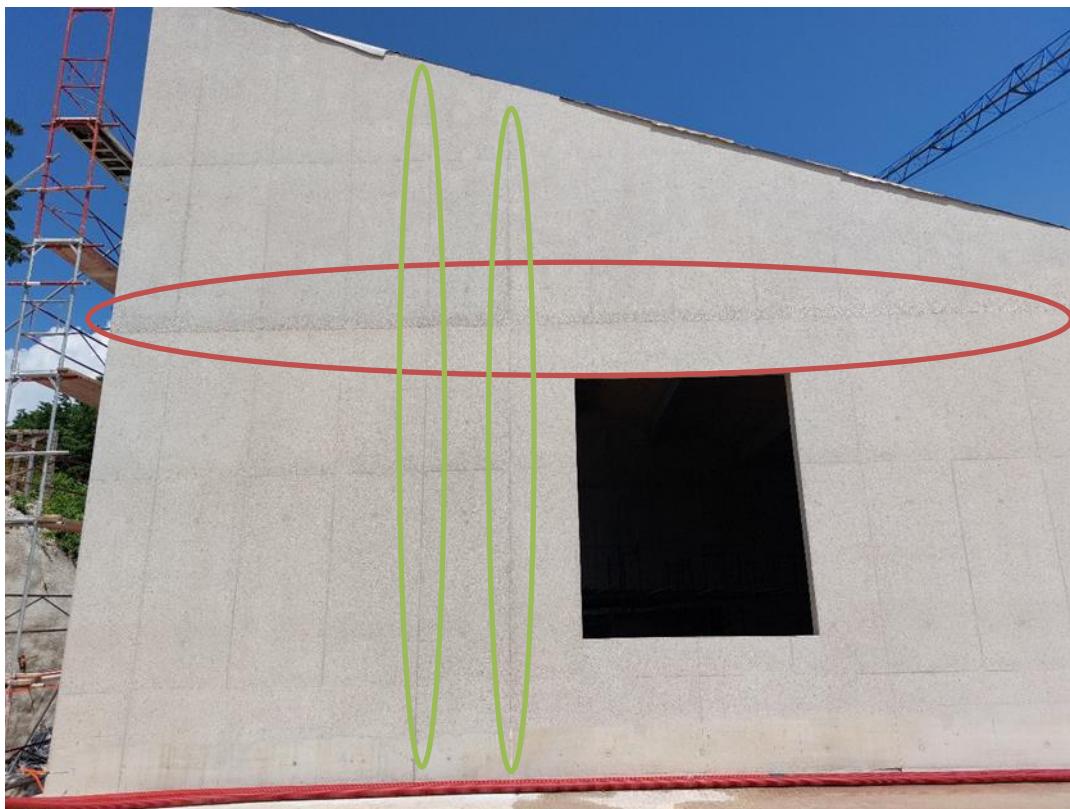
2.6 Zahteve pri delovnih stikih

Ko pri izvedbi zaključimo posamezna fazo betoniranja, pri naslednji nastane delovni stik med prejšnjo fazo in sedanjo. Delovni stiki so ena od šibkih točk pri armirano betonskih konstrukcijah, saj lahko preko stika vdre voda v konstrukcijo. Pri vidnih betonih so delovni stiki najbolj vidni, zato se jih poskušamo kar se da izogniti, ali jih postaviti tja, kjer bodo najbolj estetsko ugodni.



Slika 7: Prikaz delovnega stika

Arhitekturna zahteva pri betoniranju ovoja stavbe je bila, da so vsi delovni stiki ter stiki vezanih plošč zaradi estetskega izgleda na določenih višinah in razmakih, kar je otežilo izvedbo. Na podlagi preizkusov na testnem polju smo ugotovili, da na stikih vezanih plošč cementno mleko odteka in po vgradnji na stikih beton potemni (slika 8). Luknje od distančnih cevi (juvidur cevi) so bile na sredini vezanih plošč. V okolici distančnih cevi je hitreje prihajalo do segregacije, zato je bilo vibriranje betona tam še bolj pomembno.



Slika 8: Prikaz delovnega stika ter stikov vezanih plošč (z rdečo delovni stik, z zeleno stiki vezanih plošč)

2.6.1 Bela kad

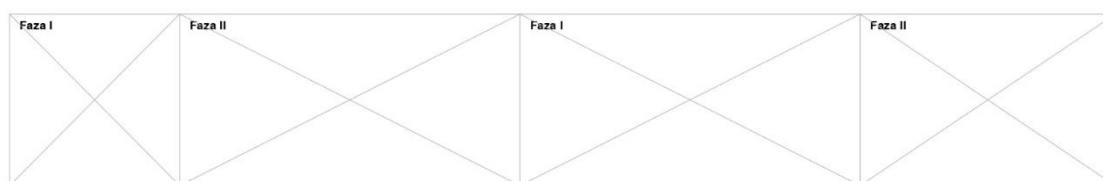
Na objektu je bil zahtevan sistem bele kadi, kar v praksi pomeni betonska kesonska konstrukcija, ki je sposobna prenašati obremenitev talne vode in zagotavljati vodotesnost brez dodatnega tesnilnega sloja. Takšna konstrukcija mora v osnovi izpolniti sledeče zahteve:

- debelina elementov betonske konstrukcije mora znašati minimalno 30 cm,
- vse delovne stike in preboje je treba učinkovito tesniti,
- tesnjenje mora biti narejeno v celoti, torej v vseh točkah,
- uporabljen mora biti vodotesni beton (minimalni kriteriji PV-II),
- vsi delovni stiki morajo biti kvalitetno narejeni in popolno zaliti z ustrezno zgoščenim betonom
- vgradnja betona mora biti kvalitetna
- razpoke morajo biti pod zahtevanim kriterijem širine, da ne prepuščajo vode oz. se same zacelijo. (Lespatex, 2023)

Pri tehnologiji izvedbe AB konstrukcij po sistemu bele kadi je pomembno tesnjenje šibkih točk. To so delovni stiki med fazami posameznih betoniranj, dilatacije, vezave od opažev (distančne cevi), distančnikov ipd. V splošnem velja, da ima beton, ki ima tehnologijo izvedbe po sistemu bele kadi, razpoke tanjše od 0,2 mm. Problem tesnjenja vode predstavljajo tudi segregacijska mesta (Simončič, K, 2018).

2.6.2 Razpoke v betonu

Da zagotovimo zahtevi betonske konstrukcije po sistemu bele kadi, je pomembno omeniti reološke lastnosti ter posledice. Beton je material, ki ima lastnost, da dobro prenaša tlačne napetosti, natezne pa ne. Glavni razlog za pojav razpok v betonu je ravno njegova nizka natezna trdnost, ki jo povečamo z dodajanjem armature. Natezne napetosti, ki predstavljajo pri betonu problem, nastanejo zaradi zunanje obtežbe na konstrukcijo, krčenja betona ter reoloških vplivov otrdelega betona. Zaradi omenjenih vplivov smo vse stene in plošče, ki so večjih dimenzij in brez dilatacij betonirali po segmentih, kot že omenjeno, po principu šahovnice. S tem omogočimo delovanje betona na krajšem razponu in omilimo razpoke. Ko je bila dosežena zadostna trdnost betona (skladno s projektno dokumentacijo dva tedna po vgradnji betona), se je lahko beton razopazal in betoniral naslednji segment.



Slika 9: Skica zidu - zaporednost betoniranja po principu "šahovnice"

2.6.3 Reološke lastnosti otrdelega betona

Pri kratkotrajnih obremenitvah, ki so manjše od dovoljenih napetosti, se beton obnaša elastično, podobno kot večina drugih nosilnih gradbenih materialov. To pomeni, da se material takoj po obremenitvi deformira in se po razbremenitvi povrne v svoje prvotno stanje. Vendar delovni diagram, ki opisuje razmerje med napetostjo in deformacijo, ni nujno linearen. Pod dolgotrajnimi obremenitvami pa beton leze. To pomeni, da se deformacije postopoma povečujejo s časom, tudi če napetosti v betonu ostajajo nespremenjene in so lahko relativno majhne. (Saje, D. 2016)

2.6.4 Krčenje betona

Poleg deformacij, ki jih povzroča zunanja obtežba, tudi krčenje betona vpliva na spremembo volumna. Vendar je krčenje betona pogosto ovirano, kar lahko povzroči natezne napetosti. Če te napetosti dosežejo natezno trdnost betona, se lahko pojavijo razpoke. Agregat ima najizrazitejši vpliv na velikost krčenja, saj ovira deformiranje cementnega kamna. Zrnavostna sestava in velikost največjega zrna agregata nimata neposrednega vpliva na velikost krčenja betona. Pri izbiri večjih zrn agregata, ob enaki vgradljivosti in enakem vodocementnem razmerju, potrebujemo manj cementa. Posledično bo tudi krčenje betona manjše. Krčenje betona je največje v začetni fazi, nato pa se postopoma zmanjšuje. (Saje, D. 2016)

Krčenje betona je lahko posledica:

- **Izhlapenja vode iz betona in hidratacije cementa;** med kemijskimi procesi hidratacije cementa se pojavlja krčenje cementne paste (znano kot avtogeno krčenje). Posledica tovrstnega

krčenja betona je izsuševanje v porah cementne paste. Povečuje se s povišanjem temperature, zmanjšanjem vodocementnega razmerja, večjo količino cementa, finosti mletja ter prisotnostjo drobnih delcev (npr. mikrosilika). Do krčenja površinskega sloja pride že v sveže vlitom betonu, kjer prihaja do izhlapevanja vode s površine. To vrsto krčenja imenujemo plastično krčenje. Notranji del betona, ki se ne more krčiti enako kot površinski sloj, ovira to krčenje. Posledično nastajajo natezne napetosti, ki lahko hitro dosežejo natezno trdnost mladega betona in povzročijo nastanek plitvih in relativno širokih razpok na površini. Da bi zmanjšali krčenje in preprečili nastanek razpok, je pomembna pravilna nega svežega betona. Nekatere deformacije zaradi krčenja so trajne, medtem ko je del deformacij povraten, ko je beton ponovno izpostavljen vlagi. (Saje, D. 2016)

- **Karbonatizacije;** Ogljikov dioksid povzroča kemijske reakcije v cementnem kamnu. Reakcije povzročijo nastanek kalcijevega karbonata in vode ter razgrajevanje drugih produktov hidratacije. Hitrost napredovanja korozije cementnega kamna zaradi karbonatizacije je odvisna od strukture por in še bolj od njihove vsebnosti vode. Vpliv ogljikovega dioksida je najmanjši, če so pore v cementnem kamnu povsem zapolnjene z vodo ali pa če v njih ni prisotne vode. Delno vlažen beton predstavlja najboljše pogoje za karbonatizacijo cementnega kamna. Poleg krčenja, karbonatizacija povzroča tudi povečanje trdnosti površinskega sloja betona. Visokotrdni betoni, ki imajo nizko prepustnost, so bolj odporni proti koroziji zaradi karbonatizacije kot betoni običajne trdnosti. (Saje, D. 2016)

»Ta stran je namenoma prazna.«

3 VIDNI BETON

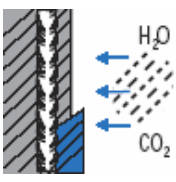
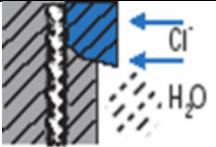
Vidni beton je vrsta betona, ki je oblikovan tako, da pokaže njegovo površino in naravno teksturo. Pri vidnem betonu, beton ni skrit pod drugimi materiali, kot npr. fasada, temveč je že dekorativni element, pri čemer je njegova zunanja površina namenoma izpostavljena. Poudarek pri vidnem betonu je na njegovi estetiki, zato je izvedba ključnega pomena.

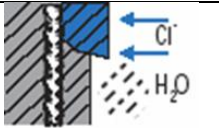
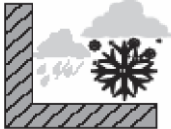
Vidni beton je v zadnjem času vedno bolj priljubljen v arhitekturi in gradbeništvu. Uporabljamo ga zaradi svoje estetske privlačnosti in industrijskega videza. Ta vrsta betona se uporablja za ustvarjanje različnih gradbenih in dekorativnih elementov, kot so stene, talne obloge, stebri, pulti, stopnice, umivalniki in drugi detajli. Površina vidnega betona lahko brusimo, poliramo ali pa oblikujemo na različne načine, da se doseže želeni videz. Na obravnavanem objektu se je vidni beton obdelal najprej z brušenjem, nato pa še s strojnim štokanjem. Ker je uporabljen agregat v betonu savski prodec, ima po obdelavi beton posebno strukturo in videz.

3.1 Vrsta betonov, uporabljenih pri gradnji

Stopnje izpostavljenosti betona so razvrščene v šest razredov izpostavljenosti, vsak razred pa je razdeljen na tri ali štiri stopnje. Razredi so povezani z mehanizmom nastanka poškodb betona, stopnje pa izražajo jakost agresivnega vpliva. Višja stopnja izpostavljenosti pomeni večjo agresivnost delovanja in je večinoma povezana s količino vlage izpostavljene betonu (preglednica 6).

Preglednica 6: Stopnja izpostavljenosti (Bokan Bosiljkov, V. 2023).

Stopnje izpostavljenosti (vplivi okolja – napad)				Betonski konstrukcijski ukrepi (odpornost)		
Oznaka stopnje	Vpliv in obremenjenost			največje V/C	najmanj cementa	$f_{c,cyl}$ / $f_{c,cub}$
X0	/	 ni napada	ni napada na beton	ni zahteve	ni zahteve	C12/15
XC	1	 karbonatizacija	suho ali trajno mokro	0,65	260	C20/25
	2		mokro, le redko suho	0,60	280	C25/30
	3		zmerna vlažnost	0,55	280	C30/37
	4		izmenično mokro in suho	0,50	300	C30/37
XD	1	 kloridi –iz morske vode	zmerna vlažnost	0,55	300	C30/37
	2		mokro, le redko suho	0,55	300	C30/37
	3		izmenično mokro in suho	0,45	320	C35/45
XS	1		izpostavljeno solem v zraku	0,50	300	C30/37

	2	 kloridi –iz morske vode	trajno potopljeno	0,45	320	C35/45
	3		območja plimovanja, škropljenja, pršenja	0,45	340	C35/45
XF	1	 zmrzovanje/tajanje	zmerna nasičenost z vodo, brez soli	0,55	300	C30/37
	2		zmerna nasičenost z vodo + soli	0,55+AE	300	C25/30
	3		močna nasičenost z vodo, brez soli	0,50+AE	320	C30/37
	4		močna nasičenost z vodo + soli	0,45+AE	340	C30/37
XA	1	 kemično delovanje	malo agresivno kemično okolje	0,55	300	C30/37
	2		srednje agresivno kemično okolje	0,50	320	C30/37
	3		močno agresivno kemično okolje	0,45	360	C35/45

Vodotesni beton je izraz za betone, ki so bolj odporni proti prodoru vode. Oznaka PV pomeni stopnja odpornosti proti prodoru vode. Večja rimska številka predstavlja večjo odpornost. Delimo jih na tri stopnje vodotesnosti betona:

- PV I, kjer prodor vode ne sme presegati 50 mm v beton,
- PV II, kjer prodor vode ne sme presegati 30 mm v beton,
- PV III, kjer prodor vode ne sme presegati 20 mm v beton.

Prodor vode določimo na preizkušancu dimenzij betonske kocke s stranicami dolžine 15 cm. Preizkušanec na eni strani izpostavimo vodi, s pritiskom 5 barov. Po treh dneh ga razpolovimo in izmerimo maksimalen prodor vode (slika 10).



Slika 10: Prikaz preizkusa maksimalne globine prodora vode v beton (Vir: Water penetration test)

Za izvedbo vidnih sten smo uporabili naslednjo specifikacijo betona: C30/37 XC4 Dmax16 XD3/XF4 S4 (PV III). To pomeni, da znaša njegova karakteristična tlačna trdnost (tj. vrednost, pod katero je za preiskani beton možno pričakovati največ 5% rezultatov) 30 kPa pri preizkušanju valja ($f_{c,cyl}$), ali 37 kPa pri preizkušanju kocke ($f_{c,cub}$). Predvidena stopnja izpostavljenosti je XC4, XD3/XF4, zahteve so predstavljene v preglednici 6. Maksimalna zrna agregata so premera 16 mm. Beton je s konsistenco S4 (razred poseda). Preglednica 7 prikazuje specifikacije betona za vse gradbene elemente, uporabljene v gradnji, ter specifikacijo betona zanje.

Preglednica 7: Predvidene vrste betona za različne gradbene elemente (Šušteršič, J., Ercegovič, R. 2021).

Opis	Predpisani razredi izpostavljenosti	Specifikacija betona
Podložni beton	-	C12/15 X0 Cl 0,2 Dmax 16 S1
Notranje stene, stebri in slopi	XC1	C30/37 XC4/XD2 Cl 0,2 Dmax 16 S3
Temeljna plošča, pasovni temelji in temeljne grede, ter medetažne notranje plošče	XC4 PV III	C30/37 XC4 Dmax32 XC4 S4 (PV III)
Zunanje ograje, parapeti, atike, varnostne stene balkonov, stene prezračevalnega kanala, vse zunanje stene vidni beton VB4, zunanji slopi VB4 in nosilci VB4, zunanja prehodna talna plošča ter ravne zunanje stropne in previsne plošče VB4	XC4 XF4	C30/37 XC4 Dmax16 XD3/XF4 S4 (PV III)
Zunanje poševne stropne in previsne plošče VB4 in zunanje stopnice s podesti	XC4 XF4	C30/37 XC4 Dmax16 XD3/XF4 S3 (ciljni posed 9-11 cm OP*)

Notranje stopnice in podesti z ramami	XC1	C30/37 XC4 Dmax16 XD3/XF4 S3 (ciljni posed 9-11 cm) ALI C30/37 XC4 Dmax16 S4
---------------------------------------	-----	---

3.1.1 Cement

Cement je hidravlično vezivo, ki ga uporabljamo pri izdelavi betona, malte in drugih gradbenih materialov. Ob stiku z vodo, v procesu, ki se imenuje hidratacija veže. Produkti reakcije so odporni na vodo. Najpogosteje uporabljen cement v gradbeništvu je čisti portlandski cement.

Standard SIST EN 197-1 razvršča običajne cemente v pet vrst. Z oznako CEM in rimsko številko so označeni običajni cementi. Sestavljajo jih glavne sestavine, dodatki in kalcijev sulfat. Kalcijev sulfat je kemikalija, ki je obvezen dodatek vsem vrstam portlandskega cementa in se uporablja za regulacijo vezanj. Cementi z visokimi začetnimi trdnostmi so označeni s črko R (rapid), cementi z normalno začetno trdnostjo pa s črko N (normal).

Preglednica 8: Vrste cementov (SIST EN 197-1, 2011).

CEM I	Čisti portland cement – največkrat uporabljena vrsta cementa
CEM II	Portlandski cement z mineralnimi dodatki
CEM III	Žlindrin cement
CEM IV	Pucolanski cement
CEM V	Mešani cement

Količina organskih dodatkov ne sme presegati 0,2% mase cementa na suhi osnovi. Dodatki ne smejo cementu pospeševati korozije armature ali poslabšati lastnosti cementa, malte ali betona, pripravljena s tem cementom. (SIST EN 197-1, 2011)

Na primeru izgradnje Muzeja Sodobne Umetnosti Bled je za vidni beton VB 4, pri betoniranju vseh zunanjih vidni sten VB 4, uporabljen cement z oznako CEM II /A-LL 42,5 R. Doseči mora najmanjšo tlačno trdnost 45 MPa po 28 dneh. Cement uporabljamo za armiranobetonsko gradnjo konstrukcij, ki so izpostavljene visokim mehanskim obremenitvam. Primeren je za uporabo prednapetih, samozgoščevalnih in vidnih beton in ima naslednje lastnosti:

- običajne zgodnje trdnosti,
- visoke končne trdnosti,
- srednji razvoj toplote v postopku hidratacije in strjevanja. (Technical list of Portland cement with limestone CEM II/A-LL 42,5 R)

3.1.2 Agregat

Agregat v gradbeništvu uporabljamo kot polnilo in tvori skelet betonske mešanice, medtem ko vezivo (najpogosteje cement) povezuje agregate skupaj ter ustvarja trden in trajen material. Pravilna izbira in

razmerje med agregati sta ključna za pridobitev želene trdnosti, trajnosti, obdelovalnosti in estetike betona.

Tri osnovne naloge agregata:

- betonu dajejo zrna agregata trdnost in togost,
- betonu daje dimenzijsko stabilnost (zmanjšuje dolgotrajne volumske spremembe značilne za cementni kamen),
- je relativno poceni, običajno predstavlja približno tri četrtine volumna betona, kar prispeva k ekonomičnosti betonskih konstrukcij. (Saje, D. 2016)

Lastnosti določene vrste agregata, ki pomembno vplivajo na lastnosti betona so:

- Na mehanske karakteristike in trajnost otrdelega betona v prvi vrsti vpliva mineraloško-petrografska sestava,
- na gostoto, ekonomičnost in obdelavnost svežega betona vpliva zrnastostna sestava,
- na obdelavnost sveže betonske mešanice ter sprejemnost cementnega kamna in agregata pa vpliva oblika in tekstura zrn.

Delimo jih na naravne in umetne. Naravne agregate pridobivamo iz rečnih nanosov ali pa v kamnolomih z drobljenjem večjih kamnitih skladov. Umetne agregate običajno proizvajamo v določene namene, kot je na primer proizvodnja lahkoagregatnih betonov. (Saje, D. 2016) Uporabljen agregat je naravni agregat, in sicer rečni material (savski prodec), ki daje posebno barvo in strukturo vidnega betona po zaključni obdelavi.



Slika 11: Prikaz teksture betona po brušenju in štokanju

V procesu proizvodnje, groba zrna agregata razvrščamo v različne frakcije, da preprečimo ločevanje večjih zrn med transportom. Poleg tega lahko sestavimo optimalno zrnastostno sestavo agregata, ki doseže čim bolj enakomerno razporeditev zrn, kar rezultira v čim manj prazninah v betonu. Običajne nominalne frakcije, ki se uporabljajo pri proizvodnji agregata, so 0/4, 4/8, 8/16, 16/32, 32/63, 63/125 mm. (Saje, D. 2016)

Čeprav mineralna in petrografska sestava pomembno vplivata na trdnost agregata, pa tudi drugi dejavniki igrajo pomembno vlogo, kot sta na primer razstreljevanje in drobljenje kamnitih materialov pri pridobivanju agregata. Med temi procesi se lahko pojavi mikrostrukturna poškodba, kar vključuje mikrorazpoke v agregatu. To je eden izmed razlogov, zaradi katerih beton z manjšimi največjimi zrni agregata dosežejo višje trdnosti. (Saje, D. 2016)

Drobljeni agregat frakcije ima načeloma višjo trdnost in bolj homogeno strukturo v primerjavi z rečnim agregatom. Drobljeni agregat je v našem primeru frakcije 0/4 mm in predstavlja 20 % vrst vseh agregatov pri betonski mešanici za vse vidne zunanje stene VB 4. Ostali delež agregatov pa je prani frakcij 0/4, 4/8, 8/16 mm. Največja zrna frakcij 8/16 predstavljajo 31% agregata pri betonski mešanici, zato je v betonu po zaključni obdelavi videti relativno gosto strukturo večjih frakcij agregata.

Drobljeni agregat nam nekoliko poslabša vgradljivost betona, saj so zrna ostroroba. To pozitivno vpliva na natezno trdnost betona, saj se zrna raje zaklinjajo. Vgradljivost lahko izboljšamo z uporabo kemijskih dodatkov betonski mešanici. V standardih so predpisane omejitve glede prisotnosti nečistoče in primesi pri agregatu v betonski mešanici, saj imajo negativne učinke na kakovost betona. (Saje, D. 2016) Prani agregat je načeloma bolj okrogle oblike, zato pri zaključni obdelavi betona (brušenje in štokanje) raje odleti. Vodocementni faktor pri enaki betonski mešanici (za vidni beton) znaša 0,44.

3.2 Razred poseda

Beton lahko na gradbišču uporabimo za gradnjo takrat, ko je konsistenca pripeljanega betona v dovoljenih mejah za konsistenčni razred podanih v standardu SIST EN 12350-2. Za vse zunanje stene z vidnimi betoni VB 4 je predpisan beton s konsistenco S4 (posed od 160 do 210 mm).

Preglednica 9: Razred poseda (SIST EN 12350-2, 2019)

Razred	Preizkus poseda v skladu s SIST EN 12350-2 v mm
S1	10 do 40
S2	50 do 90
S3	100 do 150
S4	160 do 210
S5	≥220

3.3 Dodatki betona

Kemijski dodatki za beton so snovi/produkti, ki jih dodamo betonu v času mešanja, zato da spremenimo lastnosti svežega in/ali strjenega betona. Skladno s SIST EN 197-1 dodatki ne smejo presegati 1,0 % mase cementa (razen pigmenti). Med kemijske dodatke sodijo plastifikatorji/super plastifikatorji, aeranti, pospeševalci, zavlačevalci in gostilci. S temi dodatki izboljšamo in podaljšamo obdelavnost betona, povečamo odpornost proti vplivom okolja, izboljšamo trdnost in sposobnost zaščite armature proti koroziji.

Dodatki, uporabljeni za vse zunanje stene z vidnimi betoni VB 4 so sledeči:

- Žlindra, ki je ključni dodatek za zmanjševanje hidratacijske toplote. Beton, obogaten z grobozrnato žlindro, postopno pridobiva svojo moč skozi daljše časovno obdobje. Ta postopek ne le zmanjša prepustnost materiala, temveč mu zagotavlja tudi višjo trdnost in izboljšano vzdržljivost.
- Super plastifikator 2. generacije, ki se uporablja za splošno izboljšanje kakovosti betona, omogoča zmanjšanje količine vode v betonski mešanici.
- Dodatek za aeriran beton, ki ima povečano odpornost proti zmrzali. Na porah se ujame voda pri kapilarnem dvigu in tako poveča stopnjo odpornosti proti prodoru vode. Optimizira tudi delovanje betona in preprečuje nagnjenost k segregaciji (Tehnični list: Pantapor 66 (LP)).
- Dodatek za zmanjševanje krčenja betona (zaradi izsuševanja), ki zmanjša nastajanje razpok (Tehnični list: Ha-Be SRA-100 (Lespatex)).
- Zavlačevalec (po potrebi), ki regulira začetek vezanja betona – podaljša čas med izdelavo betonske mešanice ter začetkom vezanja.

4 VGRAJEVANJE BETONA

Ustrezen postopek vgrajevanja betona je najpomembnejši za doseg kakovostnega betona, še posebej pri vidnih betonih. V obravnavanem primeru smo svežo betonsko mešanico pripeljali z avtomešalci. Notranji transport je potekal z avtočrpalko ali tam, kjer je bila prevelika razdalja od dostopa avtočrpalke do mesta betoniranja s pomočjo žerjava s posodami za beton. Transport betona je potekal iz betonarne, ki se nahaja v Podbrezju pri Kranju do gradbišča. Čas transporta brez zastojev na cesti je v povprečju znašal 25-30 min. Vgradnja je bila otežena in trajala dlje kot pri klasični gradnji – segment stene so betonirali do 1,5 ure, zato smo morali v takem primeru betonsko mešanico modificirati z zavlačevalcem.



Slika 12: Betoniranje z avtočrpalko



Slika 13: Betoniranje s košaro s pomočjo žerjava

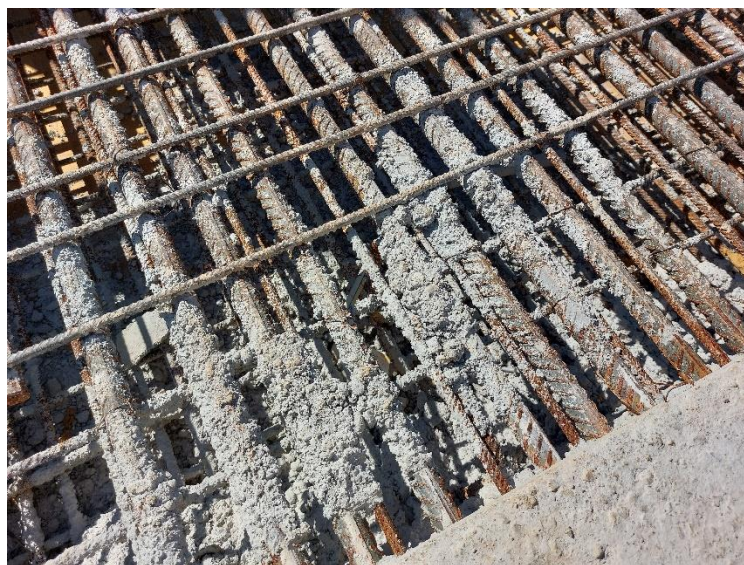
Od temperature zraka in betona ter od količine regulatorja vezanja v betonski mešanici je odvisen najdaljši možni čas med izdelavo betonske mešanice in praznjenja avtomešalca. Če v betonski mešanici ni dodanega regulatorja vezanja, smo morali začeti praznjenje avtomešalca najkasneje 70 minut po prvem stiku cementa z vodo. V primeru, da sta temperatura zraka in betona nižji od 15°C , pa je največji dovoljeni čas podaljšan na 150 minut. Če temperatura betona preseže 28°C , je največji dovoljeni čas zmanjšan na 50 minut. (Šušteršič, J., Ercegovič, R. 2021) V zimskem času, ko je bila temperatura nižja od 7°C (lahko se pojavijo temni madeži zaradi neenakomernega zorenja betona) smo v betonarni surovine ogrevali in v betonsko mešanico dodajali dodatek proti zmrzovanju. V poletnem času, pri temperaturah višjih od 27°C , pa smo v betonsko mešanico dodajali regulator vezanja.

Uporaba betona za gradnjo je bila dovoljena, če je starost betona manj kot 70 minut (oz. 50 min ali 150 min) od časa priprave betonske mešanice, ki je zabeležen na dobavnici betona. Pri sestavi z dodanim regulatorjem vezanja so dovoljene višje starosti betona, ki so odvisne od količine regulatorja v sestavi in zunanjih temperatur. Pri tem mora biti temperatura svežega betona nižja od $+28^{\circ}\text{C}$ in višja ali enaka $+5^{\circ}\text{C}$, če je temperatura zraka nad -3°C ali $+10^{\circ}\text{C}$, če je temperatura zraka pod -3°C . Neposredno pred začetkom praznjenja betona iz avtomešalca smo morali v bobnu mešanico še premešati z največjimi obrati vrtenja minimalno 1 minuto. Šele po tem mešanju pred praznjenjem je možna ocena konsistence dobavljenega betona. (Šušteršič, J., Ercegovič, R. 2021)

Pred betoniranjem smo na gradbišču podlago za beton ustrezno pripravili – podlaga ne sme biti zamrznjena, mora biti očiščena snega. Čiščenje vseh ostankov armature (žičk) in ostalih nečistoč smo izvedli z visokotlačnim čistilnikom.

Beton smo vnašali v opaže sten z avtočrpalko tako, da se podaljšek – kontraktor avtočrpalke potisne med armaturo dovolj globoko. Prosti pad betona ni smel biti večji od 1 metra. Po višini stene smo morali poskrbeti, da je med armaturo dovolj prostora (vsaj 12 cm svetle razdalje med armaturo), da smo lahko kontraktor avtočrpalke potisnili ustrezno globoko. Na gradbišču se je dogajalo, da ni bilo na razpolago svetle razdalje 12 cm med armaturo, zato je bilo dovoljeno odmikanje armature, tako, da smo lahko kontraktorsko cev spustili.

Stene smo betonirali po slojih višine 50 cm, temeljno ploščo v dveh slojih (višine 50 cm), medetažne plošče pa v enem sloju (višine 35-40 cm). Vgradnja betona je morala potekati tako, da smo minimalno poškropili opazne površine (sicer se pojavi povečana koncentracija por) in armaturne palice, ki niso predmet iste faze betoniranja, saj lahko s tem poslabšamo sprijemnost ob naslednji fazi betoniranja (slika 14). Med betoniranjem slojev nismo smeli imeti prevelikega časovnega zamika, zato je pri transportu betona pomembno, da poteka s čim krajšimi prekinitvami.



Slika 14: Pošpricane armaturne palice z betonom

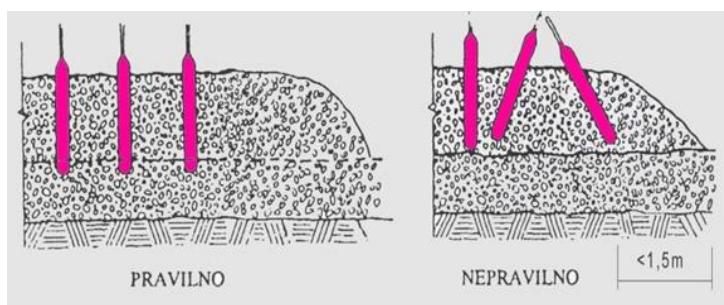
4.1 Zgoščevanje betona

Poroznost je povezana s trdnostjo in obstojnostjo strjenega betona. Z zgoščevanjem svežega betona skušamo doseči minimalno vsebnost por in s tem povečati trdnostne karakteristike. Zgoščevanje betona izvajamo s pomočjo vibracijskih naprav (npr. vibracijske igle). Vibracijsko iglo vstavimo v svež beton, ta povzroči vibracije, ki omogočajo, da se iz mešanice izločijo zračni mehurčki. Tako je beton zbit in armatura zaobjeta z betonsko maso.



Slika 15: Prikaz vibriranja stene

Pri vgradnji betona v stene se v praksi pogosto dogaja, da beton s kontraktorsko cevjo črpajo na eno mesto v opažu, nato ga s pomočjo vibracijske igle horizontalno razgrinjajo. To ni priporočljivo, saj lahko povzroči neenakomerno porazdelitev agregatov. Lahko pusti tudi sledi na površini betona, ki niso estetsko privlačne. Prav tako ni priporočljivo metanje in vlačenje vibratorja po betonu pri betoniranju plošče, ker lahko povzroči razslojevanje agregatov in vpliva na trdnost betona. Šele po vibriranju (in revibriranju) AB plošče smo beton ravnali oziroma zaglajevali z letvijo.



Slika 16: Prikaz pravilnega in nepravilnega načina zgoščevanja betona (Šušteršič, J., Ercegovič, R. 2021)

Za zgoščanje betona smo na obravnavanem objektu uporabljali vibracijske igle. Število in velikost igel smo določili glede na dimenzije in obliko gradbenega elementa, od vrste betona in potrebne hitrosti vgradnje betona. Uporabljali smo vibracijske igle s premerom 60 in 70 cm. Za stene smo uporabljali eno ali dve vibracijski igli, odvisno od prostornine posamezne faze betoniranja, za plošče pa dve ali tri. Debelina sloja vgrajenega betona je morala biti prilagojena dolžini telesa vibratorja (50 cm pri stenah).

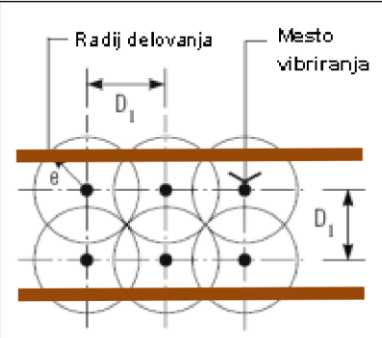
Premjer vibracijske igle (mm)	Priporočena frekvenca igle (HZ)	Povprečna amplituda igle (mm)	Radij delovanja igle (mm)	Hitrost vgradnje betona za 1 iglo (m ³ /uro)
20–40	150–250	0.4–0.8	75–150	1–4
30–65	140–210	0.5–1.0	125–250	2–8
50–90	130–200	0.6–1.3	175–350	6–20
75–150	120–180	0.8–1.5	300–500	11–31
125–175	90–140	1.0–2.0	400–600	19–38

Slika 17: Prikaz hitrosti vgradnje betona z eno vibracijsko iglo glede na karakteristike igle. (Šušteršič, J., Ercegovič, R. 2021)

Premjer vibratorja in delovna frekvenca določata vplivno območje delovanja vibracijske igle. Z eksperimenti so ugotovili, da za vsak vibrator obstaja optimalna frekvenca, pri kateri je radij delovanja največji. Radij delovanja smo na gradbišču ugotovili s pomočjo armaturne palice, ki smo jo potopili na različnih oddaljenostih od vibratorske igle, kjer je palica potonila v beton je vpliv delovanja vibratorske igle ustrezen.

Za ustrezno vibriranje moramo poskrbeti, da se v celoti prekrivajo delovni radiji vibracijske igle med mesti vibriranja (slika 18). Priporočljiva minimalna frekvenca vibracijskih igel po izvedbeni dokumentaciji znaša 167 HZ, minimalna amplituda pa 0,6 mm. Uporabljene vibracijske igle imajo radij delovanja približno 40-50 cm, hitrost vgradnje betona ene vibracijske igle pa znaša 10 m³/uro. Pri vibriranju stene smo vstavljali vibracijsko iglo na vsakih 80 cm dolžine, pri plošči pa približno na 55 cm v vsaki smeri.

Premjer vibracijske igle [mm]	Premjer vplivnega območja [cm]	Razmik med vstavljanjem vibracijske igle [cm]
< 40	25	20
30 do 60	20 do 40	15 do 35
50 do 90	30 do 60	25 do 55

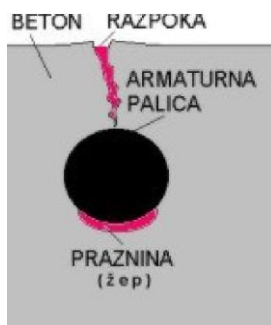


Slika 18: Primeri delovnega območja vibratorja - razmik med vbodom igle glede na debelino vibracijske igle (Šušteršič, J., Ercegovič, R. 2021)

4.1.1 Faznost zgoščanja

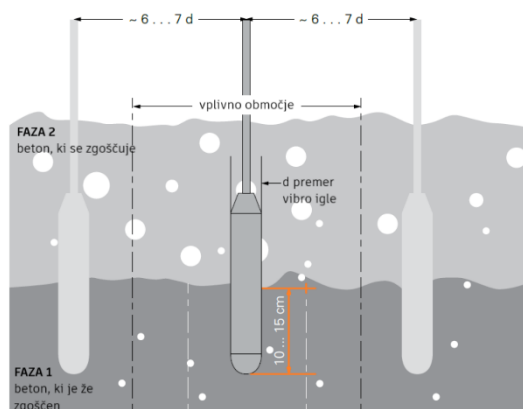
Ko beton vgrajujemo v več slojih je pomembno, da pri vibriranju zgornjega sloja (faza 2 na sliki 20) potopimo vibrator tudi v spodnji sloj, da se stik med slojema izboljša ter da zmanjšamo naknadno posedanje betona. Z dodatnim zgoščevanjem že vgrajenega betona izboljšamo tesnost strukture betona in zmanjšamo nastajanje morebitnih razpok. Če beton nezadostno zgostimo, je nagnjen k naknadnem posedanju, ki povzroči nastanek razpok na območjih večjih sprememb debelin betona ali nad

armaturnimi palicami (slika 19). Zgoščevanje je pomembno tudi pri zadnji fazi (zgornjem zadnjem sloju betona), kjer se prav tako hkrati zgošča tudi spodnji sloj.



Slika 19: Nastanek razpoke nad armaturno palico zaradi naknadnega posedanja betona (Šušteršič, J., Ercegovič, R. 2021)

Pravilno zgoščevanje/odzračevanje betona poteka tako, da vibrator na hitro vertikalno spustimo v beton, v spodnji sloj do globine približno 15 cm, kar je odvisno tudi od konsistence betona, in nato počasi izvlečemo, da lahko ob vibratorju nakopičen zrak tudi zapusti beton. Pri zgoščevanju je pomembno, da se beton dobro zgosti in pri tem ne pride do segregacije, oziroma posedanja večjih frakcij. To zagotovimo s pravim časom vibriranja betona.



Slika 20: Prikaz faznosti zgoščevanja in spajanja dveh slojev betona med zgoščevanjem z iglo (Šušteršič, J., Ercegovič, R. 2021)

4.1.2 Revibriranje

Revibriranje betona je postopek ponovnega izvajanja vibriranja na že vgrajenem betonu. Tako zagotovimo da se tudi zadnja plast vgrajenega betona ne bo naknadno usedala. Poleg tega dodatno zgoščanje prispeva k boljši povezanosti med zadnjima slojema betona, kar pripomore k večji trdnosti in enotnosti strukture. Postopek je enak prvotnemu zgoščevanju betona, le ga izvajamo na zgornji plasti vgrajenega betona, pri čemer moramo paziti na pravi čas revibriranja. Potekalo je od 15 do 20 minut po vgradnji zadnjega sloja betona.

Pravilni čas za izvedbo dodatnega zgoščevanja betona je odvisen od različnih dejavnikov, kot so sestava betona, hitrost pridobivanja trdnosti, temperatura zraka in betona ter vrsta uporabljenih vibratorjev.

Optimalen čas najpogosteje določimo eksperimentalno na gradbišču med postopkom vgradnje betona. V vsakem primeru pa je bolje izvesti dodatno zgoščevanje "prezgodaj" kot izpustiti to fazo, saj samo primarno zgoščevanje ne prepreči kasnejšega posedanja betona.

4.2 Zaključna obdelava vidnih betonskih površin

Vse fasade vidnih betonov VB 4 smo obdelali z brušenjem do globine povprečno 4 – 5 mm in grobim strojnim štokanjem.

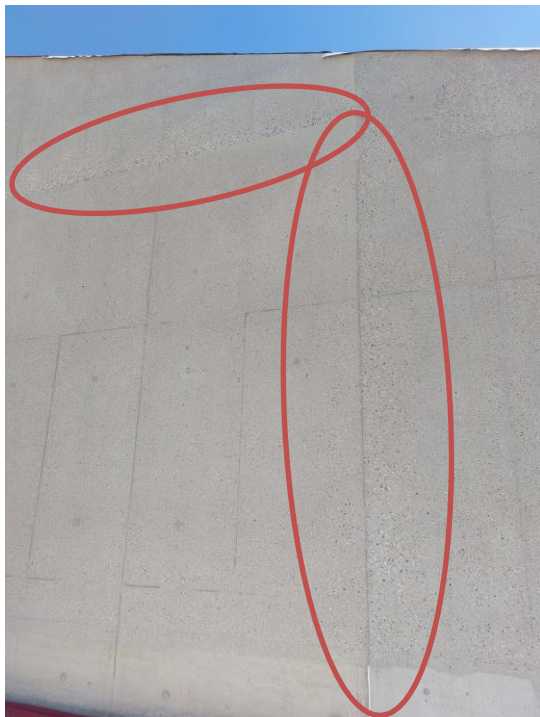
Brušenje betona je postopek, pri katerem s pomočjo brusilnega orodja odstranjujemo zgornji sloj betonske površine. Cilj brušenja je doseči želeno gladkost, enakomernost, ravnotežje barve ter odstraniti nepravilnosti, madeže ali ostanke, ki so se pojavili med vgradnjo betona. Pri brušenju betona smo na gradbišču uporabljali brusilne naprave, ki so opremljene z diamantnimi diski ali brusnimi kamni (slika 21). Ti diski ali kamni imajo grobe površine, ki odstranjujejo beton. Ob brušenju smo prah in delce odsesavali sproti. Prav tako je pomembna zaščitna oprema; maska proti prašnim delcem, zaščitne rokavice, čelada in dolge hlače.



Slika 21: Uporabljeno orodje za brušenje betona

Pri brušenju je pomembna struktura betona po obdelavi. Da dosežemo želeno strukturo moramo odbrusiti toliko betona, da pridemo do večjih frakcij agregata in jo nekoliko poenotiti. Problem je nastajal pri delovnih stikih. Pri betoniranju 2. faze stene (princip betoniranja po šahovnici) se po vibriranju lahko usedejo večje frakcije agregata ali pa se na spodnjem delu zaradi pritiska betona opaž deformira in ukrivi, ter naredi zob med prvo in drugo fazo betoniranja. Pri zaključni obdelavi moramo tako brusiti bolj v globino, da pridemo do ujemanja 1. in 2. faze betoniranja (da ni zoba). Po brušenju se je zato dogajalo, da smo prišli z globino do večjih frakcij agregata in v območju delovnega stika nastala drugačna struktura, kot je prikazano na sliki 22.

Zaradi brušenja je moral biti krovni sloj širši na zunanji, vidni strani, saj je beton nezaščiten (ni fasade) in brušenje predvideno do globine 8 mm. Krovni sloj je debeline 5 cm na zunanji strani, 3 cm pa na notranji (nevidni strani).



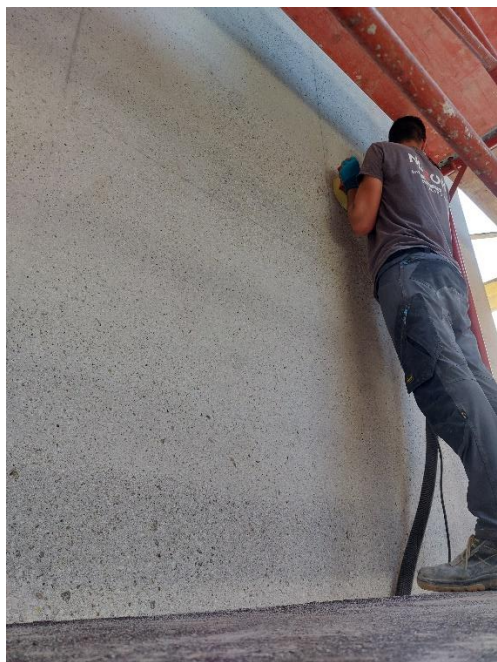
Slika 22: Prikaz različnih struktur betona na delovnem stiku po brušenju in štokanju



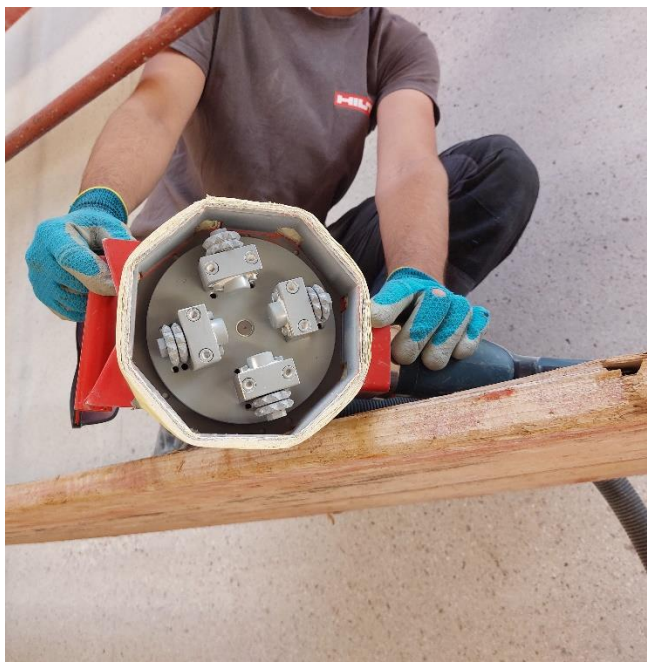
Slika 23: Brušenje stene

Štokanje betona je postopek, pri katerem s posebnim orodjem ali strojem odstranjujemo odvečen material s površine betona in na ta način dosežemo hrapavo površino betona. Postopek uporabljamo za dosego grobega estetskega videza (slika 24). Postopek lahko izvajamo ročno, s kladivom, ali pa s posebno strojno opremo. Na objektu smo štokali z brusilnim strojem, ki ima nameščeno posebno udarno glavo s krožno nameščenimi dleti. Pri štokanju se udarna glava vrti in udarja v beton in s tem pobira delce betona (slika 25). Čez površino moramo štokati večkrat, da dosežemo zadostno grobost. Grobost površine pa lahko spreminjamo glede na izbiro udarnih glav. Ob štokanju smo prah in delce odsesavali, da je bilo delovno okolje bolj zdravju prijazno. Prav tako je pomembna zaščitna oprema.

Vizualno je razlika med postopkom brušenja in štokanja v tem, da pri brušenju dosežemo relativno gladko površino, kjer pride do izraza zrnavostna sestava betona, pri štokanem betonu pa na površini dosežemo hrapavo in bolj reliefno strukturo (slika 26).



Slika 24: Štokanje stene



Slika 25: Uporabljeno orodje (udarna glava) za štokanje betona



Slika 26: Na zgornjem delu štokan beton, spodaj samo brušen

Pri brušenju se zaradi večjih frakcij in oblike agregata velikokrat zgodi, da zleti kamenček ali pa se odkruši večji kos sprijetih kamenčkov. Zato smo odkruške in zračne luknjice zapolnili z izvedbo kitanja po brušenju in pred štokanjem s polimerno maso odporno na zmrzovanje in taljenje (namenjeno zunanji uporabi). Zaradi zahtev barvnih odstopanj je morala biti masa tudi barvno usklajena. Če so se na vidnih površinah betona VB 4 pojavile estetsko moteče razpoke, smo jih popravili s pripravljeno neskrčljivo oziroma maloskrčljivo polimerno malto. Vse težko dostopne dele (AB žlebovi, napušči itd.) smo finalno obdelali s peskanjem. Barvno usklajenost smo dosegli s preizkusi različnih mešanic polimerne mase z

različnimi dodatki. Pri barvni usklajenosti je pomembno, pod kakšnimi pogoji se betonska mešanica ali polimerna masa vgrajuje. To pogojuje razvoj barv pri procesu strjevanja. Na testnem polju smo izvedli več različnih mešanic, tako smo po procesu strjevanja izbrali najbolj ustrezno.



Slika 27: Prikaz sanacije zračnih luknjic s polimerno maso



Slika 28: Sanacija po brušenju in štokanju

4.3 Zapolnjevanje lukenj od vezav opaža

Posledica vezave opaža so bile luknje v betonu s konusnim zaključkom, ki smo jih morali ustrezno zapolniti z maso. Na sistemskih opažih se luknja, kjer opaž ne vežemo z distančno cevjo zapre s čepom, kar na betonu pusti odtis. Na obravnavanem objektu smo privijali na sistemski opaž za vidni beton vezane plošče, ki so skrile odvečne luknje.

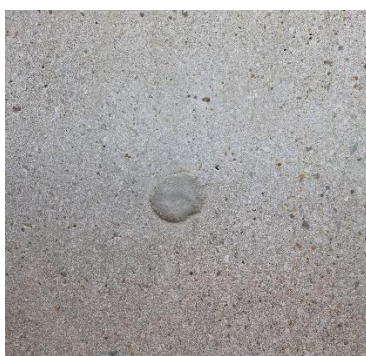


Slika 29: Primer nevidnega dela stene s sistemskimi opaži (na levi je odtis od čepa, na desni pa luknja od vezave opaža)

Konusne zaključke smo zapolnili tako, da smo čep zapolnili z nadvišanjem 3 – 5 mm z malto (slika 31). Po doseženi primerni trdnosti malte smo izvedli zaključno površinsko obdelavo (grobno brušenje in štokanje). Malta je vsebovala enake frakcije kot betonska mešanica, da po brušenju ni bila vidna razlika med frakcijami konusnih zaključkov ter vidnega betona. Postopek je prikazan na slikah 30, 31 in 32, vendar na koncu barvno odstopanje malte ni ustrezno.



Slika 30: Luknja od vezave opaža (vidni beton)



Slika 31: Zapolnjena luknja od vezave opaža



Slika 32: Luknja po brušenju

4.3.1 Zaščitni premazi

Zaščitni premazi se uporabljajo za vse zunanje vertikalne vidne površine betona iz več razlogov:

- ohranjanje estetskega videza: zmanjšuje madeže in umazanijo,
- zaščita pred vremenskimi vplivi, kot so vlaga, UV-žarki ipd, saj zaščitni premazi zmanjšujejo vplive teh dejavnikov,
- vodoodbojnost: zaščitni premazi, ki imajo hidrofobne lastnosti omogočajo odboj vode in s tem povečujejo trajnost betona in omogočajo dodatno zaščito pred vodo ali olji/maščobo.

Na obravnavanem objektu smo vidne stene zaščitili s premazom, ki deluje hidrofobno. Hidrofobni premazi, ki se uporabljajo za takšno zaščito, večinoma ne delujejo kot sredstva za preprečevanje grafitiranja. Zato je treba grafite odstraniti z uporabo posebnih čistil, ki pa lahko spremenijo videz površine na mestu delovanja. Za zaščito vertikalnih zunanjih površin, vidnih sten, nosilcev, žlebov, armirano betonskih ograj smo uporabljali brezbarvni premaz na osnovi topil. Ta premaz povečuje odpornost betona proti zmrzovanju, odbija vodo in olje, preprečuje nastajanje madežev, delno ščiti pred grafiti ter je odporen proti UV sevanju, predvsem pa ne spreminja barve s časom.

Tudi vse vodoravne zunanje površine, kot so tlakovane površine v zunanjih ureditvah, vhodne ploščadi in klančine, bomo zaščitili z brezbarvnim premazom na vodni osnovi. Vse vidne notranje betonske stene, bodo zaščitili z zaščitnim sredstvom, ki poleg tega deluje tudi kot protiprašno sredstvo. (Šušteršič, J., Ercegovič, R. 2021)

»Ta stran je namenoma prazna.«

5 PRIMERI REŠEVANJA DETAJLOV

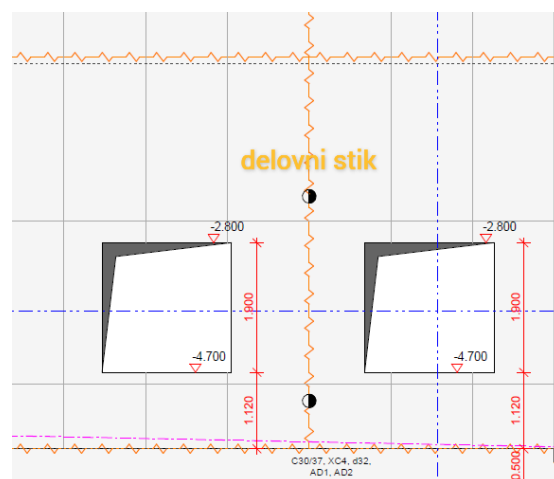
Zaradi same zahtevnosti in velikosti objekta smo morali določene detajle rešiti, s katerimi se pri klasični gradnji ne soočamo. Za predstavitev reševanja detajlov na primeru gradnje Muzeja sodobne umetnosti na Bledu sem se odločil, ker so posebni in zanimivi. Ob nekaterih detajlih sem predlagal spremembe in izboljšave, ki bi jih lahko naslednjič upoštevali pri vgradnji betona.

5.1 Reševanje problema segregacije na območju pod odprtinami

Zaradi velikih odprtin, ki segajo do dimenzij širine 3,300 m in višine 3,625 m, smo morali rešiti problem vgrajevanja betona in s tem pojav segregacije. Zaradi že omenjene zahteve, ki pravi, da morajo biti delovni stiki na prej določenih pozicijah, betoniranje izvedemo v enem kosu, kjer je odprtina v celoti pod delovnim stikom, kar pomeni da je v opazu.

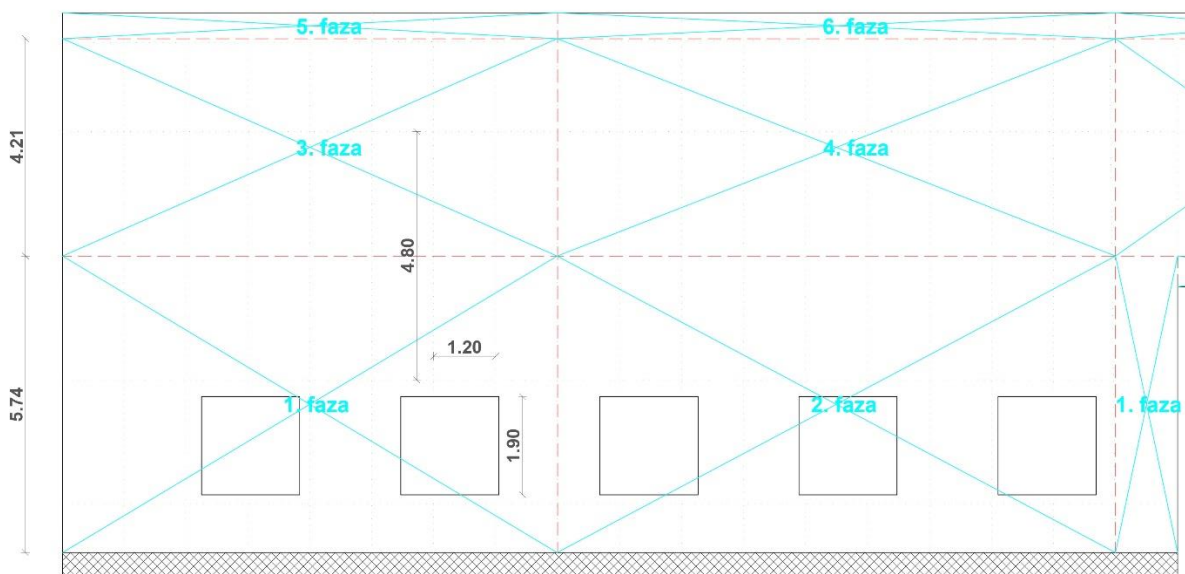


Slika 33: Odprtina za okno (notranja nevidna stran)



Slika 34: Prikaz odprtine v opaznem načrtu (Vir: Dolenec, A., Pelc, L., Kern, P., Lončar, K., Čeligoj, T., Bučar Kitner, B., Rotar, M., Kitner (PZI), 2021)

Kot prikazuje slika 35 (z modro označene faze betoniranja), smo stene betonirali po že omenjenem principu šahovnice. Najprej smo zvezali vso potrebno armaturo, za celoten segment stene. Nato smo betonirali spodnji pas stene, v prvi fazi vsak drugi segment. Šele po 14. dnevnem zamiku smo stranice opaža prve faze odstranili, da smo lahko nadaljevali z izvedbo druge faze. Ko je bil spodnji segment v celoti zabetoniran, smo po 14. dnevnem zamiku razopažali segment druge faze in prešli na opažanje tretje faze. Ker se je opaž malenkost prekrival na območju druge in tretje faze ni bila možna sočasna izvedba.



Slika 35: Skica delovnih faz, delovnih stikov in pozicij vezanih plošč

Detajl smo rešili tako, da smo zvrtili luknje v deske špalete (zgoraj in spodaj) in nanje pritrdil gibljivo PVC cev, premera 110 mm, po kateri je beton pri betoniranju potoval do dna odprtine. Najprej smo zvezali vso armaturo v steni in iz ene strani postavili opaž. Na opaž smo narisali točno lokacijo odprtine. Ko je bil opaž špalete narejen, smo ga pričvrstili na enostranski opaž in nato zaprli iz druge strani. S tem detajlom smo rešili problem prostega pada betona in pojav segregacije. Cevi so omogočile tudi vibriranje betona pod odprtino – lahko se je spustila vibratorska igla do dna. Po zadostni doseženi trdnosti smo beton v ceveh odrezali in odprtino razopazali.



Slika 36: Opaž špalete odprtine in cevi



Slika 37: Zaključen detajl

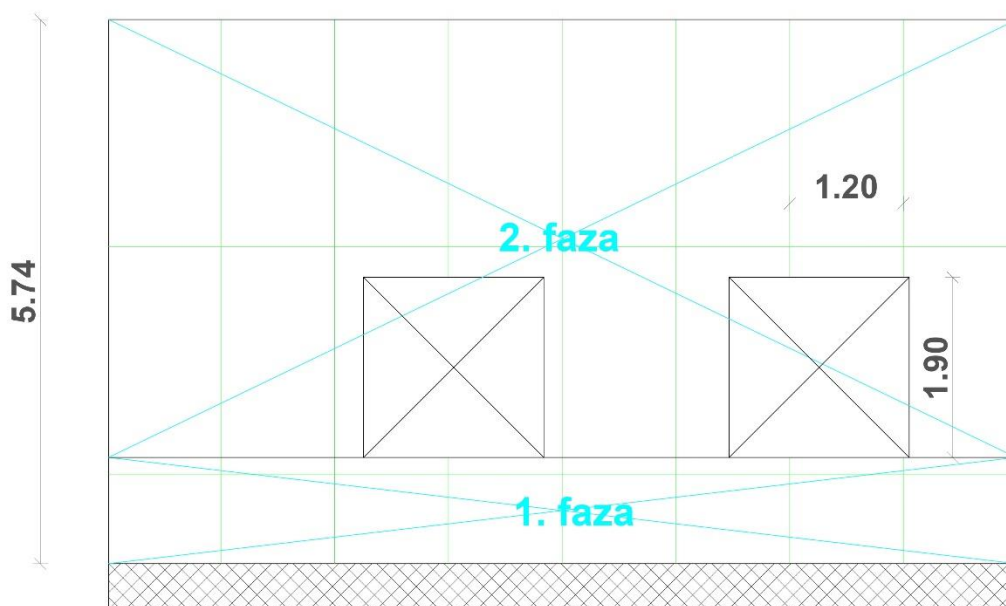
5.1.1 Predlog za drugačno izvedbo detajla

Detajl bi lahko drugače izvedli tako, da izvedemo opaž brez zapiranja luknje. Izvedli bi ga podobno kot je prikazano na sliki 38, vendar bi opaž špalete izvedli tako, da pustimo spodnji del špalete okna odprt, kar nam omogoča lažje betoniranje in vibriranje v območju pod odprtino. V prvi fazi bi zabetonirali

parapet okna, beton bi zagladili in privijačili spodnjo desko špalete. Ko je beton še svež, bi začeli z izvedbo druge faze, kot prikazuje slika 39.



Slika 38: Prikaz rešitve z odprtino



Slika 39: Skica faz betoniranja

Problem je nastajal zaradi visokih faz betoniranja in posledično velikih pritiskov na opaž špalete okna. Če predpostavimo hidrostatski tlak (beton tekoč med vgradnjo), gostoto betona $\gamma = 2200 \text{ kg/m}^3$, fazo betoniranja do okna višine $h = 4,00 \text{ m}$, ter gravitacijski pospešek $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, lahko ugotovimo, da je pritisk na opaž ($p = \gamma h g = 2200 \text{ kg/m}^3 * 4,00 \text{ m} * 9,81 \text{ m/s}^2$) približno 86 kPa. Pri večjih odprtinah je zato prihajalo do deformacij opaža. Zaradi nekolikošnjega časovnega zamika med betoniranjem prve in druge faze, prikazanih na sliki 39, bi beton že začel z vezanjem v prvi fazi, kar nam zmanjša pritisk. Pri izvedbi druge faze je zato pomembno revibriranje, da povežemo sloja skupaj. Ta izvedba je sicer časovno bolj potratna pri izvedbi opaža, vendar nam nekoliko olajša izvedbo betoniranja.

Technical drawing of a window frame showing the elevation and section A-A.

Elevation: The window frame is shown with a central mullion and three horizontal dividers. The overall width is 3.30. The overall height is 3.63. The dimensions are as follows:

- Top: .05, .15, .30, .11, .44, .11, .44, .11, .44, .11, .44, .11, .30, .15, .05
- Right: .05, .15, .05, .13, .05, .15, .05
- Bottom: 3.30

Section A-A: The section shows the frame profile with six circular holes. The overall width is 3.30. The overall height is 3.63. The dimensions are as follows:

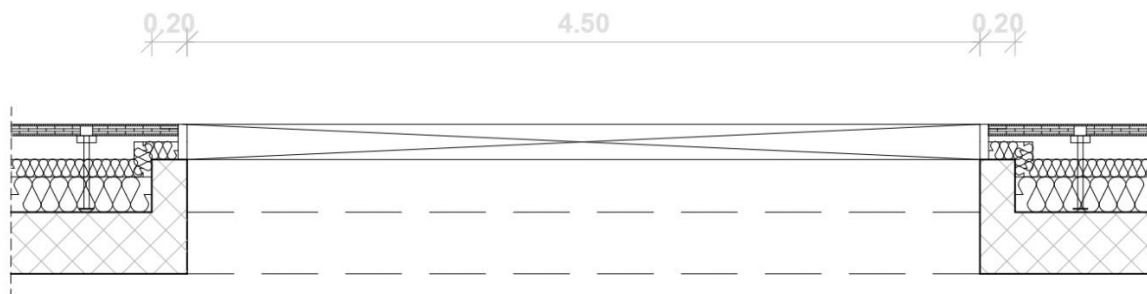
- Top: .05, .25, .05
- Right: .35
- Bottom: 3.30

Slika 40: Skica predloga ojačitve opaža

5.2 Dvojni opaž pri špaleti

Zunanja vrata na objektu so masivno lesena. Ker zaradi vremenskih vplivov masivni les hitreje posivi, je predvideno, da so vhodna vrata pomaknjena na notranjo stran objekta. Za preprečevanje toplotnih mostov in doseganja vidne stene do vrat se je naredil armiranobetonski pas okoli odprtine debeline 0,20 m in širine 0,30 m (slika 42). To pomeni, da smo morali vidni beton izvesti tako, da se je nadaljeval v notranjost stavbe in tako skril notranjo sestavo stene (toplotno izolacijo, podkonstrukcijo, mavčnokartonske plošče,...) – slika 41. Detajl smo betonirali in vibrirali iz zgornje strani detajla, vendar

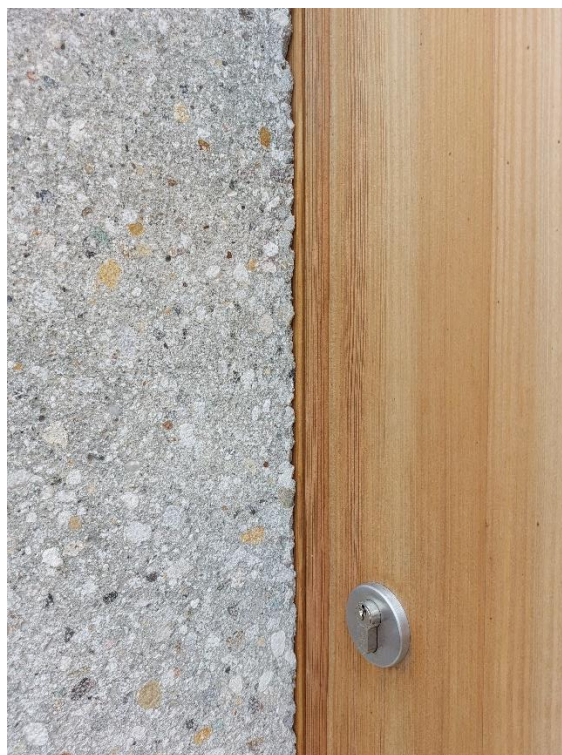
je med stropom in zgornjo stranjo malo prostora, zato je bilo delo oteženo. Zelo pomembno je bilo tudi, da je stena čim bolj ravna zaradi lesenega zaključka.



Slika 41: Skica detajla vidnega betona



Slika 42: Prikaz pasu betona okoli odprtine

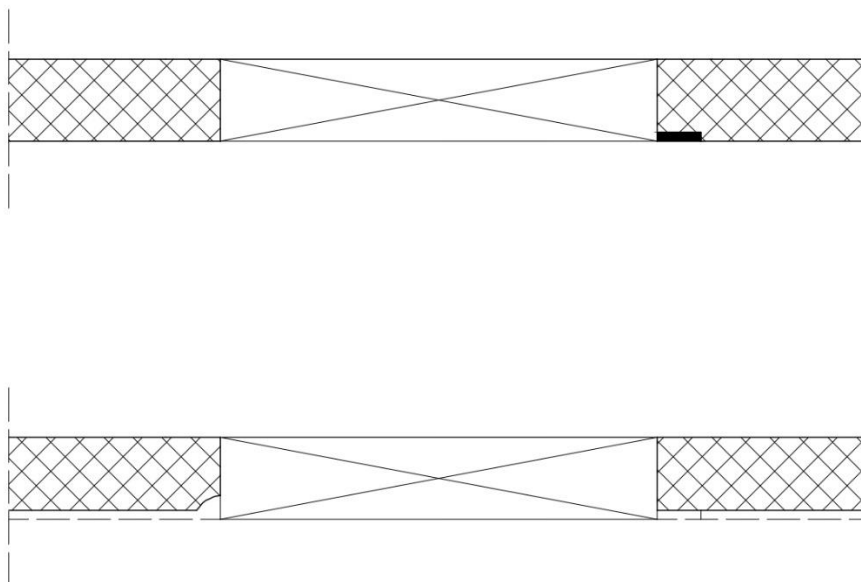


Slika 43: Zaključek vidnega dela z vrati (neustrezno)

Čela oken so poravnana z zunanjo stranjo stene ali vrata z notranjo stranjo stene, zato je zelo pomembno, da je ta del ravno zaključen, brez zračnih mehurčkov, odkruškov ipd. Okno smo zaključili s silikonsko maso (slika 45), vrata pa nadaljevala z lesom (slika 43). Problem je bil, da je bilo pri danih dimenzijskih tolerancah za beton še vedno preveliko odstopanje pri vgradnji oken. Arhitektom ni bilo všeč tudi 2 mm odstopanje pri zaključku s silikonsko maso.

Pri preizkusih na preizkusnem polju smo ugotovili, da se betonski rob odprtine hitro odkruši po brušenju in štokanju. Če ne bi reševali detajla in bi pustili opaž špalete takšen kot je, bi bil zaključek vrat in oken neustrezen saj bi se kamenčki betona pri brušenju in štokanju odkrušili.

Detajl smo poskusili rešiti na več načinov. Kot prikazuje slika 44 smo na zunanji del opaža špalete pritrdili 5 mm debelo in 3–4 cm široko letev. Po razopažanju je ostal utor v betonu (desna stran slike 41). Brusili smo do začetka utora v steno in tako je ostal del z utorom neobdelan. Ker smo povprečno odbrusili 4-5 mm je del z letvijo ostal poravnan z ostalo steno. Pri tej rešitvi je še vedno prišlo do problema horizontalnega in vertikalnega zagotavljanja ravnosti pri izvedbi.



Slika 44: Skica zaključka odprtine brez in z letvico (leva stran brez, desna z letvico – pred in po brušenju)



Slika 45: Prikaz neustreznega zaključka okna

Detajl smo rešili tako, da smo izvedli dvojni opaž. Prva deska na zunanjem delu odprtine je bila čez celotno širino stene, druga, na notranji strani pa 3 cm krajša. Tako je po betoniranju ostal zob dimenzij

3 cm x 3 cm na zunanji strani stene (slika 46). Po brušenju in štokanju smo rob odrezali na prave dimenzije okna in tako je ostal raven, brez odkruškov (slika 47).



Slika 46: Prikaz roba po razopazanju dvojnega opaža

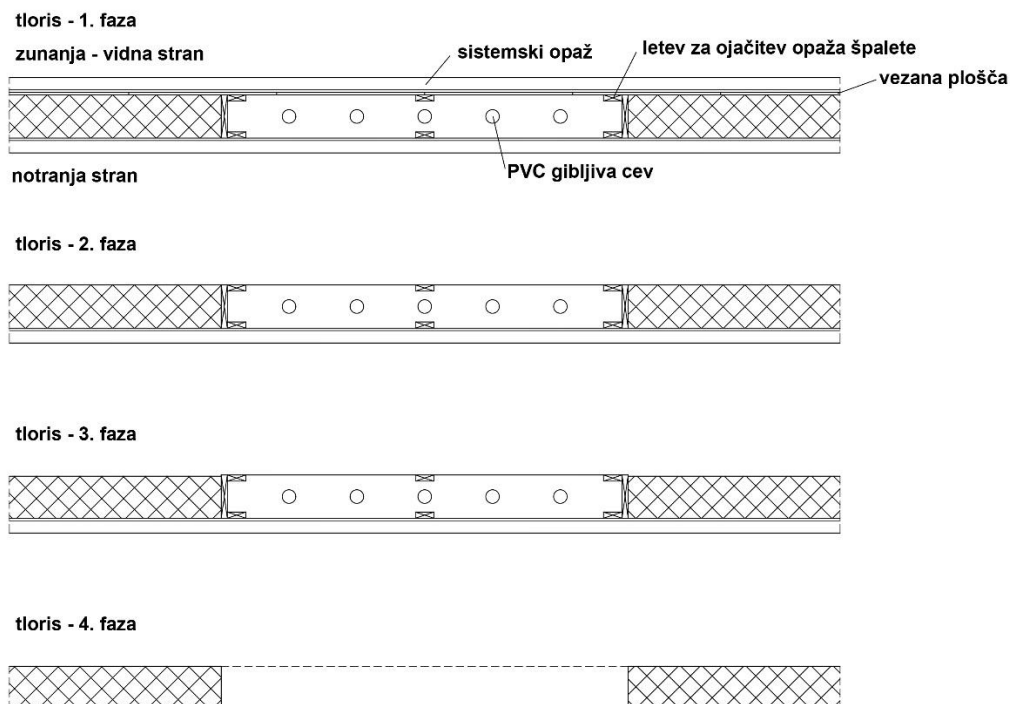


Slika 47: Odrezan rob – brez odkruškov

5.2.1 Predlog za drugačno izvedbo detajla

Predlagam, da bi detajl rešili tako, da po betonaži stene odstranimo opaž na vidni strani ter pustimo opaž špalete (faza 1, slika 48), pritrjenega na enostranski opaž zidu (faza 2, slika 48). Vendar moramo pri izvedbi opaža odprtine biti pozorni, da so dimenzije ter pozicija okna točni. Brusili in štokali bi do opaža špalete, ki bi preprečeval, da bi se rob betonskega zidu odkrušil (faza 3, slika 48). Po zaključni obdelavi bi opaž špalete odstranili in razopazali bi notranjo stran zidu (faza 4, slika 48).

Pri takšni izvedbi bi bila izvedba opaža špalete lažja saj ne bi potrebovali dodatnih desk. Namesto rezanja robu špalete okna, ki stroškovno zelo obremenjuje projekt, bi enostavno opaž bil tisti, ki preprečuje odkruške. Izvedba opaža na točno lokacijo je pri tem detajlu zelo pomembna, zato bi morali tukaj posvečati dodatno pozornost.



Slika 48: Skica faz rešitve brušenja stene

5.3 Sanacija segregacije

Segregacija je pojav, pri katerem se ločijo različne komponente, kot so agregat, voda in cement. Med segregacijo se lahko večji delci usedejo na dno ali pa se zberejo na površini, medtem ko lahko voda oziroma cementno mleko izteka. Segregacija betona je nezaželen pojav, saj lahko vpliva na končno trdnost, obstojnost in estetiko konstrukcije. V praksi je težko zagotoviti objekt brez segregacije, sploh pri gostejši armaturi.



Slika 49: Primer segregacije

V primeru segregacije smo jo morali sanirati. Na obravnavanem objektu je za vidne stene proces sanacije težji, saj moramo sanirati celotno območje vezane plošče (dimenzije 1,20 m x 4,80 m). Poleg tega mora območje po sanaciji izpolnjevati zahtevam vidnih betonov ter barvnih odstopanj.

Na vidni steni smo morali območje celotne vezane plošče odrezati na robovih in nato strojno rušiti betonski material (slika 50).



Slika 50: Prikaz sanacije segregacije betona

Stena se je nato zaprla z opažem in z zgornje strani betonirala. Zaradi starosti betona ob vgranji, drugačne serije betonske mešanice in drugačnih vremenskih pogojev ob betoniranju sanacije, kot pri betoniranju stene, se lahko zgodi, da ima saniran segment drugačen barvni odtenek. Izvor in čistost agregata je lahko drugačen v drugi seriji betonske mešanice. Steno, prikazano na sliki 51, smo betonirali februarja, naknadno smo sanirali segment junija.



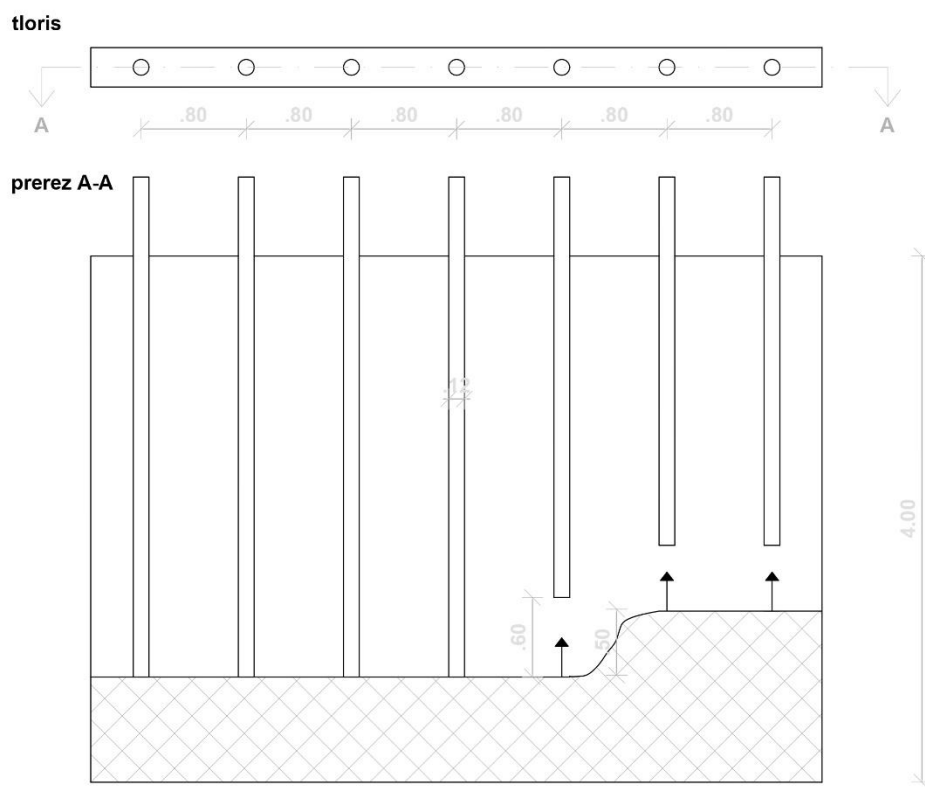
Slika 51: Prikaz saniranega dela stene po betonaži

5.3.1 Predlog za drugačno izvedbo, ki bi zmanjšala problem segregacije

Segregacijo bi lahko zmanjšali tako, da bi med vezanjem armature, torej pred betoniranjem stene, vstavili kontraktorske cevi med armaturo in spustili beton po njih. Uporabimo lahko PVC gladke cevi, premera 120 mm. Pri opažu špalete odprtine smo uporabili gibljivo in rebrasto PVC cev, premera 110 mm, pri katerih se je beton zabijal z večjimi frakcijami agregata. Po potrebi lahko armaturo, kjer je ta pregosta, odmikamo, da lahko cevi vstavimo.

Kontraktorske cevi moramo razporediti po dolžini stene tako, da jih ne damo preveč narazen, kjer bi prihajalo do prevelikega horizontalnega transportiranja betona, ali tako, da jih ne damo preveč skupaj, saj bi to bilo ekonomsko potratno. Predlagam, da bi cevi razporedili na 0,80 m po dolžini zidu, kot je prikazano na sliki 52, saj je ta dolžina najbolj optimalna tudi za vibriranje in revibriranje betona. Z dolžino 0,80 m dosežemo pokritost vibracijskih igel. Ob betoniranju jih moramo postopoma dvigovati za 50 cm po izvedbi prejšnjega sloja (slika 52). Ko jih izvlečemo je v cevi težje betoniranje. Ker se cevi lahko na spojih malo premikajo, nam bi bilo betoniranje z avtočrpalko ali s pomočjo žerjava oteženo, celo nemogoče. Predlagam, da se cevi odreže na vsak 1,00 m dvigovanja ali pa da se izdela nastavek v obliki lija za lažji prehod betona iz cevi avtočrpalke v PVC cev.

Tako bi najlažje zagotovili pogoj prostega pada največ enega metra. Izvedba bi sicer bila otežena in časovno potratna, vendar kasneje ne bi bilo treba popravljati segregacijskih mest, kar bi se lahko izkazalo za ekonomsko bolj koristno. Vse cevi bi lahko tudi pritrdili na desko, na zgornjem delu, in jih sočasno dvigovali s pomočjo žerjava.



Slika 52: Prikaz rešitve segregacijskih mest s kontraktorskimi cevmi

»Ta stran je namenoma prazna.«

6 ZAKLJUČEK

Za betone višjih razredov vidnih površin je sama izvedba zelo zahtevna. Pri izvedbi vidnih betonov je pomembno, da ima izvajalec del dovolj izkušenj in da pozna tehnologijo gradnje, vendar so nekatere zahteve standardov na tem področju težko uresničljive ali pa jih je nemogoče doseči. Seveda se pri izvedbi vedno pojavijo napake, ki jih lahko zmanjšamo z opisanimi postopki.

V diplomski nalogi sem opisal zahteve povezane z notranjo kontrolo gradnje, zahteve za obdelavo različnih vrst vidnih betonov, dovoljena odstopanja ravnosti in barvnih odstopanj, zahtev povezanih z nego in zaščito betona in delovnih stikov, kjer sem opisal tudi princip bele kadi, ki je bila zahtevana na projektu. Opisal sem katere vrste betonov, cementov in agregatov obstajajo ter katere smo uporabili pri gradnji. Opisal sem tudi katere dodatke in zakaj smo jih dodajali v betonsko mešanico za vidne betone.

Predstavil sem postopek vgradnje betona in zgoščevanja ter kako smo zaključno obdelali vidni beton in katera orodja smo uporabili. Od vezav opaža ostanejo luknje s konusnim zaključkom v betonu, zato sem opisal kako jih zapolnimo. Nekaj sem povedal še o zaključnih premazih, ki smo jih nanесли na vidni beton po zaključni obdelavi.

Za konec sem predstavil nekaj praktičnih primerov, pri katerih je bila potrebna inovativnost izvajalca pri reševanju neobičajnih in zahtevnejših detajlov, ki se ne pojavljajo v klasičnih gradnjah. Teoretično znanje in dolgoletne praktične izkušnje so pripomogle k boljšim rešitvam in izvedbi detajlov. K opisanim detajlom sem dodal svoje rešitve, ki bi jih lahko upoštevali pri gradnji.

Zaradi problema velikih pritiskov na opaž odprt in posledično deformacije opaža, sem za rešitev predlagal klasičen pristop, pri katerem odprtino ne zapremo z opažem in steno betoniramo v dveh fazah. Kot predlog za izboljšavo izvedbe sem predstavil tudi ojačitev opaža.

Pri zaključni obdelavi se betonski rob odprtine hitro odkruši, zato sem predlagal, da začasno pustimo opaž odprtine pritrjen na notranji čelni opaž in šele po brušenju in štokanju opaž odstranimo. Tako bi preprečili odkruške zidu na robu.

Da bi zmanjšali segregacijo in posledično sanacije segregacij, ki so neekonomični, sem predlagal, da bi pred betoniranjem v stene vstavili kontraktorske cevi med armaturo. Med betoniranjem bi tako beton spustili po ceveh, kar bi rešilo pogoj prostega pada betona največ enega metra in olajšalo izvedbo betoniranja stene. Kontraktorske cevi bi ustrezno razporedili po dolžini stene.

»Ta stran je namenoma prazna.«

VIRI

Bokan Bosiljkov, V. 2023. Predmet gradiva – predavanje Beton

Dolenec, A., Pelc, L., Kern, P., Lončar, K., Čeligoj, T., Bučar Kitner, B., Rotar, M., Kitner, D. 2021. Projekt za izvedbo.

Microsoft Bing zemljevidi.

<https://www.bing.com/maps?q=bled&FORM=HDRSC6&cp=46.371076%7E14.099716&lvl=16.3&style=a> (pridobljeno 20. 7. 2023.)

Saje, D. 2016. Tehnologija betona (predavanja) Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/KMLK/Drago/IPiMK/IPiMK_2016_2017/2016_09_30_0003_Tehnologija_betona_TEORIJA.pdf

Simončič, K. 2018. Gradnja armirano betonskih vodohranov po tehnologiji bele kadi. Magistrsko delo.

SIST EN 13670:2010. Izvajanje betonskih konstrukcij.

SIST EN 13670:2010/A101:2010. Izvajanje betonskih konstrukcij - Nacionalni dodatek.

SIST EN 13670:2010/A101:2010/AC:2023. Izvajanje betonskih konstrukcij - Nacionalni dodatek - Popravek AC.

SIST-TP CEN/TR 15739:2009. Betonski izdelki - Betonski zaključki – Identifikacija.

SIST EN 12350-2: 2019. Preskušanje svežega betona - 2. del: Preskus s posedom stožca

SIST EN 197-1: 2011. Cement - 1. del: Sestava, zahteve in merila skladnosti za običajne cemente

Šušteršič, J., Ercegovič, R. 2021. Projekt izvajanja betonske konstrukcije

Technical list of Portland cement with limestone CEM II/A-LL 42,5 R. 2023. Tehnični list.
<https://www.cement.cz/documents/211755/757276/CEM+II+A-LL+42%2C5+R+-+Technical+list+EN.pdf/4a161120-9f29-bc13-5a21-f1a5a27bc72c>

Tehnični list: Pantapor 66 (LP). 2023.

https://www.ha-be.com/admixtures/product_portfolio/air_entraining_agents/1545.htm

Tehnični list: Ha-Be SRA-100 (Lespatex).

https://www.lespatex.si/trgovina/wp-content/uploads/2021/03/sra-100_tds_slo.pdf (pridobljeno 20. 07. 2023.)

Tesnjenje delovnih stikov in dilatacij: bela kad (Lespatex).

<https://www.lespatex.si/gradbenistvo/tesnjenje-delovnih-stikov-in-dilatacij-bela-kad/> (pridobljeno 20. 7. 2023.)

Water penetration test. <https://www.youtube.com/watch?v=Jp1FqBCApAA&t=101s>
(pridobljeno 10. 8. 2023.)