

# arao

Ravnanje z radioaktivnimi odpadki  
Radioactive Waste Management



## Projektna naloga

Študija proizvodnje, vgradljivosti in  
karakteristik končnih betonskih mešanic  
za izvedbo sekundarne  
armiranobetonske obloge silosa  
odlagališča NSRAO

**02-10-012-003**

avgust, 2019

naročnik		REPUBLIKA SLOVENIJA Po pooblastilu: ARAO j.g.z. Celovška cesta 182 1000 Ljubljana
objekt	Odlagališče NSRAO Vrbina, Krško	
vrsta dokumenta	Projektna naloga Študija proizvodnje, vgradljivosti in karakteristik končnih betonskih mešanic za izvedbo sekundarne armiranobetonske obloge silosa odlagališča NSRAO	
revizija	0	
enotna oznaka dokumenta (NSRAO2)	NSRAO2-PNA-024-00	
ident. oznaka ARAO	02-10-012-003	
datum izdelave	Avgust, 2019	

pripravil	<b>mag. Bojan Hertl</b> univ. dipl. inž. metal.	dne:	podpis:
pregledal	<b>Matej Rupret</b> univ. dipl. inž. geol.	dne:	podpis:
pregledal (vodja projekta)	<b>mag. Sandi Viršek</b> univ.dipl.inž.rud. in geotehnol.	dne:	podpis:
potrdil za naročnika	<b>mag. Sandi Viršek</b> univ.dipl.inž.rud. in geotehnol.	dne:	žig in podpis:

**arao**

Celovška cesta 182  
 1000 Ljubljana, Slovenija

E

<i>Verzija/Revizija</i>	<i>Oznaka in ime dokumenta</i>	<i>Ime in priimek</i>	<i>Datum</i>
/			

## KRATICE

**ZVISJV** - Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti. (Ur. l. RS, št. 102/04 - uradno prečiščeno besedilo, 70/08 - ZVO-1B, 60/11, 74/15).

**JV5** - Pravilnik o dejavniki sevalne in jedrske varnosti (Ur. l. RS, št. 74/16);

**JV7** - Pravilnik o ravnanju z radioaktivnimi odpadki in izrabljenim gorivom (Ur. l. RS, št. 49/06);

**JV9** - Pravilnik o zagotavljanju varnosti po začetku obratovanja sevalnih ali jedrskih objektov (Ur. l. RS, št. 81/16);

**ISO 9001:2015** - Mednarodni standard: Sistemi vodenja kakovosti – Zahteve, 2015

**IAEA GS-R-3** - Management System for Facilities and Activities, 2006

**IAEA GSR Part 2** - Leadership and Management for Safety, 2016

**SIST** - Oznaka izvirnega slovenskega nacionalnega standarda

**SIST EN** – Kadar se prevzame npr. EU standard

**ASTM** - American Society for Testing and Materials

**ACI** - American Concrete Institute

## POJMI (angleško – slovenski slovar izrazov z opisom)

### Concrete - beton

#### 1 admixture - dodatek

a material other than water, aggregates, cementitious materials, and fiber reinforcement, used as an ingredient of a cementitious mixture to modify its freshly mixed, setting, or hardened properties and that is added to the batch before or during its mixing

material, drugačen od vode, agregatov, hidravličnih materialov in vlaken, ki se uporablja kot primes hidravlični mešanici z namenom, da modificira njegove lastnosti med mešanjem, vezanjem ali strjevanjem in se dodaja šarži pred ali med mešanjem

#### 2 aggregate - agregat

granular materials, such as sand, gravel, crushed stone, crushed hydraulic-cement concrete, or iron blast-furnace slag, used with a hydraulic cementing medium to produce either concrete or mortar;

- fine aggregate: aggregate passing the 9,5 mm sieve, almost entirely passing the 4,75 mm sieve and predominantly retained on the 75 µm sieve;

- coarse aggregate: aggregate predominantly retained on the 4,75 mm sieve;

granuliran material, kot pesek, prod, drobljeni kamen, drobljeni cementni beton, ali jeklarska žlindra, ki se uporablja s hidravličnim vezivom, da se proizvede beton ali malta

- drobni agregat: agregat, ki se preseje skozi 9,5 mm sito, v celoti skozi sito 4,75 mm in pretežno ostaja na situ 75 µm;

- grob agregat: agregat, ki pretežno ostaja na situ 4.75 mm;

### **3 cement - cement**

a binding material that sets and hardens by chemical reaction with water and is capable of doing so underwater

vezivni material, ki veže in strjuje s kemijsko reakcijo z vodo in je sposoben vezanja in strjevanja tudi pod vodo

### **4 cementitious materials - hidravlični materiali**

cements and pozzolans (fly ash, silica fume, slag)

cementi in pucolani (elektrofitrski pepel, mikrosilika, žindra)

### **5 concrete - beton**

mixture of cement, aggregates, and water, with or without admixtures, fibers, or other cementitious materials

mešanica cementa, agregatov in vode z ali brez dodatkov, vlaken ali drugih hidravličnih materialov

### **6 concrete finish - zaključna obdelava betona**

the texture of a surface after consolidating and finishing operations have been performed

zaključna obdelava betona

tekstura površine se izvede po zgoščanju in zaključnih operacijah

### **7 conveying - transportiranje**

convey of concrete from the mixer to the place of final deposit without segregation or loss of materials irrespective of mode of conveying

transport betona od mešalnika do mesta končne odložitve brez segregacije ali izgube materiala ne glede na način transportiranja

### **8 floor hardener - talni utrjevalec**

a chemical applied to concrete floors to reduce wear and dusting

kemični preparat, ki se uporablja za betonska tla za zmanjšanje obrabe in prašenja

### **9 fly ash - elektrofiltski pepel**

the finely divided residue that results from the combustion of ground or powdered coal and that is transported by flue gases from the combustion zone to the particle removal system

fini končni ostanek, ki izhaja iz gorenja kosovnega premoga ali premoga zdrobljenega v prah in ki se transportira z zračnim tokom od področja gorenja do sistema odstranjevanja delcev

### **10 formwork - opaž**

total system of support for freshly placed concrete

celoten podporni sistem sveže vgrajenega betona

## 11 curing - negovanje

action taken to maintain moisture and temperature conditions in a freshly placed cementitious mixture to allow hydraulic cement hydration and (if applicable) pozzolanic reactions to occur so that potential properties of the mixture may develop

ukrep vzdrževanja pogojev vlažnosti in temperature v sveže vgrajeni hidravlični mešanici, da jee omogočena hidratacija cementa in (če se uporablja) pucolanske reakcije tako, da se lahko razvijejo potencialne lastnosti mešanice

## 12 formwork - opaž

total system of support for freshly placed concrete including the mold or sheathing that contact the concrete as well as supporting members, hardware, and necessary bracing

celoten sistem podpore za sveže vgrajeni beton, vključno z modelom ali oblogo , ki povezuje beton, kakor tudi podporne elemente, kovinske elemente in potrebno ojačitev

## 13 grout - zalivna masa

a mixture of cementitious material and water, with or without aggregate, proportioned to produce a pourable consistency without segregation of the constituents

mešanica hidravličnih materialov in vode z ali brez agregata, ki je sestavljena tako, da se proizvede lita konsistenca brez segregacije sestavin

## 14 joint - stik

a physical separation in a concrete system, whether precast or cast-inplace, including cracks if intentionally made to occur at specified locations

fizična ločitev v betonskem sklopu bodisi, da je prefabriciran ali izdelan na licu mesta, vključno z razpokami, ki so namerno povzročene, da se pojavijo na določenih mestih

## 15 mass concrete - masivni beton

any volume of concrete with dimensions large enough to require that measures be taken to cope with generation of heat from hydration of the cement and attendant volume change to minimize cracking

vsak volumen betona s tako velikimi dimenzijami ki zahtevajo, da se privzamejo ukrepi za obvladovanje generirane toplote zaradi hidratacije cementa in spremljajočo spremembo prostornine, da se zmanjša razpokanost

## 16 mixing - mešanje

producing concrete by continuously blending ingredients in fixed proportions; the discharge of the concrete mixture may be started or stopped as required

proizvodnja betona s kontinuiranim mešanjem primesi v določenem razmerju; praznjenje betonske mešanice se lahko začne in konča, ko je to zahtevano

## 17 mixing water - zamesna voda

the water in freshly mixed sandcement grout, mortar, or concrete, exclusive of any previously absorbed by the aggregate

voda v sveži mešanici zalivne malte, malte ali betona, brez vsakršne predhodno absorbirane vode agregata

### **18 mix proportion - sestava mešanice**

the proportions of ingredients that make the most economical use of available materials to produce mortar or concrete of the required properties

sestave primesi, ki naredijo najbolj ekonomično uporabo razpoložljivih materialov za proizvodnjo malte ali betona z zahtevanimi lastnostmi

### **19 placement - vgradnja**

the process of placing and consolidating concrete; a quantity of concrete placed and finished during continuous operation; inappropriately referred to as pouring

postopek vgrajevanja in zgoščanja betona; kvantiteta betona, vgrajenega in dokončanega med kontinuiranim postopkom; nepravilna razlaga za vlivanje

### **20 repair - popravilo**

to replace or correct deteriorated, damaged, or faulty materials, components, or elements of a structure

zamenjati ali korigirati poslabšane, poškodovane ali pomanjkljive materiale, sestavne dele ali elemente konstrukcije

### **21 reinforcement - armatura**

bars, meshes, wires, strands, fibers, or other slender elements that are embedded in a matrix such that they act together to resist forces

palice, mreže, žice, vrvi, vlakna in drugi tanki elementi, ki so vgrajeni v matrico tako, da učinkujejo vzajemno proti delovanju sil

### **22 silica fume - mikrosilika**

very fine noncrystalline silica produced in electric arc furnaces as by-product of the production of elemental silicon or alloys containing silicon

zelo fini nekristalinični silicij, ki se proizvaja v električnih obločnih pečeh kot stranski proizvod pri proizvodnji elementarnega silicija ali zlitin s silicijem

## KAZALO

<b>1 UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2 NAMEN IN CILJI ŠTUDIJE.....</b>	<b>2</b>
<b>3 OPIS STANJA .....</b>	<b>3</b>
<b>4 VSEBINA IN OBSEG ŠTUDIJE (ZAHTEVE ZA PROGRAMA RAZISKAV BETONSKIH MEŠANIC).....</b>	<b>4</b>
<b>4.1 DOLOČITEV KRITERIJEV LASTNOSTI BETONA .....</b>	<b>4</b>
4.1.1 Referenčna dokumentacija .....	4
4.1.2 Kriteriji za sveži beton.....	4
4.1.3 Kriteriji za strjeni beton .....	5
<b>4.2 IZBOR OSNOVNIH MATERIALOV ZA BETON .....</b>	<b>5</b>
4.2.1 Referenčna dokumentacija .....	5
4.2.2 Mineralna veziva - cement.....	6
4.2.3 Mineralni dodatki .....	7
4.2.4 Polimerni materiali .....	7
4.2.5 Voda.....	7
4.2.6 Grobi agregat .....	8
4.2.7 Drobní agregat.....	9
4.2.8 Kemijski dodatki .....	10
<b>4.3 DOLOČITEV OSNOVNIH PARAMTROV SESTAVE BETONA.....</b>	<b>10</b>
4.3.1 Referenčna dokumentacija .....	10
4.3.2 Postopek določanja sestave betona .....	10
<b>4.4 DOLOČITEV ZAHTEV ZA IZVAJANJE BETONARSKIH DEL: PRIPRAVA, TRANSPORT, VGRAJEVANJE, NEGA.....</b>	<b>12</b>
4.4.1 Referenčna dokumentacija .....	12
4.4.2 Priprava in transport betona .....	13
4.4.3 Vgrajevanje betona v poskusne bloke .....	14
4.4.4 Nega betona poskusnih blokov.....	16
4.4.5 Opaži poskusnih blokov in referenčnih kock za definiranje površine vidnih betonov .....	16
4.4.6 Vgrajevanje betona v poskusne bloke .....	17
4.4.7 Nega betona poskusnih blokov.....	18
4.4.8 Opaži poskusnih blokov in referenčnih kock za definiranje površine vidnih betonov .....	19
4.4.9 Samozgoščevalni beton (SCC).....	19
<b>4.5 DOLOČITEV NAČINA KONTROLE IZVAJANJA BETONARSKIH DEL, VRSTE IN POGOSTOST KONTROLNIH PRESKUSOV .....</b>	<b>19</b>



4.5.1	Referenčna dokumentacija .....	19
4.5.2	Materiali.....	20
4.5.3	Izvedba.....	20
4.5.4	Kontrola izvajanja betonarskih del, vrste in pogostost kontrolnih preskusov in končno poročilo .....	20
<b>5</b>	<b>ZAHTEVE ZA IZVEDBO .....</b>	<b>22</b>
<b>5.1</b>	<b>ROK ZA IZVEDBO .....</b>	<b>22</b>
<b>5.2</b>	<b>ZAHTEVE GLEDE IZVAJALCEV OZIROMA PODIZVAJALCEV.....</b>	<b>22</b>
<b>5.3</b>	<b>POMEMBNI VHODNI PODATKI .....</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>PREDLOG IZVEDBE (PROGRAM RAZISKAV BETONSKIH MEŠANIC) .....</b>	<b>23</b>
<b>6.1</b>	<b>PREDHODNE PREISKAVE OSNOVNIH MATERIALOV ZA BETON .....</b>	<b>23</b>
6.1.1	Cement – fizikalno-kemijske lastnosti .....	23
6.1.2	Agregat – dolomitnega in apnenčevega izvora (vse frakcije) .....	23
6.1.3	Mikrosilika – fizikalno-kemijske lastnosti .....	23
<b>6.2</b>	<b>PREDHODNE PREISKAVE BETONOV .....</b>	<b>23</b>
6.2.1	Priprava sestav (receptur) betonov .....	23
6.2.2	Preskusi svežih betonov – konsistenca .....	23
6.2.3	Meritve adiabatskih karakteristik betona .....	23
6.2.4	Določitev časa strjevanja s penetracijsko iglo .....	23
6.2.5	Določitev zrelostne funkcije .....	24
6.2.6	Meritve avtogenega krčenja.....	24
6.2.7	Meritve krčenja – prostorske deformacije betona.....	24
6.2.8	Meritve lezenja .....	24
6.2.9	Preskus tlačne trdnosti in prostorninske mase strjenega betona.....	24
6.2.10	Preskus obnašanja betona pri upogibu.....	24
6.2.11	Preskus obnašanja betona pri cepitvi z zagazdo .....	24
6.2.12	Preskus statičnega modula elastičnosti .....	24
6.2.13	Preskus odpornosti betona proti prodoru vode .....	24
6.2.14	Preskus notranje odpornosti betona proti zmrzovanju/tajanju .....	24
6.2.15	Preiskave potenciala alkalno-silikatne reaktivnosti na malti .....	24
6.2.16	Preiskave potenciala alkalno-silikatne reaktivnosti na betonu.....	24
6.2.17	Preskus prepustnosti za tekočine .....	25
6.2.18	Preskus kapilarne vodo-vpojnosti .....	25
6.2.19	Preskus odpornosti proti koroziji zaradi karbonatizacije.....	25
6.2.20	Preskus odpornosti proti difuziji kloridov .....	25
6.2.21	Preskus celokupne (totalne) poroznosti betona .....	25
6.2.22	Obdelava in vrednotenje rezultatov ter priprava poročila .....	25
<b>6.3</b>	<b>IZDELAVA POSKUSNIH BLOKOV .....</b>	<b>25</b>

6.3.1	Referenčna kocka za vidne betone.....	25
6.3.2	Poskusni bloki izbranih mešanic betona .....	25
6.3.3	Vgradnja tesnilnih trakov, priprava površin betonov .....	26
6.3.4	Poskus vgrajevanja betona s črpalko na - 60 metrov - enkratni poizkus .....	26
<b>6.4</b>	<b>KONTROLA VGRAJEVANJA BETONA V POSKUSNE BLOKE, MERITVE NA TERENU</b>	
	<b>IN LABORATORIJSKI PRESKUSI .....</b>	<b>26</b>
6.4.1	Kontrola priprave in vgrajevanje betona.....	26
6.4.2	Preskus tlačne trdnosti .....	26
6.4.3	Preskus odpornosti betona proti prodoru vode .....	26
6.4.4	Kontrola priprave in vgrajevanje betona.....	26
6.4.5	Preskus tlačne trdnosti .....	26
6.4.6	Preskus odpornosti betona proti prodoru vode .....	27
6.4.7	Meritev sproščanja toplote v betonu med strjevanjem .....	27
6.4.8	Monitoring vgrajenega betona v poskusne bloke .....	27
6.4.9	Odvzem valjev Ø 100 mm z vrtanjem poskusnih blokov .....	27
6.4.10	Preskus celokupne (totalne) poroznost betona poskusnih blokov .....	27
6.4.11	Preskus odpornosti betona proti prodoru vode na poskusnih blokih .....	27
6.4.12	Preskus kapilarne vodo-vpojnosti na poskusnih blokih .....	27
6.4.13	Priprava zaključnega poročila .....	27
<b>7</b>	<b>REFERENČNA DOKUMENTACIJA .....</b>	<b>28</b>
<b>8</b>	<b>REZULTATI/IZDELKI/POROČILA.....</b>	<b>29</b>
<b>9</b>	<b>NAČIN PREVERJANJA REZULTATOV IN PLAČILA .....</b>	<b>30</b>
<b>9.1</b>	<b>NAČINPREVERJANJA REZULTATOV .....</b>	<b>30</b>
<b>9.2</b>	<b>PLAČILA PO POGODBI .....</b>	<b>30</b>

## 1 UVOD

Na podlagi ZVISJV-1[1], je ARAO pooblaščen za izvajanje GJS ravnanja z RAO, katere obseg določa 122. člen ZVISJV-1:

- prevzemanje, zbiranje, prevažanje, predelavo in skladiščenje pred odlaganjem, priprave na izgradnjo odlagališča, izgradnjo odlagališča ter odlaganje radioaktivnih odpadkov, ki niso odpadki iz jedrskih objektov za proizvodnjo energije;
- predelavo radioaktivnih odpadkov in izrabljenega goriva pred odlaganjem, priprave na izgradnjo odlagališča, izgradnjo odlagališča ter odlaganje radioaktivnih odpadkov iz jedrskih objektov za proizvodnjo energije;
- upravljanje, dolgoročni nadzor in vzdrževanje zaprtih odlagališč radioaktivnih odpadkov;
- upravljanje, dolgoročni nadzor in vzdrževanje zaprtih odlagališč rudarske in hidrometalurške jalovine, ki nastane pri pridobivanju in izkoriščanju jedrskih mineralnih surovin.

ARAO je pripravila izhodišča ki jih je potrebno upoštevati pri načrtovanju projektnih rešitev za odlagališče NSRAO Vrblina, Krško[2].

Projektne rešitve za odlagališče NSRAO na lokaciji Vrblina, Krško, prikazane v PGD [3], temeljijo na poprejšnjih domačih rešitvah, na uveljavljenih rešitvah v svetu in na izkušnjah ter na rešitvah, ki so bile opredeljene v postopku umeščanja odlagališča v prostor v skladu s programom priprave državnega lokacijskega načrta za odlagališče NSRAO in podrobneje obdelane v idejnih zasnovah, idejnem projektu in zasnovi PGD odlagališča. Pri izdelavi optimiranih rešitev so bile upoštevane tudi ugotovitve recenzijskih postopkov in priporočila domačih in tujih ekspertov.

Neodvisno strokovno mnenje o PGD za odlagališče NSRAO je izdelala Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo[4].

Naša projektna naloga se osredotoča predvsem na izvedbo Študije proizvodnje, vgradljivosti in karakteristik končnih betonskih mešanic za izvedbo sekundarne armiranobetonske obloge silosa v odlagališču NSRAO, v katerega se bodo vstavili zabojniki z nizko in srednje radioaktivnimi odpadki (v nadaljnjem besedilu Študija).

Študija bo oddana v izvedbo zunanjemu izvajalcu skladno z veljavnim zakonom o javnem naročanju[5].

## 2 NAMEN IN CILJI ŠTUDIJE

Sekundarna obloga silosa odlagališča NSRAO ima bistven pomen pri stabilnosti, trajnosti in varnosti celotnega odlagališča ves čas obratovanja in tudi kasneje. Predvidena debelina obloge silosa znaša nad 1,00 m, zato se beton, ki se bo vgradil v oblogo prišteva med masivne betone, ki imajo bistveno drugačne karakteristike, pogoje proizvodnje, vgradnje in nege v času strjevanja kot klasični (normalni konstrukcijski) beton.

Namen študije je preveriti karakteristike, pogoje proizvodnje, vgradnje in nege v času strjevanja izbranega betona za sekundarno oblogo silosa odlagališča NSRAO, ki bi se izvedla v treh korakih:

### 1. faza

Na podlagi vhodnih podatkov projektne naloge (PN) in predhodnih preiskav osnovnih materialov za beton je potrebno z naročnikom, projektantom in nadzorom, ki ga bo izbral in določil naročnik pregledati, podati ustrezne komentarje in uskladiti predlagane zahteve za betone – podane v tretjem poglavju te PN in po potrebi dodati nove ter predlagati in uskladiti izbiro osnovnih materialov za beton z naročnikom, projektantom in nadzorom, ki ga bo izbral in določil naročnik.

### 2. faza

Izvajalec na podlagi odločitev iz prve faze preveri program raziskav podan v 6. poglavju te PN in po potrebi predlaga dopolnitve. Program mora biti vsaj v istem obsegu kot je predlagano v 6. poglavju. Naročnik program pred izvedbo potrdi. Ponudbena cena razpisanih del se pri tem ne sme zvišati. Na podlagi potrjenega programa izvajalec izvede usklajeni program raziskav na štirih različnih tipih betonov definiranih v poglavju 6 te PN.

### 3. faza

Po izvedbi obeh korakov se izvede Študija proizvodnje, vgradljivosti in karakteristik končnih betonskih mešanic za izvedbo sekundarne armiranobetonske obloge silosa odlagališča NSRAO (vsebuje tudi Zaključno poročilo izvedbe programa raziskav in poročilo o tehnologiji predlagane betonske mešanice ter razpisnih pogojev za izdelavo in vgradnjo le te za sekundarno oblogo silosa odlagališča NSRAO in predstavitev rezultatov študije naročniku).

### **3 OPIS STANJA**

Predvidena debelina obloge silosa znaša nad 1,00 m, zato se beton, ki se bo vgradil v oblogo prišteva med masivne betone za katere je projektant podal naslednje osnovne zahteve:

- zahtevani trdnostni razred konstrukcije diafragme C35/45;
- izbrana je rebrasta armatura kvalitete B500-B,
- razred izpostavljenosti konstrukcije je XC2;
- komponente betonske mešanice v skladu z EN 1538:2011+A1:2015;
- agregat-dmax = 32 mm; količina peska (0,06-2 mm) min. 40% glede na skupno težo agregata;
- minimalna vsebnost cementa 350 kg/m<sup>3</sup> glede na velikost agregata.

Izvajalec preveri vhodne podatke na podlagi PN in referenčne dokumentacije PGD in PZI za sekundarno oblogo silosa odlagališča NSRAO.

Leta 2016 je bila objavljena nova izdaja standarda SIST 1026 Beton – Specifikacija, lastnosti, proizvodnja in skladnost – Pravila za uporabo SIST EN 206, ki je bil prilagojen spremembam standarda SIST EN 206:2013. Istočasno pa je bil objavljen tudi slovenski prevod standarda SIST EN 206:2013.

Projektna naloga (PN) se sklicuje na veljavne standarde in specifikacije. Upoštevajo se slovenski standardi (SIST, oziroma SIST EN) ter ameriški standardi (ASTM) in priporočila tehničnih komisij ACI (American Concrete Institute), ki obravnavajo posamezne teme PN. V poglavjih (2 do 6), ki obravnavajo teme PN, navajamo standarde in priporočila iz katerih smo privzeli določila in se bodo morala upoštevati pri izvedbi Študije. Ker pa je ACI 349-06, »Code Requirements for Nuclear Safety-Related Concrete Structures (ACI 349-06) and Commentary« eden od osnovnih dokumentov, ki se bodo uporabljali v okviru Študije, se v PN navajajo prvenstveno ameriški standardi ASTM, ki so podani v tem dokumentu. Tam kjer je mogoče, se privzemajo SIST EN, vendar ob pogoju, da so izpolnjene strožje izmed zahtev, ki jih podajajo slovenski in ameriški standardi ter specifikacije.

## 4 VSEBINA IN OBSEG ŠTUDIJE (ZAHTEVE ZA PROGRAMA RAZISKAV BETONSKIH MEŠANIC)

V okviru Študije, ki se bo izvedla na osnovi vhodnih podatkov PN, se bodo izvedle raziskave betonskih mešanic, preiskali se bodo potencialni resursi vhodnih materialov, definirale se bodo recepture betonov, ki bi zagotavljale primerne pogoje vgradnje in obnašanje betona v času strjevanja. Na ta način se pridobi preverjene rezultate za izdelavo tehničnih pogojev razpisne dokumentacije, kjer se definirajo zahtevane karakteristike betonov sekundarne obloge silosa in poda mejne vrednosti temperatur, krčenja in ostalih karakteristik betona, ki bodo preskušeno zagotavljali zahtevano kvaliteto, stabilnost in trajnost celotne konstrukcije in objekta.

### 4.1 DOLOČITEV KRITERIJEV LASTNOSTI BETONA

#### 4.1.1 Referenčna dokumentacija

Za določitev kriterijev lastnosti strjenega betona (mehanskih in obstojnostnih) se upoštevajo zahteve in priporočila naslednjih dokumentov:

- Projekt PGD za odlagališče NSRAO, Vrbina, Krško, IBE Ljubljana;
- Workshop IBE Ljubljana, January 13 and 14, 2015, Draft Report 22.01.2016;
- ACI 349-06, "Code Requirements for Nuclear Safety-Related Concrete Structures (ACI 349-06) and Commentary";
- SIST EN 206:2013 Beton – Specifikacija, lastnosti, proizvodnja, skladnost;
- SIST 1026:2016 Beton – Specifikacija, lastnosti, proizvodnja in skladnost – Pravila za uporabo SIST EN 206:2013;
- ACI 301- 10, "Specifications for Structural Concrete";
- ACI 318- 11, "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary.";
- ACI 363R-10, "Report on High-Strength Concrete.".

#### 4.1.2 Kriteriji za sveži beton

Beton za sekundarno oblogo mora v svežem in strjenem stanju doseči lastnosti, ki so podane v nadaljevanju te PN in so povzete po zgoraj navedeni referenčni dokumentaciji ter se morajo preveriti v okviru Študije proizvodnje, vgradljivosti in karakteristik končnih betonskih mešanic za izvedbo sekundarne armiranobetonske obloge silosa. Kriteriji za sveži beton so:

- **konsistenca – obdelovalnost:** konsistenčna stopnja svežega betona se bo določila glede na uporabljeno tehnologijo vgrajevanja; za beton, ki se bo zgoščal z vibriranjem velja klasifikacija, podana v SIST EN 206:2013, tč. 4.2.1, Preglednica 3: **Razredi poseda**; za samozgoščevalni beton (SCC) pa velja klasifikacija, ki je podana v naslednjih preglednicah: Preglednica 6: **Razredi razleza s posedom**, Preglednica 7: **Razredi viskoznosti –  $t_{500}$** ; Preglednica 8: **Razredi viskoznosti –  $t_v$** ; Preglednica 9: **Razredi zmožnosti prehajanja – L-zaboj**; Preglednica 10: **Razredi zmožnosti prehajanja – J-obroč**; Preglednica 11: **Razredi odpornosti proti segregaciji s sitom**;
- **največja temperatura v strujočem vgrajenem betonu v konstrukcijski element (blok)**  $T_{max} = 40^{\circ}C$  in **gradient temperature  $\Delta T \leq 20^{\circ}C$**  med zunanjo temperaturo zraka in notranjo temperaturo betona 50 cm od površine;

- **krčenje betona - povprečna vrednost  $\epsilon_{cs,180} \leq 0,40$  mm/m**; meritev se izvaja do 180 dni po DIN 4227 – 1. del, na prizmah z dimenzijami  $10 \times 10 \times 50$  cm, pri relativni vlažnosti  $64 (\pm 5)\%$  in temperaturi  $+20 (\pm 2)^\circ\text{C}$ .

#### 4.1.3 Kriteriji za strjeni beton

Kriteriji za strjeni beton so:

- **razred tlačne trdnosti C35/45, oziroma C40/50 (območje strižnih moznikov)**; pri uporabi cementa z nizko toploto hidratacije se karakteristična tlačna trdnost ( $f_{ck,cube}$ ) določa pri starosti betona 90 dni;
- **statični modul elastičnosti  $\leq 50$  GPa**;
- **odpornost proti širjenju razpoke  $f_{ct}/f_{0,2} \geq 0,75$** ;  $f_{ct}$  – največja cepilna natezna trdnost,  $f_{0,2}$  – ekvivalentna cepilna natezna trdnost do širine razpoke 0,2 mm; obe trdnosti se določita s preskusom po metodi cepitve z zagozdo;
- **odpornost proti koroziji zaradi karbonatizacije** - stopnja izpostavljenosti **XC4** (XC2) – ugotavlja se globina karbonatizacije s pospešenim preskusom po pr EN 12390-12;
- **odpornost proti kemijskem delovanju** – stopnja izpostavljenosti **XA3** – uporabi se sulfatno odporni cement in mikrosilika;
- **notranja odpornost proti zmrzovanju/tajanju** do 200 ciklov (NOZT-200) – stopnja izpostavljenosti **XF3**;
- **odpornost proti prodoru vode** – stopnja odpornosti **PV-III** – **največji povprečni dovoljeni prodor vode na vzorcu je  $10 (\pm 5)$  mm**;
- **odpornost proti difuziji kloridov** po metodi, ki je podana v NT BUILD 492:1999 – **koeficient difuzije kloridov  $D_{nssm} \leq 9,0 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$** ;
- **celokupna (totalna) poroznost betona** po EN 1936:2006; **povprečna celokupna poroznost  $\leq 12,0\%$** ;
- **vsebnost klorida v betonu;  $Cl^- \leq 0,1$** ;
- **kapilarna vodo-vpojnost** po SIST EN 13057:2002; **kapilarna vodo-vpojnost  $\leq 2,50 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5}$** ;
- **prepustnost za tekočine** po BS 1881 del 208:1996; **prepustnost za tekočine  $\leq 10^{-9} \text{ m/s}$** .

## 4.2 IZBOR OSNOVNIH MATERIALOV ZA BETON

### 4.2.1 Referenčna dokumentacija

Pri izboru osnovnih materialov za beton se upoštevajo zahteve in priporočila naslednjih dokumentov:

- Projekt PGD za odlagališče NSRAO, Vrbina, Krško, IBE Ljubljana;
- Workshop IBE Ljubljana, January 13 and 14, 2015, Draft Report 22.01.2016;
- ACI 349-06, "Code Requirements for Nuclear Safety-Related Concrete Structures (ACI 349-06) and Commentary";
- SIST EN 206:2013 Beton – Specifikacija, lastnosti, proizvodnja, skladnost;
- SIST 1026:2016 Beton – Specifikacija, lastnosti, proizvodnja in skladnost – Pravila za uporabo SIST EN 206:2013;
- vsi pripadajoči standardi za osnovne materiale, ki so citirani v SIST EN 206:2013 in SIST 1026:2013;



- ASTM C 33-7111a, "Standard Specification for Concrete Aggregates.";
- ASTM C 637-7309 "Specifications for Aggregates for Radiation-Shielding Concrete.";
- ASTM C 295-12 "Standard Practice for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete";
- ASTM C 150-73a12, "Standard Specification for Portland cement.";
- ASTM C 595-7212e1 "Standard Specification for Blended Hydraulic Cements.";
- ASTM C 1157-11 "Standard performance specification for hydraulic cement";
- ASTM C 989-12 "Standard Specification for Slag Cement for use in Concrete and Mortars";
- ASTM C 1602-12 "Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete";
- ASTM C 494-7112 "Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete.";
- ASTM C 1240-12 "Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures";
- ASTM C 618-7212 "Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolans for Use in Portland Cement Concrete.";
- ASTM C 1697-10 "Standard Specification for Blended Supplementary Cementitious Materials";
- ASTM C 1017-07 "Standard Specification for Chemical Admixture for use in Producing Flowing Concrete";
- ASTM C 1622-10 "Standard Specification for Cold-Weather Admixture Systems".

#### 4.2.2 Mineralna veziva - cement

Cement mora biti skladen z zahtevami standardov ASTM C 150, ASTM C 595 ali ASTM C 1157, upoštevajoč naslednja odstopanja od standardov, ki jih je potrebno preveriti pri določitvi uporabljenega cementa:

- Izvedba kontrolnih preskusov na vsaki pošiljki.
- Določitev prostorninske obstojnosti se izvaja skladno s ASTM C 151.
- Določitev finosti se izvaja z mokrim sejanjem na situ 0.045 mm (mesh # 325) skladno z ASTM C 430 ali po Blainu skladno z ASTM C 204.
- Tlačne trdnosti cementa se merijo ob predpisani starosti na vzorcih izdelanih po metodi opisani v ASTM C 595.

V fazi te študije je potrebno določiti standardno vrsto cementa za uporabo pri proizvodnji betonov za sekundarno oblogo silosa, ki je dobavljiv na trgu v Sloveniji. Standardno vrsto cementa se določi na podlagi vhodnih podatkov za izvedbo študije (glej 5.3) in predhodne preiskave osnovnih materialov za beton (glej 6.1)

Primernost cementa za uporabo v betonu se preverja skladno s standardom ASTM C 109.

Analize kemijskih in fizikalnih lastnosti cementov ne smejo biti starejše od 6 mesecev, izvedene v akreditiranih laboratorijih, morajo biti predložene v dokaz skladnosti cementov z zahtevami Specifikacije.

Uporabljati se sme le cement, ki se dostavlja v razsutem stanju (rinfuza). Cement v vrečah je dovoljeno uporabljati le za možna popravila in sanacije, ki se jih definira v Študiji. Takoj po dostavi cementa na gradbišče mora biti le-ta uskladiščen v primerno prezračevanih prostorih, zaščiten pred vlago in ostalimi neželenimi vremenskimi vplivi. Omogočen mora biti dostop do vseh skladiščnih objektov za morebitne preglede ali odvzeme vzorcev. Objekti morajo biti jasno označeni s stalnim, jasno čitljivim znakom postavljenim blizu mesta raztovarjanja. Če je v



skladišču katerikoli cement starejši od 60 dni, ga je potrebno porabiti preden se začne uporabljati cement iz novejšje dostave.

Cement, katerega temperatura je med transportom ali skladiščenjem presegla 65°C, ni primeren za uporabo. Prav tako ni primeren za uporabo cement, v katerem se pojavljajo grudice.

#### 4.2.3 Mineralni dodatki

**Elektrofiltrski pepel - Uporaba elektrofiltrskega pepela ni dovoljena pri proizvodnji betonov za sekundarno oblogo silosa NSRAO Vrbina Krško.**

**Mikrosilika** - Mikrosilika mora biti skladna s ASTM C 1240-12. Mikrosilika lahko zavzema največ 10 odstotkov celotne mase veziva v betonu (ACI 301).

**Mleta granulirana plavžna žindra** - Z uporabo mlete granulirane plavžne žindre se lahko veliko prispeva k povečanju kakovosti betona, mora pa biti skladna z ASTM C 989-12a. Spadati mora najmanj v razred "Grade 100". Zavzema lahko največ 50 odstotkov celotne mase veziva v betonu (ACI 301).

#### 4.2.4 Polimerni materiali

**Uporaba polimernih materialov (polimerna vezivna, polnilna polnila in polimerna vlakna) ni dovoljena pri proizvodnji betonov za sekundarno oblogo silosa NSRAO Vrbina Krško.**

#### 4.2.5 Voda

Za pripravo betonskih mešanic se uporablja pitna voda ali tehnološko neoporečna voda, za katero pa je potrebno upoštevati in dokazati doseganje sledečih pogojev

- Voda uporabljena pri pripravi betona in za nego betona, ter za pranje kamenih agregatov mora biti čista, pitna in brez škodljivih količin kislin, alkalij, soli, maščob, sedimentov ali organskih primesi. Skladna mora biti z ASTM C 1602.
- Voda, ki ni primerna za pitje, se lahko uporablja izjemoma. Če tlačne trdnosti maltnih prizmic, preskušanih v starosti 7 in 28 dni po ASTM C 109, pripravljene s tako vodo, znašajo vsaj 95% trdnosti prizmic pripravljenih z istimi materiali, a z destilirano vodo.
- pH vrednost vode mora znašati med 6,0 in 8,0.
- Vsebnost kloridnih ionov v vzorcu vode, pridobljenem iz projektirane mešanice kamnitega agregata in vode, ne sme presegati 1000 ppm. Vsebnost lebečih trdnih delcev v vodi ne sme presegati 2000 ppm.

Laboratorijske preiskave in skladnost z zahtevami ASTM C 1602 za vodo, ki ni primerna za pitje, se morajo izvajati pred začetkom uporabe v betonu.

V okviru študije proizvodnje, vgradljivosti in karakteristik končnih betonskih mešanic za izvedbo sekundarne armiranobetonske obloge silosa je potrebno preveriti primernost pitne vode na območju gradbišča. Predvideva se, da se bo proizvodnja betona izvajala na lokaciji gradbišča ali v neposredni okolici. Prav tako se v okviru Študije izvede tudi kontrola primernosti talne vode na območju gradnje NSRAO Vrbina Krško. Talna voda predstavlja potencial za tehnološko vodo za proizvodnjo in nego betonov. Odvzem talne vode se lahko izvede iz obstoječih vrtin za monitoring podtalne vode na območju NSRAO. Pregled talne vode je bil že izveden v okviru preiskave

agresivnega vpliva na beton, vendar so se razmere v talni vodi s polnjenjem bazena HE Brežice lahko spremenile, zato je potrebno analizo vode ponoviti.

#### 4.2.6 Grobi agregat

Grobi agregat za proizvodnjo betonov sekundarne armiranobetonske obloge silosa je lahko dolomitnega ali apnenčevega izvora. Na delavnici na IBE (Workshop IBE Ljubljana, January 13 and 14, 2015, Draft Report 22.01.2016) je potekala razprava o optimalnem izboru vrste agregata glede na ugotovitve, da se v miocenskem melju, v katerega bo vgrajen odlagalni silos, nahaja pirit (v obliki piritnih bakterij in to pod 0,5% v vseh vzorcih), zaradi česar potencialno lahko nastane sulfatna reakcija v vgrajenem betonu. Obstajajo različna strokovna mnenja glede na to, katera vrsta agregata prispeva več k sulfatni odpornosti betona. Vsekakor se mora uporabljati sulfatno odporni cement in mikrosilika, vrsta agregata (dolomitni ali apnenčev) pa bo določena v okviru Študije.

V okviru študije proizvodnje, vgradljivosti in karakteristik končnih betonskih mešanic za izvedbo sekundarne armiranobetonske obloge silosa je potrebno preveriti razpoložljivost in primernost dolomitnih in apnenčevih kamnolomskih materialov. Bistveno prednost imajo nahajališča, ki v okviru proizvodnje kamnitih materialov obvladujejo proizvodnjo in distribucijo lastnih proizvodov skladno z Zakonom o gradbenih proizvodih (ZGPro). Študija mora oceniti vsaj štiri potencialne izvore materiala (dva dolomitnega in dva apnenčevega izvora), pri čemer se upošteva tudi oddaljenost izvora od mesta priprave betona.

Grobi agregat za proizvodnjo betonov mora odgovarjati vsaj sledečim zahtevam:

- Grobi agregat mora biti skladen z ASTM C33.
- Grobi agregat uporabljen v betonu mora imeti specifično maso vsaj 2,600 kg/dm<sup>3</sup>, merjeno skladno z ASTM C 127.
- Zrna grobega agregata morajo biti primerne trdote in obstojna proti obrabi, ter brez škodljivih primesi (glina, organske primesi, lahki delci in podobno).
- Grobi agregat, ki ne ustreza zahtevam te specifikacije, se lahko opere in na ta način zmanjša količino škodljivih primesi pod dovoljeno mejo.
- Največje zrno agregata v betonu je po ASTM C 33 za različne vrste konstrukcij omejeno na:
 

a. Vozišča in plošče na nasutjih	50 mm
b. Temelji, zidovi, pomožne konstrukcije, talne plošče, pilotne grede	40 mm
c. Nosilci, medetažne plošče, stebri	20 mm
d. Požarna zaščita jekla	10 mm
- Grobi agregat mora ustrezati količniku odpornosti proti obrabi 40, izmerjenemu skladno s ASTM C 131.
- Granulometrijska sestava grobega agregata mora ustrezati zahtevam ASTM C 33.
- Najvišje dovoljene količine škodljivih primesi v grobem agregatu (masni delež) so (ASTM C33):
 

a. Glina	0,5%
b. Ostale škodljive primesi	1,0%
c. Skupaj nečistoče	3,0%

Na vzorcih grobega agregata mora biti izvedena petrografska analiza skladno s ASTM C 295. Če rezultati nakazujejo prisotnost alkalno reaktivnih kamnin ali mineralov je potrebno izvesti preiskave potenciala alkalno-silikatne reaktivnosti skladno z ASTM C 1293, oziroma alkalnokarbonatne reaktivnosti po ASTM C 586.

Grobi agregat mora biti skladiščen na način, ki preprečuje pretirano segregacijo ali onesnaženje s škodljivimi primesmi. Posamezne frakcije agregata morajo biti ločene, da se onemogoči medsebojno mešanje. Za preverjanje primerne skladiščenja se izvede odvzem agregatov na dozirni napravi betonarne.

#### **4.2.7 Drobni agregat**

Drobni agregat za proizvodnjo betonov sekundarne armiranobetonske obloge silosa je lahko, tako kot grobi agregat (poz. 3.4) dolomitnega ali apnenčevega izvora.

V okviru študije proizvodnje, vgradljivosti in karakteristik končnih betonskih mešanic za izvedbo sekundarne armiranobetonske obloge silosa je potrebno preveriti proizvodne zmogljivosti drobnih agregatov na potencialnih nahajališčih.

Drobni agregat za proizvodnjo betonov mora odgovarjati vsaj sledečim zahtevam:

- Drobni agregat mora biti skladen z ASTM C33.
- Zrna drobnega agregat morajo biti primerne trdote in obstojna proti drobljenju, ter brez škodljivih primesi (glina, organske primesi, lahki delci in podobno).
- Drobni agregat uporabljen v betonu mora imeti specifično maso vsaj 2,600 kg/dm<sup>3</sup>, merjeno skladno z ASTM C 128.
- Drobni agregat ali mešanica drobnih agregatov mora imeti modul finosti med 2,5 in 3,0. Modul finosti se določi kot vsota ostankov v odstotkih na sitih št. 4, 8, 16, 30, 50 in 100, deljeno s 100. Modul finosti za vsakih 10 meritev ne sme odstopati od povprečja 10 meritev za več kot 0,2.
- Drobnemu agregatu se mora določiti vodovpojnost in vsebnost vlage skladno z ASTM C 128.
- Sejanje ter čiščenje in pranje drobnih agregatov se lahko izvaja s pomočjo poljubnih tržno dostopnih naprav. Njihovo uporabo pred začetkom uporabe odobri naročnik.
- Drobni agregat je potrebno skladiščiti na način, da ne pride do onesnaženja s škodljivimi primesmi in nečistočami. Najvišje dovoljene količine škodljivih primesi v drobnem agregatu (masni delež) so (ASTM C33):
  - a. Premog in lignit 1,0%
  - b. Ostale škodljive primesi 2,0%
  - c. Skupne nečistoče 5,0%
- Drobni agregat pridobljen s postopkom drobljenja večjih frakcij lahko nadomesti naravni agregat.
- Na vzorcih drobnega agregata mora biti izvedena petrografska analiza skladno s ASTM C 295. Če rezultati nakazujejo prisotnost alkalno reaktivnih kamnin ali mineralov je potrebno izvesti preiskave potenciala alkalno-silikatne reaktivnosti skladno s ASTM C 1293, oziroma alkalno-karbonatne reaktivnosti po ASTM C 586.
- Polnilo – dolomitna moka skladna s SIST EN 12620 se lahko uporabi za izboljšanje vgradljivosti betona.

#### **4.2.8 Kemijski dodatki**

V okviru študije proizvodnje, vgradljivosti in karakteristik končnih betonskih mešanic za izvedbo sekundarne armiranobetonske obloge silosa je potrebno preveriti nujnost ali potrebo po kemijskih dodatkih, ki so potrebni za proizvodnjo betonov, zagotavljanje primerne transporta in vgradljivosti betona, smiselnost in priporočilo uporabe kemijskih dodatkov za zagotavljanje primerne dinamike gradnje v različnih pogojih gradnje glede na letni čas (vročina – mraz) in za zagotavljanje pričakovane vodotesnosti strjene betonske mešanice.

Vsi predlagani kemijski dodatki morajo odgovarjati sledečim smernicam:

- Aerant skladen z ASTM C 260 se mora uporabiti v vseh betonih, ki so izpostavljeni zmrzovanju. Vsebnost zraka v svežem betonu mora ustrezati vrednostim v točki 4.1.5.
- Plastifikatorji, pospešila in zaviralci vezanja uporabljeni v betonu morajo biti skladni z ASTM C 494.
- Superplastifikatorji in hiperplastifikatorji uporabljeni v betonu morajo biti skladni z ASTM C 1017.
- Kemijski dodatki se lahko uporabljajo le po navodilih proizvajalca.
- Če kemijski dodatki vsebujejo kalcijev klorid, njegova skupna količina v betonu ne sme presegati 2 odstotkov na maso cementa.
- Če se uporabljajo dodatki za zimsko betoniranje morajo biti skladni z ASTM C 1622.

### **4.3 DOLOČITEV OSNOVNIH PARAMTROV SESTAVE BETONA**

#### **4.3.1 Referenčna dokumentacija**

Za določitev osnovnih parametrov sestave betona se upoštevajo zahteve in priporočila naslednjih dokumentov:

- Projekt PGD za odlagališče NSRAO, Vrbina, Krško, IBE Ljubljana;
- Workshop IBE Ljubljana, January 13 and 14, 2015, Draft Report 22.01.2016;
- ACI 349-06, "Code Requirements for Nuclear Safety-Related Concrete Structures (ACI 349-06) and Commentary;
- SIST EN 206:2013 Beton – Specifikacija, lastnosti, proizvodnja, skladnost;
- SIST 1026:2016 Beton – Specifikacija, lastnosti, proizvodnja in skladnost – Pravila za uporabo SIST EN 206:2013;
- ACI 211.1- 91, Reapproved 2009 "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal , Heavyweight, and Mass Concrete.";
- ACI 211.3R-02, Reapproved 2009 "Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete.";
- ACI 211.4R-08, "Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete Using Portland Cement and Other Cementitious Materials.";
- ASTM C 94-7312, "Standard Specification for Ready-Mixed Concrete.";
- ASTM C 1451-11 "Standard Practice for determining Uniformity of Ingredients of Concrete from a Single Source".

#### **4.3.2 Postopek določanja sestave betona**

Izbor sestavin v sveži betonski mešanici mora biti tak, da bodo dosežene vse zahtevane lastnosti: vgradljivost, obstojnost, trdnost in morebitne druge zahteve projektanta, skladno z ACI 301, ACI

318 in ACI 349. Največje dovoljeno vodocementno razmerje je omejeno z razredom izpostavljenosti konstrukcije (glej preglednico spodaj). Najstrožja od projektnih zahtev za katerokoli od lastnosti betona določa minimalne zahtevane lastnosti betonske mešanice. Količine posameznih sestavin v m<sup>3</sup> betona se določi skladno s postopki predpisanimi v ACI 211 na osnovi predhodnih preiskav na laboratorijskih mešanicah.

Največje dovoljeno vodocementno razmerje za razrede izpostavljenosti po ACI 301:

razred izpostavljenosti		največje v/c razmerje*	ASTM C 39	
			najmanjša fc, psi	najmanjša fc, MPa
S0	za sulfate	N/A	N/A	N/A
S1		0.50	4000	27.6
S2		0.45	4500	31.0
S3		0.45	4500	31.0
F0	za zmrzovanje/tajanje	N/A	N/A	N/A
F1		0.45	4500	31.0
F2		0.45	4500	31.0
F3		0.45	4500	31.0
P0	za vodo	N/A	N/A	N/A
P1		0.50	4000	27.6
C0	za korozijo armature	N/A	N/A	N/A
C1		N/A	N/A	N/A
C2		0.40	5000	34.5

\*...zamesna voda (brez vode v agregatu)

OPOMBA: Trdnost je specifikirana na valjih premera 150 mm in višine 300 mm, preskušeni skladno z ASTM C 39. Če se za določanje trdnosti uporabi kocke s stranico 15 cm, je potrebno zahtevano trdnost povečati za 20%.

Dovoljeno je spreminjanje količine dodane vode v sveži beton med mešanjem, za kompenziranje vsebnosti vlage v grobem ali drobnem agregatu.

Beton izpostavljen škodljivim vremenskim vplivom zmrzovanja, tajanja, erozije ali kemikalijam mora biti aeriran. Vsebnost zraka se mora nahajati v mejah (preglednica spodaj) in hkrati vodocementno razmerje ne sme presegati 0.53 (ACI 301):

Največjenajvečje zrno agregata	vsebnost zraka ACI 301	
	razred F2 in F3*	razred F1*
10 mm	7.5	6
13 mm	7	5.5
19 mm	6	5
25 mm	6	4.5
38 mm	5.5	4.5
51 mm	5	4
76 mm	4.5	3.5

\*..... Posamezne vrednosti lahko odstopajo največ 1.5% od teh vrednosti.

Vsebnost zraka v betonu se določa skladno z ASTM C 231.

Konsistenca svežega betona po metodi poseda se določa skladno z ASTM C 143 in lahko znaša največ 100 mm, razen v primeru, ko je odobren način vgrajevanja betona s črpalko, ali v primeru, če se uporablja samozgoščevalni beton (SCC). V primeru vgradnje betona s črpalko je potrebno prav tako upoštevati dejstvo, da se za zmanjšanje segregacije betona pri sami vgradnji zagotavlja čim manjši posed sveže betonske mešanice. Primernost uporabe črpalk za beton se preveri na praktičnem primeru, ki mora odražati pogoje vgradnje identične pogojem vgradnje dna armiranobetonske obloge silosa, kar predstavlja vgradnja betona na – 50 m pod stojiščem črpalke.

OPOMBA: V primeru uporabe kemijskih dodatkov so dovoljene tudi večje vrednosti poseda, pod pogojem, da ima beton enako ali nižje vodocementno razmerje in ne prihaja do krvavenja ali segregacije. (ACI 211).

Vodocementno razmerje mora biti določeno skladno s SIST 1026, Dodatek NC.

Kot rezultat študije je potrebno definirati vsaj štiri primerne recepture betonskih mešanic, ki jih bo mogoče uporabljati, vgrajevati in transportirati v elemente sekundarne armiranobetonske obloge silosa. Poleg klasičnih betonov je potrebno preveriti in verificirati vsaj dve recepturi samozgoščevalnih betonov (SCC), ki bi se lahko vgrajevali v masivne bloke silosa. Pri vsaki recepturi je potrebno navesti tudi maksimalni transportni čas.

## **4.4 DOLOČITEV ZAHTEV ZA IZVAJANJE BETONARSKIH DEL: PRIPRAVA, TRANSPORT, VGRAJEVANJE, NEGA**

### **4.4.1 Referenčna dokumentacija**

Za določitev zahtev za izvajanje betonarskih del: priprava, transport, vgrajevanje, nega se upoštevajo zahteve in priporočila naslednjih dokumentov:

- SIST EN 13670 Izvajanje betonskih konstrukcij;
- SIST EN 13670:2010/oA101 Izvajanje betonskih konstrukcij – Nacionalni dodatek;
- ACI 349-06, "Code Requirements for Nuclear Safety-Related Concrete Structures (ACI 349-06) and Commentary";
- ACI 304R- 00, Reapproved 2009 " Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete.";
- ACI 304.2R-96, "Reapproved 2008 "Placing Concrete by Pumping Methods.";
- ACI 305R- 10, "Guide to Hot Weather Concreting.";
- ACI 305.1-06, "Specification for Hot Weather Concreting.";
- ACI 306R- 10, "Guide to Cold Weather Concreting.";
- ACI 306.1-90, Reapproved 2002 "Standard Specification for Cold Weather Concreting.";



- ACI 308R- 01, Reapproved 2008 "Guide to Curing Concrete.";
- ACI 308.1-11, "Specification for Curing Concrete.";
- ACI 309R- 05, "Guide for Consolidation of Concrete.";
- ACI 309.1R-08, "Report on Behavior of Fresh Concrete During Vibration.";
- ACI 347- 04, "Guide to Formwork for Concrete.";
- ASTM C 94-7312, "Standard Specification for Ready-Mixed Concrete.";
- ASTM C 171-07 "Standard Specification for Sheet Materials for Curing Concrete";
- ASTM C 309-11 "Standard Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete";
- ASTM C 1315-11 "Standard Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds Having Special Properties for Curing and Sealing Concrete";
- ASTM C 1074-11 "Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method";
- ASTM C 1064-12 "Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic-Cement Concrete".

#### 4.4.2 Priprava in transport betona

Namen Študije proizvodnje, vgradljivosti in karakteristik končnih betonskih mešanic za izvedbo sekundarne armiranobetonske obloge silosa je ugotoviti tudi, ali je mogoče predvidene betonske mešanice primerno vgraditi in pod kakšnimi pogoji. V okviru študije je potrebno preveriti vgradljivost in dimenzionirati vse proizvodnje postopke, ki so potrebni za pravočasno in kvalitetno izvedbo silosa skladno s terminskim planom gradnje naročnika. Pri tem je potrebno definirati potrebno kapaciteto betonarne, kapaciteto silosov za pesek in cement, ki so potrebni izključno za potrebe gradnje silosa NSRAO Vrbina Krško. Na podlagi projektno predvidenih velikosti delavnih blokov je potrebno predvideti primeren način transporta betona na mesto vgradnje s tem, da se upoštevajo tudi vse ostale operacije dela na gradbišču, da tekoča dela (opaženje, armiranje drugih blokov) potekajo nemoteno. V ta namen je potrebno ugotoviti kapacitete, število in karakteristike najmanj sledečih elementov opreme za proizvodnjo in transport betonov:

- Število in kapaciteta betonarne (obvezno je predvideti najmanj eno rezervno betonarno).
- Potrebna velikost silosov za pesek in cement. Pri tem je potrebno upoštevati, da mora biti na gradbišču najmanj tedenska zaloga vseh frakcij peska za proizvodnjo betonov in dvodnevna zaloga cementa.
- Kapaciteto in število črpalk za črpanje betona ali kibel za transport betona v opaž.

Število transportnih sredstev za prevoz betona od betonarne do mesta vgradnje se ne preverja, saj je le ta odvisna od lokacije betonarne dobavitelja betona, kar pa v tem trenutku ni mogoče natančno določiti.

Za namen ugotavljanja primernosti betona za vgradnjo in doseganje projektno zahtevanih parametrov izvajalec Študije izdela iz izbranih receptur **najmanj tri** poskusnih blokov od katerih **sta dva velikosti 2.00 x 1.20 x 10.00 metrov, eden pa velikosti 4,00 x 4,00 x 2.00 metra**. Na teh blokih se poleg ugotavljanja primernosti vgradnje kontrolira tudi ostale bistvene parametre, ki bodo dokazali primernost predvidenih receptur betona za izdelavo sekundarne armiranobetonske obloge silosa (**čim manjša količina cementa, določitev max. Zrna agregata, temperatura, gradient temperature, vpojnost vode, način vgradnje klasični ali opažni vibratorji - kombinacija, krčenje betona v času vezanja in po njem, relaksacije betona,...**).

V okviru preskusov se mora obvezno preskusiti priraščanje hidratacijske toplote strujočega masivnega betona, tudi v adiabatnih pogojih.

Pri uporabi nizkohidratacijskih cementov ali mineralnih dodatkov za upočasnitev razvoja hidratacijske toplote se za merodajno starost, pri kateri se ugotavlja lastnosti betona določi termin 90 dni.

Pri proizvodnji in transportu betonskih mešanic v okviru Študije je potrebno zagotoviti čim bolj realne pogoje, ki jih je mogoče pričakovati na gradbišču, zato je potrebno upoštevati spodnje smernice:

- Doziranje in mešanje sestavin betona se mora odvijati v protitočnem mešalcu s hitrostjo mešanja po navodilih proizvajalca opreme. Upoštevati je potrebno vse relevantne zahteve ACI 304.
- Natančnost doziranja za kemične dodatke in agregate z največjim zrnom 32 mm ali več znaša  $\pm 3\%$ , za agregate z največjim zrnom manjšim od 32 mm  $\pm 2\%$  in za veziva in vodo največ  $\pm 1\%$ .
- Transportni beton mora biti skladen z ASTM C 94.
- Beton se mora transportirati od betonarne do mesta vgradnje na tak način, da ne prihaja do segregacije ali izgube materiala.
- Vsaka šarža betona mora biti opremljena z dobavnico skladno z ASTM C 94 (zap.št. dobavnice, registracija vozila, datum, čas prvega stik cementa z vodo, trdnostni razred, sestavine betona, objekt, konstrukcijski element, količina betona, čas natovarjanja, čas prihoda na gradbišče).
- Za črpanje betona ni dovoljeno uporabljati aluminijastih cevi.
- Onesnažen beton ali beton, ki je med čakanjem na vgradnjo začel vezati, se zavrne in odstrani iz gradbišča.
- Vlažnost agregata – betonarna mora zagotavljati spremljanje vlažnosti v agregatih in omogočati prilagajanje količine agregatov temu.
- Dozatorji kemijskih dodatkov – vsak uporabljeni kemijski dodatek se mora dozirati preko posebnega dozatorja.
- Betonarna mora beležiti količine doziranih materialov za vsako šaržo betona.
- Betonarna mora imeti certifikat kontrole proizvodnje ter vzpostavljen in delujoč sistem notranje kontrole proizvodnje skladno z EN 206-1. V zadnjih 5 letih ne sme imeti primera odvzema certifikata.

#### 4.4.3 Vgrajevanje betona v poskusne bloke

Vgrajevanje betona mora potekati skladno z navodili ACI 301. Pred vgradnjo betona v opaže morajo biti vsi vgrajeni elementi (armatura, tesnilni trakovi, dilatacijski elementi, idr.) fiksirani do te mere, da med vgrajevanjem betona ne pride do pomikov le-teh. Podlaga in stik s starim betonom morata biti očiščena snega, stoječe vode, ledu, umazanije in drugih škodljivih snovi ter brez ostankov cementnega mleka. Če se beton vgrajuje na suho podlago, jo je potrebno pred začetkom betoniranja površinsko navlažiti. Vgradnja betona na porozno površino ni dovoljena.

Vgrajevanje betona mora potekati neprekinjeno, dokler ni zabetoniran celotni konstrukcijski element oziroma ni postavljen delovni stik.

V elementih se mora beton vgrajevati v slojih. Hitrost vgrajevanja mora biti taka, da se med sloji ne pojavljajo hladni stiki. Z vsako recepturo je potrebno podati dovoljeni čas zamika posameznih slojev, kar je bistveno tudi za določanje kapacitete mehanizacije za transport in samo vgradnjo betona v element.



Največji dovoljeni prosti padec betona pri vgrajevanju znaša 2,0 m.

Beton se v opažih zgoščuje s pomočjo zadostnega števila primernih vibratorjev. Posebno pozornost je potrebno posvetiti zgoščevanju v bližini armature, vbetoniranih delov in vogalov. Na delovišču morajo biti vedno na voljo vsaj trije rezervni, delujoč vibratorji.

Zgoščevanje svežega betona v opažu mora potekati skladno z načeli ACI 301, ACI 309 in ACI 306. K zgoščevanju, ki poteka z vibracijskimi iglami, se pristopi takoj zatem ko je beton odložen v opaž. Transportiranje betona s pomočjo vibracijskih igel ni dovoljeno. Uporaba opažnih vibratorjev ni dovoljena, razen v primeru če so opaži posebej dimenzionirani za opažno vibriranje. Vibracijske igle se vstavlja vertikalno v plast svežega betona skozi celotno globino sloja in še v predhodni sloj, če ta obstaja. Vibracijska igla mora ostati v tej globini dokler beton ni izračen, nato pa se postopno dviguje do površine. Razdalja med posameznimi mesti vibriranja znaša 1,5 radija delovanja vibratorja. Betonske plošče debeline 200 mm ali manj se zgoščajo po posebej odobrenih metodah.

Betoniranje v vročem vremenu se odvija takrat, ko temperature zraka na mestu vgradnje betona znaša 30°C ali več, ali pa če so prvih 24 ur po betoniranju napovedane temperature 30°C ali več. V teh primerih se mora betoniranje odvijati skladno z navodili ACI 305, v točkah ki zadevajo sestavine betona, mešanje, transport, vgradnjo, zaščito in nego betona. Skupni namen ukrepov je zaščita betona pred izsuševanjem in previsokimi temperaturami.

Pri vgradnji betona je potrebno biti pozoren tudi na najvišjo dovoljeno temperaturo betona ob vgrajevanju. V okviru Študije je potrebno definirati maksimalno začetno temperaturo betona pri vgradnji, ter omejiti maksimalno temperaturo betona, ki se doseže v centru betonskega bloka zaradi hidratacije cementa, oziroma strjevanja betona. Temperatura betona med strjevanjem se meri s pomočjo termo-členov vstavljenih v sveži beton, ali s pomočjo optičnih vlaken. Kontrole temperatur se izvedejo na poskusnih blokih. Poleg temperatur betona je potrebno določiti tudi gradient med notranjostjo in površino betoniranega elementa. Z zagotovitvijo in definiranjem zahtevanih mejnih vrednosti temperatur v betonu se omejijo negativni učinki nekontroliranega pregrevanja, krčenja, ohlajevanja ali prehitrega sušenja betonskih površin.

V kolikor bi se betoniranje izvajalo v hladnem vremenu, to je takrat, ko temperature zraka na mestu vgradnje betona znaša manj kot 5°C, ali pa če so prvih 24 ur po betoniranju napovedane temperature pod 5°C ali manj, se mora odvijati skladno z navodili ACI 306, v točkah ki zadevajo sestavine betona, mešanje, transport, vgradnjo, zaščito in nego betona.

Najnižje dovoljene temperature betona ob zamešanju in vgrajevanju so (ACI 306):

pogoj		debelina elementa (mm)			
		manj kot 300	300 do 900	900 do 1800	nad 1800
najnižja temperatura svežega betona ob zamešanju za napovedane temperature	nad -1°C	16	13	10	7
	-18°C do -1°C	18	16	13	10
	pod -18°C	21	18	16	13
najnižja temperatura svežega betona ob vgrajevanju		13	10	7	5
največji dovoljeni padec temperature v prvih 24 urah po koncu nege betona		28	22	17	11

Betoniranje se ne sme odvijati med dežjem ali snežnimi padavinami, razen če niso površine svežega betona popolnoma prekrите.

Beton se ne sme vgrajevati na zmrznjeno podlago, v tekočo ali stoječo vodo.

#### **4.4.4 Nega betona poskusnih blokov**

Nega betona mora potekati skladno z navodili ACI 308.

Nega betona se mora začeti takoj po koncu vgrajevanja. V okviru Študije je potrebno za vsako recepturo definirati minimalni čas nege betonskih površin. Pri tem je potrebno upoštevati tudi čas pred odstranitvijo opaža, saj opaž predstavlja tudi zaščito prostih betonskih površin. Ta čas je pomemben tudi zaradi načrtovanja dinamike gradnje in določitve potrebnih količin opažev in kapacitete betonarne pri sami gradnji silosa.

Za vsako mešanico betona, ki se bo vgrajevala v poskusne bloke se v okviru predhodnih preiskav določi zrelostna funkcija po ASTM C 1074, ki podaja postopek za oceno tlačne trdnosti po zrelostni metodi. Določi se zrelostni indeks, ki se izraža kot faktor temperatura × čas. Metoda je primerna za ocenjevanje tlačne trdnosti pri razopaževanju.

Ob zaključku nege betona je potrebno preprečiti hitro izsuševanje površine betona.

Med nego betona mora biti le-ta zaščiten pred tresljaji, fizičnimi poškodbami, dežjem in tekočo vodo.

Nega betona se lahko vrši z vodo, plastičnimi folijami, prekrivanjem s filcem ali tekočimi sredstvi za nego betona. Sredstva za nego betona na parafinski osnovi se ne smejo uporabljati na področju delovnih stikov, vidnih betonov ali naknadno barvanih površin.

#### **4.4.5 Opaži poskusnih blokov in referenčnih kock za definiranje površine vidnih betonov**

Opaži morajo biti dimenzionirani skladno z ACI 347, kar se tiče obtežb, pritiskov, napetosti in deformacij.

Opaži morajo biti postavljeni tako, da ustrezajo dimenzijam betonskega elementa. Prilegati se morajo dovolj tesno, da se prepreči iztekanje cementnega mleka in malte. Na vidnem betonu se morajo uporabiti čim večje opažne plošče, postavljanje plošč na ploskev mora biti enakomerno in simetrično.

Opaži morajo biti postavljeni tako, da se po vnosu svežega betona ne deformirajo.

Opaži za viden beton morajo biti taki, da je površina betona po razopažanju gladka in ravna. Pred postavitvijo je potrebno opaže premazati z ločevalnim sredstvom na osnovi mineralnih olj, rastlinskih olj ali voskov, lahko se uporabi tudi nitrocelulozni lak nanesen v dveh slojih. Naneseno ločilno sredstvo ne sme puščati madežev na površini betona. Na mestih, kjer se na površini betona zahteva dobra sprijemnost (finalni nanos barve, ometa) ločevalna sredstva na osnovi mineralnih olj niso dovoljena.

Opažna ločevalna sredstva se nanašajo z brizganjem ali valčkom skladno z navodili proizvajalca. Zagotoviti je potrebno izbor ločilnega sredstva, ki je primeren za posamezni tip opažnih plošč.

Opažne plošče se morajo temeljito očistiti po vsaki uporabi. Površine v stiku z svežim betonom morajo biti premazane z ločevalnim sredstvom.

Čas razopaženja se določi z merjenjem zrelosti betona skladno s ASTM C 1074.

Opaž se mora odstranjevati z betona na način, da se strjujoči se beton ne poškoduje in ohrani varnost in stabilnost objekta.

#### 4.4.6 Vgrajevanje betona v poskusne bloke

Vgrajevanje betona mora potekati skladno z navodili ACI 301.

Pred vgradnjo betona v opaže morajo biti vsi vgrajeni elementi (armatura, tesnilni trakovi, dilatacijski elementi, idr.) fiksirani do te mere, da med vgrajevanjem betona ne pride do pomikov le-teh. Podlaga in stik s starim betonom morata biti očiščena snega, stoječe vode, ledu, umazanije in drugih škodljivih snovi ter brez ostankov cementnega mleka. Če se beton vgrajuje na suho podlago, jo je potrebno pred začetkom betoniranja površinsko navlažiti. Vgradnja betona na porozno površino ni dovoljena.

Vgrajevanje betona mora potekati neprekinjeno, dokler ni zabetoniran celotni konstrukcijski element oziroma ni postavljen delovni stik.

V elementih se mora beton vgrajevati v slojih. Hitrost vgrajevanja mora biti taka, da se med sloji ne pojavljajo hladni stiki. Z vsako recepturo je potrebno podati dovoljeni čas zamika posameznih slojev, kar je bistveno tudi za določanje kapacitete mehanizacije za transport in samo vgradnjo betona v element.

Največji dovoljeni prosti padec betona pri vgrajevanju znaša 2,0 m.

Beton se v opažih zgoščuje s pomočjo zadostnega števila primernih vibratorjev. Posebno pozornost je potrebno posvetiti zgoščevanju v bližini armature, vbetoniranih delov in vogalov. Na delovišču morajo biti vedno na voljo vsaj trije rezervni, delujoč vibratorji.

Zgoščevanje svežega betona v opažu mora potekati skladno z načeli ACI 301, ACI 309 in ACI 306. K zgoščevanju, ki poteka z vibracijskimi iglami, se pristopi takoj zatem ko je beton odložen v opaž. Transportiranje betona s pomočjo vibracijskih igel ni dovoljeno. Uporaba opažnih vibratorjev ni dovoljena, razen v primeru če so opaži posebej dimenzionirani za opažno vibriranje. Vibracijske igle se vstavlja vertikalno v plast svežega betona skozi celotno globino sloja in še v predhodni sloj, če ta obstaja. Vibracijska igla mora ostati v tej globini dokler beton ni izzračen, nato pa se postopno dviguje do površine. Razdalja med posameznimi mesti vibriranja znaša 1,5 radija delovanja vibratorja. Betonske plošče debeline 200 mm ali manj se zgoščajo po posebej odobrenih metodah.

Betoniranje v vročem vremenu se odvija takrat, ko temperature zraka na mestu vgradnje betona znaša 30°C ali več, ali pa če so prvih 24 ur po betoniranju napovedane temperature 30°C ali več. V teh primerih se mora betoniranje odvijati skladno z navodili ACI 305, v točkah ki zadevajo sestavine betona, mešanje, transport, vgradnjo, zaščito in nego betona. Skupni namen ukrepov je zaščita betona pred izsuševanjem in previsokimi temperaturami.

Pri vgradnji betona je potrebno biti pozoren tudi na najvišjo dovoljeno temperaturo betona ob vgrajevanju. V okviru Študije je potrebno definirati maksimalno začetno temperaturo betona pri vgradnji, ter omejiti maksimalno temperaturo betona, ki se doseže v centru betonskega bloka zaradi hidratacije cementa, oziroma strjevanja betona. Temperatura betona med strjevanjem se

meri s pomočjo termo-členov vstavljenih v sveži beton, ali s pomočjo optičnih vlaken. Kontrole temperatur se izvedejo na poskusnih blokih. Poleg temperatur betona je potrebno določiti tudi gradient med notranjostjo in površino betoniranega elementa. Z zagotovitvijo in definiranjem zahtevanih mejnih vrednosti temperatur v betonu se omejijo negativni učinki nekontroliranega pregrevanja, krčenja, ohlajevanja ali prehitrega sušenja betonskih površin.

V kolikor bi se betoniranje izvajalo v hladnem vremenu, to je takrat, ko temperature zraka na mestu vgradnje betona znaša manj kot 5°C, ali pa če so prvih 24 ur po betoniranju napovedane temperature pod 5°C ali manj, se mora odvijati skladno z navodili ACI 306, v točkah ki zadevajo sestavine betona, mešanje, transport, vgradnjo, zaščito in nego betona.

Najnižje dovoljene temperature betona ob zamešanju in vgrajevanju so (ACI 306):

pogoj		debelina elementa (mm)			
		manj kot 300	300 do 900	900 do 1800	nad 1800
najnižja temperatura svežega betona ob zamešanju za napovedane temperature	nad -1°C	16	13	10	7
	-18°C do -1°C	18	16	13	10
	pod -18°C	21	18	16	13
najnižja temperatura svežega betona ob vgrajevanju		13	10	7	5
največji dovoljeni padec temperature v prvih 24 urah po koncu nege betona		28	22	17	11

Betoniranje se ne sme odvijati med dežjem ali snežnimi padavinami, razen če niso površine svežega betona popolnoma prekrte.

Beton se ne sme vgrajevati na zmrznjeno podlago, v tekočo ali stoječo vodo.

#### 4.4.7 Nega betona poskusnih blokov

Nega betona mora potekati skladno z navodili ACI 308.

Nega betona se mora začeti takoj po koncu vgrajevanja

V okviru Študije je potrebno za vsako recepturo definirali minimalni čas nege betonskih površin. Pri tem je potrebno upoštevati tudi čas pred odstranitvijo opaža, saj opaž predstavlja tudi zaščito prostih betonskih površin. Ta čas je pomemben tudi zaradi načrtovanja dinamike gradnje in določitve potrebnih količin opažev in kapacitete betonarne pri sami gradnji silosa.

Za vsako mešanico betona, ki se bo vgrajevala v poskusne bloke se v okviru predhodnih preiskav določi zrelostna funkcija po ASTM C 1074, ki podaja postopek za oceno tlačne trdnosti po zrelostni metodi. Določi se zrelostni indeks, ki se izraža kot faktor temperatura × čas. Metoda je primerna za ocenjevanje tlačne trdnosti pri razopaževanju.

Ob zaključku nege betona je potrebno preprečiti hitro izsuševanje površine betona.

Med nego betona mora biti le-ta zaščiten pred tresljaji, fizičnimi poškodbami, dežjem in tekočo vodo.

Nega betona se lahko vrši z vodo, plastičnimi folijami, prekrivanjem s filcem ali tekočimi sredstvi za nego betona. Sredstva za nego betona na parafinski osnovi se ne smejo uporabljati na področju delovnih stikov, vidnih betonov ali naknadno barvanih površin.

#### **4.4.8 Opaži poskusnih blokov in referenčnih kock za definiranje površine vidnih betonov**

Opaži morajo biti dimenzionirani skladno z ACI 347, kar se tiče obtežb, pritiskov, napetosti in deformacij.

Opaži morajo biti postavljeni tako, da ustrezajo dimenzijam betonskega elementa. Prilegati se morajo dovolj tesno, da se prepreči iztekanje cementnega mleka in malte. Na vidnem betonu se morajo uporabiti čim večje opažne plošče, postavljanje plošč na ploskev mora biti enakomerno in simetrično. Opaži morajo biti postavljeni tako, da se po vnosu svežega betona ne deformirajo.

Opaži za viden beton morajo biti taki, da je površina betona po razopaženju gladka in ravna. Pred postavitvijo je potrebno opaže premazati z ločevalnim sredstvom na osnovi mineralnih olj, rastlinskih olj ali voskov, lahko se uporabi tudi nitrocelulozni lak nanesen v dveh slojih. Naneseno ločilno sredstvo ne sme puščati madežev na površini betona. Na mestih, kjer se na površini betona zahteva dobra sprijemnost (finalni nanos barve, ometa) ločevalna sredstva na osnovi mineralnih olj niso dovoljena.

Opažna ločevalna sredstva se nanašajo z brizganjem ali valčkom skladno z navodili proizvajalca. Zagotoviti je potrebno izbor ločilnega sredstva, ki je primeren za posamezni tip opažnih plošč.

Opažne plošče se morajo temeljito očistiti po vsaki uporabi. Površine v stiku z svežim betonom morajo biti premazane z ločevalnim sredstvom.

Čas razopaženja se določi z merjenjem zrelosti betona skladno s ASTM C 1074.

Opaž se mora odstranjevati z betona na način, da se strjujoči se beton ne poškoduje in ohrani varnost in stabilnost objekta.

#### **4.4.9 Samozgoščevalni beton (SCC)**

V okviru študije proizvodnje, vgradljivosti in karakteristik končnih betonskih mešanic za izvedbo sekundarne armiranobetonske obloge silosa je potrebno preskusiti tudi izvedbo masivnih armiranobetonskih blokov silosa s samozgoščevalnimi betoni.

Pri tem mora biti samozgoščevalni beton skladen s priporočili ACI 237.

### **4.5 DOLOČITEV NAČINA KONTROLE IZVAJANJA BETONARSKIH DEL, VRSTE IN POGOSTOST KONTROLNIH PRESKUSOV**

#### **4.5.1 Referenčna dokumentacija**

Za določitev načina kontrole izvajanja betonarskih del, vrste in pogostost kontrolnih preskusov se upoštevajo zahteve in priporočila naslednjih dokumentov:

- SIST EN 206:2013 Beton – Specifikacija, lastnosti, proizvodnja, skladnost;
- SIST 1026:2016 Beton – Specifikacija, lastnosti, proizvodnja in skladnost – Pravila za uporabo SIST EN 206:2013;
- vsi pripadajoči standardi za preskuse svežega in strjenega betona, ki so citirani v SIST EN 206:2013 in SIST 1026:2013;
- SIST EN 13670 Izvajanje betonskih konstrukcij;
- SIST EN 13670:2010/oA101 Izvajanje betonskih konstrukcij – Nacionalni dodatek;
- ACI 349-06, "Code Requirements for Nuclear Safety-Related Concrete Structures (ACI 349-06) and Commentary";
- ACI 311.4R- 05, "Guide for Concrete Inspection.";
- ACI 311.5-04, "Guide for Concrete Plant Inspection and Testing of Ready-Mixed Concrete.";
- ACI 311.6-09, "Specification for Ready Mixed Concrete Testing Service."; ACI 363.2R-11, "Guide to Quality Control and Assurance of High-Strength Concrete";
- ACI 309.2R-98, Reapproved 2005 "Identification and Control of Visible Effects of Consolidation on Formed Concrete Surfaces.";
- ASTM C 172-7110 "Standard Practice for Sampling Freshly mixed Concrete, Sampling.";
- ASTM C 192-6912 "Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory.".

#### 4.5.2 Materiali

Izjava se redna kontrola skladnosti materialov uporabljenih za proizvodnjo betona z zahtevami te PN (projektne naloge) in PIBK (projekt izvajanja betonske konstrukcije).

Vsaka pošiljka cementa se ob dostavi na obrat za proizvodnjo betona in pred polnjenjem v zbirne silose na betonarni kontrolira in preveri skladnost z zahtevami PN in PIBK.

#### 4.5.3 Izvedba

Podlaga, vbetonirani elementi, armaturno jeklo in opaži morajo biti pred vgradnjo betona preverjeni in na osnovi preverjanja pridobljeno dovoljenje za začetek betoniranja.

Predloženi Plan kontrole mora biti skladen z zahtevami PIBK.

#### 4.5.4 Kontrola izvajanja betonarskih del, vrste in pogostost kontrolnih preskusov in končno poročilo

Podroben in končen način izvajanja kontrole, vrste in pogostost kontrolnih preskusov med izvajanjem Študije, oziroma med izdelovanjem poskusnih blokov, kakor tudi predhodnih in vzporednih laboratorijskih preskusov se določi na podlagi izvedbe prve faze študije na osnovi odločitve o obsegu Študije.

Izvajali se bodo preskusi, s katerimi bo dokazano, da so doseženi vsi kriteriji lastnosti betonov, ki bodo opredeljeni v prvi fazi izvajanja projekta. Pred tem bodo izvršeni vsi preskusi na izbranih osnovnih materialih.

Za izvedbo Študije mora izvajalec pripraviti točen program, z diagramom poteka del in preskusov.

Na koncu mora izvajalec pripraviti poročilo, v katerem bodo podani vsi zapisi o izvajanju posameznih del, rezultati laboratorijskih preskusov in preskusov »in-situ«, ter obdelave in vrednotenja rezultatov. V zaključkih bodo podani parametri optimalne sestave betona, ki bi bila uporabna za izdelavo sekundarne obloge in optimalnega načina priprave, transporta, vgrajevanja in nege betona.

Tako dobljeni parametri bodo služili za pripravo razpisne dokumentacije za izvajanje sekundarne obloge.

## **5 ZAHTEVE ZA IZVEDBO**

### **5.1 ROK ZA IZVEDBO**

Predviden rok za izvedbo je 120 dni od podpisa pogodbe.

### **5.2 ZAHTEVE GLEDE IZVAJALCEV**

Izvajalec se smatra v vseh oblikah nastopanja, to pa so, samostojno, s podizvajalci ali partnerji.

Izvajalec mora imeti zadnjih 5 let vsaj 6 referenc s področja preiskav masovnih betonov v energetiki od tega vsaj tri na področju jedrskih objektov, v skupni vrednosti vsaj 300.000 EUR.

V zadnjih treh poslovnih letih (2016, 2017 in 2018) mora imeti vsaj 400.000 EUR letnega prometa.

Usposobljenih mora imeti vsaj 5 ljudi s področja predvidenih preiskav, kar izvajalec dokazuje s predložitvijo referenc ljudi s področja predvidenih raziskav. Za vsakega je potrebno predložiti najmanj 3 reference zahtevanega področja, ki jih preveri naročnik.

Vsi uporabljeni laboratoriji morajo biti certificirani skladno z ISO 17025:2005 za področja delovanja zahtevana v programu raziskav navedenem v 6. poglavju te PN.

### **5.3 POMEMBNI VHODNI PODATKI**

Zahteve Projektanta v projektni dokumentaciji PGD in PZI.

Zahteve nadzora FGG podane v Neodvisnem strokovnem mnenju o PGD za odlagališče NSRAO.

Zahteve ARAO po obsegu Programa raziskav betonskih mešanic



## **6 PREDLOG IZVEDBE (PROGRAM RAZISKAV BETONSKIH MEŠANIC)**

Na podlagi prve faze – določitev osnovnih materialov za beton, ki se bodo uporabljali za pripravo 4 vrst različnih betonov in se na njih izvedejo predhodne preiskave betonov, ki bo podrobno opredeljene in potrjene v 2. fazi te aktivnosti. 4 vrste betonov so:

- klasični beton,
- klasični beton z vlakni,
- samozgoščevalni beton in
- samozgoščevalni beton z vlakni.

### **6.1 PREDHODNE PREISKAVE OSNOVNIH MATERIALOV ZA BETON**

#### **6.1.1 Cement – fizikalno-kemijske lastnosti**

Cement – fizikalno-kemijske lastnosti po SIST EN 196: 2 vrsti cementa.

#### **6.1.2 Agregat – dolomitnega ali apnenčevega izvora (4 frakcije)**

Agregat – dolomitnega ali apnenčevega izvora (vse frakcije) po SIST EN 933, SIST EN 1097 in SIST EN 1367: 4 frakcije dolomitskega cementa.

#### **6.1.3 Mikrosilika – fizikalno-kemijske lastnosti**

Mikrosilika – fizikalno-kemijske lastnosti po SIST EN 13263: 1 vrsta mikrosilike.

### **6.2 PREDHODNE PREISKAVE BETONOV**

#### **6.2.1 Priprava sestav (receptur) betonov**

Priprava sestav (receptur) betonov z izdelavo in nego preskušancev po SIST EN 12350-1 in SIST EN 12390-2: 4 vrste betona.

#### **6.2.2 Preskusi svežih betonov – konsistenca**

Preskusi svežih betonov – konsistenca normalno težkega betona s posedom po SIST EN 12350-2; konsistenca SCC po SIST EN 12350-8 do 12; vodocementno razmerje po SIST 1026:2016, dodatek NC; gostota po SIST EN 12350-6; vsebnost zraka – metoda s pritiskom po SIST EN 12350-7: 4 vrste betona.

#### **6.2.3 Meritev adiabatskih karakteristik betona**

Meritev adiabatskih karakteristik betona (v komori ali po semi-adiabatski preskusni metodi): 4 vrste betona.

#### **6.2.4 Določitev časa strjevanja s penetracijsko iglo**

Določitev časa strjevanja s penetracijsko iglo po SIST EN 14488-2: 4 vrste betona.

### **6.2.5 Določitev zrelostne funkcije**

Določitev zrelostne funkcije – ocena tlačne trdnosti po zrelostni metodi, ki je podana v ASTM C 1074: 4 vrste betona.

### **6.2.6 Meritve avtogenega krčenja**

Meritve avtogenega krčenja, ki se izvajajo po Japonskem standardu JIS A 1129: 4 vrste betona.

### **6.2.7 Meritve krčenja – prostorske deformacije betona**

Meritve krčenja – prostorske deformacije betona – ocena stopnje krčenja po 56 dneh, ki se izvajajo po standardu DIN 4227 – 1. Del, na 3 prizmah 10×10×50 cm: 4 vrste betona.

### **6.2.8 Meritve lezenja**

Meritve lezenja po standardu JUS U.M1.027, na 2 prizmah 10×10×40 cm: 4 vrste betona.

### **6.2.9 Preskus tlačne trdnosti in prostorninske mase strjenega betona**

Preskus tlačne trdnosti po SIST EN 12390-3 in prostorninske mase strjenega betona po SIST EN 12390-7 pri starosti betona 1, 2, 3, 7, 28, 56 dni na kockah z robom 15 cm (3 preskusi na termin): 4 vrste betona × 3 preskusi/termin × 6 terminov.

### **6.2.10 Preskus obnašanja betona pri upogibu**

Preskus obnašanja betona pri upogibu na prizmi 15×15×70 cm z zarezo po metodi, ki jo je podal RILEM TC 162-TDF pri starosti betona 7, 28, 56 dni (3 preskusi na termin): 4 vrste betona × 3 preskusi/termin × 3 termini.

### **6.2.11 Preskus obnašanja betona pri cepitvi z zagozdo**

Preskus obnašanja betona pri cepitvi z zagozdo na kocki z robom 15 cm z zarezo – odpornost betona proti širjenju razpoke pri starosti betona 3, 7, 28, 56 (3 preskusi na termin): 4 vrste betona × 3 preskusi/termin × 4 termini.

### **6.2.12 Preskus statičnega modula elastičnosti**

Preskus statičnega modula elastičnosti na prizmi 10×10×40 cm po DIN 1048, 5. del, pri starosti betona 3, 7, 56 dni (3 preskusi na termin) 4 vrste betona × 3 preskusi/termin × 4 termini.

### **6.2.13 Preskus odpornosti betona proti prodoru vode**

Preskus odpornosti betona proti prodoru vode po SIST EN 12390-8 in prostorninske mase strjenega betona po SIST EN 12390-7 pri starosti betona 7, 28, 56 dni na kockah z robom 15 cm (3 preskusi na termin): 4 vrste betona × 3 preskusi/termin × 3 termini.

### **6.2.14 Preskus notranje odpornosti betona proti zmrzovanju/tajanju**

Preskus notranje odpornosti betona proti zmrzovanju/tajanju do 200 ciklov po SIST 1026:2016, dodatek ND, pri starosti betona 28 dni na 3 prizmah 10×10×40 cm: 4 vrste betona.

### **6.2.15 Preiskave potenciala alkalno-silikatne reaktivnosti na malti**

Preiskave potenciala alkalno-silikatne reaktivnosti po ASTM C 1293, oziroma alkalno-karbonatne reaktivnosti po ASTM C 586 na malti: 4 vrste betona.

### **6.2.16 Preiskave potenciala alkalno-silikatne reaktivnosti na betonu**

Preiskave potenciala alkalno-silikatne reaktivnosti po ASTM C 1293, oziroma alkalno-karbonatne reaktivnosti po ASTM C 586 na betonu: 4 vrste betona.

#### **6.2.17 Preskus prepustnosti za tekočine**

Preskus prepustnosti za tekočine po BS 1881 del 208:1996: 4 vrste betona.

#### **6.2.18 Preskus kapilarne vodo-vpojnosti**

Preskus kapilarne vodo-vpojnosti po SIST EN 13057:2002, pri starosti betona 28 in 56 dni: 4 vrste betona × 2 termina.

#### **6.2.19 Preskus odpornosti proti koroziji zaradi karbonatizacije**

Preskus odpornosti proti koroziji zaradi karbonatizacije - globina karbonatizacije s pospešenim preskusom po pR EN 12390-12: 4 vrste betona.

#### **6.2.20 Preskus odpornosti proti difuziji kloridov**

Preskus odpornosti proti difuziji kloridov po metodi, ki je podana v NT BUILD 492:1999: 4 vrste betona.

#### **6.2.21 Preskus celokupne (totalne) poroznost betona**

Preskus celokupne (totalne) poroznost betona po EN 1936:2006, pri starosti betona 7, 28 in 56 dni: 4 vrste betona × 3 termini.

#### **6.2.22 Obdelava in vrednotenje rezultatov ter priprava poročila**

### **6.3 IZDELAVA POSKUSNIH BLOKOV**

#### **6.3.1 Referenčna kocka za vidne betone**

- *Dobava in izdelava opaža poskusne referenčne kocke 1 x 1 x 1 m za definiranje vidnih površin betonov. V eni kocki 3 različni opaži: 3 kom.*
- *Dobava in vgradnje betona v referenčne kocke: 3m<sup>3</sup>.*

#### **6.3.2 Poskusni bloki izbranih mešanic betona**

- *Dobava in izdelava poskusnih blokov receptur sekundarne stenske obloge velikosti 1,2 x 2 x 10 m, obojestranski opaž, povezje, na zgornji in spodnji strani toplotna izolacija za doseganje adiabatskih pogojev kot v elementu, XPS 500 plošče deb 10 cm: 2 kom × 45 m<sup>2</sup>.*
- *Dobava in izdelava poskusnih blokov receptur sekundarne obloge dna silosa velikosti 4 x 4 x 2 m, obojestranski opaž, povezje, na zgornji in spodnji strani toplotna izolacija za doseganje adiabatskih pogojev kot v elementu, XPS 500 plošče deb 10 cm: 1 kom × 32 m<sup>2</sup>.*
- *Dobava in vgradnja armature, kot približek dejanskemu stanju 5500 kg (ocenjeno).*
- *Dobava in vgradnja betona različnih receptur v poizkusne bloke 105 m<sup>3</sup>.*
- *Rušenje poizkusnih blokov in odvoz na sanitarno deponijo s plačilom okoljskih dajatev in obdelave gradbenega odpadka: 105 m<sup>3</sup>.*

### **6.3.3 Vgradnja tesnilnih trakov, priprava površin betonov**

- *Dobava in vgradnja raznih tesnilnih trakov delavnih stikov in dilatacij v betonski konstrukciji: 60 m'.*
- *Priprava površine betona delavnega stika s visokotlačnim pranjem, stroji, delo, material: 2 dni.*
- *Priprava površine betona delavnega stika s peskanjem, stroji, delo, material: 2 dni.*

### **6.3.4 Poskus vgrajevanja betona s črpalko na - 60 metrov - enkratni poizkus**

- *Dobava betona na mesto vgradnje: 18 m<sup>3</sup>.*
- *Priprava opaža za vgradnjo: 1 kom.*
- *Črpanje betona: 8 ur.*
- *Odstranitev betona po betoniranju: 18 m<sup>3</sup>.*

## **6.4 KONTROLA VGRAJEVANJA BETONA V POSKUSNE BLOKE, MERITVE NA TERENU IN LABORATORIJSKI PRESKUSI**

### **6.4.1 Kontrola priprave in vgrajevanje betona – v kocke**

Kontrola priprave in vgrajevanje betona v 1 referenčno kocko (1m<sup>3</sup>), meritve svežega betona in priprava kalupnih preskušancev za laboratorijske preskuse strjenega betona: 1 referenčna kocka.

### **6.4.2 Preskus tlačne trdnosti – betona vgrajenega v kocke**

Preskus tlačne trdnosti po SIST EN 12390-3 in prostorninske mase strjenega betona po SIST EN 12390-7 pri starosti betona 7 in 28 dni na kockah z robom 15 cm (3 preskusi na termin): 1 referenčna kocka × 3 preskusi/termin × 2 termina.

### **6.4.3 Preskus odpornosti betona proti prodoru vode – vgrajenega v kocke**

Preskus odpornosti betona proti prodoru vode po SIST EN 12390-8 in prostorninske mase strjenega betona po SIST EN 12390-7 pri starosti betona 28 in 56 dni na kockah z robom 15 cm (3 preskusi na termin): 1 referenčna kocka × 3 preskusi/termin × 2 termina.

### **6.4.4 Kontrola priprave in vgrajevanje betona v bloke**

Kontrola priprave in vgrajevanje betona v 3 poskusne bloke (2 bloka 1,2x2x10m in 1 blok 4x4x2m), meritve svežega betona in priprava kalupnih preskušancev za laboratorijske preskuse strjenega betona: (2+1) bloki.

### **6.4.5 Preskus tlačne trdnosti**

Preskus tlačne trdnosti po SIST EN 12390-3 in prostorninske mase strjenega betona po SIST EN 12390-7 pri starosti betona 7 in 28 dni na kockah z robom 15 cm (3 preskusi na termin): (2+1) bloki × 3 preskusi/termin × 2 termina.

#### **6.4.6 Preskus odpornosti betona vgrajenega v bloke, proti prodoru vode**

Preskus odpornosti betona proti prodoru vode po SIST EN 12390-8 in prostorninske mase strjenega betona po SIST EN 12390-7 pri starosti betona 28 in 56 dni na kockah z robom 15 cm (3 preskusi na termin): (2+1) bloki × 3 preskusi/termin × 2 termina.

#### **6.4.7 Meritev sproščanja toplote v betonu med strjevanjem**

Meritev sproščanja toplote v betonu med strjevanjem: (2+1) bloki.

#### **6.4.8 Monitoring vgrajenega betona v poskusne bloke**

Monitoring vgrajenega betona v vse 3 poskusne bloke – vizualna kontrola do 56 dni: 6 pregledov.

#### **6.4.9 Odvzem valjev Ø 100 mm z vrtanjem poskusnih blokov**

Odvzem valjev Ø 100 mm z vrtanjem poskusnih blokov do globine 25 cm in priprava preskušancev z žaganjem odvzetih valjev: (2+1) bloki × 18 valjev/blok.

#### **6.4.10 Preskus celokupne (totalne) poroznosti betona poskusnih blokov**

Preskus celokupne (totalne) poroznosti betona po EN 1936:2006, pri starosti betona 28 in 56 dni; preskus se izvede na odvzetih vzorcih iz poskusnih blokov: (2+1) bloki × 2 termina.

#### **6.4.11 Preskus odpornosti betona proti prodoru vode na valjih iz poskusnih blokov**

Preskus odpornosti betona proti prodoru vode po SIST EN 12390-8 in prostorninske mase strjenega betona po SIST EN 12390-7 pri starosti betona 28 dni na odvzetih valjih (3 preskusi na termin); preskus se izvede na odvzetih vzorcih iz poskusnih blokov: (2+1) bloki × 3 preskusi/termin × 1 termin.

#### **6.4.12 Preskus kapilarne vodo-vpojnosti na vzorcih iz poskusnih blokov**

Preskus kapilarne vodo-vpojnosti po SIST EN 13057:2002, pri starosti betona 28 dni; preskus se izvede na odvzetih valjih iz poskusnih blokov: (2+1) bloki × 1 termin.

#### **6.4.13 Priprava zaključnega poročila**

Priprava zaključnega poročila, z določitvijo parametrov za pripravo razpisa.

## 7 REFERENČNA DOKUMENTACIJA

- [1] *Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (ZVISJV-1).* (Uradni list RS, št. 76/17 in 26/19).
- [2] *Projektne osnove za odlagališče NSRAO Vrbina, Krško - faza presoje vplivov na okolje, Revizija 4 02-08-011-002/NSRAO2-POR-013-04.* 2019.
- [3] IBE, "Projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja, rev.C," 2018.
- [4] F. za gradbeništvo in geodezijo Univerza v Ljubljani, *Neodvisno strokovno mnenje o PGD za odlagališče NSRAO (3.faza).* 2019.
- [5] *Zakon o javnem naročanju (ZJN-3).* (Uradni list RS, št. 91/15 in 14/18).

## 8 REZULTATI/IZDELKI/POROČILA

### 8.1 PREDVIDENI REZULTATI:

Predvideni rezultati so:

- Na podlagi vhodnih podatkov in predhodnih preiskav osnovnih materialov za beton uskladištev osnovnih materialov za beton z naročnikom, projektantom in nadzorom.
- Pridobljeni rezultati programa raziskav betonskih mešanic.
- Določitev tehnologije izdelave in vgradnje optimalne betonske mešanice za sekundarno oblogo silosa odlagališča NSRAO ter priprava razpisnih pogojev za izvajalca.

### 8.2 PREDVIDENA POROČILA:

Predvidena poročila so:

- Poročilo o preverjanju vhodnih podatkov in uskladitvi osnovnih materialov za beton (zaključek 1. faze).
- Poročilo o izvedenem programu preiskav (zaključek 2. faze).
- Študija proizvodnje, vgradljivosti in karakteristik končnih betonskih mešanic za izvedbo sekundarne armiranobetonske obloge silosa odlagališča NSRAO, ki mora vsebovati tudi Zaključno poročilo izvedbe programa raziskav in poročilo o tehnologiji predlagane betonske mešanice ter razpisnih pogojev za izdelavo in vgradnjo le te za sekundarno oblogo silosa odlagališča NSRAO.  
Predstavitev rezultatov naročniku (zaključek 3. faze).

## **9 NAČIN PREVERJANJA REZULTATOV IN PLAČILA**

### **9.1 NAČIN PREVERJANJA REZULTATOV**

Izvajalec v vseh fazah izvajanja projekta dovoljuje naročniku in njegovemu pooblaščenцу, da izvaja nadzor poteka in izvajanja del.

### **9.2 PLAČILA PO POGODBI**

Plačila se izvedejo v treh delih (po vsaki zaključeni fazi) na podlagi ponudbenega predračuna in dejansko izvedenih delih. Delitev del in plačil po fazah:

1. Plačilo na podlagi Poročila o preverjanju vhodnih podatkov in uskladitvi osnovnih materialov za beton (zaključek 1. faze).
2. Plačilo na podlagi Poročila o izvedenem programu preiskav se izplača glede na obseg dejansko izvedenih preiskav (zaključek 2. faze).
3. Plačilo po predaji Študije proizvodnje, vgradljivosti in karakteristik končnih betonskih mešanic za izvedbo sekundarne armiranobetonske obloge silosa odlagališča NSRAO, ki vsebuje tudi Zaključno poročilo izvedbe programa raziskav, Poročilo o tehnologiji predlagane betonske mešanice in razpisnih pogojih za izdelavo in vgradnjo sekundarne obloge silosa odlagališča NSRAO (zaključek 3. faze in zaključek vseh del).