

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



Visokošolski strokovni študij
gradbeništva, Smer operativno
gradbeništvo

Kandidat:

Andrej Matekovič

Operativna izvedba asfaltne obloge akumulacijskega jezera

Diplomska naloga št.: 372

Mentor:

izr. prof. dr. Jana Šelih

Somentor:

viš. pred. dr. Aleksander Srdić

Ljubljana, 2010

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **ANDREJ MATEKOVIČ** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
»OPERATIVNA IZVEDBA ASFALTNE OBLOGE AKUMULACIJSKEGA JEZERA«.

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na Univerzo v Ljubljani, Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, april 2010

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 627.8:69:691.16(043.2)
Avtor: Andrej Matekovič
Mentor: doc.dr. Jana Šelih, univ.dipl.inž.grad.
Somentor: asist.dr. Aleksander Srđić, univ.dipl.inž.grad.
Naslov: Operativna izvedba asfaltne obloge akumulacijskega jezera
Obseg in oprema: 61 str., 5 pregl., 23 sl., 2 pril.
Ključne besede: črpalna hidroelektrarna Avče, akumulacijsko jezero, asfaltna obloga

Izvilleček

Diplomska naloga obravnava izgradnjo zgornjega akumulacijskega jezera črpalne hidroelektrarne Avče, s poudarkom na izvedbi tesnjenja akumulacijskega jezera z asfaltno oblogo. Črpalna hidroelektrarna Avče je prva črpalna elektrarna v Sloveniji in je eden največjih objektov, ki se je gradil v Sloveniji v zadnjih letih. Specifična je zaradi načina korišćenja električne energije, interdisciplinarne zahtevnosti izvedbe projekta, velikosti in kapacitete zgornjega akumulacijskega jezera ter uvedbe novih tehnologij pri gradnji jezera.

V diplomski nalogi so opisane vse faze izvedbe asfaltne obloge, in sicer: organizacija gradbišča, tehnologija izvedbe, upoštevani standardi, tesnjenje akumulacijskega jezera z EPDM folijo, terminski plan, uporabljeni materiali in logistika, uvedba novih tehnologij, kontrola kakovosti in postopek prvega polnjenja.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 627.8:69:691.16(043.2)
Author: Andrej Matekovič
Supervisor: Dr. Jana Šelih
Co-supervisor: Assist.dr. Aleksander Srdić
Title: Execution of water reservoir asphalt lining
Notes: 61 p., 5 tab., 23 fig., 2 ann.
Keywords: Pumped Storage Power Plant Avče, upper storage reservoir, asphalt lining

Abstract:

The degree thesis deals with the construction of the upper storage reservoir of the Pumped Storage Power Plant Avče. Moreover, additional emphasis is given on placing of the water-tight washer by applying the asphalt lining. The Pumped Storage Power Plant Avče is the first pumping storage power plant in Slovenia and it is at the same time also one of the largest constructions built in Slovenia in the last years. What is more, its exceptionality is attributed to the way it uses the electrical energy, the interdisciplinary demands and task complexity needed when constructing it, its size, the greater holding power the lake in question is able to provide, and last but not least, the introduction of new technologies designed for its construction.

Furthermore, all stages related to the construction of the asphalt lining are herewith also shown, from the application of the methods in planning organization of the construction site, the use of technology, the standards taken into consideration, the alternative water-tight washer for the accumulation lake by applying the EPDM foil, the time schedule, the materials chosen and the logistics performance, the introduction of new technologies, the quality control and the procedure of the first filling.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	1
2	ČHE AVČE – predstavitev projekta.....	2
2.1	Investicija in investitor	2
2.2	Splošni podatki o ČHE Avče.....	2
2.3	Tehnični podatki ČHE Avče in zgornjega akumulacijskega jezera.....	5
3	IZVEDBA ASFALTNE OBLOGE AKUMULACIJSKEGA JEZERA	8
3.1	Organizacija gradbišča.....	8
3.1.1	Organigram gradbišča.....	8
3.2	Tehnologija izvedbe	9
3.2.1	Zemeljska dela.....	9
3.2.1.1	Izgradnja dveh visokih nasutih pregrad iz lokalnega fliša	9
3.2.1.2	Vgradnja lokalnega fliša (da ali ne)	10
3.2.1.3	Ploskovni zdrs in sanacija splazele brežine	12
3.3	Upoštevani standardi	14
3.3.1	Standard DIN 19700-11	14
3.3.1.1	Splošno	14
3.3.1.2	Načini tesnenja	15
3.3.2	Standard DIN 19700-14.....	16
3.3.2.1	Področje uporabe	16
3.3.2.2	Hidrologija in vodno gospodarstvo	18
3.3.2.3	Vključitev v naravno okolje	18
3.4	Izvedba asfaltne obloge jezera	19
3.4.1	Asfaltiranje brežin	20
3.4.2	Asfaltiranje dna.....	22
3.4.3	Obdelava spojev	23

3.4.4	Zaščita asfalta z vročim mastiksom.....	24
3.4.5	Spajanje s konstrukcijami.....	25
3.4.6	Izdelava roba	27
3.4.7	Izvedba dostopne ceste	28
3.4.8	Vodno upravljanje	28
3.5	EPDM folija kot alternativa asfaltu	30
3.5.1	Splošno o EPDM	30
3.5.2	Projektantsko mnenje in odločitev investitorja glede EPDM.....	31
4	POTEK IZVEDBE.....	32
4.1	Terminski plan	32
4.1.1	Opis terminskega plana izvedbe	32
4.1.2	Predvideno in dejansko zaporedje asfaltnih del	33
4.1.3	Terminski plan v MS Projectu.....	34
4.2	Uporabljeni materiali in logistika.....	35
4.2.1	Osnovni materiali.....	35
4.2.2	Recepturi asfaltnih zmesi	37
4.2.3	Asfaltni zmesi.....	38
4.2.4	Proizvodnja asfaltnih zmesi	39
4.2.5	Logistika.....	41
4.3	Uvedba novih tehnologij.....	42
4.3.1	Kontrola gradnje nasipov z uporabo sistemov CCC	42
4.3.2	Uporaba tehnologije AccuGrade GPS	45
4.4	Kontrola kakovosti.....	47
4.4.1	Laboratoriji	47
4.4.2	Vsebnost lahkih delcev v agregatu za proizvodnjo asfaltnih zmesi	48
4.4.3	Organizacija preskusov proizvodnje na gradbišču	49
4.4.4	Varstvo okolja	50
4.5	Postopek prvega polnjenja	52

4.5.1	Ozadje polnjenja	52
4.5.2	Faze polnjenja bazena	52
4.5.3	Terminski plan in program polnjenja.....	55
4.5.3.1	Terminski plan polnjenja	55
4.5.3.2	Program prvega polnjenja in opazovanja akumulacijskega jezera	56
4.5.4	Navodila med obratovanjem	58
5	ZAKLJUČEK.....	59

VIRI.....	60
------------------	-----------

PRILOGA A

PRILOGA B

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Porazdelitev materialov v asfaltnih zmesih	35
Preglednica 2: Recepturi za nosilno plast ABL in tesnilno plast DAC (Hinrikson, 2008)	37
Preglednica 3: Rezultati kemijske analize določitve lahkih delcev (ZAG).....	48
Preglednica 4: Rezultati kemijske analize določitve lahkih delcev (IRMA).....	49
Preglednica 5: Program prvega polnjenja in opazovanja akumulacijskega jezera	56

KAZALO SLIK

Slika 1: Umestitev ČHE Avče v prostor	4
Slika 2: Vzдолžni profil ČHE Avče.....	5
Slika 3: Organigram gradbišča zgornjega akumulacijskega jezera.....	8
Slika 4: Mali in veliki nasip.....	10
Slika 5: Sanacija splazele brežine.....	13
Slika 6: Teoretični prikaz navpičnega polaganja asfalta (Pfiffner, 2003)	21
Slika 7: Navpično polaganje asfalta v Avčah.....	22
Slika 8: Asfaltiranje dna jezera.....	23
Slika 9: Obdelava spoja z infrardečo grelno napravo.....	24
Slika 10: Nanašanje vročega mastiksa	25
Slika 11: Bakreni spoj med asfaltom in betonom na vtoku.....	26
Slika 12: Spoj asfalt – beton.....	27
Slika 13: Prečni prerez brežine, betonskega robnika in ceste.....	28
Slika 14: Vplivna površina meteornih voda	29
Slika 15: Predvideno zaporedje polaganja asfalta	33
Slika 16: Dejansko zaporedje polaganja asfalta	34
Slika 17: Sestava asfaltne zmesi.....	38
Slika 18: Stacionarna asfaltna baza podjetja CPG d.d. v Vrtojbi	40
Slika 19: Prikaz transportnih poti agregata in asfaltnih zmesi	41
Slika 20: Računalniški zaslon valjarja s CCC merilnim sistemom	44
Slika 21: Prikaz AccuGrade GPS sistema na buldožerju D6K XL	46
Slika 22: Faze polnjenja zgornjega jezera	53
Slika 23: Terminski plan prvega polnjenja zgornjega jezera.....	55

KAZALO PRILOG

Priloga A: Osnovni terminski plan izvedbe asfaltne obloge akumulacijskega jezera

Priloga B: Spremenjeni terminski plan izvedbe asfaltne obloge akumulacijskega jezera

1 UVOD

Črpalna hidroelektrarna (ČHE) Avče, prva črpalna elektrarna v Sloveniji, je specifična zaradi načina koriščenja električne energije, interdisciplinarne zahtevnosti izvedbe projekta in uvedbe novih tehnologij pri gradnji.

Diplomska naloga obravnava tehnologijo izvedbe tesnitve zgornjega akumulacijskega jezera črpalne hidroelektrarne Avče z asfaltno oblogo, ki je prvi tovrstni primer gradnje v Sloveniji. V nalogi so predstavljene vse faze izvedbe asfaltne obloge jezera, tj. organizacija gradbišča, tehnologija izvedbe, terminski plan, uporabljeni materiali in logistika, uvedba novih tehnologij, kontrola kakovosti, postopek prvega polnjenja, upoštevani standardi ter alternativa asfaltni oblogi.

Ključnega pomena za kvalitetno in pravočasno izvedbo asfaltne obloge je bila sklenitev podizvajalske pogodbe med Primorjem d.d. in švicarskim podjetjem Walo AG. Primorje d.d., kot glavni izvajalec podzemnih in gradbenih del na ČHE Avče je bilo zadolženo za celotno organizacijo gradbišča, dobavo asfaltnih zmesi in vso potrebno logistiko. Podjetje Walo AG z bogatimi izkušnjami na področju asfaltnih oblog na strmih brežinah ter temu prirejeno mehanizacijo in opremo je bilo zadolženo za polaganje asfaltne obloge.

2 ČHE AVČE – predstavitev projekta

2.1 Investicija in investitor

Investitor projekta so bile Soške elektrarne Nova gorica (SENG), eno od inženirskih podjetij Holdinga Slovenske elektrarne. Leta 2007 so praznovale šestdesetletnico obstoja kot sodobno, učinkovito podjetje z osnovnim poslanstvom proizvodnje električne energije in s trdno strategijo razvojne in tržne usmerjenosti. Podjetje je to doseglo z visokim kapitalom znanja in čutom pripadnosti kolektivu, naravi in okolju.

Soške elektrarne so z do tedaj zgrajenimi energetske objekti nastale leta 1947 ob priključitvi Primorske k nekdanji Jugoslaviji. Takrat je bilo to največje proizvodno podjetje v Sloveniji, saj je s skupno močjo elektrarn okrog 52 MW pokrivalo več kot 40 odstotkov potreb slovenskih porabnikov.

Družba deluje na območju porečja Soče, ene najbolj ohranjenih rek v Alpah, z upoštevanjem zahtevnih mednarodnih standardov in okoljevarstvenih načel optimalno izkorišča razpoložljivi vodni potencial reke Soče in njenih pritokov ter drugih obnovljivih virov energije (Pavšič, 2007).

2.2 Splošni podatki o ČHE Avče

Temeljni kamen za ČHE Avče je bil postavljen leta 2004, pričetek obratovanja pa je bil predviden na pomlad 2010.

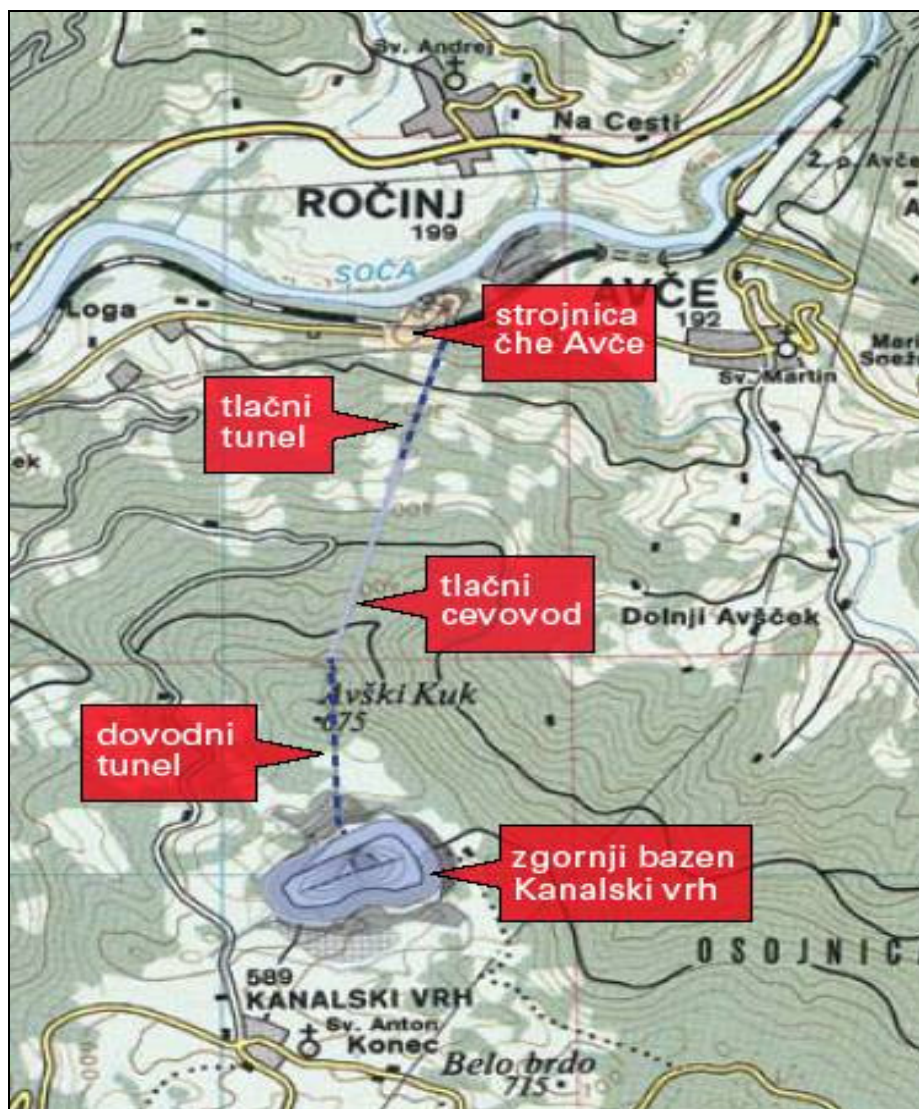
ČHE Avče je najnovejša izmed šestindvajsetih hidroelektrarn in je ena izmed šestih velikih, z letno proizvodnjo električne energije 426 GWh. ČHE Avče bo v času nizkih cen električne energije (ponoči in ob koncih tedna) črpala vodo v zgornji akumulacijski bazen, v času visokih cen električne energije (dnevne konice) pa proizvajala električno energijo.

Strojnica ČHE Avče je locirana na levem bregu reke Soče, dolvodno od vasi Avče. V strojnici je nameščena glavna elektro-strojna oprema. Obstoječi akumulacijski bazen Ajba hidroelektrarne Plave služi kot spodnji akumulacijski bazen za ČHE Avče. Zgornji akumulacijski bazen je lociran v naravni kotanji v bližini naselja Kanalski Vrh in je z dovodnim tunelom in tlačnim cevovodom povezan s strojnico – s srcem elektrarne.

Prostornina obstoječe naravne kotanje je bila povečana z izgradnjo dveh bočnih nasutih pregrad. Za zagotovitev vodotesnosti je celotna površina bazena obložena z asfaltno oblogo.

Posebnost ČHE Avče je v opremljenosti z reverzibilnim agregatom (turbino – črpalko) s spremenljivo hitrostjo vrtenja (angl. »varspeed«). Tak tip agregata omogoča prilagodljivo obratovanje črpalne elektrarne tudi pri različni razpoložljivi moči v elektroenergetskem omrežju, na katerega bo priključena s 110-kV daljnovodom/kablovodom.

ČHE Avče je prvi tovrstni objekt v Sloveniji, ki bo podvojil celotno sedanjo moč Soških elektrarn, obenem pa predstavlja omenjeni projekt eno največjih finančnih investicij pri nas, saj znaša njena celotna vrednost 120 milijonov evrov. Predvidena povračilna doba investicije znaša 12 let.

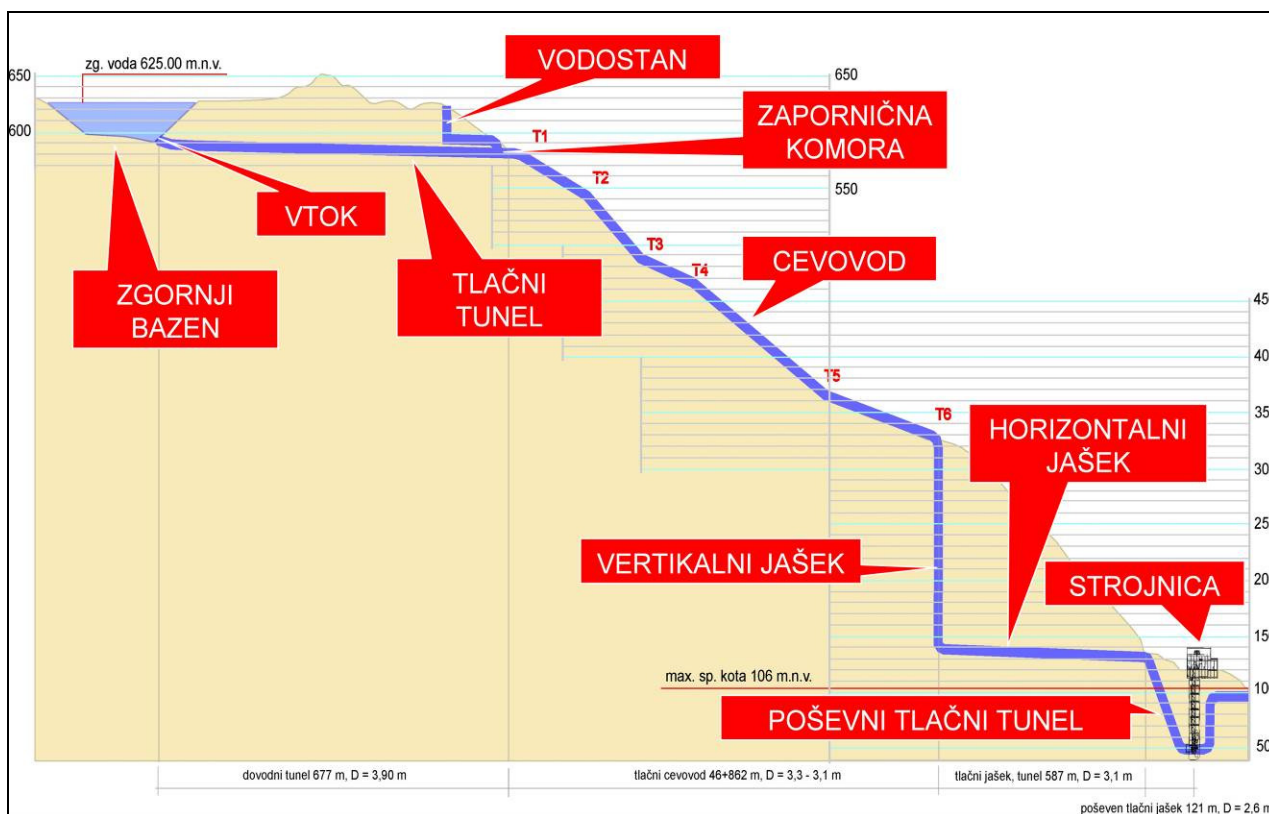


Slika 1: Umestitev ČHE Avče v prostor

Gradbena dela sta v skupnem nastopu izvajali Primorje d.d., kot vodilni partner, in SCT d.d., izvedba strojne opreme je bila v domeni konzorcija Rudisa, v sodelovanju z japonskima družbama Melco in Sumitomo, za jekleni del tlačnega cevovoda in dvigala je poskrbelo podjetje Montavar Metalna Nova d.o.o. (nekdanja Metalna Maribor), za elektro opremo pa Gorenje d.d. in SOL Intercontinental d.o.o.. Za vso projektno dokumentacijo je bil zadolžen slovensko-švicarski konzorcij Korona d.o.o.-Colenco Ltd.

2.3 Tehnični podatki ČHE Avče in zgornjega akumulacijskega jezera

ČHE Avče tvorita dve akumulaciji: zgornji akumulacijski bazen v naravno oblikovani kraški kadunji tik nad zaselkom Kanalski Vrh ter spodnja akumulacija, zdajšnja Ajba, ki je namenjena HE Plave na reki Soči. Zgornjo akumulacijo s strojnico, ki je zgrajena ob akumulaciji Ajba, povezuje dobra 2 km dolg cevovod, ki je speljan po strmem pobočju. Ostali elementi ČHE Avče so dovodni tunel, vodostan, zapornična komora, tlačni cevovod, strojnica, vtočno-iztočni jašek, spodnji vtok in iztočni kanal.



Slika 2: Vzdolžni profil ČHE Avče

ČHE Avče bo v slovenski elektrosistem letno prispevala 426 GWh električne energije z izkoristkom 0,77. V času, ko je cena električne energije najnižja (ponoči in ob koncu tedna) bo

izkoriščala hidroenergetski potencial reke Soče in črpala vodo iz zaježitve v Ajbi do zgornjega akumulacijskega jezera, v času visokih cen (ob dnevnih konicah) pa bo tako akumulirano vodo s spuščanjem na turbino porabila za njeno proizvodnjo.

- **Splošni podatki o ČHE AVČE**

Qt – maksimalni pretok v turbinskem režimu	40 m ³ /s
Qč – maksimalni pretok v črpalnem režimu	34 m ³ /s
H bruto max. – maksimalni bruto padec	521 m
H bruto min. – minimalni bruto padec	491 m
H neto sr. – srednji neto padec	498 m
Pi – inštalirana moč na pragu ČHE	185 MW
Pč(sr) – moč črpanja na pragu ČHE	180 MW
Elp. – letna proizvodnja el. Energije	426 GWh
Elč. – potrebna letna energija za črpanje	553 GWh
N(Elč/Elp) – izkoristek elektrarne	0,77

- **Zgornji akumulacijski bazen**

Maksimalna kota zgornje vode	625 m.n.m.
Minimalna kota spodnje vode	597 m.n.m.
Koristni volumen akumulacije	2,17 mio m ³

- **Spodnji akumulacijski bazen (Ajba)**

Maksimalna kota spodnje vode	106,0 m.n.m.
Minimalna kota spodnje vode pri dnevnem obratovanju	104,5 m.n.m.
Koristni volumen dnevne akumulacije	0,42 mio m ³

- **Dovodni tunel**

Notranji premer	3,9 m
Dolžina	720 m

Tlačni cevovod

Notranji premer	3,3–2,6 m
Skupna dolžina	1.470 m

• Strojnica-strojna oprema

Število agregatov	1
Tip črpalne turbine	Francisova, vertikalna enostopenjska reverzibilna
Nazivna vrtilna hitrost	600 min^{-1} (–4/+6%)
Nosilnost mostnega dvigala	300 t

• Elektro-strojna oprema

Asinhronski motor/generator z izmeničnim vzbujanjem moči	195 MVA
Glavni transformator	200 MVA 18/116kV
Stikališče v oklopljeni s plinom izolirani izvedbi	110 kV

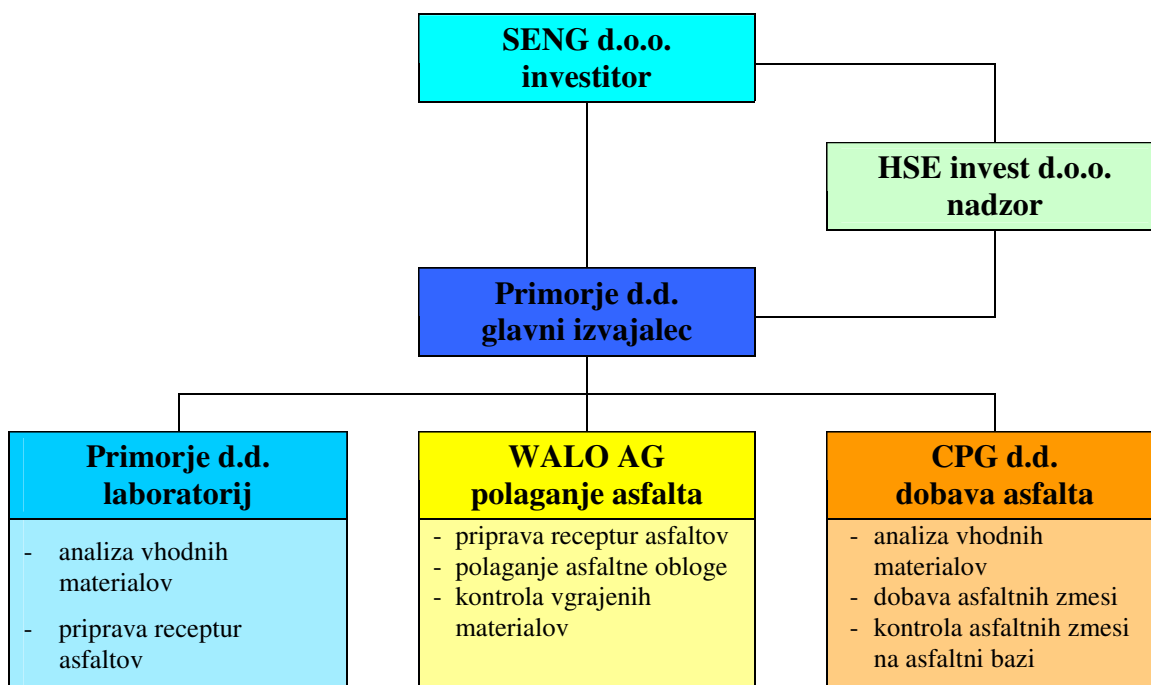
3 IZVEDBA ASFALTNE OBLOGE AKUMULACIJSKEGA JEZERA

3.1 Organizacija gradbišča

Na osnovi razpisne dokumentacije je glavni izvajalec gradbenih del, Primorje d.d., sklenil podizvajalsko pogodbo za izvedbo asfaltne obloge zgornjega akumulacijskega jezera s švicarskim podjetjem Walo. V nadaljevanju je predstavljen organigram gradbišča za izvedbo asfaltnih del na zgornjem akumulacijskem jezuru.

3.1.1 Organigram gradbišča

Spodnja slika prikazuje organizacijsko strukturo gradbišča na akumulacijskem jezuru.



Slika 3: Organigram gradbišča zgornjega akumulacijskega jezera

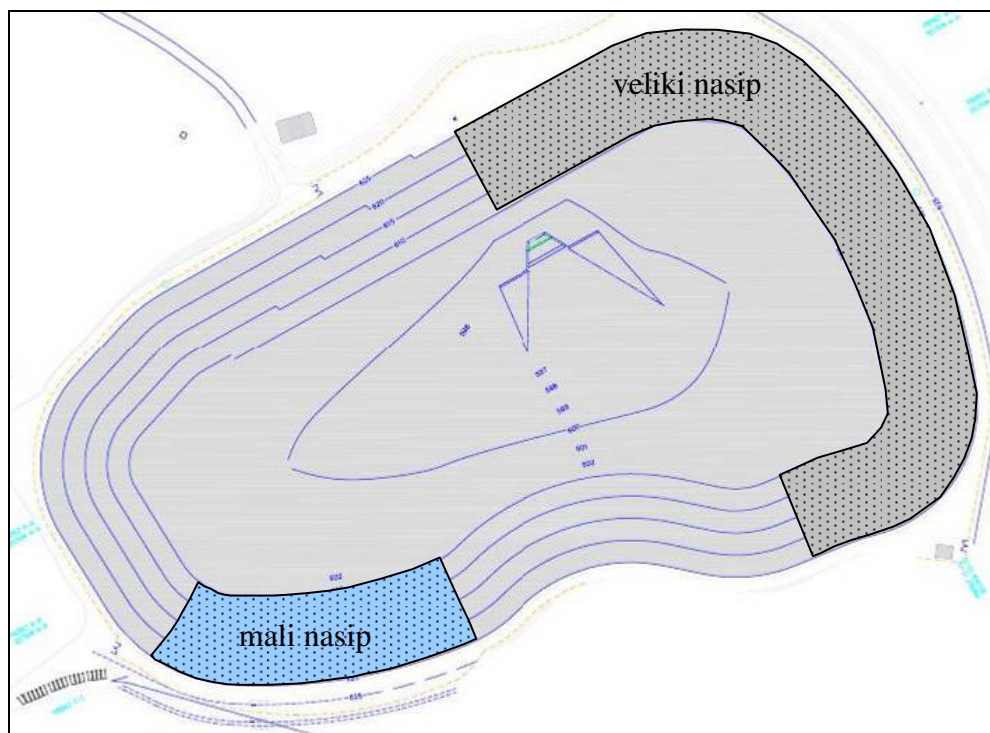
3.2 Tehnologija izvedbe

3.2.1 *Zemeljska dela*

V času gradnje je bilo gradbišče soočeno s številnimi pojavi. Opredelili bi jih lahko kot geološka presenečenja, ki so zahtevala številne spremembe in dopolnitve projekta. Največja tveganja pri zemeljskih delih so bila vezana na nezanesljivost geoloških napovedi. Zanesljivost geološke napovedi narašča z naraščajočo stopnjo raziskanosti in inženirskimi izkušnjami, pridobljenimi pri gradnjah v primerljivem okolju.

3.2.1.1 Izgradnja dveh visokih nasutih pregrad iz lokalnega fliša

Zgornji akumulacijski bazen s koristnim volumnom 2,17 mio m³ vode je lociran na nadmorski višini 600–625 m. Navkljub ugodni legi naravne kotanje je bilo za potrebe akumulacije potrebno zgraditi dva bočna vodotesna nasipa v višini 28 m. Nasipa sta med seboj ločena; prvi (t. i. veliki nasip) je lociran med P11–P29 na vzhodu v dolžini 400 m, drugi (t. i. mali nasip) pa med P49–P60 v dolžini 200 m na jugozahodni strani neba.



Slika 4: Mali in veliki nasip

Vgrajena količina nasutega lokalnega materiala flišnega značaja je znašala 445.000 m³. Oba nasipa sta na notranji oz. vodni strani sprojektirana v naklonu 1 : 2,5 (21,8°), na zunanji oz. suhi strani pa v nagibu 1 : 2 z vmesnimi bermami.

3.2.1.2 Vgradnja lokalnega fliša (da ali ne)

Širše vplivno območje zgornjega akumulacijskega bazena je zgrajeno iz zakraselega fliša kredne starosti. Za flišno kamenino je značilno plastovito menjavanje mehkih, malo odpornih kamnin, kot so glinavci, laporovci ter breče s trdnejšimi kamninami, kot so peščenjaki, meljevci in apnenci (kalkareniti). Izkop materiala v zgornjem jezeru in okolici je potekal z uporabo bagrov, bagrov s hidravličnim kladivom, buldožerjev z ripanjem ter, na mestih trdnejše kamnine z miniranjem z eksplozivom amonal.

Zaradi pomanjkljivosti prvotne projektne dokumentacije (neopredelitve osnovnih lastnosti materiala za gradnjo pregrad, pomanjkanja geotehničnih in stabilnostnih izračunov ter izračunov posedkov, neopredelitve sistema tehničnega monitoringa) in zaradi projektantske zahteve, da se za izgradnjo nasutih pregrad uporabi skalometni material, je bilo glavno vprašanje, če je vgradnja lokalnega fliša v pregrado dopustna ali ne. V kolikor vgradnja lokalnega fliša ne bi bila dopustna, bi bilo potrebno voziti kamniti material iz najbližjih kamnolomov v Solkanu ali Rodežu, kar bi še bolj podražilo izvedbo projekta. To bi onemogočilo tudi izrabo naravnih danosti, prilagoditev tehnologije in geometrije gradnje pregrade na lokalno razpoložljivem materialu, povzročilo pa bi tudi nepotrebno degradacijo okolja.

Zaradi velikih razponov lastnosti flišnih materialov po izkopu je njihova uporaba pri gradnji zahtevnih objektov omejena. Omejene so tudi možnosti nadzorovanja zgoščenosti in homogenosti s tradicionalnimi točkovnimi metodami. Flišne kamnine v svojem zdrobljenem stanju namreč ne moremo ovrednotiti niti kot zemljinski niti kot kamniti nasip.

Glavni parametri izkopanih flišnih materialov so:

- prostorninska masa zrn (pd): 2.200–2.650 kg/m³
- optimalna vlaga po Proctorju (w_{opt}): 6–10 %
- maksimalna suha gostota po Proctorju (p_{dmax}): 2.170–2.200 kg/m³

Fliš je problematičen zaradi svoje strukture, saj njegov blok pod zunanji pogoji v nedoločenem časovnem obdobju (od nekaj dni pa celo do nekaj mesecev) razpade v manjše bloke in grušč. Počasi prepereva v glino, njegovo preperevanje in razpad pa eksplicitno pospešujejo neugodne vremenske razmere. Za preprečevanje nevarnosti in posledic dodatnega posedanja je zato potrebno zagotoviti zadostno gostoto materiala z zadostno stopnjo saturacije in zadosten čas za ekvilibracijo vlage.

Katedra za mehaniko tal na ljubljanski fakulteti za gradbeništvo in geodezijo (FGG) je v svojem geotehničnem elaboratu potrdila primernost rabe flišnih kamnin pod določenimi pogoji gradnje, s katerimi bi lahko pričakovane posedke visokih nasipov po dosedanjih izkušnjah v velikosti od 1–3 % lastne višine bistveno zmanjšali (Petkovšek et al., 2007).

3.2.1.3 Ploskovni zdrs in sanacija splazele brežine

Po prestali zimi je v februarju 2008 na južni vkopni brežini zgornjega akumulacijskega jezera (med P28–P40), kot posledica obilnega deževja, prišlo do ploskovnega zdrsra preperelega fliša po gladki porušnici. Opažanja Zavoda za gradbeništvo (ZAG) opisujejo zdrs kot tanek do zelo tanek plaz na obstoječi diskontinuiteti. Nestabilna plast je kazala jasne znake preperevanja – dekompresije, spremembe vsebnosti vlage, na kar je predhodno opozorila tudi FGG.

Navkljub sušnemu in vetrovnemu jesenskemu vremenu je bilo opaziti omočene cone pod površinsko že osušeno cono na vkopnih in nasipnih brežinah. Tok vode je bil vezan na diskontinuitete med plastmi laporovca. Obstajala je nevarnost, da bi v primeru omočenja prišlo do zdrsra brežine po gladkih kontaktih med lapornatimi plastmi, pri čemer je bil bolj kot količina padavin pomemben povišan tlak podzemne vode ali znižana sukcija, ki se lahko ustvari med plastmi v času padavin. Kljub opozorilu, da bi bilo potrebno poskrbeti za varnost in stabilnost zaledne vkopne brežine in vzdrževati stalen suhi kontakt med plastmi, se zdrsni ni bilo mogoče izogniti.



Slika 5: Sanacija splazele brežine

V projektu sanacije so bili predvideni sanacijski ukrepi v obsegu odkritja nanešene zdrsnjene, razrahljane odeje materiala v celotni debelini in odvoz le-te v stalno deponijo. Brežino se je saniralo z vgradnjo ojačitvenih armaturnih mrež in pasivnih sider ter z 10-centimetrovsko plastjo brizganega betona. Zaradi boljše obstojnosti kamnitega drenažnega sloja na brežini se je brizgani beton nanašalo v obliki poševnih reber, da je meteorna voda v fazi izvedbe sanacije lahko odtekala. Splazeli material se je zaradi neenakomerne debeline zdrsele plasti v obliki klina nadomestil s tamponom.

Ploskovni zdrs in sanacija splazele brežine za izvajalca nista imela nobenih finančnih posledic, saj sta dodatne stroške v celoti krila investitor in zavarovalnica. Sanacijska dela so se izvajala pospešeno, zato niso vplivala na končni rok izvedbe asfaltne obloge, ampak le na zaporedje asfaltiranja. Podrobnejši opis sledi v naslednjem poglavju.

3.3 Upoštevani standardi

Pri projektiranju in izvedbi zgornjega akumulacijskega jezera ČHE Avče se je upošteval standard DIN 19700, ki ga je izdelala delovna skupina odbora za standarde v vodnem gospodarstvu.

Pri projektiranju in izvedbi so bila upoštevana naslednja poglavja DIN 19700:

- poglavje 10: Skupne določbe;
- poglavje 11: Dolinske pregrade;
- poglavje 12: Zadrževalniki visokih vod;
- poglavje 13: Zapornična polja;
- poglavje 14: Črpalni akumulacijski bazeni;
- poglavje 15: Usedalni bazeni.

Spodaj sta na kratko povzeta standarda 19700-11 in DIN 19700-14, ki obravnavata dolinske pregrade in zaježitvene objekte.

3.3.1 Standard DIN 19700-11

3.3.1.1 Splošno

Ta standard na podlagi geometrijskih velikosti razvršča pregrade v dva razreda:

- **Dolinske pregrade 1. razreda** so velike dolinske pregrade, ki jih na splošno označuje:
 - višina jezu od najnižje točke temeljenja 5. zaporne gradnje do krone, večje od 15 m ali
 - skupni volumen akumulacijskega bazena, ki je večji od 1.000.000 m³.
- **Dolinske pregrade 2. razreda** so srednje in manjše dolinske pregrade, ki ne dosegajo parametrov potrebnih za uvrstitve v 1. razred.

Ne oziraje se na uvrstitev v razrede pa se lahko preko ureditev, ki so neodvisne od klasifikacije, izvajajo še nadaljnje diferenciacije glede na ekonomske ali funkcionalne premisleke. Te diferenciacije ne smejo negativno vplivati na nosilno varnost niti na uporabljivost dolinske pregrade.

Na dimenzioniranje zapornega objekta in obratovalnih naprav vplivajo hidrološki podatki za projektiranje, navedeni v DIN 19700-10 : 2004-07, 5.2 in 5.3. Potrebna podatkovna osnova za projektiranje temelji na fizikalnih, kemičnih, bioloških in po potrebi higienskih lastnostih vode pritokov v retencijskem prostoru in tekočih vod pod dolinsko pregrado, v kolikor so pomembne za obratovanje in nadzor dolinske pregrade na vsakokratni lokaciji.

Jezovi se konstruirajo in dimenzionirajo glede na:

- vrsto in količino razpoložljivih gradiv za jezove,
- sestava podlage,
- morfološke razmere,
- hitrost nihanja gladine,
- klimatske in potresne robne pogoje,
- karakteristike tal in mehanike skalovja,
- hidrodinamične zahteve.

3.3.1.2 Načini tesnenja

- Notranja tesnjenja

Notranja tesnjenja se lahko nahajajo v sredini pregrade (tesnjenje jedra, tesnilno jedro) ali na vodni strani blizu brežine. V preseku so lahko navpična, nagnjena ali lomljena. Notranja tesnjenja so lahko iz zemljin, glinobetona, asfaltnega betona, jekla, betona ali armiranega betona. Zgradba in dimenzije tesnjenja se ravna po višini pregrade, obremenitvah med nasipavanjem jezua, kasnejšem obratovanju akumulacije, posedanju dna, vrsti in lastnostim uporabljenih materialov,

posedanju ob nasičenosti na vodni strani, deformiranju zračne strani in krone pod vodno obremenitvijo in dosegljivim tesnjenjem pod gradbiščnimi pogoji.

- Površinska tesnjenja

Površinska tesnjenja so v glavnem izdelana iz asfaltnega betona, betona, armiranega betona ali plastičnih trakov. Tesnjenja morajo biti odporna na vremenske vplive (vročino, mraz, sevanje), mehanske obremenitve (npr. valovi, led, padajoče kamenje) in kemične napade akumulirane vode. Te obremenitve se pri notranjem tesnjenju preprečijo ali omilijo s pomočjo podpornih teles na vodni strani. Tesnjenje se lahko vgradi šele takrat, ko je posedanje in širjenje jezu v glavnem ponehalo. Pod površinskimi tesnjenji se mora gradbeni material v gradbenih jamah za sredinski zid in druge objekte iz materiala pregrade posebno pazljivo in intenzivno zgostiti (DIN 19700-14, 2004).

Poznamo:

- površinska tesnjenja iz asfaltnega betona,
- površinska tesnjenja iz betona in armiranega betona,
- površinska tesnjenja iz plastičnih tesnilnih trakov.

3.3.2 Standard DIN 19700-14

3.3.2.1 Področje uporabe

Ta standard določa zahteve za zaježitve, ki služijo v celoti ali delno črpalnim akumulacijam. Črpalni akumulacijski bazeni so zaježitveni objekti, ki služijo delno ali povsem za zagotavljanje vode za črpalne elektrarne. Poleg tega so možne tudi večnamenske uporabe.

Zaježitveni objekti so:

- a) po razmerah glede pritokov:
- črpalni akumulacijski bazeni brez naravnih pritokov
 - črpalni akumulacijski bazeni z naravnimi pritoki

- b) po legi v naravnem povodju:
- črpalni akumulacijski bazeni brez naravne povezave s tekočimi vodami
 - črpalni akumulacijski bazeni v tekočih vodah, zajezitev z dolinskimi pregradami po DIN 19700-11
 - črpalni akumulacijski bazeni v tekočih vodah, zajezitev z zaporničnimi polji po DIN 19700-13
 - črpalni akumulacijski bazeni kot naravna jezera
- c) po legi akumulacijskih bazenov:
- zgornji bazeni, v katerih se voda po črpanju hrani do ponovne uporabe, na primer za pridobivanje energije
 - spodnji bazeni, v katerih se voda potem, ko je gnala turbine, hrani do črpanja, največkrat nadzemni, redkeje podzemni
- d) po vrsti delovanja in medsebojni legi bazenov:
- zgornji bazeni, ki se v glavnem polnijo s črpanjem iz spodnjih bazenov in se vanje praznijo preko pogona turbin ali drugače
 - spodnji bazeni, katerih način delovanja je določen z delovanjem črpalnega zbiralnika
 - vmesni bazeni, ki lahko opravljajo funkcijo tako zgornjega, kot spodnjega bazena
- e) glede na izravnalno obdobje:
- dnevni zbiralniki
 - tedenski zbiralniki
 - sezonski zbiralniki
 - letni zbiralniki

3.3.2.2 Hidrologija in vodno gospodarstvo

Kot hidrološki parametri za določanje se upoštevajo padavine, izhlapevanje, pronicanje, razmere pri talni vodi in ledu ter vetrovne razmere. Pri črpalnih akumulacijskih bazenih z naravnimi pritoki se dodatno upoštevajo vidiki dotoka in odtoka, pojavi visokih voda in njihova letna verjetnost prekoračenja.

Pri izpostavljeni legi zgornjih bazenov, na primer na gorskem hrbtu, se upoštevajo tam veljavni ekstremni pogoji glede izhlapevanja, vpliva vetra, tvorjenja ledu, valovanja in grmadenja valov.

Pri črpalnih akumulacijskih elektrarnah s spodnjim bazenom v povodju se mora razjasniti, če je in v kakšnem obsegu je, zaradi odvzema črpane vode, zmanjšan naravni odtok oziroma koliko se lahko vodostaj naravnega odtoka poveča zaradi dovajanja črpane vode iz turbin.

Umestitev zgornjih in spodnjih bazenov v obstoječe povodje se ravna po vodnih in energetskih kriterijih, ki zagotavljajo optimalni režim delovanja v celotni oskrbni mreži.

Za akumulacijske bazene na izpostavljenih legah brez naravnih dotokov znaša varnostni pribitek pri nadvodju 0,5 m, pri tem pa mora nadvodje znašati najmanj 1,0 m.

Pri črpalnih akumulacijskih bazenih z naravnimi dotoki se morajo upoštevati izvajanja glede hidroloških parametrov in vodnogospodarskega dimenzioniranja, ki jih vsebujejo standardi DIN 19700-10, DIN 19700-11 oziroma DIN 19700-13.

3.3.2.3 Vključitev v naravno okolje

Pri načrtovanju črpalnih akumulacijskih bazenov, posebno pri izpostavljenih zgornjih bazenih, bi se moralo težiti k harmonični vključitvi v okolje. Njihove oblike se morajo ob ugodnem izkoristku okolja optimirati s ciljem doseči čim manjšo količino nasipavanja jezu ob doseganju

zahtevane prostornine bazena. Pri tem je potrebno težiti k izravnavi mas materiala za odstranjevanje in materiala za nasipavanje.

Vključevanje v okolje po načelih varstva krajine je posebno pomembno pri visoko ležečih zgornjih bazenih tudi z ozirom na zaščito pred vetrom s pomočjo zasaditve dreves in grmovja (DIN 19700-14, 2004).

3.4 Izvedba asfaltne obloge jezera

Akumulacija jezera je bila zasnovana kot vodotesna skleda z vgrajenim asfaltbetonom na drenažnem, prepustnem tamponskem sloju iz drobljenega kamnitega materiala z vrhno zaščito asfaltne obloge dna in brežin pred UV žarki in prehitro oksidacijo bitumna s tanko, a gosto in homogeno plastjo mastiksa.

V maju 2008 se je v projekt vključilo podizvajalsko švicarskega podjetje Walo, ki je specializirano za izvedbe polaganja asfaltnih oblog na hidrotehničnih objektih (jezovih, pregradah, kanalih itd.). Walo je eno redkih podjetij v Evropi, ki ima za ta namen prirejeno opremo in mehanizacijo.

Za potrebe nanosa asfaltnega betona na drenažno plast mora le-ta izkazati ustrezno stabilnost, ravnost in zgoščenost. Vsaj 24 ur pred izvedbo polaganja asfalta na drenažno plast se je izvedel ročni pobrizg drenažne plasti z bitumensko emulzijo v nanosu $1,5 \text{ kg/m}^2$.

Proizvedene je bilo skupaj 26.200 ton ABL¹ asfaltne zmesi, ki bi morala imeti v povprečju 13,9 % votlin, saj je njena osnovna lastnost prepustnost vode. Vgrajena asfaltna zmes ABL je v povprečju izkazala 12,5 % votline. Povprečna specifična gostota ABL znaša 2.579 kg/m^3 ,

¹ ABL – Asphalt binder layer.

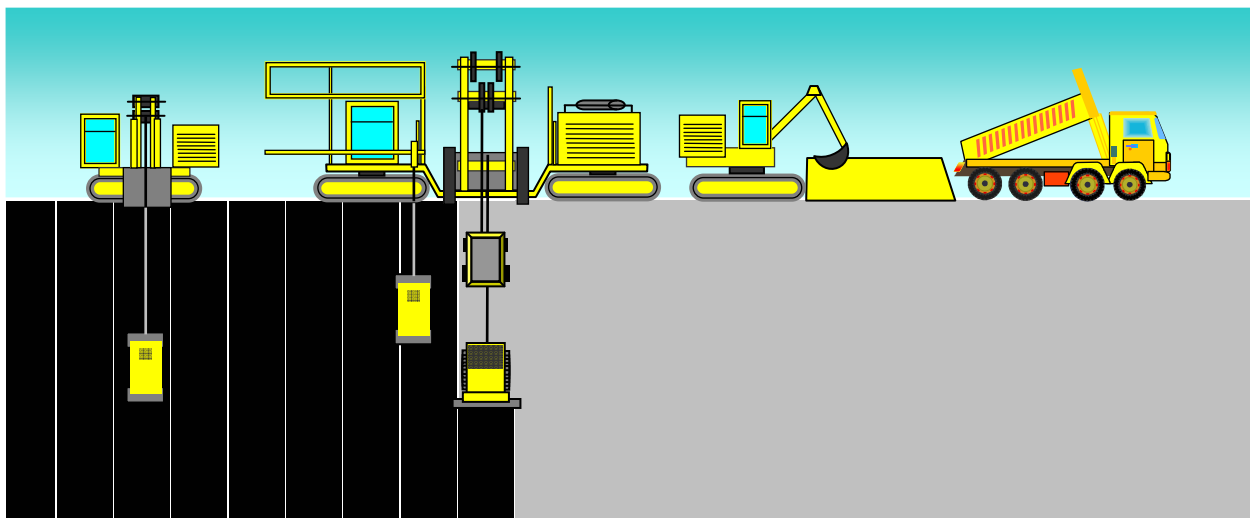
prostorninska gostota 2.221 kg/m^3 , proizvedena pa je bila pri povprečni temperaturi 170°C . V zmes je bilo dozirano povprečno 3,6 % bitumna. Na račun večjega doziranja bitumenskega veziva in večje vsebnosti finih frakcij so bile asfaltni zmesi DAC² zmanjšane votline na 1,0 %. Specifična gostota asfaltne zmesi je znašala v povprečju 2.477 kg/m^3 , prostorninska pa 2.452 kg/m^3 , medtem ko je bilo za potrebe doziranja veziva v povprečju uporabljenih kar 6,4 % bitumna glede na masni prostorninski delež zmesi.

Kontrola vgrajevanja je bila izvedena z jemanjem oz. vrtanjem jeder vzorcev iz vgrajene asfaltne zmesi. Povprečna vsebnost votlin v preiskanih jedrih je znašala 2,2 %, kar je bilo pod največjo dovoljeno mejo, tj. 3,0 % (Henigman et al., 2006).

3.4.1 Asfaltiranje brežin

Asfaltiranje brežin po Pfiffnerju (2003) je potekalo po naslednjem postopku. Proizvedeni asfalt v asfaltni bazi se je z ustreznimi tovornjaki prekucniki pripeljal do izoliranega asfaltnega zabojnika. Glavni vitel je po bregu dvigal/spuščal finišer, prikolico in prvi valjar. Vitel je bil nameščen na robu jezera in se je s pomočjo gosenic premikal naprej v horizontalni smeri asfaltiranja. Prekucnik je zvrnil asfalt v izoliran zabojnik. Bager je z dolgo roko naložil asfalt na prikolico, ki je oskrboval finišer z asfaltom. Finišer na bregu se je s pomočjo gosenic premikal in polagal asfalt v vzporednih pasovih od vznožja proti vrhu jezera. Finišer je bil opremljen z gladilno desko, ki jo je mogoče razširiti do 5 metrov. Na odprti strani finišerja je bil čevelj za oblikovanje in zgoščevanje celotnega pasu.

² DAC – Dense asphalt concrete.



Slika 6: Teoretični prikaz navpičnega polaganja asfalta (Pfiffner, 2003)

Na drugi strani, ki prekriva predhodno položen pas, je bila nameščena grelna naprava. Zmogljivost podajalne enote je omogočala nenehno in visokozmogljivo polaganje. Finišer in prikolica sta bila povlečena v glavni vitel. Ta sistem je omogočal strojno polaganje do samega roba. Glavni vitel skupaj z nameščenim finišerjem in prikolico se je pomaknil bočno in nadaljeval polaganje sosednjega pasu.

Glavni vitel je podpiral prvi valjar, ki je takoj zgostil asfaltno plast. Sledil je drugi valjar, ki je bil podprt in zavarovan s samostojnim mobilnim vitlom. Vitla sta povlekla valjarja na klančino, da sta lahko zgostila asfaltno plast do roba. Zgoščevanje se je nadaljevalo do želenega razmerja.

Gladilna deska je sledila obstoječi izravnalni plasti in nanašala asfaltne plasti skladno z zahtevami. Debelino je bilo potrebno nenehno nadzirati in prilagajati. Na območjih z modularno podlago je finišer zmanjšal modulacijo. Ker mesta z večjo debelino ne vplivajo na tesnilni sistem, teh ni bilo potrebno dodatno obdelati.



Slika 7: Navpično polaganje asfalta v Avčah

3.4.2 *Asfaltiranje dna*

Asfaltni material je bilo potrebno s prekucniki pripeljati iz asfaltne baze do finišerja in neposredno zvrniti v tovorni vagon finišerja. Finišer je položil in zgostil material, kot je navedeno v prejšnjem poglavju. Končno zgoščevanje je bilo izvedeno s samostojnimi valjarji.



Slika 8: Asfaltiranje dna jezera

Vezno plast je bilo potrebno čim prej spojiti z neprepustno plastjo, da bi se med asfaltiranjem izognili vdoru umazanije in prahu med plasti. Vezna plast je bila po potrebi prej očiščena in predhodno obdelana s tanko plastjo veziva. Polaganje asfalta se je začelo v kotih in nadaljevalo proti sredini dna, tako da se je čim bolj zmanjšala prometna obremenitev na položenih predelih. Takoj za tem se je pričelo z obdelavo spojev.

3.4.3 Obdelava spojev

Odprto stran položenega pasu je bilo potrebno oblikovati s *čevljem*³ na gladilni deski finišerja. Konec pasu je bilo treba izravnati, oblikovati v ravno črto in zgostiti z valjarji. Za zagotovitev zahtevane vsebnosti votlin v zgoščeni plasti je bilo potrebno na hladno površino spoja pred

³ To je posebni nastavek, ki rob vgrajene plasti asfalta oblikuje pod kotom 45°.

polaganjem naslednjega pasu nanesti plast bitumna. Finišerji so bili opremljeni z grelno napravo, ki med polaganjem greje predel spoja.



Slika 9: Obdelava spoja z infrardečo grelno napravo

Ko je bila zgoščena plast položena in ohlajena, je bilo potrebno obdelati hladne spoje, in sicer z infrardečo grelno enoto, ki ogreje predel spoja. Vnovično ogreti asfalt je bilo potrebno ponovno zgostiti z ročnimi vibracijskimi valjarji. Dolgoletne izkušnje so pokazale, da je s tem postopkom mogoče doseči enotno in neprepustno zatesnitev v celotnem tesnilnem sistemu. Enak postopek je bil uporabljen za zapolnitev lukenj, ki so nastale pri odvzemu vzorcev za laboratorijske potrebe.

3.4.4 Zaščita asfalta z vročim mastiksom

Po nanosu neprepustne plasti in po obdelavi spojev je bila nanešena tanka, tesnilna plast mastiksa, ki ščiti asfalt pred UV žarki in tako podaljša njegovo življensko dobo. Bitumen in polnilo sta bila na asfaltni bazi vlita v posebne kotle, ki so bili opremljeni s samostojnim in nadzorovanim grelnim sistemom ter potrebnim mešalnikom. V kotlu se je material grel in mešal, dokler ni dosegel homogene zmesi.

Za nanos mastiksa na breg je bilo potrebno z vitlom povleči finiše od vznožja do zgornjega roba jezera. Finišer se je nato premakil bočno s premikom vitla. Prekrivanje pasov je bilo standardno.

Pri temperaturi okrog 220° C se je material nanesel na tesnilno asfaltno plast v količini 2 kg/m² in v debelini nekaj mm. Za potrebe dodatne zatesnitve in zaščite celotnega predvidenega objekta je bilo potrebno proizvesti 290 ton goste zmesi mastiksa, ki je sestavljen izključno iz polnila in bitumna (Pfiffner, 2003).



Slika 10: Nanašanje vročega mastiksa

3.4.5 Spajanje s konstrukcijami

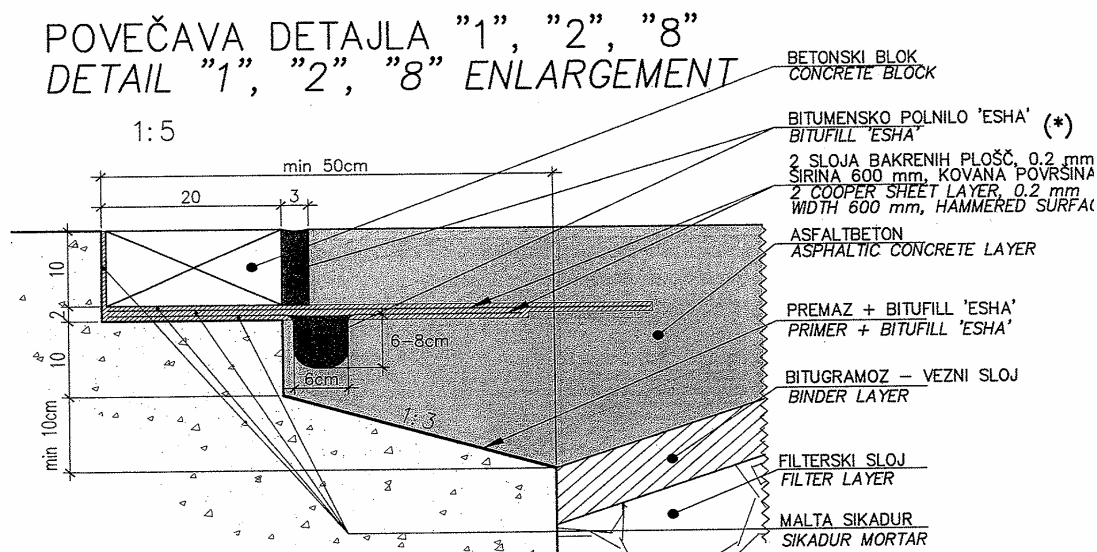
Betonske konstrukcije in površine so morale biti ravne in brez razpok, dovolj močne ter brez nepravilnosti ali prepustnih predelov.

- Bakreni spoj na vtoku

Na predelih, kjer je asfaltna plast pritiskala na beton, je bilo potrebno uporabiti poseben spoj. Tovrstna oblika spoja bolje prenese premike med nagnjenimi bitumenskimi površinami in neupogljivimi betonskimi konstrukcijami.

Med polaganjem prve plasti asfaltnega betona je bilo pri betonski plasti potrebno z leseno letvijo oblikovati trapezni spoj. Skladno s tehničnimi risbami je bilo nato potrebno namestiti bakreno konstrukcijo. Spoj z betonom je bil iz posebne mineralne malte. Na bakreno ploščo nad betonskim spojem je bilo treba namestiti betonski blok, s čimer se je zagotovila trdnost spoja. Bakreni spoj je bilo treba najprej napolniti s toplotnoodpornim gumijastim profilom. Zgornji del spoja je bilo treba napolniti s posebnim materialom, ki je stabilen in prožen v opisanih razmerah.

Med vlivanjem druge plasti zgoščenega asfaltnega betona je bilo treba narediti spoj z betonskimi bloki po enakem postopku kot za spoj na zgornjem robu, ki je prikazan v nadaljevanju.



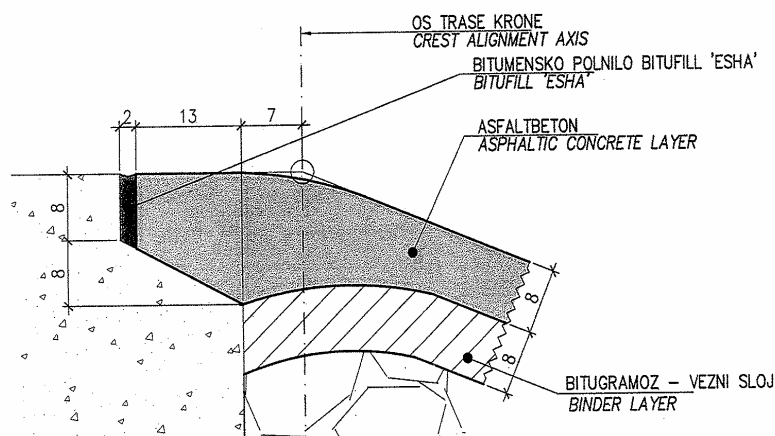
Slika 11: Bakreni spoj med asfaltom in betonom na vtoku

- Spoj asfalt-beton na zgornjem robu

Površina betonskih konstrukcij je morala biti povsem čista. Pri betonski plasti je bilo potrebno z leseno letvijo oblikovati trapezni spoj. Nato se je nanesa plast bitumna. Spoj med zgoščenim asfaltom in betonom je bilo potrebno zapolniti.



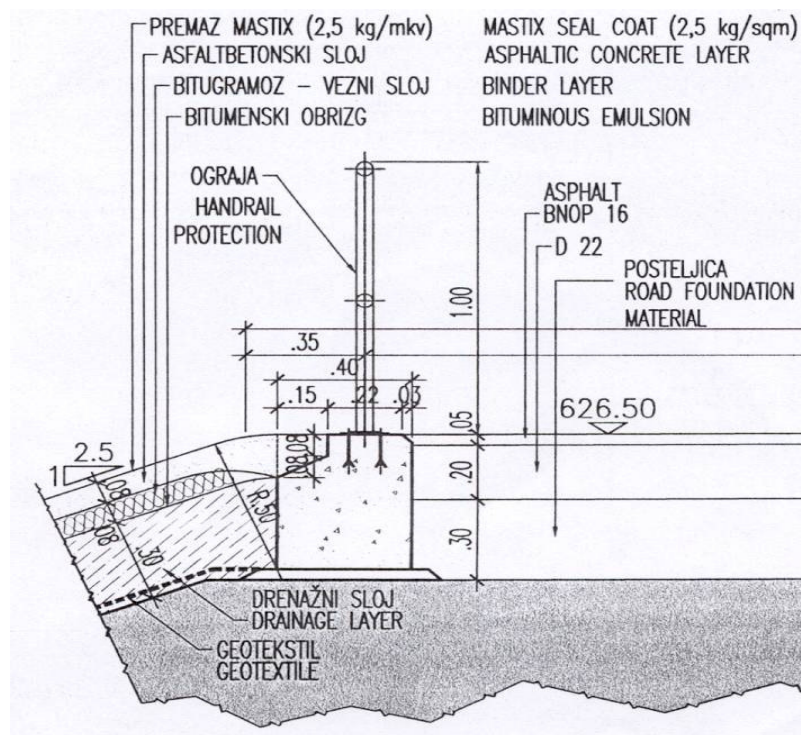
1:5



Slika 12: Spoj asfalt – beton

3.4.6 Izdelava roba

Oblikovanje ukrivljenega dela roba je bilo treba izvesti skupaj z nanosom bitumenskih plasti na breg. Valjarji so zgostili asfalt do betona, saj so bili vitli opremljeni s klančino. Posebno pozornost je bilo treba nameniti stabilnosti ukrivljenega dela, ki je bil oblikovan z izravnalno plastjo. Temeljni betonski pas, ki je podpiral asfalt, je bilo treba vliti pred asfaltiranjem brega. Material za posteljico bodoče več kot 4 m široke ceste z debelino 50 cm je bil zgoščen in utrjen. Obrabna plast je bila položena po končanem delu vlečenih strojev/vitlov.



Slika 13: Prečni prerez brežine, betonskega robnika in ceste

3.4.7 Izvedba dostopne ceste

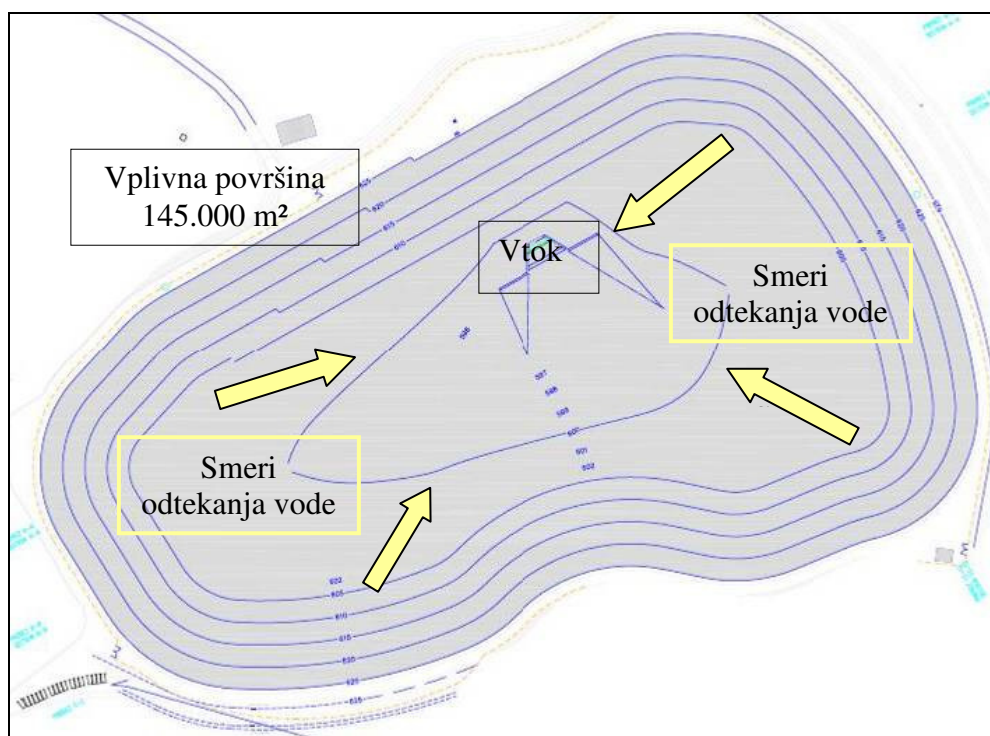
Dostopna cesta povezuje dno jezera z vrhom in bila je edina komunikacija za dostop in za kasnejša vzdrževalna dela. Obrabno plast na cesti se je skladno z zgoraj navedenim postopkom prav tako izvedlo s finišerjem. Ker je asfaltiranje ceste preprečilo dostop do dna bazena, se je to izvedlo na koncu in ob predhodni časovni uskladitvi z drugimi udeleženiimi strankami na objektu.

3.4.8 Vodno upravljanje

Zaradi spremenjenega zaporedja del glede na generalni termiski plan izvdbe ČHE Avče je bila asfaltna obloga končana pred izvedbo zapornične komore, ki služi kot varnostni ventil in preprečuje odtok vode iz jezera in dovodnega tunela. Investitor je bil opozorjen, da bo s povečanjem asfaltiranih površin to večje vplivno območje za meteorne vode, ki bi ob obilnejši količini vode lahko poškodovale nižje ležeče objekte in traso tlačnega cevovoda. Slika 14

prikazuje vplivno površino meteornih voda, ki po asfaltiranju znaša 145.000 m². S puščicami so prikazane smeri odtekanja vode proti najnižji točki bazena oz. iztoku.

Zaledne vode in podtalnica se odvodnjavajo skozi drenažni tamponski sloj v debelini 20 do 30 cm. Ta se nahaja tik pod asfaltom. Vodni pritisk pod tesnilno plastjo oteži nanašanje. Večje težave se lahko pojavijo, če prepojena podlaga postane nestabilna in če se zaradi umazanije zmanjša prepustnost drenažne plasti.



Slika 14: Vplivna površina meteornih voda

3.5 EPDM folija kot alternativa asfaltu

3.5.1 Splošno o EPDM

V razpisni dokumentaciji sta bili navedeni dve alternativni asfaltni oblogi zgornjega jezera, in sicer betonska obloga in folija iz umetnih snovi. Zaradi visoke cene polaganja asfaltnih zmesi je izvajalec predlagal investitorju izvedbo obloge jezera z EPDM folijo švedskega podjetja Trelleborg, ki izvaja enaka dela širom po svetu in omogoča 20-odstotni prihranek glede na asfaltno zmes.

Dejavnost skupine Trelleborg temelji na poglobljenih tehnoloških raziskavah, znanju ter 100-letni tradiciji predelave gum in ostalih polimernih materialov, ki izpolnjujejo najvišje zahteve uporabnikov v industriji in gradbeništvu.

Po definiciji je EPDM folija trajna, visokokakovostna, izolativna, kompozitna, polimerna folija na bazi etilen-propilen-termoplastičnega elastomera.

Prosto položena, tovarniško ukrojena membrana omogoča hitro vgradnjo pod vsemi podnebnimi pogoji. Spoji med membranami so vulkanizirani in imajo enako odpornost in elastičnost kot membrana sama. Kakovost in lastnost spoja ostaneta nespremenjeni v temperaturnem intervalu med -40°C in 120°C na celem prerezu spoja. Rezultat je kontinuirana, elastična in trajno vodonepropustna membrana. Vulkanizacija sproža križno prepletanje dolgih ogljikovih verig v molekuli gume. Rezultat je elastičen material (plastika in bitumen niso elastični), termično in kemično stabilen, ki se povrne v svojo prvotno lego pri raztezkih do 300 %.

3.5.2 Projektantsko mnenje in odločitev investitorja glede EPDM

Investitor SENG je seznanil projektanta s predlogom izvajalca o alternativni izvedbi obloge zgornjega jezera z EPDM foljo. Projektantsko podjetje Colenco Power Engineering Ltd., prav tako iz Švice, se ni strinjalo z alternativno izvedbo in je podalo sledeče obrazložitve:

- Colenco Power Engineering Ltd., kot odgovorni projektant ČHE Avče in zgornjega jezera vztraja na prvotni ponudbeni zasnovi izvedbe tesnjenja jezera z asfaltom. V vseh projektih, od idejnega naprej se je obravnavalo izvedbo asfaltne obloge. Ta metoda je bila izbrana v skladu s svetovno inženirsko prakso za hidrotehnične objekte in akumulacijska jezera.
- Na objektih z visoko stopnjo tveganja ima iz varnostnih razlogov asfaltna obloga prednost pred membranami, ki se uporabljajo predvsem na objektih z nizko stopnjo tveganja, kot so namakalni sistemi, sanacije odlagališč, rudarstvo, odpadne vode, ribniki itd.
- Dolgoletne mednarodne izkušnje za izvedbe tesnjenja akumulacijskih jezer so na strani asfaltne obloge, saj so gumene ali plastične membrane razmeroma mlade na hidroenergetskem področju.
- Glavni argumenti proti uporabi gume ali plastične membrane za hidrotehnične objekte oz. akumulacijska jezera so povezani z varnostjo, ranljivostjo in vzdrževanjem, saj so le-te občutljivejše od asfaltne obloge glede vandalizma, ognja, mehanske obremenitve vozil, napetosti zaradi deformacij, vremenskih pojavov, kot sta toča in veter.
- Neenakomerna topografska oblika in velika dolžina brežin jezera narekujeta asfaltno izvedbo tesnjenja, saj bi se lahko EPDM folija zaradi lastne teže, povečane količine zalednih voda in vpliva vetra povescila (Bellwald, 2007).

Z obrazložitvami se je strinjal tudi investitor, zato alternativna izvedba obloge ni bila izbrana.

4 POTEK IZVEDBE

4.1 Terminski plan

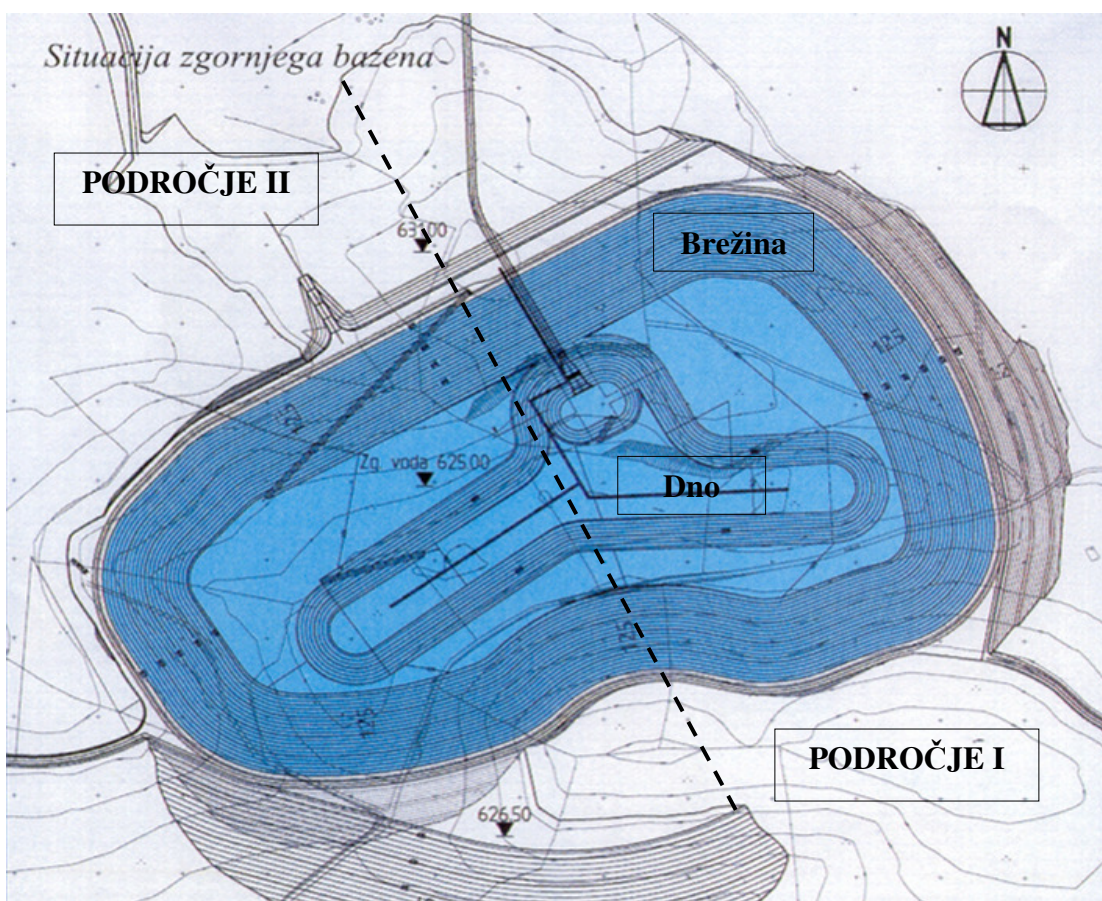
4.1.1 Opis terminskega plana izvedbe

Po pogodbenem terminskem planu asfalterskih del na zgornjem akumulacijskem jezeru je bilo potrebno v šestih mesecih položiti 56.000 ton asfaltnih zmesi, kar predstavlja skoraj letno proizvodnjo gradbišču najbližje asfaltne baze v Vrtojbi. Z dobro organizacijo dela, koordinacijo del v celotnem procesu (dovoz frakcij, bitumna, dnevni raspored tovornjakov, urnik asfaltne baze, urnik gradbišča itd.), je bilo možno doseči zastavljeni cilj. Vsa asfalterska dela, vključno s pripravo in odstranitvijo gradbišča, so se izvajala od 7. maja do 27. oktobra 2008.

Ozko grlo v procesu asfaltiranja je bila asfaltna baza s kapaciteto 100 ton na uro oziroma s 1.200 tonami asfaltne zmesi v 12 urah.

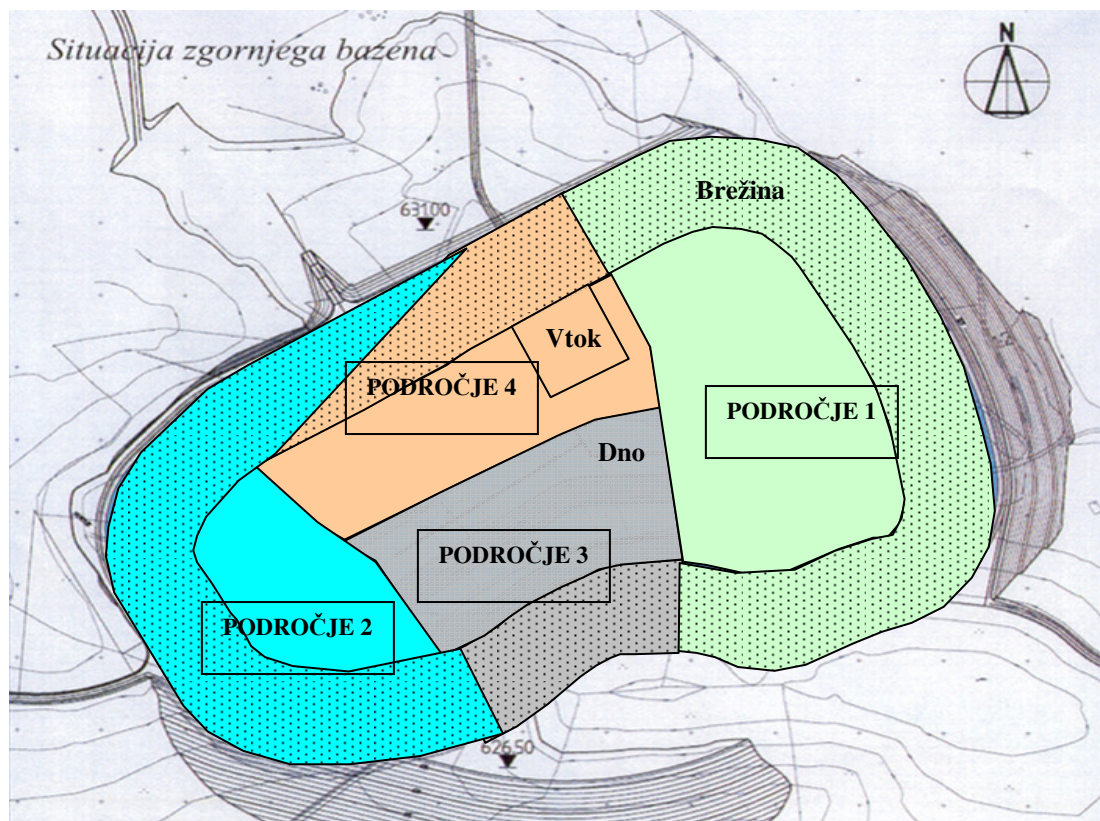
4.1.2 Predvideno in dejansko zaporedje asfalterških del

Osnovna zamisel je bila, da se bo jezero prečno razdelilo na dve področji. Najprej naj bi se izvedlo asfaltno oblogo brežine področja I, nato dno področja I ter področje II v enakem zaporedju. Predvideno zaporedje asfalterških del je prikazano na Sliki 15.



Slika 15: Predvideno zaporedje polaganja asfalta

To zaporedje je bilo naknadno spremenjeno zaradi zamude projektne dokumentacije zgornjega vtoka (področje 4) in sanacije splazele brežine (področje 3). Po končani izvedbi asfaltne obloge področja 1 se je nadaljevalo z deli na nasprotni strani, na področju 2, nato na področju 3 in nazadnje na področju 4, kar je prikazano na Sliki 16.



Slika 16: Dejansko zaporedje polaganja asfalta

4.1.3 *Terminski plan v MS Projectu*

Osnovni in spremenjeni terminski plan izvedbe asfaltne obloge zgornjega akumulacijskega jezera sta prikazana v prilogah A in B.

4.2 Uporabljeni materiali in logistika

4.2.1 Osnovni materiali

Za logistiko materialov in za proizvodnjo asfaltnih mešanic je bilo kot podizvajalec Primorja odgovorno Cestno podjetje Gorica d.d.

- Agregati

Agregate je proizvedlo in dostavilo Cestno podjetje Gorica d.d.. Material, soški prodec, so zdrobili in separirali v tolminskem obratu podjetja ter dostavili do stacionarne asfaltne baze v Vrtojbi. Pred asfaltiranjem se je preizkusilo kamnine skladno s tehničnimi specifikacijami.

Preglednica 1: Porazdelitev materialov v asfaltnih zmesih

Materiali Asfaltne zmesi	Bitumen	Polnilo	Naravni pesek	Agregati
DAC	$\geq 6 \%$	12–14 %	15–25 %	65–80 %
ABL	$\geq 3 \%$	3–10 %	8–15 %	70–85 %
Mastiks	25–30 %	70–75 %	0 %	0 %

Vmesni apnenčev agregat se je zdrobil, presejal ter ločeno uskladiščil. Zaželeno so bile zrnavosti: 0–2 mm, 2–4 mm, 4–8 mm, 8–11 mm, 11–16 mm ali podobne. Proizvajalec in dobavitelj je bil drobilni obrat podjetja CPG v Tolminu.

- Bitumen

Bitumen je bil pripeljan neposredno iz dobaviteljevega obrata v asfaltno bazo, in sicer iz italijanske Mantove. V dobaviteljevem skladišču so bile pripravljene, rezervirane in shranjene potrebne količine za celoten projekt. Odvzeti in preskušeni so bili vzorci bitumna. Bitumen se je

črpal neposredno v posode. Če so bili rezultati zadovoljivi, je bil bitumen uporabljen za proizvodnjo asfalta.

- Polnilo

Apnenčevo polnilo je proizvajal in dobavljal podjetje CPG v Tolminu in Lažah. Skladiščeno je bilo v suhih silosih blizu asfaltne baze. Pred elaboracijo sestave zmesi, je bil material preizkušen. V skladu s tehničnimi specifikacijami je bilo potrebno stalno preverjati kakovost.

- Gorivo, kurilno olje in plin

Tekočine, kot je gorivo ali plinsko olje za opremo in stroje, so priskrbela krajevna podjetja. Tekočine je bilo potrebno prečrpavati neposredno v stacionarne cisterne. Cisterne so bile nameščene na trdni, tlakovani površini, obdane z jarkom. Cisterne so bile posebej ograjene. Dolivanje goriva v opremo se je izvedlo na stacionarni bencinski črpalki in neposredno iz mobilne cisterne na gradbišču.

Propan za gretje finišerja, kotla in vibracijskih valjarjev je bil varno skladiščen stran od cistern za gorivo. Skladišče je bilo zračno in opremljeno s ključavnico. Zaloge so priskrbela krajevna podjetja.

Pri skladiščenju plinskega olja, plina in drugih vnetljivih snovi ter pri ravnanju z njimi so bile upoštevane tehnične zahteve in predpisi.

- Emulzija in vezivo

Kationsko emulzijo so priskrbeli krajevni proizvajalci. Vezivo je priskrbelo podjetje Bornit GmbH iz Nemčije. Prevoz je bil izveden s priklopnikom.

- Grundirno sredstvo

Grundirno sredstvo ESTOL N je priskrbelo podjetje SDM Süddeutsche Teerindustrie GmbH iz Nemčije. Grundirno sredstvo je bilo shranjeno v 25-kilogramskih sodih.

- Bitumensko tesnilo

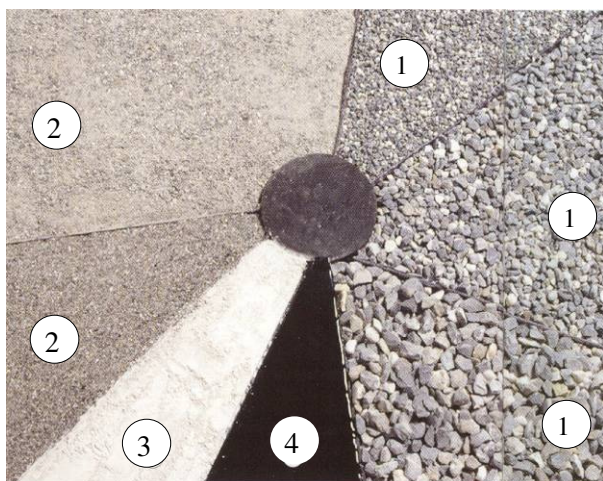
Bitumenski material BITUFILL za tesnjenje spojev je priskrbelo podjetje Daub Flösser GmbH iz Nemčije. Tesnilni material je bil proizveden in dostavljen na gradbišče v 14-kilogramskih blokih.

4.2.2 Recepturi asfaltnih zmesi

Tehnologi obeh podjetij, Primorja in Wala, so v začetku leta 2008 pričeli s pripravami in laboratorijskimi analizami lokalnih agregatov, ki so sestavni del receptur asfaltnih zmesi. Na podlagi trimesečnih preiskav v slovenskih in švicarskih laboratorijih sta bili pripravljene naslednji recepturi za nosilno plast ABL in tesnilno plast DAC:

Preglednica 2: Recepturi za nosilno plast ABL in tesnilno plast DAC (Hinrikson, 2008)

Materiali	Velikost zrn (v mm)	Vsebnost materiala v ABL	Vsebnost materiala v DAC
agregat	11/16	35 %	15%
agregat	8/11	14 %	14%
agregat	4/8	18 %	17 %
agregat	2/4	7 %	5 %
naravni pesek	0/4		10 %
drobljeni pesek	0/2	25 %	28 %
lastno polnilo	prašni delci	1 %	11 %
skupaj kamnita zrna		100 %	100 %
bitumen		3,6 %	6,4 %



Sestava asfaltne zmesi

1. Fini in grobi agregati
2. Grobi in naravni pesek
3. Polnilo
4. Bitumen

Slika 17: Sestava asfaltne zmesi

4.2.3 Asfaltne zmesi

Projektant je v projektu predvidel dve plasti asfaltnih zmesi bitumenskega betona iz drobljenih frakcij 0/16 mm ter dodatka naravnega peska 0/4 mm. Na dnu jezera sta bili vgradnjeni groba asfaltna plast ABL in fina drobozrnata tesnilna asfaltna plast DAC vsaka v debelini 7 cm, medtem ko so brežine zahtevale še dodaten cm vsake od plasti asfalta oziroma vsake po 8 cm.

Spodnja asfaltna plast, položena neposredno na predhodno zgoščeno drenažno plast iz kamnitega drobljenega materiala, se imenuje ABL (Asphalt Binder Layer) in ima funkcijo dreniranja oz. odvajanja vode skozi drenažni sloj v drenažni sistem. Zgornja asfaltna plast, ki ima predvsem funkcijo tesnenja in je temu primerno mnogo bolj zaprta, vsebuje tudi večjo količino bitumna, pa se imenuje DAC (Dense Asphalt Concrete).

Glavni fazi asfaltnih del sta bili izvedba asfaltacije dna bazena ter brežin. Skupaj je bilo na 54.000 m² dna zgornjega akumulacijskega jezera položenih okoli 9.000 ton ABL v povprečni debelini 7,2 cm ter 10.500 ton DAC v povprečni debelini 7,8 cm. Na brežinah bazena je bilo

položenih 17.200 ton ABL v povprečni debelini 8,6 cm ter 19.000 ton DAC v povprečni debelini 8,7 cm.

Dejanska povprečna poraba ABL je bila zaradi lokalnih dopustnih odstopanj 7,9 % višja od teoretične porabe, kar je manj od dopustne prekomerne porabe, ki znaša 10 %.

4.2.4 Proizvodnja asfaltnih zmesi

Podjetje Primorje d.d. je s podjetjem CPG d.d. sklenilo pogodbo o dobavi asfaltnih zmesi. Angažirana je bila stacionarna asfaltna baza v Vrtojbi. Asfaltna baza je imela absolutno prioriteto proizvodnje asfaltnih zmesi za potrebe ČHE Avče. V primeru večjih zastojev ali okvar, ki jih k sreči ni bilo, bi vsa transportna sredstva preusmerili na nadomestno asfaltno bazo Primorja v Lažah.

Največja zmogljivost asfaltne baze znaša 100 ton/h in temu primerno so se prilagodili plani proizvodnje. Postopek proizvodnje in vse pomembne podatke nadzira in prilagaja računalniški terminal. Vsaka natovorjena zmes je bila stehtana na mostni tehtnici in pripeljana do jezera na Kanalskem vrhu. Za celotno izvedbo asfaltne obloge jezera je bilo potrebnih 2.980 transportnih voženj s povprečno tonažo 18,9 tone asfaltne zmesi. Asfaltne zmesi so bile med transportom na gradbišče ustrezno zaščitene s ponjavo.

Za potrebe proizvodnje obeh asfaltnih zmesi je bila v glavni vlogi aktivirana proizvodnja in dobava kamnitega agregata iz separacije Tolmin iz reke Soče (drobljena frakcija 0/16 mm in naravni pesek 0/4 mm) krajevnega dobavitelja CPG d.d.

Pred izvedbo mešanja asfaltnih zmesi so bile v skladu s tehničnimi specifikacijami in recepturo asfaltne zmesi opravljene vse potrebne predhodne preiskave materialov. Prostorninska gostota uporabljenega kamenega agregata je znašala 2.700 kg/m^3 , koeficient odpornosti proti drobljenju po postopku Los Angeles pa 24.

Za vezivo je bilo uporabljeno bitumensko vezivo B70/100 iz rafinerije iz Mantove. Bitumen je bil pripeljan in skladiščen v cisternah za bitumen na samem asfaltne obratu, kjer so bili v skladu s planom kontrole kakovosti odvzeti in preiskani vzorci bitumna.

Apnenčevo polnilo (filer) je bilo proizvedeno v separaciji Tolmin in kamnolomu Laže ter dobavljeno v Vrtojbo in skladiščeno v silosih tik ob asfaltne bazi. Preverjanje kakovosti je bilo v skladu z tehničnimi specifikacijami.



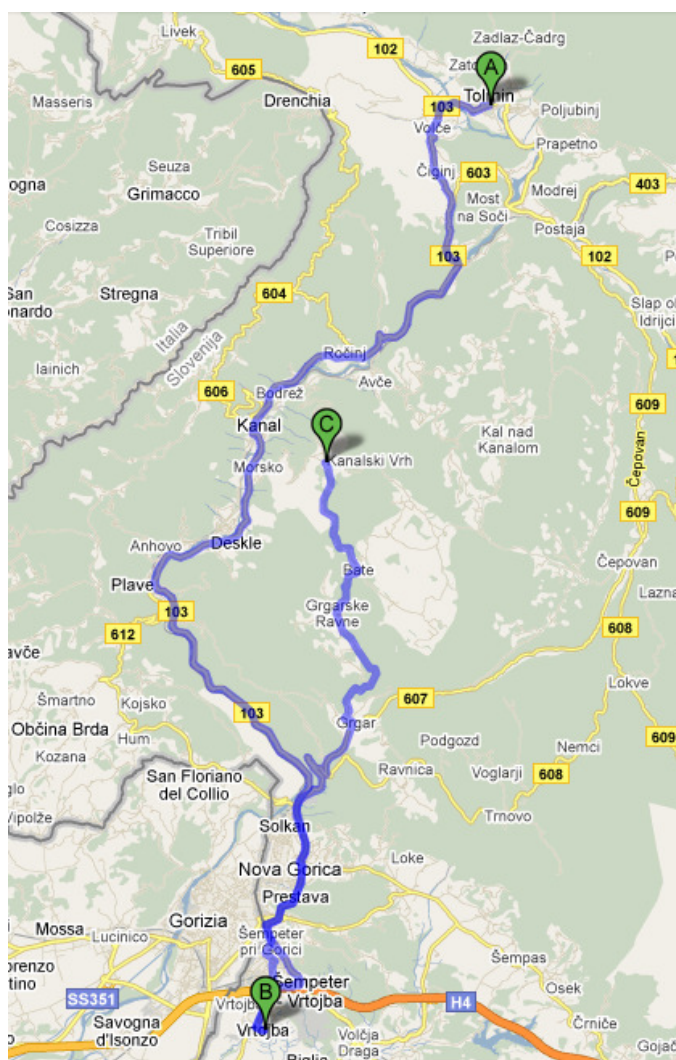
Slika 18: Stacionarna asfaltne baza podjetja CPG d.d. v Vrtojbi

V neposredni bližini asfaltne baze, ki jo prikazuje Slika 18, so nameščene naslednje enote:

- boksi za agregat različnih frakcij,
- silosi za apnenčevo polnilo,
- cisterne za kurilno olje,
- ogrevana cisterna za bitumen,
- skladiščni in vzdrževalni objekti.

4.2.5 Logistika

Celoten agregat za izvedbo asfaltnih zmesi se je dobavljalo s tovornjaki vlačilci iz separacije Tolmin na 46 km oddaljeno asfaltno bazo v Vrtojbi (od A do B na Sliki 19). Asfaltne zmesi se je dobavljalo na 27 km oddaljen in 500 m višji Kanalski Vrh s 4-osnimi tovornjaki (od B do C). Obstaja 2 km krajša transportna pot skozi Deskle proti Morskemu, ki se nadaljuje na Kanalski Vrh, vendar je izvajalec ni uporabljal zaradi slabega stanja vozišča. Celotna količina bitumna se je na asfaltno bazo dobavila iz 273 kilometrov oddaljene Mantove.



Slika 19: Prikaz transportnih poti agregata in asfaltnih zmesi

Podatki o količinah dostavljenega asfalta in o številu prevozov:

- celotna količina asfalta:	55.700 ton
- celotno število prevozov:	2.947 prevozov
- maksimalna količina asfalta na dan:	1.120 ton/dan
- maksimalno dnevno število prevozov:	59 prevozov/dan
- maksimalno dnevno število prevozov na tovornjak:	5 prevozov/tovornjak
- celotna količina bitumna:	2.900 ton

4.3 Uvedba novih tehnologij

Zaradi kompleksnosti objekta, velikih dimenzij in površin akumulacijskega jezera in predvsem zaradi optimizacije delovnih procesov sta bili uvedeni dve novi tehnologiji, ki sta se izkazali za uspešni, saj je bilo prihranjenega veliko časa in denarja.

4.3.1 Kontrola gradnje nasipov z uporabo sistemov CCC

Sistemi valjarjev CCC⁴, ki imajo vgrajen sistem kontinuirnega spremljanja obnašanja vgrajevanih materialov, so v svetu že dolgo poznani, pri nas malo manj. Gre za različne merilne sisteme različnih proizvajalcev, ki so integrirani v valjar in izkoriščajo izmenjajočo se informacijo (dinamično interakcijo) med pospeškom vibrirajoče bandaže in dinamično trdnostjo oz. togostjo podlage, ki v splošnem narašča z naraščanjem zgoščenosti. Na ta način sistemi omogočajo stalen nadzor nad učinkovitostjo in optimizacijo sistema zgoščanja, inženirji pa imajo celovit nadzor nad doseženo kakovostjo in homogenostjo vgrajevane plasti.

⁴ CCC (Continuous Compacting Control) – kontinuirana kontrola zgoščevanja.

Vsako laboratorijsko napravo, aparat in sistem je potrebno kalibrirati in tudi sistem CCC ni izjema. Kalibracija se izvede na preskusnih poljih bodočega objekta, za izbrano vrsto in debelino nasipnega materiala. Pri sistemih CCC je možna primerjava med vrsto izbranih standardnih točkovnih meritev (deformacijski moduli E_{vd} , E_{v1} , E_{v2} , CBR itd.). Kalibracija je bila v sodelovanju s FGG, Komisijo za zemeljska dela pri DARS-u in z vodilnim strokovnjakom na tem področju z dunajske tehnične fakultete opravljena na poskusnem polju na velikem nasipu maja leta 2007.

Po temeljitih raziskavah, analizah in kalibraciji je bilo sklenjeno, da se gradnja pregradnih nasipov z uporabo lokalne flišne kamnine lahko vrši le pod naslednjimi pogoji:

- nujna je eksplicitna raba sistemov CCC, pri katerih je edino in glavno merilo za vrednotenje kakovosti in prevzema nasipnih plasti njena dinamična merska vrednost (DMV) – razlika med povprečnim prirastkom predzadnjega in zadnjega prehoda mora biti manjša od 5 % (kriterij nosilnosti in zgoščenosti), kriterij standardne deviacije pa vodi k zagotovitvi homogenosti vgrajevane plasti (dopustno je 20 % odstopanje od povprečne DMV);
- vgrajevanje nasipnih materialov mora potekati ob zadostni, najmanj 85-% saturaciji, kar še zagotavlja dovolj nizko sukcijo;
- potrebno je izvajati primeren geotehnični monitoring.

Prav vzpostavljeni geotehnični monitoring na trinajstih posedalnih ploščah in na dveh horizontalnih ter enega vertikalnega inklinometra je pokazal, da je bila odločitev pravilna, saj so bili pomiki v vertikalni smeri na vseh najbolj ranljivih točkah nasipa celo manjši (mali nasip cca. 1 cm, veliki nasip cca. 1,5 cm) od predhodne optimistične napovedi (2,4 cm–7 cm) oziroma veliko nižje pesimistične prognoze s klasičnimi postopki (58 cm).

Povprečna skupna dinamična merska vrednost (dinamični vibracijski modul E_{vib}) za mali nasip je ob predpostavljenem zahtevanem deforamcijskem modulu $E_{vd} = 50$ Mpa, znašala $E_{vib} =$

176 MPa, za veliki nasip pa celo $E_{vib} = 187$ MPa, medtem ko je bila iz kalibracije zahtevana najmanj $E_{vib} = 158$ MPa.

Visoka pregradna nasipa zgornjega akumulacijskega jezera ČHE Avče sta do leta 2008 edina v Sloveniji zgrajena nasipa, pri katerih se je uspešno uporabljal CCC merilni sistem tako za delovni kot tudi za merilni proces za merodajne prevzeme kvalitete nasipnih plasti.

Prednost tega sistema je optimalno število prehodov z valjarjem, tako da je zagotovljena kakovost ob najnižjih stroških. Sistem natančno prikaže nekvaliteten sloj oz. odsek nasipa (Petkovšek et al., 2008).



Slika 20: Računalniški zaslon valjarja s CCC merilnim sistemom

4.3.2 Uporaba tehnologije AccuGrade GPS

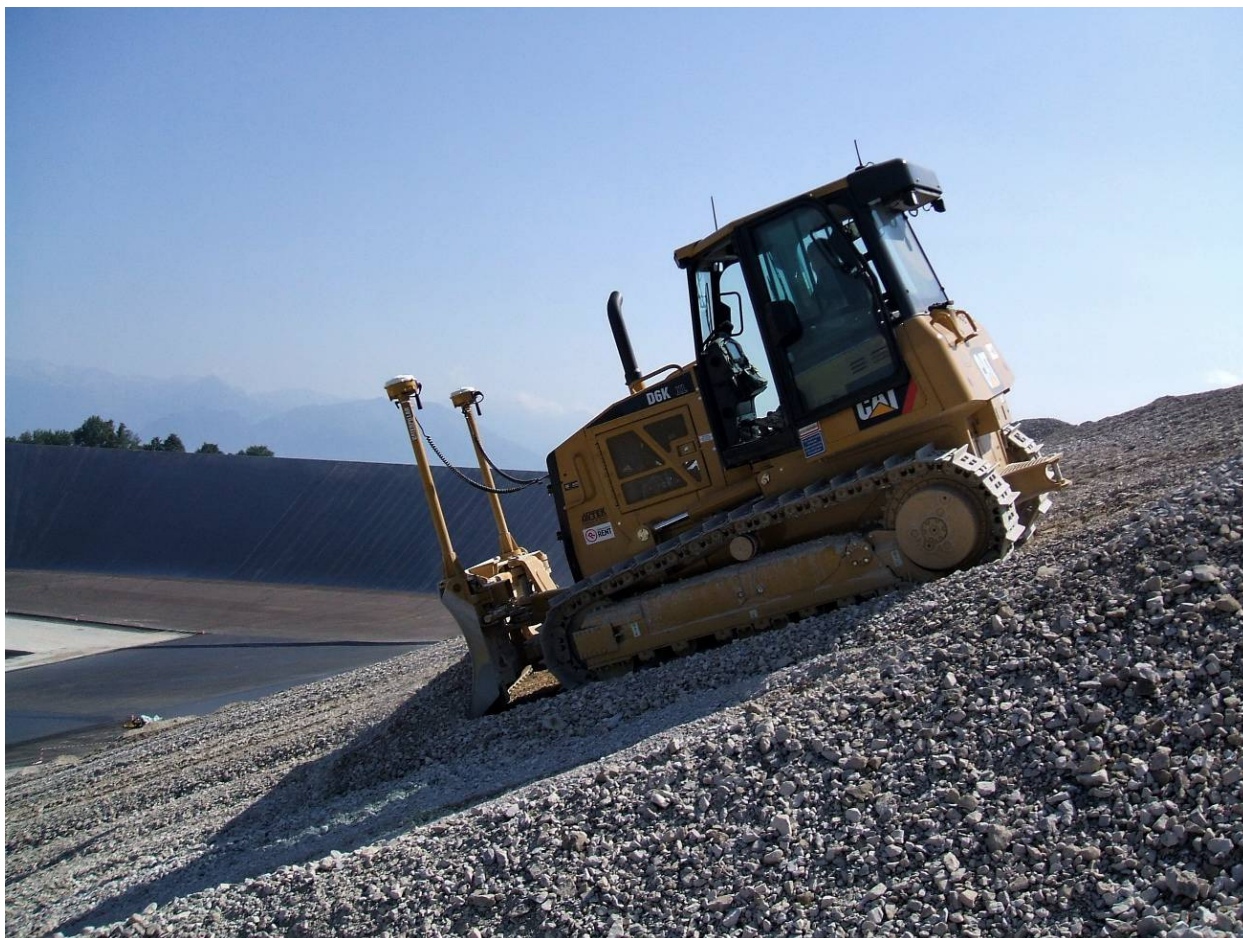
Na gradbišču ČHE Avče je bil poleg CCC sistemov preizkušen še sistem AccuGrade GPS⁵, ki je vgrajen na buldozerju CAT D6K XL. Za izdelavo jezera je bil uporabljen stroj, ki lahko zelo natančno izravnava dolge brežine akumulacijskega jezera, ki so sprojektirane pod strmim kotom 21,8°.

Sistem AccuGrade GPS je namenjen opravljanju številnih gradbenih zemeljskih del od niveliranja velikih zemeljskih površin z visoko produktivnostjo do opravljanja najzahtevnejših oz. najnatančnejših zaključnih izravnav površin z minimalnimi tolerancami. Sposobnosti skoraj 13-tonskega stroja s kapaciteto odrivne deske 2,7 m³ so bile uspešno preizkušene pri izvajanju nasipavanja in izravnavanja zasnovanega drenažnega sloja na brežine akumulacijskega bazena. Zgoščevanje je bilo izvedeno z valjarji, ki so imeli vgrajen sistem proti zdrsavanju (anti-slip sistem).

Kot že ime pove, je glavni del sistema AccuGrade GPS na buldozerju GPS⁶ sprejemnik z vgrajenima antenama. Anteni sta nameščeni ob koncih odrivne deske na dveh masivnih drogovi, tako da zagotavljata optimalen sprejem signala. Preko njiju GPS sprejme signal in omogoči definiranje horizontalnega in vertikalnega položaja odrivne deske ter lokacije delovnega stroja. Sistem uporablja GPS satelite, ki pošiljajo informacije o poziciji v GPS bazno postajo ter GPS sprejemnike na stroju. Satelit neprekinjeno prenaša podatke o položaju, identiteti in času, njihov sistem pa je na voljo kjerkoli in kadarkoli. Zaradi posredovanja natančnih podatkov o položaju odrivne deske, ki se usklajujejo s predhodnimi nastavitvami in se navezujejo na zahtevano izravnavo podlage, govorimo o milimetrski natančnosti sistema.

⁵ AccuGrade (Automatic laser control system) – avtomatski laserski kontrolni sistem.

⁶ GPS (Global Position System) – sistem globalnega določanja položaja.



Slika 21: Prikaz AccuGrade GPS sistema na buldožerju D6K XL

Prednost tega sistema je večja produktivnost in posledično manjši operativni stroški ter krajši rok izvedbe del. Predvsem se zmanjša obseg del geometrov, saj ni potrebno količenje terena po profilih, kontrola debelin vgrajenih plasti in preverjanje izravnosti (Zakrajšek, 2008).

4.4 Kontrola kakovosti

4.4.1 Laboratoriji

Skladno s pogodbenimi pogoji in programom preizkusov je bila pri izvedbi asfaltne obloge zgornjega jezera ČHE Avče dosledno izvedena kontrola kakovosti vseh vhodnih, proizvedenih in vgrajenih materialov. V ta namen je bil poleg stacionarnega laboratorija na asfaltni bazi postavljen tudi mobilni laboratorij na gradbišču. Pri analizi ustreznosti sestave zmesi je laboratorij na gradbišču sodeloval tudi z osrednjim laboratorijem Wala v Zürichu ter po potrebi z zunanjimi strokovnjaki in inštituti.

Skupina laboratorijskih tehnikov pod nadzorom izkušenega laboratorijskega inženirja je vzpostavila sistem preverjanja kakovosti. Parametri in preizkuševalni postopki so bili opisani v programu preizkusov.

Asfaltni zmesi ABL in DAC v proizvodnji sta bili dnevno preiskani in kontrolirani glede na dnevno proizvodnjo: ABL na vsake 400 ton proizvedene asfaltne zmesi, DAC na vsake 300 ton. Preiskave so zajemale lastnosti asfaltne zmesi, kot so prostorninska in specifična gostota, vsebnost votlin in vsebnost bitumenskega veziva.

Poleg kontrole na proizvedenih asfaltnih zmesih se je ta vršila tudi na naključno izbranih mestih asfaltne obloge z jemanjem vzorcev oz. z vrtanjem asfaltnih jeder. Pogoji za tesnjenje je bila vsebnost votlin v vgrajeni zmesi, ki ni smela presegati 3 %.

4.4.2 Vsebnost lahkih delcev v agregatu za proizvodnjo asfaltnih zmesi

Za proizvodnjo asfaltnih zmesi v asfaltni bazi Vrtojba je bila uporabljena zmes kamnitih zrn iz separacije Tolmin. Zmesi kamnitih zrn iz separacije Tolmin so prodčevi drobirji iz reke Soče. Vse frakcije za proizvodnjo asfaltnih zmesi imajo Certifikat kontrole proizvodnje in Izjave o skladnosti s CE informacijo skladne z harmoniziranim evropskim standardom SIST EN 13043.

V splošnih tehničnih pogojih, ki so bili sestavni del pogodbene dokumentacije, je bila zahteva, da groba in kamnita zmes ne smeta vsebovati lesnih delcev in organskih snovi. Ker je zmes vsebovala lahke delce, se je izvajalec skliceval na splošne tehnične pogoje, ki omogočajo, da lahko zahteve vhodnih materialov določi tudi inženir.

Iz tega razloga je bil inštitutoma, Zavodu za gradbeništvo (ZAG) in Inštitutu za raziskavo materialov in aplikacije (IRMA), naročen odvzem vzorcev kamnitih zmesi in določitev lahkih delcev skladno s standardom SIST EN 1744-1. Rezultati so prikazani v spodnjih preglednicah.

Preglednica 3: Rezultati kemijske analize določitve lahkih delcev (ZAG)

Frakcija	Odstotek % m/m
0/2 drobljen prod	0,06
0/4 naraven prod	0,11
4/8 drobljen prod	0,21
8/11 drobljen prod	0,03
11/16 drobljen prod	0,07

Preglednica 4: Rezultati kemijske analize določitve lahkih delcev (IRMA)

Frakcija	Odstotek % m/m
0/2 drobljen prod	0,05
0/4 naraven prod	0,04
4/8 drobljen prod	0,05
8/11 drobljen prod	0,03
11/16 drobljen prod	0,04

Glede na dobljene rezultate kemijskih analiz je nadzorni inženir odobril predlagano enotno zahtevo glede lahkih delcev določeno skladno s SIST EN 1744-1 za vse frakcije, in sicer 0,25 % m/m.

4.4.3 Organizacija preskusov proizvodnje na gradbišču

Program preizkušanja za asfaltiranje je bil razdeljen na tri razvojne stopnje:

1. razvojna stopnja: Preizkusi ustreznosti in sestava zmesi bitumenskega materiala

Čas:	pomlad 2008
Kraj:	osrednji in zunanji laboratorij
Osebe:	tehnično vodstvo, osebe v osrednjem laboratoriju, deloma osebe v laboratoriju na gradbišču in zunanji strokovnjaki
Opomba:	za začetek del potrebne predhodne preiskave

2. razvojna stopnja: Umerjanje asfaltne baze in poskusne zmesi

Čas: april/maj 2008
Kraj: asfaltna baza v Vrtojbi
Osebj: tehnično vodstvo, vse osebe v laboratoriju na gradbišču in strokovnjaki v osrednjem laboratoriju, zunanji strokovnjaki ter vse osebe v bazi
Opomba: pod nadzorom laboratorija na gradbišču z zunanjo podporo

3. razvojna stopnja: Preizkusi proizvodnje na gradbišču zgornjega bazena

Čas: maj 2008: strojno in ročno polaganje približno teden dni, preskušanje in poročilo
Kraj: izravnano in zgoščeno območje v zgornjem bazenu, kjer je nameščena in uspešno preskušena izravnalna plast, dober dostop, brez drugih posebnih zahtev in dogovor o podrobnostih z inženirjem
Osebj: vse tehnično vodstvo, vse osebe v laboratoriju, strokovnjaki v izvajalčevem osrednjem laboratoriju, zunanji sodelavci, vsa ekipa v bazi in vsa ekipa za polaganje
Opomba: pod nadzorom laboratorija na gradbišču s podporo

4.4.4 Varstvo okolja

Podjetji Primorje in Walo skladno s pridobljenim certifikatom ISO 14001 skrbita za varstvo okolja in ravnanje z odpadki. Zaradi specifičnosti projekta se je določilo posebne zahteve in varnostne ukrepe, in sicer:

- **Gradbeni material** (na primer presežek asfalta, izrezane asfaltne dele, agregate, les in drug material) je bil začasno shranjen na označenih mestih ter redno odbiran in odložen na določenih odlagališčih smeti. Material je bil nepoškodovan in ni onesnaževal okolja.

- **Zaščito pred spodjedanjem** na območju naselja (proizvodnja, pisarna in dvorišče) je bilo potrebno urediti s sistemom drenažnih jarkov in kanalov. Zbrana voda je bila speljana v krajevni kanalizacijski sistem. Če se je na območju naselja pojavilo očitno spodjedanje, je bilo potrebno sprejeti ukrepe in odpraviti nevarnost.
- Za **varstvo voda** na območju naselja, predvsem na območju obratov in delavnic, je bilo poskrbljeno z naslednjima ukrepoma: s skladiščenjem tekočin v pripravljenih skladiščih in z oskrbo z vezivom za olje/plinsko olje. Vsako popravilo ali vzdrževanje vozil je bilo izvedeno v ustrezno opremljeni delavnici. Registrirana podjetja so zbirala in odstranila odpadno olje ali druge nevarne tekočine.
- **Splošni varstveni ukrepi** za nadzor prahu in hrupa so bili izvedeni z ločitvijo proizvodnega območja in poslovnih/bivalnih prostorov. Obrati so bili moderni in opremljeni skladno s trenutnimi določili in predpisi o varstvu okolja. Stroji so bili protihrupno izolirani in opremljeni z oznako CE. Zaradi nenehnega in nadzorovanega zbiranja odpadkov in njihovega odlaganja na označena mesta ni bilo odpadnih plinov ali tekočin na gradbišču.
- **Zbiranje in odlaganje odpadkov** je potekalo nenehno. Trdni odpadki so bili zbrani na izvirnem mestu, na primer v poslovnih prostorih, v laboratoriju ali delavnici in v razumnih presledkih odpeljani na odlagališče. Na gradbišču so bili nameščeni sanitarni prostori skladno z določenimi standardi. Odplake iz sanitarnih ali bivalnih prostorov so bile zbrane v posebnih cisternah in obdelane v čistilni napravi. Organski in trdni ostanki so bili občasno pobrani in zavrženi na odobrenem mestu.
- **Čiščenje gradbišča** se je izvajalo sproti, generalno pa se ga je počistilo pred primopredajo objekta investitorju. Vse odpadke je bilo potrebno odpeljati na uradne deponije. Pridobiti je bilo potrebno tudi evidenčne liste, ki so sestavni del poročila o ravnanju z odpadki in je pogoj za pridobitev uporabnega dovoljenja.

4.5 Postopek prvega polnjenja

4.5.1 Ozadje polnjenja

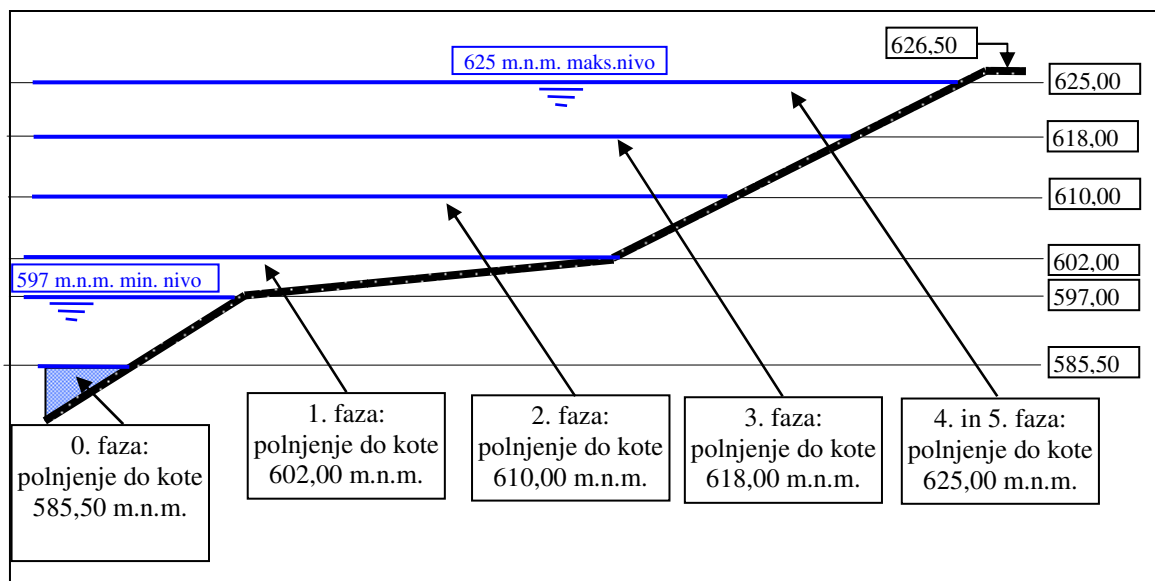
Prvo polnjenje bazena je občutljiv proces, ki mora biti skrbno izveden in opazovan z namenom, da se zagotovi varno delovanje jezera v vseh fazah.

Za prvo polnjenje zgornjega akumulacijskega jezera je projektant predlagal uporabo dodatnih črpalk z namenom, da se preskusi črpalko-turbino najprej v turbinskem načinu delovanja, kar je v skladu s posebnimi tehničnimi pogoji preizkusa črpalke-turbine in pomožne opreme. Postopek polnjenja je bil potrjen in podrobno koordiniran s strani dobavitelja turbine in opreme. Za sam komisijski preskus črpalke-turbine sta bila odgovorna dobavitelj in nadzorni inženir.

Prvo polnjenje se je pričelo, ko je bil vgrajen in pripravljen ves opazovalni sistem. Pomemben je bil natančen, neprekinjen in obsežen sistem opazovanja nivoja vode v bazenu in dvigovanje nivoja vode v predpisanih korakih. Vzpostavilo se je redno merjenje gladine vode v drenažah, merjenje nivoja piezometra in vizualna kontrola pete velikega nasipa. Za primerno interpretacijo rezultatov se je redno zbiralo meteorološke podatke (merjenje temperature in padavin) v bližini jezera. Po končani 3., 4. in 5. fazi se je jezero toliko izpraznilo, da se je lahko izvedlo temeljito kontrolo asfaltne obloge ter stikov med asfaltom in betonskimi konstrukcijami.

4.5.2 Faze polnjenja bazena

Glede na pritisk vode v bazenu bo telo nasipa izpostavljeno posedkom in horizontalnim deformacijam. Nivo vode naj se zato dviga dovolj počasi, tako da se obloga asfalta lahko prilagaja tem posedkom, ne da bi pri tem prihajalo do razpok.



Slika 22: Faze polnjenja zgornjega jezera

- **Začetna faza 0 (kota 585,5)**

Začetna faza 0 se je pričela takoj po nulti meritvi opazovanih točk in se je nanašala na polnjenje dovodnega tunela in cevovoda do kote 585,5 m.n.m., z uporabo opreme za prvo polnjenje. Te črpalke so imele majhno kapaciteto črpanja, zato je bilo potrebnih 10 dni, da se je hidravlični sistem napolnil do zahtevanega nivoja. Delno so sistem napolnile padavinske vode.

- **1. faza (kota 602)**

V 1. fazi polnjenja je bilo dno bazena potopljeno do kote 602 m.n.m., pričelo se je z izvedbo 1. testa v črpalnem načinu. Po 24 urah se je izvedlo geodetsko niveliranje in meritve inklinometrov.

- **2. faza (kota 610)**

V 2. fazi se je s hitrostjo polnjenja 1 m na dan v osmih dneh napolnilo jezero do kote 610 m.n.m., kar predstavlja 12% celotnega vodnega pritiska na nasip. Nadaljevalo se je s 1.

testom v črpalnem načinu. Geodetsko niveliranje in meritve inklinometrov se je izvedlo za nivo gladine vode na koti 610 m.n.m., ki je morala ostati konstantna 1 dan.

- **3. faza (kota 618)**

V 3. fazi se je s hitrostjo polnjenja 1 m na dan v osmih dneh napolnilo jezero do kote 618 m.n.m., kar predstavlja 50% celotnega vodnega pritiska na nasip. Nadaljevalo se je s 1. testom v črpalnem načinu. Geodetsko niveliranje in meritve inklinometrov se je izvedlo za nivo gladine vode na koti 618 m.n.m., ki je morala ostati konstantna 1 dan. Na koncu 3. faze se je nivo vode v jezeru znižalo na koto 597 m.n.m., ki ustreza minimalni gladini vode delovanja in to je bil 1. turbinski test.

- **4. faza (kota 625)**

4. faza se je začela s ponovnim polnjenjem 1 m na dan, do kote 618 m.n.m. in nato nadaljevala do maksimalne operativne kote vode 625 m.n.m., kar je predstavljalo 2. test v črpalnem načinu. Geodetsko niveliranje in meritve inklinometrov se je izvedlo za nivo gladine vode na koti 625 m.n.m., ki je morala ostati konstantna 1 dan. Na koncu 4. faze se je nivo vode v jezeru znižalo na koto 597 m.n.m., ki ustreza minimalni gladini vode delovanja in je predstavljalo 2. turbinski test.

- **5. faza (kota 625)**

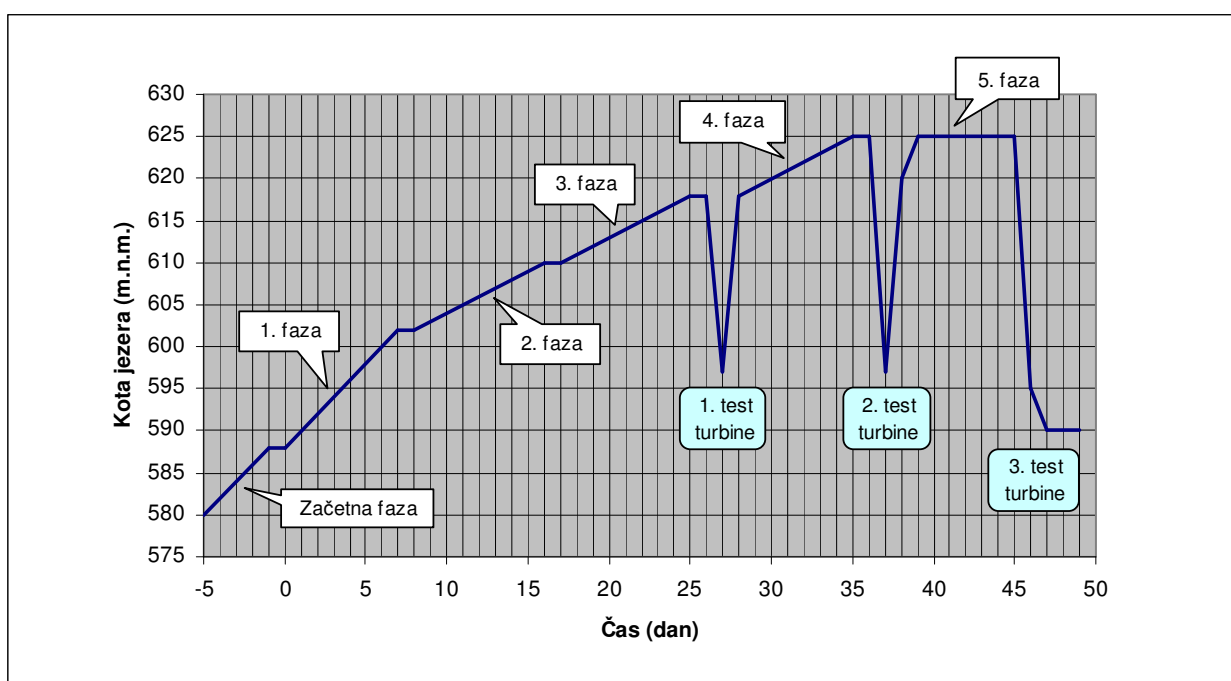
5. faza se je začela s prvim korakom ponovnega polnjenja do kote 618 m.n.m. in nadaljevala z drugim korakom do kote 625 m.n.m. Vsak korak je trajal 1 dan. To je bil 3. test v črpalnem načinu. Na koncu 5. faze je bilo potrebno izvesti geodetsko niveliranje in meritve inklinometrov, eno meritev pred znižanjem in eno po znižanju gladine vode na koto 590 m.n.m. z namenom, da se izpostavi asfaltno oblogo kontroli.

Na podlagi zadovoljivih rezultatov meritev in vizualne kontrole se je lahko nadaljevalo s programom drugega polnjenja, ki je zelo podoben prvemu.

4.5.3 Terminski plan in program polnjenja

4.5.3.1 Terminski plan polnjenja

Terminski plan za prvo polnjenje jezera je podan na spodnji sliki. Na oseh so prikazane kote (m.n.m.) in faze polnjenja. Trajanje prvega polnjenja je brez nepredvidenih dogodkov trajalo 7 tednov.



Slika 23: Terminski plan prvega polnjenja zgornjega jezera

4.5.3.2 Program prvega polnjenja in opazovanja akumulacijskega jezera

Med polnjenjem zgornjega akumulacijskega jezera so se z namenom natančne določitve prepustnosti asfaltne obloge izvajale meritve pronicanja vode, pretokov in piezometrov vsake štiri ure. Tekom hitrega izpuščanja in ponovnega polnjenja se je meritve izvajalo vsaki dve uri.

Preglednica 5: Program prvega polnjenja in opazovanja akumulacijskega jezera

Faza Št.	Dni	Proces polnjenja bazena	Kota m.n.m.	Opazovanje		
				Nivo bazena & Meteo	Pronicanja & Piezometrov	Niveliranje & Inklinometer
Začetna faza 0		Polnjenje dovodnega tunela in cevovoda s črpalkami za prvo polnjenje	do 585,50	Nivo bazena neprekinjeno, Meteo 1/dan	1 branje/dan	Večkratno ničelno branje
1	1-7	Polnjenje 2 m/dan Od vtoka do pete jezu, pokriva dno bazena, uporaba črpalke- turbine	585,50 do 602,00	Nivo bazena neprekinjeno, Meteo 1/dan	3 branja/dan	
	7-8	Čakalna doba 1 dan za meritve	602,00	Nivo bazena neprekinjeno, Meteo 1/dan	3/dan	1. branje
2	8-16	Polnjenje 1 m/dan	602,00 do 610,00	Nivo bazena neprekinjeno, Meteo 1/dan	3/dan	
	16-17	Čakalna doba 1 dan za meritve	610,00	Nivo bazena neprekinjeno, Meteo 1/dan	3/dan	2. branje
3	17-25	Polnjenje 1 m/dan	610,00 do 618,00	Nivo bazena neprekinjeno, Meteo 1/dan	3/dan	
	25-26	Čakalna doba 1 dan za meritve	618,00	Nivo bazena neprekinjeno, Meteo 1/dan	3/dan	3. branje
	26-27	Praznjenje bazena s turbino	618,00 do 597,00	Nivo bazena neprekinjeno, Meteo 1/dan	Vsake 2 uri tekem izpusta	

se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 5.

Faza Št.	Dni	Proces polnjenja bazena	Kota m.n.m.	Opazovanje		
				Nivo bazena & Meteo	Pronicanja & Piezometrov	Niveliranje & Inklinometer
4	27-28	Ponovno polnjenje	597,00 to 618,00	Nivo bazena neprekinjeno, Meteo 1/dan	Vsake 2 uri tekom polnjenja	
	28-35	Polnjenje 1 m/dan do končne gladine vode	618,00 do 625,00	Nivo bazena neprekinjeno, Meteo 1/dan	3 meritve na dan	
	35-36	Čakalna doba 1 dan za meritve	625,00	Nivo bazena neprekinjeno, Meteo 1/dan	3 meritve na dan	4. meritve
	36-37	Praznjenje bazena s turbino	625,00 do 597,00	Nivo bazena neprekinjeno, Meteo 1/dan	Vsake 2 uri tekom izpusta	
5	37-38	Ponovno polnjenje 1	597,00 do 618,00	Nivo bazena neprekinjeno, Meteo 1/dan	Vsake 2 uri tekom polnjenja	
	38-39	Ponovno polnjenje 2	618,00 do 625,00	Nivo bazena neprekinjeno, Meteo 1/dan	Vsake 2 uri tekom polnjenja	
	39-45	Bazen na maksimalni koti delovanja	625,00	Nivo bazena neprekinjeno, Meteo 1/dan	3 meritve na dan	5. meritev
	45-46	Izpust, da se izpostavi obloga asfalta	625,00 do 590,00	Nivo bazena neprekinjeno, Meteo 1/dan	Vsake 2 uri tekom izpusta	
	46-47	Popolna vizualna kontrola obloge asfalta	pod 590,00	Nivo bazena neprekinjeno, Meteo 1/dan	3 meritve na dan	6. meritev

4.5.4 Navodila med obratovanjem

Če bi opazili kakršnokoli nepravilnosti, t.j. povečan pretok pronicanja, naglo povečanje gladine vode v piezometru ali nepričakovane deformacije nasipov ali brežin, bi bilo takoj potrebno oceniti vplive, sprejeti ustrezne ukrepe in spremeniti program polnjenja.

Zaradi izpostavljene nevarnosti konstrukcije zgornjega akumulacijskega jezera (2,17 milijona m³ vode) je za zagotavljanje varnosti tekom življenjske dobe nujno potrebno neprekinjeno opazovanje nasipov. Opažanja in ugotovitve poskusnega polnjenja morajo biti vključena v bodoča navodila za opazovanje hidroelektrarne.

Operativna faza hidroelektrarne se je lahko pričela, ko sta se program polnjenja in uporabnost črpalke-turbine izkazala za uspešna (Bellwald, 2009).

5 ZAKLJUČEK

ČHE Avče, eden največjih tovrstnih objektov v Sloveniji, se je gradila več kot pet let. Z dobrim strokovnim vodenjem na vseh področjih in interdisciplinarno koordinacijo je izvajalcem kljub 20-odstotnemu povečanju obsega del črpalno hidroelektrarno uspelo zgraditi v zadanem roku.

Izvedba zgornjega akumulacijskega jezera je bila ob spremenjenih in geološko neugodnih pogojih ter zamudah pri projektni dokumentaciji zaključena pred pogodbenim rokom. To je bilo mogoče zaradi uvedbe novih tehnologij, izbire asfaltne obloge pri izgradnji jezera in velike angažiranosti vseh udeležencev. Izvajalci so z dodatno opremo in uvedbo dvoizmenskega dela pospešili sanacijo splazele brežine in dela na vtoku ter ti površini pravočasno predali v asfaltiranje. Če se to ne bi zgodilo, bi bila asfalterska dela čez zimo prekinjena in zaključena šele konec pomladi 2009. Uspešni izvedbi je botrovala tudi velikost jezera, ki je omogočala spremembo zaporedja asfaltnih del in po potrebi izvajanje del na več koncih hkrati.

S pomočjo vgrajenih merilnih naprav je bil izveden dolgotrajni postopek prvega polnjenja. Rezultati meritev so potrdili, da so bile odločitve glede izbranih tehnologij, vgrajenih materialov in kontrole kakovosti pravilne.

Asfaltiranje je za večje hidrotehnične objekte, kot so akumulacijska jezera in pregrade, trenutno tehnično najprimernejša možnost izvedbe, čeprav je zaradi majhne konkurence med izvajalci v svetovnem merilu cenovno manj ugodna.

VIRI

Bellwald, P. 2007. Projektna dokumentacija ČHE Avče, Designer's Comments to Liner Solutions. Zurich, Colenco Power Engineering Ltd.: 3 f.

Bellwald, P. 2009. Projektna dokumentacija ČHE Avče, Reservoir Impounding Program. Zurich, Colenco Power Engineering Ltd.: 8 f.

Henigman, S., Bašelj, R., Bradeško, S., et al. 2006. Asfalt. Ljubljana, Združenje asfalterjev Slovenije: 285 str.

Hinrikson, J. 2008. Bitumensko tesnenje – Test ustreznosti. Zurich, Walo: 20 f.

Pavšič, A. 2007. Zgodba o luči. Nova gorica, Soške elektrarne Nova gorica: 144 str.

Petkovšek, A., Jurjavčič, P., Maček, M., Cotič, Z. 2008. Sistemi za kontinuirano kontrolo zgoščanja - Končno v redni rabi tudi v Sloveniji. Gradb. vestn., 57, 12: 330-343.

Petkovšek, A., Maček, M., Majes, B. 2007. Ekspertno mnenje o možnosti rabe lokalnega fliša za gradnjo nasute zemeljske pregrade, ČHE Avče - zgornji bazen. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za mehaniko tal: 20 f.

Pfiffner, H.P. 2003. Asphalt hydraulic engineering. Zurich, Walo: 97 str.

Potokar, M. 2005. Energija je zelena je modra je smaragdna je narava. Nova gorica, Soške elektrarne Nova gorica: 32 str.

Zakrajšek, M., 2008. Caterpillar Accugrade GPS - Nadzorni sistem za centimetrsko natančno sestavo. Revija GM&T, 24: 14-16.

DIN 12390-9, Preizkušanje trdega betona – Poglavje 9: Odpornost na zmrzovanje in na sol proti zmrzovanju – preperevanje (nemška verzija prEN 142390-9:2002).

DIN 19700-11. 2004. Dam Plants – Part 11, Dams: 9 str.

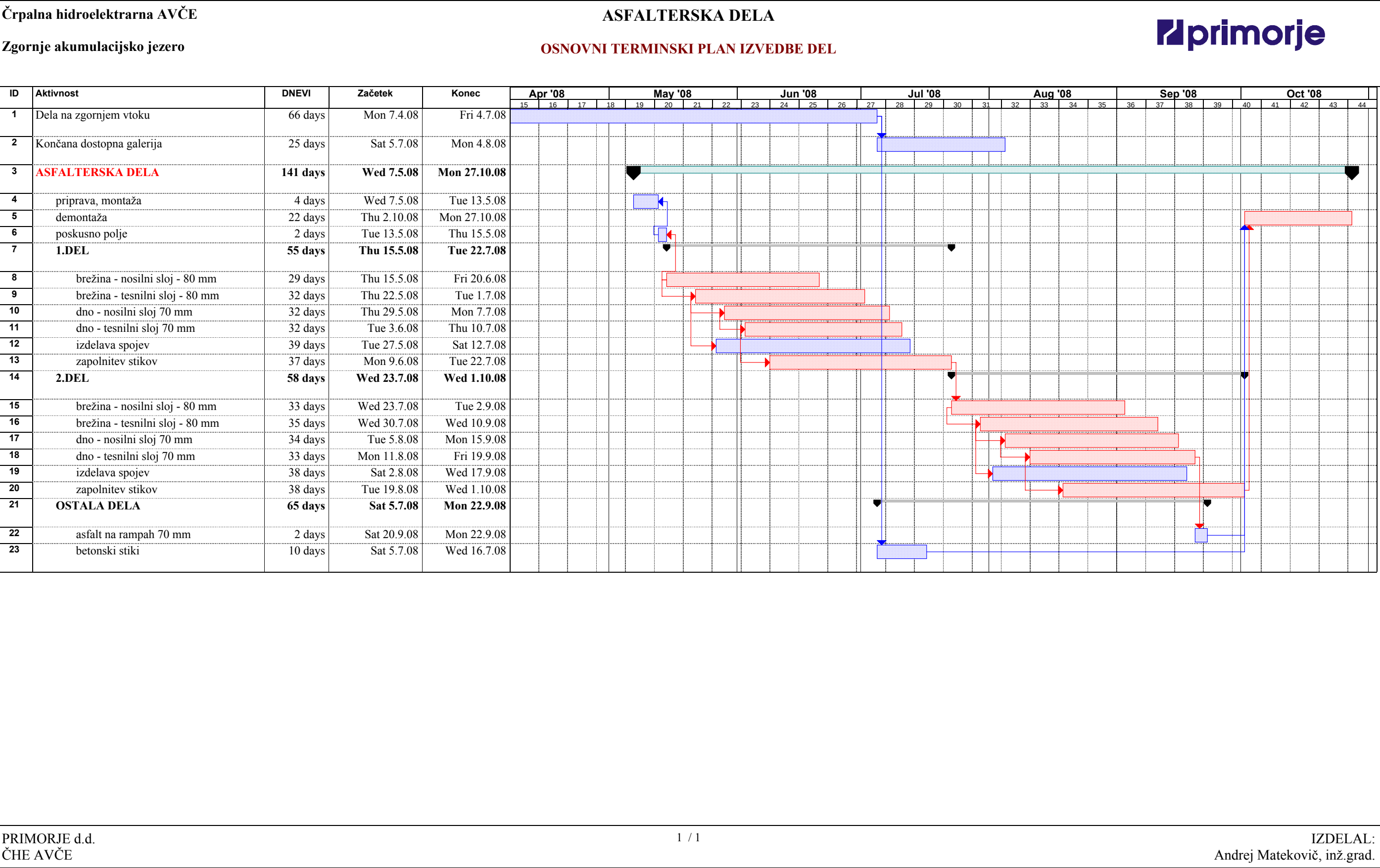
DIN 19700-14. 2004. Dam Plants – Part 14, Pumped Storage Reservoirs: 10 str.

Interni arhiv. 2004–2008. Ajdovščina, Primorje d.d.

Interni arhiv. 2004–2008. Nova Gorica, SENG d.o.o.

PRILOGA A:

Osnovni terminski plan izvedbe asfaltne obloge akumulacijskega jezera



PRILOGA B:

Spremenjeni terminski plan izvedbe asfaltne obloge akumulacijskega jezera

