





Gradbeni vestnik • GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE in MATIČNE SEKCIJE GRADBENIH INŽENIRJEV INŽENIRSKO ZBORNICE SLOVENIJE

UDK-UDC 05 : 625; ISSN 0017-2774

Ljubljana, april 2010, letnik 59, str. 73-104

Izdajatelj:

Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Leskoškova 9e, 1000 Ljubljana, telefon 01 52 40 200; faks 01 52 40 199 v sodelovanju z **Matično sekcijo gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije (MSG IZS)**, ob podpori **Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani** in **Zavoda za gradbeništvo Slovenije**

Izdajateljski svet:

ZDGITS: **mag. Andrej Kerin**
prof. dr. Matjaž Mikoš
Jakob Presečnik
MSG IZS: **Gorazd Humar**
mag. Črtomir Remec
doc. dr. Branko Zadnik
FGG Ljubljana: **doc. dr. Marijan Žura**
FG Maribor: **Milan Kuhta**
ZAG: **prof. dr. Miha Tomažević**

Glavni in odgovorni urednik:

prof. dr. Janez Duhovnik

Sodelavec pri MSG IZS:

Jan Kristjan Juteršek

Lektor:

Jan Grabnar

Lektorica angleških povzetkov:

Darja Okorn

Tajnica:

Eva Okorn

Oblikovalska zasnova:

Mateja Goršič

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

Kočeviski tisk

Naklada:

3000 izvodov

Podatki o objavah v reviji so navedeni v bibliografskih bazah COBISS in ICONDA (The Int. Construction Database) ter na

<http://www.zveza-dgits.si>

Letno izide 12 števil. Letna naročnina za individualne naročnike znaša 22,95 EUR; za študente in upokojence 9,18 EUR; za družbe, ustanove in samostojne podjetnike 169,79 EUR za en izvod revije; za naročnike iz tujine 80,00 EUR. V ceni je všteti DDV.

Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:
SI560201 7001 5398955

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

1. Uredništvo sprejema v objavo znanstvene in strokovne članke s področja gradbeništva in druge prispevke, pomembne in zanimive za gradbeno stroko.
2. Znanstvene in strokovne članke pred objavo pregleda najmanj en anonimen recenzent, ki ga določi glavni in odgovorni urednik.
3. Besedilo prispevkov mora biti napisano v slovenščini.
4. Besedilo mora biti zapisano z znaki velikosti 12 točk in z dvojnimi presledkom med vrsticami.
5. Prispevki morajo vsebovati naslov, imena in priimke avtorjev ter besedilo.
6. Besedilo člankov mora obvezno vsebovati: naslov članka v slovenščini (velike črke); naslov članka v angleščini (velike črke); oznako, ali je članek strokoven ali znanstven; imena in priimke avtorjev; naslov POVZETEK in povzetek v slovenščini; naslov SUMMARY in povzetek v angleščini; naslov UVOD in besedilo uvoda; naslov naslednjega poglavja (velike črke) in besedilo poglavja; naslov razdelka in besedilo razdelka (neobvezno); ... naslov SKLEP in besedilo sklepa; naslov ZAHVALA in besedilo zahvale (neobvezno); naslov LITERATURA in seznam literature; naslov DODATEK in besedilo dodatka (neobvezno). Če je dodatkov več, so ti označeni še z A, B, C itn.
7. Poglavlja in razdelki so lahko oštevilčeni. Poglavlja se oštevilčijo brez končnih pik. Denimo: 1 UVOD; 2 GRADNJA AVTOCESTNEGA ODSEKA; 2.1 Avtocestni odsek ... 3 ...; 3.1 ... itd.
8. Slike, preglednice in fotografije morajo biti omenjene v besedilu prispevka, oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino. Vse slike in fotografije v elektronski obliki (slike v običajnih vektorskih grafičnih formatih, fotografije v formatih .tif ali .jpg visoke ločljivosti) morajo biti v posebnih datotekah, običajne fotografije pa priložene.
9. Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.
10. Kot decimalno ločilo je treba uporabljati vejico.
11. Uporabljena in citirana dela morajo biti navedena med besedilom prispevka z oznako v obliki oglatih oklepajev: (priimek prvega avtorja, leto objave). V istem letu objavljena dela istega avtorja morajo biti označena še z oznakami a, b, c itn.
12. V poglavju LITERATURA, ki se je ne oštevilčuje, so uporabljena in citirana dela opisana z naslednjimi podatki: priimek, ime prvega avtorja (lahko krajšano), priimki in imena drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.
13. Način objave je opisan s podatki: knjige: založba; revije: ime revije, založba, letnik, številka, strani od do; zborniki: naziv sestanka, organizator, kraj in datum sestanka, strani *od do*; raziskovalna poročila: vrsta poročila, naročnik, oznaka pogodbe; za druge vrste virov: kratek opis, npr. v zasebnem pogovoru.
14. Pod črto na prvi strani – pri prispevkih, krajših od ene strani, pa na koncu prispevka – morajo biti navedeni podrobnejši podatki o avtorjih: znanstveni naziv, ime in priimek, strokovni naziv, podjetje ali zavod, navadni in elektronski naslov.
15. Prispevke je treba poslati glavnemu in odgovornemu uredniku prof. dr. Janezu Duhovniku na naslov: FGG, Jamova 2, 1000 LJUBLJANA, oziroma po e-pošti: janez.duhovnik@fgg.uni-lj.si. V spremnem dopisu mora avtor članka napisati, kakšna je po njegovem mnenju vsebina članka (pretežno znanstvena, pretežno strokovna) oziroma za katero rubriko je po njegovem mnenju prispevek primeren. Prispevke je treba poslati v elektronski obliki v formatu MS WORD in v 8. točki določenih grafičnih formatih.

Uredništvo

Vsebina • Contents

Članki • Papers

stran 74

dr. Andrej Širca, univ. dipl. inž. grad.
Zdenko Josipovič, univ. dipl. inž. grad.
Krešimir Kvaternik, univ. dipl. inž. grad.
Iztok Močnik, univ. dipl. inž. grad.
Dušan Somrak, univ. dipl. inž. grad.

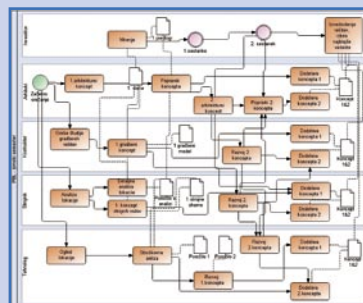
VEČNAMENSKI PROJEKT HIDROELEKTRARN NA SPODNJI SAVI
A MULTI PURPOSE LOWER SAVA RIVER HYDROPOWER PROJECT



stran 83

Matic Ožbolt, univ. dipl. inž. grad.
dr. Tomo Cerovšek, univ. dipl. inž. grad.

INTEGRIRANO TIMSKO DELO ZA CELOSTNO ZASNOVO STAVB
INTEGRATED TEAMWORK FOR THE WHOLE-BUILDING DESIGN



stran 98

izr. prof. dr. Janko LOGAR, univ. dipl. inž. grad.

GEOTEHNIKA V LUKI KOPER NA ZAČETKU 21. STOLETJA –
1. DEL: RAZISKAVE TAL

GEOTECHNICAL ENGINEERING IN PORT OF KOPER AT THE
BEGINNING OF 21ST CENTURY – PART 1: GROUND INVESTIGATIONS



Vabilo in obvestilo

stran 96

Vabilo na skupščino ZDGITS

stran 3 ovitka

Vabilo na konferenco Trajnostno gradbeništvo
& zelena javna naročila

Koledar prireditev

J. K. Juteršek, univ. dipl. inž. grad.

Slika na naslovnici: HE Blanca, foto arhiv HESS

VEČNAMENSKI PROJEKT HIDROELEKTRARN NA SPODNJI SAVI

A MULTI PURPOSE LOWER SAVA RIVER HYDROPOWER PROJECT

dr. Andrej Širca, univ. dipl. inž. grad.
Zdenko Josipovič, univ. dipl. inž. grad.
Krešimir Kvaternik, univ. dipl. inž. grad.
Izток Močnik, univ. dipl. inž. grad.
Dušan Somrak, univ. dipl. inž. grad.

IBE, svetovanje, projektiranje in inženiring,
Hajdrihova 4, 1000 Ljubljana

Strokovni članek

UDK: 627.8(282.243.743)

Povzetek | Na odseku reke Save med HE Vrhovo in državno mejo s Hrvaško od leta 2002 potekata gradnja in načrtovanje verige petih hidroelektrarn na lokacijah Boštanj, Blanca, Krško, Brežice in Mokrice. Prikazan je večnamenski vidik trenutno največjega slovenskega energetskega projekta, ki poleg izkoriščanja hidroenergetskega potenciala rešuje tudi nekatere infrastrukturne probleme. Z vidika gradbenega projektanta so navedeni nekateri značilni konstrukcijski in izvedbeni problemi posameznih stopenj verige. Prikazani so tudi tisti okoljski vidiki gradnje, ki so bili najzanimivejši za širšo lokalno javnost.

Summary | On the Sava river section between Vrhovo HPP and the state border with Croatia, a chain of hydropower plants is under construction and partly in design at locations of Boštanj, Blanca, Krško, Brežice and Mokrice. A multi-purpose character of the project which provides power utilisation of the river Sava and solution to some infrastructure problems is demonstrated. Some characteristic design and construction problems are described for individual stages of the chain from the viewpoint of the civil works designer. The paper finally addresses those environmental aspects of the construction which have raised most interest among the local population.

1 • UVOD

Slovenija se od osamosvojitve in odcepa od relativno velikega elektroenergetskega (EE) sistema nekdanje Jugoslavije srečuje z rastočim primanjkljajem v EE-bilanci. Kljub relativno ugodni strukturi proizvodnje s približno tretjinskimi deleži jedrske, vodne in klasične termalne proizvodnje elektrike je bila letna rast porabe v zadnjem desetletju med 2 in 3 % letno. Kljub načrtovanim zamenjavam nekaterih objektov, ki se bližajo koncu življenjske dobe (npr. TE Šoštanj, TE Trbovlje), se bo energijski primanjkljaj Slovenije v prihodnosti povečeval, pri tem pa so domači naravni energijski viri omejeni na rjavi premog, lignit in vodno ener-

gijo. Predvsem prva dva vira sta okoljsko nedvomno sporna.

Po drugi strani je reka Sava, ki odvaja vodo s 54 % slovenskega ozemlja, energetskega izkoriščena le v višini 13 % tehnično izkoristljivega potenciala, kar je bistveno manj kot npr. slovenski odsek reke Drave (97 %), slovensko povprečje (42 %), manj kot primerljive reke v bližnjih državah (Avstrija 68 %, Italija 67 %) ter tudi manj kot je evropsko povprečje (54 %) (2009 World Atlas and Industry Guide, 2009). Zaradi več kot 2800 GWh/leto tehnično izkoristljivega potenciala je bila energetska izraba reke Sava načrtovana že v času avstro-ogrske

monarhije, izgradnja elektrarn pa je začela z izgradnjo HE Medvode po drugi svetovni vojni (do takrat je bilo zgrajenih že več manjših hidroelektrarn v povodju Save: HE Završnica, HE Sava v Tacnu, HE na Radovni, Tržiški Bistrici, Mošeniku, Sori). Aktualni načrti za izrabo jo delijo na 3 odseke: zgornja Sava s HE Moste, srednja Sava z dvema že izvedenima (HE Mavčiče, HE Medvode) in načrtovanimi 9 stopnjami ter spodnja Sava s 6 stopnjami, od katerih so zgrajene tri (Vrhovo, Boštanj, Blanca). V dolgem razvojnem obdobju projektov so bile v povodju Save iz različnih razlogov opuščene sezonske akumulacije Radovljica, Radovna in Planina. Desetletja dolga zgodovina načrtovanja je dobila epilog najprej s podelitvijo koncesije Savskim elektrarnam Ljubljana (SEL), nato pa s podpisom konce-

sijske pogodbe o energetskem izkoriščanju spodnje Save, ki sta jo leta 2002 podpisala država kot koncesionar in Holding slovenske elektrarne (HSE) kot koncedent, s podpismi pa potrdili tudi župani obsavskih občin. V letu 2008 je bila koncesija z aneksom h koncesijski pogodbi prenesena na sedanjega nosilca Hidroelektrarne na spodnji Savi (HESS). V skladu s sodobnimi načeli razvoja hidroenergetskih objektov ((IEA, 2000), (IHA, 2003)) predvideva koncesijska pogodba poleg dveh osnovnih namenov izkoriščanja energije in reševanja poplavne varnosti obsavskega prostora še vodnogospodarsko urejanje Save in pritokov, izboljšanje kvalitete Save, izboljšanje cestnega omrežja ter ustvarjanje pogojev za razvoj namakalnih projektov, turizma in rekreacije.

Osnovna koncesijska pogodba je predvidevala izgradnjo petih stopenj spodnje Save (poleg že zgrajene HE Vrhovo) med letoma 2000 in 2018, pri čemer bi se posamezna HE gradila 4 leta, zamik začetka gradnje stopenj, ki bi tekla v smeri vodnega toka, pa bi bil 3 leta. Po podrobnejših tehničnih obdelavah je bila gradnja HE Krško podaljšana na 5 let, koncesionar pa se

je zaradi uspešnega dotedanega poteka gradnje ter ugodnih razmer na energetskih trgih odločil za pospešitev gradnje stopenj HE Brežice in HE Mokrice (preglednica 1). Predvsem zaradi lokacijskih težav obeh zadnjih stopenj ta terminski načrt verjetno ne bo izpolnjen, vendar bo čas izgradnje celotne verige še vedno bistveno krajši od prvotno predvidenih 18 let.

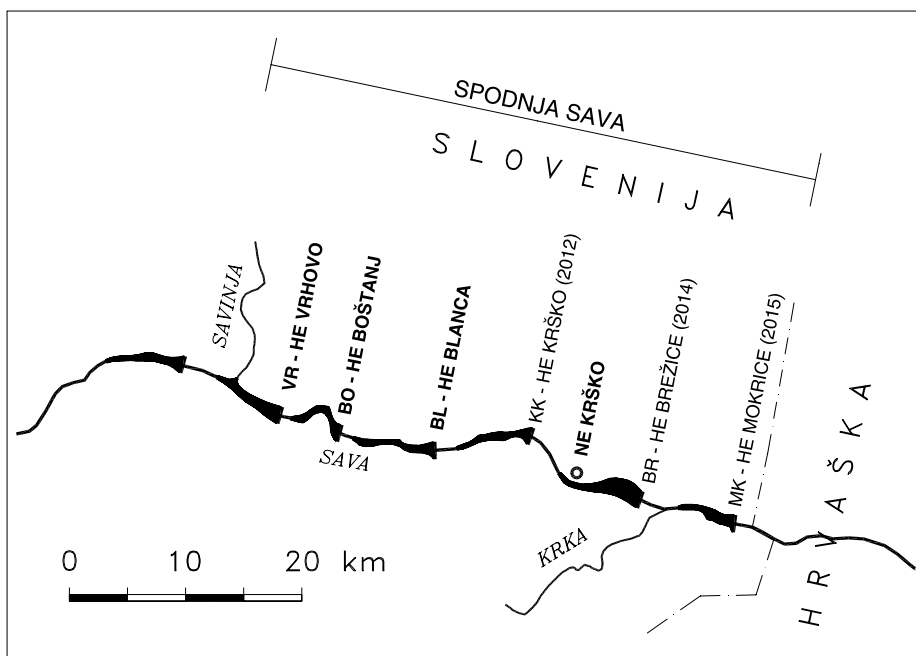
Hidroelektrarna	Boštanj	Blanca	Krško	Brežice	Mokrice
Kratka oznaka	BO	BL	KK	BR	MK
Začetek gradnje (lokacijsko dovoljenje)	2002	2005	2007	2010	2011
Začetek obratovanja (zaključek gradnje)	2006	2009	2012	2014	2015

Preglednica 1 • Aktualni terminski načrt gradnje verige HE na spodnji Savi

2 • SPLOŠNI PODATKI – HIDROENERGETIKA

Verigo HE na spodnji Savi sestavlja 6 stopenj (slika 1 in preglednica 2): Vrhovo (kratka oznaka VR, zaključena l. 1993 in obratuje z uporabnim dovoljenjem od l. 1997), Boštanj (BO, zaključena l. 2006 in še v poskusnem obratovanju), Blanca (BL, tehnično zaključena v letu 2009 in v poskusnem obratovanju), Krško (KK, začetek gradnje 2007, načrtovan zaključek gradnje l. 2012), Brežice (BR, predviden zaključek gradnje l. 2014) in Mokrice (MK, predviden zaključek l. 2015).

Dolvodno od sotočja s Savinjo je savska dolina do Krškega široka do največ 1,5 km, pri čemer se na obeh bregovih izmenjujejo urbanizirana in kmetijsko intenzivno obdelana območja. Večji naselja na tem odseku sta Radeče (ob bazenu Vrhovo) in Sevnica (ob bazenu Blanca). Dolvodno od Krškega se dolina razširi v aluvialno Krško-Brežiško polje, ki se s Čateškim in Dobovškim poljem nadaljuje proti Hrvaški ter predstavlja obronke Panonske nižine. Najpomembnejša obrečna naselja na tem odseku so Krško, Brežice s Čatežem ter Krška vas. Pri Brežicah dobi Sava pomemben desni pritok – Krko, in na mejnem odseku s Hrvaško še levi pritok – Sotla. Slovensko-hrvaška meja poteka v dolžini 3,6 km po sredini savske struge, levi breg je hrvaški, desni pa slovenski. Za izrabo je po koncesijski pogodbi predvidenih 58 m padca, kar predstavlja razliko med koto zajezitve HE Vrhovo (191 m n. m.) in koto zajezitve predvidene HE Podšused na Hrvaškem (133 m n. m.).



Slika 1 • Položaj objektov HE na spodnji Savi s predvidenimi leti zaključka gradnje

Sava je relativno hudourniška reka z razponom pretokov na odseku spodnje Save od 50 m³/s za nizke vode, do 250 m³/s za srednje vode in tudi do 3500 ali 4000 m³/s za visoke pretoke Q₁₀₀. Velik del hudourniškega značaja dolguje Sava pritoku Savinji, ki ob visokih vodah prinese 1/3 pretoka, kar se je boleče potrdilo ob velikih poplavah leta 1990

in leta 1998. V letu 2002 je bila izdelana hidrološka študija za odsek spodnje Save (Inštitut za vode, 2002), katere rezultati so povzeti v preglednici 2. Študija je trenutno v reviziji zaradi ugotovljenih nepravilnih meritev v času poplave leta 1990 in posledičnih napačnih interpretacij pretokov ((IBE, 2006a), (FGG-KMTek, 2007)).

Hidroelektrarna:		VR	BO	BL	KK	BR	MK
Pretok Q (m ³ /s)	Najnižji izmerjeni	39,7	40	41,2	41,7	41,8	51,2
	Srednji	218,6	220,9	227,8	230,4	231,2	288,9
	Najvišji izmerjeni	2991	3001	3037	3050	3055	3276
	Q ₁₀₀	3200	3210	3270	3290	3290	3610
Konstrukcijska višina pregrade (m)		25,65	26,85	31,35	31,35	31,1	27,4
Število prelivnih polj		5	5	5	5	4	5
Tip turbine		cevne	cevne	Kaplan	Kaplan	Kaplan	cevne
Število agregatov		3	3	3	3	3	2
Bruto hidravlični padec (m)		8,1	7,6	9,19	9,23	10,95	7,8
Inštalirana moč (MW)		34	32	40	40	44	24
Letna proizvodnja (GWh)		126	115	142	151	162	132
Prostornina bazena (1000 m ³)		8 650	8 131	9 950	6 309	18 432	6 754
Koristni volumen bazena (1000 m ³)		1 350	1 167	1 300	1 178	3 400	2 640
Zemeljska dela v bazenu (1000 m ³)		n.a.	530	735	660	1 812	510
Dolžina nasipa – levi breg (m)		250	1000	2000	0	9 100	6 500
Dolžina nasipa – desni breg (m)		1000	350	0	0	8 850	4 600
Število levih pritokov Save		6	6	9	13	3	1
Število desnih pritokov Save		4	4	10	10	2	12

Preglednica 2 • Karakteristični podatki verige HE na spodnji Savi

Tehnično so prve tri stopnje že izvedene, za HE Krško je praktično zaključena projektna faza PZI, zgrajenega je ca. 25 % objekta. Za stopnji HE Brežice in HE Mokrice sta v pripravi idejna projekta, ki bosta zaključena predvidoma v letu 2010.

Vse stopnje bodo rečne hidroelektrarne pretočnega tipa z dnevno izravnavo pretokov. Akumulacija vode se zagotavlja z nasipi različnih dolžin na obeh bregovih Save, ki se prilagajajo poteku terena. Prelivi imajo od 4 do 6 prelivnih polj (tipično 5), v strojnici so po 3 agregati (tipičen prerez na sliki 4). Pregrade so zgrajene na različnih, običajno slojevitih temeljnih podlagah, ki vključujejo skrilavec, peščenjak, lapor, laporni apnenec,

kredni fliš, dolomit, meljevec in laporovec, odvisno od lokacije (Geološki zavod Ljubljana, 1985). Tesnitev pregradnih profilov je tipično zagotovljena le s kontaktnim vbrizgavanjem. Podobne matične podlage se nahajajo tudi pod nasipi, ki pa so temeljeni na prekrivnih aluvialnih slojih. Nasipi so zemeljski, izvedeni iz lokalnega materiala ter na sredini tesnjeni (tipično po tehnologiji jet-grouting). Tesnitev sega do manj prepustne terciarne hribinske podlage. Globoko savsko prelomno območje predstavlja potencialni stik med Dinaridi na jugu in predalpskim svetom na severu, zato so pri zasnovi verige HE upoštevane razmeroma visoke potresne obremenitve. Merodajni horizontalni potresni pospešek se od Vrhovega do

Brežic postopoma zvišuje od 0,135 g do 0,24 g površinskega pospeška ter znova nekoliko upade pri HE Mokrice, kjer znaša 0,19 g (IZIS, 1981, 1982, 1985a, 1985b).

HE Vrhovo je bila zgrajena v gradbeni jami izven obstoječega korita in je bila pred visokimi vodami Save zaščitena s tesnjenim nasipom s tankostensko diafragmo. HE Boštanj in HE Blanca sta bili zgrajeni vsaka v eni gradbeni jami, ki je deloma ovirala tok Save, in sta bili pred visokimi vodami Save (Q₂₀) zaščiteni na gorvodni in dolvodni strani s tesnjenimi zemeljskimi nasipi, na rečni strani pa z betonskim zidom debeline 6 m, izvedenim kot zaporedje vodnjakov in vmesnih polnilnih elementov. Zadnji višinski metri zaščite so bili izvedeni s konzolnimi zidovi, po potrebi sidranimi skozi masivni del zaščitnega zidu v matično hribino. HE Krško se zaradi lege v ozkem delu savske doline gradi v dveh gradbenih jamah, kar je podrobneje opisano v nadaljevanju. HE Brežice in HE Mokrice se bosta zaradi lege na aluvialnih ravninah gradili z uporabo tesnjenih zaščitnih nasipov po celotnem obodu gradbenih jam, reka Sava bo v času gradnje preusmerjena z obtočnima kanaloma.

Inštalirani pretok verige znaša 500 m³/s. Med letoma 2009 in 2012 bo veriga obratovala s HE Vrhovo kot čelnim bazenom in HE Blanca kot izravnalnim bazenom. S podaljševanjem verige bo vsakokratni najnižji bazen prevzemal izravnalno vlogo, notranji bazeni pa bodo obratovali z dnevno izravnavo z najnižjim pretokom 100 m³/s, potrebnim za hlajenje NE Krško (pogoj velja pri naravnih pretokih Save nad 100 m³/s, pri nižjih pretokih pa je treba zagotavljati naravni pretok Save v profilu NEK). Zaradi ekoloških in varnostnih zahtev bodo bazeni obratovali z največjo denivelacijo 1 m (izjema je predvidena za bazen Brežice – 1,1 m, in za bazen Mokrice – 1,3 m), največja dopustna hitrost spremembe bo 1 m/h. Pred zaključkom gradnje verige so zahteve dolvodno od zadnje zgrajene HE še strožje. Po zaključeni gradnji vseh stopenj bo bazen Mokrice izravnal pretok na hrvaški meji na konstanten naravni odtok. Po izgradnji verige HE na srednji Savi bo izravnalno vlogo prevzel tudi predvidoma precej večji bazen Brežice.

3 • SPLOŠNI PODATKI – INFRASTRUKTURA

Koncesijska pogodba vključuje potrebne ureditve vodne infrastrukture (urejanje izlivnih delov pritokov pod vplivom zajezitve in zaščita

brežin Save pred erozijo), ostale državne infrastrukture (mreža državnih cest in železnica, visokonapetostni in sredjenapetostni daljnovo-

vodi) ter lokalne infrastrukture (oskrba z vodo, kanalizacijska omrežja, telefonska in druga kabelska omrežja, lokalni plinovodi, okoljske in rekreacijske ureditve itd.). S tehnološkega in okoljskega vidika so zelo pomemben element izgradnje verige HE novi odseki visokonapetostnih 110 kV daljnovodov, ki so lokalno iz-

vedeni kot vkopani kablovodi. Nekatere druge ureditve, npr. čistilne naprave za odpadno vodo, se uvrščajo bodisi v državno bodisi v lokalno infrastrukturo, kar se določi na podlagi dimenzij in pomena. Delitev stroškov med koncesionarjem in drugimi investitorji (ministrstva, občine, upravljavci infrastrukture) se za vsako HE določi s posebnim elaboratom (za HE Blanca: Širca in Barbič, 2006).

Na odseku spodnje Save do HE Krško bo velik del brežin zaščiten s skalometno oblogo debeline 30 do 50 cm. Razlog za to so železniška proga, lokalna cesta na levem bregu in glavna cesta Celje–Krško na desnem bregu, ki se izmenično približujejo bregovom Save. Na posameznih, manj izpostavljenih odsekih savske brežine na območju bazenov Blanca in Krško je v skladu z naravovarstvenimi pogoji predvidena ohranitev brežine v naravnem stanju. Dolvodno od vseh HE, na tako imenovanem območju *spodnje vode*, je zaradi povečane erozijske moči reke na obeh bregovih potrebna težka skalometna zaščita, katere dolžina in debelina sta odvisni od lokalnih hidravličnih pogojev. Na odseku dolvodno od Krškega se ceste in železnica oddaljijo od bazena, zato so v bazenih Brežice in Mokrice predvideni odseki s skalometno zaščito brežin struge Save krajši.

Bazeni prvih štirih elektrarn se skoraj v celoti nahajajo v naravni strugi Save. Pri teh bazenih se poplavna zaščita zagotavlja z energetskimi nasipi, ki so hkrati tudi visokovodni. Bazena zadnjih dveh elektrarn Brežice in Mokrice v svojem večjem delu segata izven struge Save. Pri obeh bazenih so za nasipi obsežne poplavne površine na večinoma kmetijskih zemljiščih, ki se jih ne sme opustiti. Ukinitvev teh poplavnih površin bi namreč pomenila pospešitev in povišanje konice poplavnega vala in hkrati dvignila gladine visokih pretokov ob obstoječi NE Krško. Zaradi tega je v bazenih Brežice in Mokrice predvidena izvedba bočnih prelivov, ki bodo prevajali vode višje od ca. Q_{20} , nižji pretoki pa bodo ostali znotraj nasipov. Ob izgradnji obeh elektrarn bodo izvedeni tudi ukrepi za zaščito naselij pred poplavami.

Izgradnja bazenov verige HE vpliva na daljše odseke cestnega omrežja na obeh bregovih Save, predvsem v zgornjem delu verige do HE Krško. Koncesionarjeva pogodbeni obveza je tudi izgradnja dveh cestnih mostov in enega mostu za pešce. S tem namenom je že izveden most čez pregrado Blanca, še eden je predviden na območju bazena Mokrice. Brv za pešce je zgrajena pri kraju Orehovo na območju bazena Boštanj. Ideja

za že zgrajeni novi (severni) most obvoznice Krško je izšla iz potrebe po začasni premostitvi Save v času gradnje HE Krško in se je razvila v realen projekt v času lokacijskega postopka za HE Krško. Ta objekt je bil eden od ključnih elementov, ki so zagotovili podporo lokalnega prebivalstva projektu HE Krško.

Infrastrukturni in sočasno okoljski problem verige HE je tudi obstoječa NE Krško na bregu bazena Brežice, ki ima v Savi svojo pregrado za zagotavljanje hladilne vode. Novi bazen in posredno tudi drugi bazeni gorvodno bodo vplivali na obratovanje NE Krško z drugačnimi nivoji vode na vtoku in iztoku iz hladilnega sistema, z dinamiko koničnega obratovanja verige, s toplotnimi vplivi ter z izgubo dela samostojnosti pri obratovanju z jezom v Savi. Zaradi lege NE Krško v zgornjem delu bazena Brežice, kjer bodo vplivi jezov Brežice ob visokih vodah praktično ničelni, bo poplavna varnost NE Krško ostala nespremenjena. Posebna pozornost se pri načrtovanju bazena Brežice posveča ureditvam za prevajanje visokovodnega vala (bočni preliv, protierozijske zaščite), ki ne smejo poslabšati poplavnih razmer tako na območju lokacije NE Krško kot tudi na celotnem poplavnem območju zunaj nasipov bazena.

4 • OPIS POSAMEZNIH STOPENJ VERIGE HE

4.1 HE VRHOVO

Gradnja HE Vrhov je bila zaključena leta 1993, potem je gradnja verige HE zastala za več kot 10 let. Pregrada je situirana v km 778 + 027 reke Save in temeljena v glinenem

skrilavcu z lokalnimi plastmi peščenjaka (Elektroprojekt Ljubljana, 1988). Zajezitev Save se pretežno ustvarja v strugi, razen v skrajnem dolvodnem delu bazena, kjer je poplavljenja nižja terasa Vrhovskega polja.

Zajezitev vpliva na nižje ležeča območja mesta Radeče in na gladino izlivnega dela reke Sopot. Ta je ločena od zaledja z diafragmo, ki sega do neprepustne podlage, z obrežnim zidom (slika 2) ter z drenažo. Drenažna voda se zbira v črpališču in vrača v reko. Ob izvedbi navedenih zaščit sta bila potrebna rekonstrukcija dela kanalizacijskega omrežja Radeč ter rušenje nekaj



Slika 2 • Brežine regulirane Sopot v Radečah



Slika 3 • HE Boštanj iz ptičje perspektive

starejših objektov. Poleg manjšega posega na sicer redno poplavljeni lokalni cesti je bil edini večji infrastrukturni problem glavna železniška proga Ljubljana–Zagreb. Na tej so bili potrebni posegi na nekaj prepustih, zaščita železniškega nasipa pred izpiranjem finih delcev, manjši posegi na podpornih zidovih ter na mostnih stebrih v Zidanem Mostu.

4.2 HE BOŠTANJ

HE Boštanj se nahaja v km 769 + 677 reke Save (slika 3) in je temeljena na dolomitnem apnencu in razpokanem dolomitu ter na enem tektonskem bloku (Elektroprojekt Ljubljana, 1988).

Glavni posegi v infrastrukturo vzdolž bazena Boštanj so bili potrebni na progi Ljubljana–Zagreb, in sicer na več odsekih glavne ceste in lokalnih cest ter na manjših bivalnih in drugih urbaniziranih površinah. Posegi na železnici se delijo na tri značilna območja. Najbolj dolvodnih 2800 m proge leži za energetskim nasipom, zato sta bila potrebna le gradnja drenažnega kanala in njegov izpus v spodnjo vodo. Naslednjih 1300 m železniškega nasipa je neposredno izpostavljenih nihanju gladine v bazenu, zato je bila potrebna izvedba zaščite pred izpiranjem ter obnova prepustov in mostov. Na skrajno gorvodnih 1600 m so se le rekonstruirali prepusti in v njihovi bližini zaščitile brežine Save. Na cestnem omrežju je bila potrebna gradnja 1100 m nove lokalne ceste in rekonstrukcija 2200 m glavne ceste s pripadajočimi prepusti, mostovi, podpornimi in zaščitnimi zidovi. Do glavnega vpliva na poselitev je prišlo pri vasi Kompolje, kjer so se rekonstruirali kanalizacijski sistem in vodna črpališča, celotno naselje pa je obdano z injekcijsko zaveso, znotraj katere se varni nivo podtalnice vzdržuje z drenažnim sistemom, katerega sestavni del je tudi črpališče za prečrpavanje vode v Savo.

4.3 HE BLANCA

Pregradni profil HE Blanca se nahaja v km 760 + 627 reke Save, nekaj 100 m gorvodno od vasi Blanca na levem bregu. Temeljna podlaga je sestavljena iz plasti krednega fliša. Izmenjujejo se sloji lapornih apnencev, apnenca z roženci, apnenčastega peščenjaka, laporja in lapornatega skrilavca, kar je predstavljalo dokaj zahtevne pogoje za izvedbo in temeljenje objekta (IBE, 2005).

Značilnost HE Blanca je most za lokalni promet, ki prečka Savo na dolvodni strani pregrade (slika 4) in je temeljen na desni dolvodni krilni zid, na stebre med agregati ter na stebre prelivnih polj.

Bazen Blanca sega na gorvodni strani do HE Boštanj. Reka na tem odseku teče med razmeroma gosto poseljenimi bregovi med Sevnico in Blanco. Levi breg bazena gorvodno od HE Blanca predstavlja 2000 m dolg klasičen zemeljski nasip na območju Dolnjega Brezovškega polja ter približno 1150 m nadvišanega kmetijskega zemljišča na območju Kračnice, katerih krona je v obeh primerih na koti 175,70 m n. m. Nasip je tesnjen do neprepustne podlage, za območje Kračnice pa je bilo prvotno predvidena netesnjena izvedba, vendar se je zaradi zaščite železnice naknadno podaljšala zavesa na območju celotnega Gornjega Brezovškega polja.

Na desnem bregu je na bregovih bazena več nadvišanih kmetijskih območij, ki so izvedena po enakih principih kot že omenjeno odlagališče Kračnica: obveza po ohranjanju velikosti in kakovosti kmetijskih površin, čim krajše obdobje izvedbe (zaradi minimiziranja izpada kmetijske proizvodnje) ter čim manjša oddaljenost od virov deponijskega materiala. Dolvodno od HE Blanca je izvedenih 2500 m poglobljanja struge, ki zagotavlja dodaten energijski padec (brez poglobljanja bi bil izgubljen zaradi opustitve vmesne stop-

nje verige HE Brestanica) ter hkrati povečuje poplavno varnost vasi Blanca.

4.4 HE KRŠKO

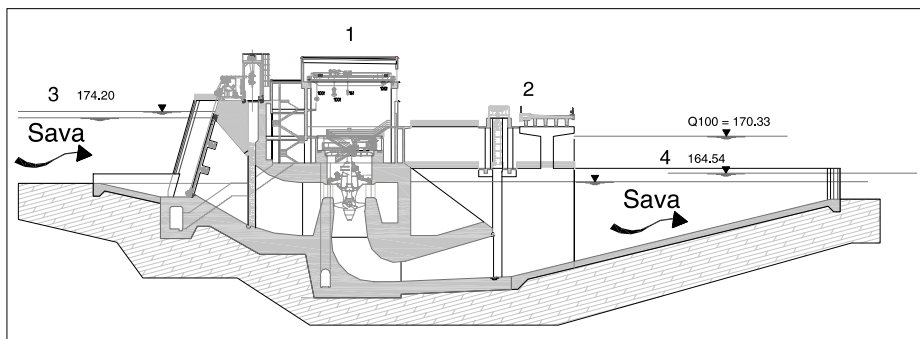
Pregradni profil HE Krško je lociran v km 751 + 575 reke Save, v bližini zaselka Sotelsko na levem bregu (IBE, 2006b). Temeljna hribina je zgodnje triasni dolomit, prekrit z rečnimi sedimenti kvartarne starosti. Problematika plitvih lokalnih prelomov z zdrobljenimi in pretrtimi conami v generalno masivni hribini se v času gradnje rešuje na različne načine, ki bodo prikazani v posebnem prispevku. V zvezi z geologijo temeljnih tal velja omeniti še pričakovano zahtevno poglobljanje dolvodne struge vzdolž mesta Krško, ki se bo izvajalo v dolomitni hribini od 3. do 5. kategorije izkopa.

Zaradi unifikacije strojnic HE Blanca in HE Krško sta objekta poenotena vizualno in v bistvenih dimenzijah. Edina razlika je višina strojnične hale, ki je pri HE Krško višja za 1,2 m. Objekta sta unificirana tudi z vidika hidromehanske opreme prelivnih polj in razen nekaterih manjših izjem tudi z gradbenega vidika izvedbe prelivnih polj.

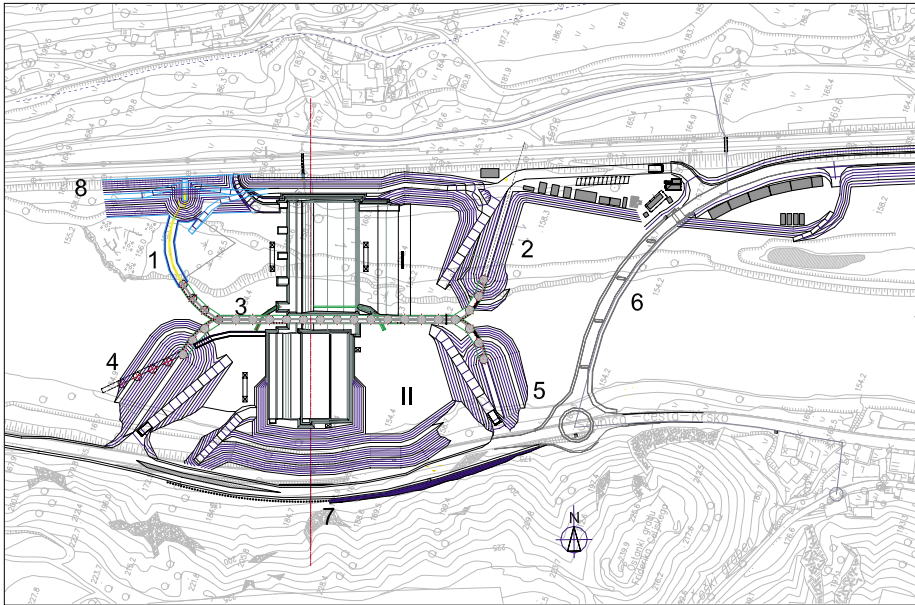
Gradnja HE Krško poteka v dveh gradbenih jamah (slika 5), kar je potrebno zaradi ozkega pregradnega dolinskega profila. V prvi gradbeni jami so bila med oktobrom 2007 in junijem 2009 zgrajena 4 prelivna polja in pripadajoče ureditve na levem bregu (slika 6). Dela v drugi gradbeni jami so se začela v juniju 2009 in bodo potekala do konca gradnje v letu 2012. V tej jami bo zgrajeno 5. prelivno polje in strojnica s pripadajočimi ureditvami na desnem bregu. Zaradi dveh faz gradnje je čas izvedbe HE Krško v primerjavi z drugimi stopnjami podaljšan za več kot eno leto.

Najopaznejši ukrep na območju bazena Krško bo sanacija kmetijskih površin zaradi dviga gladine Save na območju Pijavškega polja, ki je uglašen tudi z delnim povečevanjem poplavne varnosti območja. Oba ukrepa sta bila usklajena tudi z deli v spodnji strugi (poglobljanje, lokalno širjenje), od koder se predvideva transport dela potrebnih količin materiala za nadvišanje polja. Četrta učinek razmeroma obsežnih zemeljskih del v strugi Save bo povečana poplavna varnost Krškega, kjer bo gladina pri Q_{100} znižana za ca. 50 cm.

V samem bazenu Krško je bil predviden največji poseg v strugo (oz. širitev) na desnem bregu Pijavškega polja, medtem ko naj bi levi breg zaradi okoljevarstvenih zahtev ostal v čim naravnejšem stanju. Zaradi delnih sprememb projektnih izhodišč, predvsem želje in potrebe



Slika 4 • Vzdolžni prezek preko strojnice HE Blanca; 1 – strojnica; 2 – cestni most; 3 – koda bazena (zaježive); 4 – koda spodnje vode (bazen Krško)



Slika 5 • Situacija gradbenih jam I in II za HE Krško (faza PGD); I, II – prva in druga faza gradnje; 1 – gorvodna začasna ločna pregrada; 2, 5 – dolvodna zaščitna pregrada; 3 – vzdolžni zaščitni vodnjaški zid; 4 – gorvodna zaščitna pregrada; 6 – novi most obvoznice Krško; 7 – deviacija glavne ceste; 8 – železnica

po kontinuirani večnamenski levoobrežni poti od HE Krško mimo Brestanice do Penka (Dolenji Leskovec), so v aktualni fazi PZI za bazen predvideni tudi nekoliko večji posegi v levi breg ter zaščita železnice.

4.5 HE BREŽICE

Predvidena lokacija HE Brežice je v km 738 + 492 reke Save, približno 1100 m gorvodno

od sotočja Save in Krke (IBE, 2007a). Tako strojnica (edina v verigi na levem bregu Save) kot prelivna polja naj bi bili temeljeni na plasteh laporovca, meljevca, peščenega laporja in peščenjaka, ki na tem območju tvorijo terciarno osnovo (Geološki zavod Ljubljana, 1985). Nad to osnovo so plasti gramoza ter deloma gramoza s peskom in meljem, površinske sloje pa tvorijo plasti melja, peska

in gline. Strojnica s tremi turbinami Kaplan bo podobnih dimenzij kot v Krškem in Blanci, medtem ko bo število prelivnih polj morda drugačno.

Značilnost HE Brežice so razmeroma dolgi nasipi na obeh bregovih, ki bodo temeljeni na podobni podlagi, kot je opisana pri strojnici, v tem primeru seveda na površinskih plasteh, ki jih sestavljajo kvartarne naplavine. Tesnitev nasipov in podlage je možna na več načinov, kar bo zahtevalo podrobno obravnavo in optimizacijo v času izdelave projektne dokumentacije. Zaradi ohranjanja aktivne vloge poplavnih površin v zaledju bodo nasipi predvidoma na dveh mestih (na vsakem bregu po eno) prekinjeni z bočnima prelivoma okvirne dolžine 140 m. Po prvotnih izračunih je bilo v času Q_{100} predvideno prevajanje ca. $500 \text{ m}^3/\text{s}$ preko zalednih površin za nasipi, vendar aktualne obdelave s tako imenovanimi *hibridnimi modeli* kažejo na tudi precej večje vrednosti, ki pa so še predmet optimizacije tehničnih rešitev. Hibridni modeli so kombinacija fizičnih in matematičnih hidravličnih modelov, ki bodo opisali območje poplavnih površin v zaledju HE Brežice in HE Mokrice, najprej v sedanjem in nato še v načrtovanem prihodnjem stanju. Ta način hidravličnega modeliranja se izvaja prvič v Sloveniji.

HE Brežice je načrtovana v okolju z intenzivno kmetijsko dejavnostjo, pa tudi z naravovarstveno pomembnimi vsebinami. Pri umeščanju bazena v prostor se zato posveča veliko pozornosti, da se vplivi na



Slika 6 • Zaključena dela v I. gradbeni jami HE Krško; zgrajena so 4 prelivna polja in križna zidova na levem bregu Save; stanje na 3. julij 2009



Slika 7 • Druga gradbena jama HE Krško, izvedba izkopov za strojnico; v ozadju levo – betoniranje prvih temeljnih blokov in izvedba drenažnih betonov, desno – zaščitni vodnjaški zid z ureditvijo odvodnjavanja, v ospredju levo – drenažno črpališče; stanje na 9. december 2009

oba vidika uravnatežijo, kar je zaradi velikosti bazena (bazena HE Brežice in HE Mokrice imata vlogo izravnalnega bazena za celotno prihodnjo verigo od HE Mavčiče) zelo zahtevno delo. Zaradi posegov na nekaterih naravovarstveno pomembnih površinah je predvidena izvedba obsežnih nadomestnih habitatov (mokrišča, vodne površine, gozdovi ...). Tudi bazen bo vseboval ureditve za razvoj različnih habitatov (plitvine, otok, zasaditve ...).

Na območju prihodnjega bazena Brežice je načrtovanih več rekreacijskih površin in turističnih objektov, tudi sama vodna površina bazena bo predstavljala velik rekreacijski, športni in turistični potencial.

4.6 HE MOKRICE

HE Mokrice je zadnja stopnja v verigi in se nahaja na mejnem odseku Save (IBE, 2007b). Tu na dolžini 3,6 km poteka meja med Slovenijo in Hrvaško po sredini reke. Na osnovi enakovredne delitve potenciala mejnega odseka so bile študirane različne variante:

- 1) HE Mokrice 1 s skrajno gorvodno lego, v celoti na slovenskem ozemlju (ca. 400 m gorvodno od začetka mejnega odseka);
- 2) HE Mokrice 2 z lego približno na polovici mejnega odseka;
- 3) HE Mokrice 3 med lokacijama 1 in 2 (tik nad izlivom Sotle na levem bregu);
- 4) HE Mokrice 4 z jezom v profilu HE Mokrice 1, ca. 2,5 km dolgim dovodnim kanalom ter strojnico na desnem bregu

Tako na podlagi tehnično-ekonomske analize kot zaradi praktičnih lokacijskih problemov obmejnega prostora je v sedanji fazi razvoja projekta izbrana varianta 1. Zaradi možne zahteve po polni izravnavi pretoka (naravnem odtoku) v mejnem profilu je bila študirana tudi varianta z inštaliranim pretokom 350 m³/s, vendar je za nadaljnje obdelave privzeta koncesijsko določena varianta 500 m³/s, ki edina zagotavlja polno izkoriščenost potenciala v vseh pogojih.

Jezovna zgradba in strojnica sta podobni gorvodnim objektom, vendar s specifičnimi

prilagoditvami morfološkim, geološkim in hidrološkim pogojem lokacije. Temeljena bo na slojih glinenca, laporja, peščenjaka, peščenega laporja in laporovca, ki so prekrti z nekaj metri kvarternih (deloma peščenih) prodov in s površinskim slojem peščenih meljev in gline. Izdelana je bila tudi študija izvedljivosti podaljšanja plovnosti Save od sedanje končne točke v Sisku do Slovenije, in sicer z variantama pristanišč dolvodno od pregrade Mokrice v bazenu Mokrice in celo v bazenu Brežice. Tovrstni razvojni načrti za novi cestno-železniško-rečni logistični center ob državni meji dajejo projektu spodnjesavske verige tudi povsem nov, večnamenski značaj. Dolvodno od HE Mokrice je predvideno poglobljanje struge v dolžini 2,5 km, s katerim se kompenzirajo izgube zaradi prve dolvodne zaježitve na Hrvaškem – HE Podsused. Po drugi strani je ob bazenu Mokrice – analogno kot ob bazenu Brežice – predvidena ohranitev zalednih poplavnih površin Dobovškega polja, katerih naloga je zmanjševanje poplavnih konic.

5 • OKOLJSKA PROBLEMATIKA

Na delu verige gorvodno od HE Krško so bila najaktualnejša okoljska vprašanja ohranjanje kmetijskih površin v pogojih dviga gladine Save, ohranjanje ribje populacije in njene migracije ter ohranjanje tipične obrečne krajine. Dolvodno od HE Krško so glavni problemi povezani s premeščanjem plavin in z vplivi bazenov na podtalnico, zelo zahtevno pa je tudi reševanje prevajanja poplavnih valov in s tem povezane varnosti NE Krško (Hudoklin, 2005).

Kmetijske površine najboljše kakovosti pokrivajo velika območja na obeh bregovih Save, zato se je vsak od bazenov obravnaval specifično, pri čemer so bile upoštevane potrebe po dvigu terena, možni namakalni ali drenažni ukrepi ter populacijski in sociološki vplivi morebitnih sprememb lastništva obdelovane zemlje. Določen je bil kriterij dviga terena 1,5 m nad bodočo gladino podtalnice, ki omogoča tudi kasnejši razvoj namakalnih sistemov in predvsem ustreza vsem kulturam. Določena sta bila način izvedbe in struktura prihodnjih kmetijskih površin na dvignjenih tleh, potrebni materiali zanje se zagotavljajo z vzdolžnimi in prečnimi izravnavami mas. Velika pozornost

se posveča gospodinjstvom oz. kmetijam, ki so eksistencialno odvisne od kmetijske proizvodnje. Če je treba, so takšnim kmetijam ponujena tudi nadomestna zemljišča.

Izhajajoč iz kompleksne študije ribje populacije (Zavod za ribištvo, 2004), je bil sprejet sklep o nujni gradnji prehodov za vodne organizme na vseh stopnjah verige. Sočasno so bile dane tudi zahteve po oblikovanju drstišč v nekaterih pritokih, po ohranitvi naravne oblike izlivnih delov nekaterih savskih pritokov ter po ohranitvi daljših odsekov naravnih brežin brez klasične skalometne zaščite. V času nastanka tega članka je bila praktično zaključena gradnja bazena Blanca vključno s preходом za vodne organizme v pretežno sonaravni obliki ter v zadnjih pripravah gradnja bazena Krško. Pri bazenih Vrhovo in Boštanj so bili predvideni in izvedeni drugačni ukrepi za ustvarjanje pogojev za življenje ribje populacije (umetno drstišče pri HE Vrhovo, prehod za vodne organizme na Mirni), ki sta bila zgrajena oz. zasnovana pred odločitvijo o zagotavljanju ribjih migracij s prehodi ob zgradbah jezov.

V izdelavi je revizija študije premeščanja plavin, vendar so nekatera splošna dejstva

znana že vnaprej. Premeščanje rinjenih plavin (prodonosnost) je močno okrnjeno in se bo z izgradnjo verige predvidoma zmanjšalo na minimum oz. za dlje časa prekinilo. Vzrok za to so tako nove pregrade kot tudi vodnogospodarski in drugi ukrepi za zmanjševanje erozije v povodju. Po drugi strani se pričakuje relativno nemoteno premeščanje lebdečih plavin vzdolž bazenov verige ter njihovo usedanje predvsem v zadnjih dveh (plitvejših) bazenih. Za obvladovanje tega usedanja so predvideni različni ukrepi, od (hidravlično) kontroliranega usedanja do čiščenja, pri čemer se lahko odlagališča usedlin formirajo znotraj ali zunaj prihodnjih bazenov.

Deset do petnajst metrov globoki aluvialni vodonosnik Krško-Brežiškega polja na območju prihodnjega bazena HE Brežice predstavlja eno od največjih slovenskih podzemnih zalog vode. Dopolnjuje ga – čeprav ne neposredno povezan – globinski termalni vodonosnik Čateškega polja na območju bazena Mokrice, ki ima v tem trenutku predvsem turistični potencial. Na podlagi več študij vpliva bazenov na podtalnico je izražena zahteva po ločitvi bazenov od vodonosnikov. Takšna rešitev preprečuje izgube iz bazenov, s sistemom drenažnih kanalov obvladuje gladine podtalnic v zaledju ter v določenih razmerah tudi ščiti podtalnico pred onesnaženjem.

6 • SKLEP

Projekt verige HE na spodnji Savi je v tem trenutku eden od največjih infrastrukturnih in energetskih projektov v Sloveniji. Sočasno je eden od najboljšejših hidroenergetskih projektov v tem delu Evrope, ki ima realne

možnosti za širitev tako na višjeležeči odsek srednje Save kot tudi navzdol na Hrvaško, kjer se načrtuje podobna veriga dodatnih štirih HE (Podsused, Prečko, Zagreb, Drenje). Optimistična pričakovanja temeljijo na aktual-

nem stanju intenzivnih gradbenih del, ob katerih se pridobivajo izkušnje in priporočila ter šolajo kadri pri vseh udeležencih: investitorjih, inženirjih, izvajalcih in projektantih. Dosedanja izvedba treh večnamenskih objektov vsekakor lahko služi kot uspešen vzorec za podobne projekte doma kot tudi v tujini.

7 • ZAHVALA

Avtorji se zahvaljujejo investitorju verige HE na spodnji Savi, družbi Hidroelektrarne na spodnji Savi (HESS) ter JP Infra kot izvajalcu ureditev infrastrukture na območju spodnje Save za dovoljenje za objavo prispevka.

8 • LITERATURA

- Barachini, J., Peternel, J., in skupina avtorjev, Ukročena lepota: Sava in njene zgodbe, Monografija, 268 str., Sevnica: Javni zavod za kulturo, šport, turizem in mladinske dejavnosti, 2009.
- ELEKTROPROJEKT LJUBLJANA, Hydro power plants on the Sava and Mura rivers, Feasibility report, Volume 2: Hydro power plants on the Sava river, Technical solution, 1988.
- FGG-KM Tek, Recenzija elaboratov o pretočnosti pri visokih vodah Save v povezavi s HE Krško, Recenzija, FGG, Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem, 2007.
- GEOLOŠKI ZAVOD LJUBLJANA, Problems of geology and geomechanics in construction of a chain of run-of-river power plants on the Sava river from Zidani most to Mokrice, Study, 1985.
- Hudoklin, J., Prostorski in okoljski vidiki načrtovanja hidroelektrarn, Slovenski vodar, št. 16, 2005.
- IBE, HE Blanca, Idejni projekt, Naročnik HSE, št. projekta IBBL-A200/018A, 2005.
- IBE, HE Krško, Pretočnost Save pri visokih vodah v odseku ureditev HE Krško – opredelitev projektnih hidravličnih osnov za HE Krško, Ekspertiza, št. projekta IBKK-A200/019A, 2006a.
- IBE, HE Krško, Idejni projekt, Naročnik HSE, št. projekta IBKK-A200/019A, 2006b.
- IBE, HE Brežice, Idejne rešitve, Naročnik HSE, št. proj. IBBR- A200/037A, 2007a.
- IBE, HE Mokrice, Idejne rešitve, Naročnik HSE, projekta IBMK-A200/037B, 2007b.
- IEA, Hydropower and the Environment, Present Context and Guidelines for Future Action, IEA Technical Report, Volume I, Summary and Recommendations, International Energy Agency, 2000.
- IHA, Sustainability Guidelines, Draft, International Hydropower Association, 2003.
- INŠTITUT ZA VODE, Hidrološka študija reke Save na odseku HE Boštanj, HE Blanca, HE Krško, HE Brežice, HE Mokrice, Študija, naročnik IBE, 2002.
- IZIIS, Analiza seizmičnega hazarda i projektnih seizmičnih parametrov za HE Vrhovo (izveštaj 81–17), 1981.
- IZIIS, Analiza seizmičnega hazarda i projektnih seizmičnih parametrov za HE Boštanj (izveštaj 81–136), 1982.
- IZIIS, Analiza seizmičnega hazarda i projektnih seizmičnih parametrov za HE Blanca (izveštaj 85–50), 1985a.
- IZIIS, Analiza seizmičnega hazarda i projektnih seizmičnih parametrov za HE Brežice in HE Mokrice (izveštaj 84–124), 1985b.
- ŠIRCA, A., BARBIČ, B., A multipurpose Lower Sava river project in Slovenia: Examples of the Blanca and Krško cascades, Dams and reservoirs, societies and environment in the 21st century Proceedings of the International Symposium on Dams in the Societies of the 21st century, ICOLD-SPANCOLD, Barcelona (pp 385–392), Taylor & Francis, ISBN 0-415-40423-1, 2006.
- ZAVOD ZA RIBIŠTVO SLOVENIJE, Ihtiološke raziskave reke Save od HE Vrhovo do HE Krško, Študija, naročnik HSE, 2004.
- 2009 World Atlas and Industry Guide, The International Journal on Hydropower & Dams. Aqua ~ Media International, Wallington, Surrey, UK, 2009.

INTEGRIRANO TIMSKO DELO ZA CELOSTNO ZASNOVO STAVB

INTEGRATED TEAMWORK FOR THE WHOLE-BUILDING DESIGN

Matic Ožbolt, univ. dipl. inž. grad.

SPINA Novo mesto, d. o. o., Resslerova 7 a, 8000 Novo mesto

dr. Tomo Cerovšek, univ. dipl. inž. grad.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,
IKPIR, KGI, Jamova 2, 1000 Ljubljana

Strokovni članek

UDK: 624:65.012.2:69

Povzetek | Integriran pristop k celostni zasnovi gradbenih objektov se po svetu uveljavlja kot odgovor na vse ostrejšše zahteve za gradbene objekte, ki jih narekujejo obsežni standardi, zahtevni uporabniki, svetovna finančna in energijska kriza ter zavedanje o potrebi po trajnostni gradnji. Pri tem se izpostavlja odločilna vloga integriranih interdisciplinarnih projektnih skupin, v katerih strokovnjaki različnih strok sodelujejo že v uvodnih fazah projekta. Pri integriranem pristopu za celostno zasnovano gradbenih objektov se izdelajo rešitve, ki omogočajo lažjo in cenejšo izvedbo ter vzdrževanje objektov, pri tem pa so zagotovljeni vsi bistveni kriteriji ob manjših vplivih na okolje ter večji kakovosti bivanja in zadovoljstvu uporabnikov. V okviru integrirane projektne skupine lahko poleg tega strokovnjaki tudi bolje udeležijo svoje osebne in strokovne potenciale v dobro vseh udeleženi v gradbenih projektih. V prispevku podrobneje obravnavamo integrirano timsko delo za celostno zasnovano gradbenih objektov z bistvenimi komponentami: organizacija strokovnih vlog, glavne faze zasnove ter rezultate integriranega načrtovanja. V tem kontekstu so na praktičnem primeru opisani tudi principi trajnostne gradnje, ki sodi med ključne smernice razvoja načrtovanja in gradnje objektov. V drugem delu prispevka je tako prikazan program projektno zasnovanega učenja za integrirano timsko delo PBL, Univerze v Stanfordu, pri katerem že 11 let sodelujemo na UL FGG IKPIR. Bistvo programa je, da študenti sodelujejo v mednarodnih integriranih projektnih delovnih skupinah arhitektov, konstruktorjev, strojnikov in tehnologov menedžerjev, ki izdelajo projekte na osnovi principov celostne zasnove. Kot študijo primera predstavljamo projekt, ki je zmagal na natečaju za najboljši projekt trajnostne gradnje, ki sta ga v letu 2008 za študente razpisala Univerza Stanford in podjetje Swinerton, ki sodi med vodilna podjetja za trajnostno gradnjo v Kaliforniji in ZDA.

Summary | Integrated design practice for the whole building design is an approach that emerged as a response to the increasingly demanding requirements for buildings, which must comply with voluminous standards, client needs, and global financial and energy crises. In this approach, a decisive role is attributed to the integrated project delivery in which project stakeholders of different professions start to participate very early in the building design process. The approach results in design solutions that are: better in terms of constructability, design and construction time, budget, and life-cycle costs. At the same time the impact on the environment is minimized and the building end-users comfort is maximized to the optimal level. The practitioners that participate in the integrated practices are being able to make the most of their potentials, competencies and to contribute to a common good of all project stakeholders. In this paper an overview of the integrated design for the whole-building design is presented with the following main components: team organization, processes and outcomes. Additionally, the paper details basic principles of sustainable design as one of the most challenging issues for the future of design in building projects. In the last part of the paper we give an overview of project based learning course – Stanford PBL that educates

future professionals for integrated practices. The University of Ljubljana have been participating in PBL with its students for the last 11 years. We also present an awarded project that won »Swinerton sustainable design challenge« organized in 2008 by Stanford University and Swinerton builders, one of the leading experts for sustainable construction in US.

1 • UVOD

1.1 Problematika celovitega načrtovanja stavb

Načrtovanje (projektiranje) je v enaki meri reševanje danih problemov, kot je ustvarjanje novih problemov ((Lawson, 1997), (Cerovšek, 2010)). Investitor s svojimi zahtevami najprej definira začetni načrtovalski problem, ki se med načrtovanjem interpretira v načrtovalsko rešitev. Za gradbeništvo je značilno, da rešitve ene stroke ustvarjajo načrtovalske probleme za drugo stroko in obratno. Na primer *arhitekturna rešitev ustvari problem za konstruktorja, konstrukcijska rešitev lahko znova predstavlja načrtovalski problem za arhitekta in druge itd.* V prispevku obravnavamo *konvergenco načrtovalskega procesa* celostnega pristopa k načrtovanju, ki sloni na integriranem pristopu deležnikov gradbenega projekta, ki mora zadovoljiti zahtevam trajnostne gradnje.

V splošnem lahko razumemo načrtovanje kot proces, ki se konča z rešitvijo, ki je ni mogoče (ali je ne želimo) več spreminjati zaradi finančnih, časovnih, fizičnih in drugih kriterijev, ki jim je načrtovalec zadostil. Pri tem si želimo, da so načrtovalske rešitve takšne, da grajeni objekt ugodno vpliva na bivanje človeka, na porabo finančnih in materialnih virov skozi celoten življenjski cikel stavbe ter da projekt ne povzroča trajnih posledic na okolje oziroma da so ti vplivi kar se da majhni, rešitve pa optimalne. Za konvergenco načrtovanja sta bistvena:

- *proces graditve* in
- *trajnostna gradnja*.

Proces graditve pri celostni zasnovi obravnavamo glede na tri glavne faze gradbenega projekta:

- pred gradnjo,

- med gradnjo in
- po gradnji.

Trajnostno gradnjo lahko opredelimo na osnovi definicije trajnostnega razvoja Združenih narodov iz leta 1980: »Trajnostni razvoj je razvoj, ki zadovoljuje sedanje potrebe, brez da bi onemogočili zadovoljevanje potreb prihodnjih generacij.« Če to definicijo prenesemo v gradbeništvo, lahko zapišemo: »*Trajnostna gradnja zadovoljuje sedanje potrebe po gradbenih objektih brez trajnih posledic na okolje*«.

1.2 Vloga integriranega pristopa v načrtovanju

Načrtovanje gradbenih objektov obsega raznoliko in široko področje arhitekturnih, inženirskih in tehničnih storitev. Pri načrtovanju objektov sodeluje veliko strokovnjakov, ki poskušajo priti do načrtovalskih rešitev, ki bodo ustrezale funkcionalnim, oblikovnim in tehničnim zahtevam. Udeleženci tako prihajajo iz različnih strokovnih področij in imajo različne strokovne poglede na načrtovalske probleme, kar pogosto vodi do nasprotujočih ciljev. Pri strokovnem delu je pomembno, da se stroke ne izključujejo. Nasprotujoči cilji onemogočajo usklajeno reševanje načrtovalskih problemov, saj rešitve ene stroke ustvarjajo nove probleme za (ali pa onemogočajo obstoječe rešitve) druge stroke. Z drugimi besedami: *načrtovalska konvergenca je izredno nizka*.

Težave se torej pojavijo pri usklajevanju rešitev. Nasprotujoča strokovna mnenja lahko pripeljejo tudi do slabših odnosov in nezadostne interdisciplinarne komunikacije projektne delovne skupine. Posledica slabega delovanja projektne delovne skupine se odraža na *projektu*

kot celoti. Rešitve postanejo neuskklajene do te mere, da so lahko posledice celo katastrofalne ali pa negativno vplivajo na kakovost bivanja in učinkovitost objektov.

V prispevku obravnavamo možno rešitev predstavljenega problema s pomočjo celostne zasnove stavb, ki predvideva skupen, integriran pristop različnih strok k zasnovi objektov. Integriran pristop omogoča, da bo več ciljev zasnove obravnavano z ustrežno težo. Na ta način lahko dosežemo, da so objekti obravnavani celovito in ne kot skupek posameznih delov. Rešitve tako postanejo bolj uravnotežene in optimalne glede na razpoložljive vire. Gradbeni objekti, ki so načrtovani na ta način, najbolje služijo svojemu namenu: to je *uporabnikom*.

1.3 Hipoteza

Trdimo, da je *konvergenca načrtovalskega procesa* s pomočjo *integriranega pristopa* k celostni zasnovi hitrejša, projekti so uspešnejši, tudi v smislu zadovoljevanja potreb uporabnikov in trajnostne gradnje. Z uporabo integriranega pristopa je mogoče izdelati boljše rešitve, nov način dela pa zahteva nova znanja in organizacijo.

1.4 Struktura prispevka

Naslednja tri poglavja imajo enako, tridelno, strukturo: (1) organizacija, (2) proces in (3) rezultati. V poglavju 2 predstavljamo celostno zasnovo, v poglavju 3 integrirano timsko delo in v poglavju 4 študijo primera integriranega timskega dela za celostno zasnovo, ki poteka kot del študijskega programa PBL na Univerzi v Stanfordu, pri katerem sodeluje tudi Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani.

V sklepnem delu prispevka analiziramo obstoječe stanje, prednosti integriranega pristopa in celostne zasnove ter podajamo pregled pogojev za uvajanje prikazanega pristopa.

problemov, s katerim je mogoče zasnovati visokoučinkovite stavbe. Tako načrtovanje stavb ustreza naslednjim kriterijem:

- *Estetska vrednost objekta* zahteva obravnavo notranjosti in zunanosti objekta in vidnih sistemov stavbe v smislu estetske

2 • CELOSTNA ZASNOVA

2.1 Organizacija in definicija celostne zasnove

Slovar slovenskega knjižnega jezika definira zasnovu kot »*narediti, izdelati osnovni, temeljni*

načrt za kaj, osnutek česa«. Celostna zasnovo gradbenih objektov je pristop k zasnovi objektov oziroma način reševanja načrtovalskih

vrednosti, pojavnosti, umestitve objekta v prostorski in socialni kontekst.

- **Stroškovna uspešnost projekta** je mera za smotrno porabo sredstev skozi celoten življenjski cikel gradbenega objekta (pred gradnjo, med gradnjo in po gradnji).
- **Varnost in zanesljivost** opredeljuje dva bistvena kriterija: osebno varnost in varnost pred poškodbami (zanesljivost objekta).
- **Dostopnost** mora omogočiti enakovredno uporabo objekta vsem uporabnikom, pri tem je treba odstraniti vse arhitekturne ovire, ki preprečujejo cirkulacijo zunaj in znotraj objekta. Zagotoviti je treba fleksibilnost prostora in možnost sprememb v celotnem življenjskem ciklu objekta.
- **Funkcionalnost** zagotavlja ustrezno osnovno namembnost objekta z možnostjo spremembe namembnosti. Tehnološki napredek, demografske spremembe in zahteve po inovativnosti spreminjajo delovno okolje in način dela, čemur se mora gradbeni objekt prilagajati.
- **Produktivnost in udobje** uporabnikov vključuje zagotavljanje zdravja in dobrega počutja, ki bistveno prispevajo k občutju ugodja uporabnika in s tem tudi posredno k njegovi večji učinkovitosti.
- **Varovanje kulturne dediščine** zagotavlja ustrezne ukrepe, ki so potrebni za ohranjanje kulturne dediščine, na katero vplivajo naši posegi v grajenem okolju.
- **Trajnostna gradnja** zmanjšuje posledice človekovega delovanja na okolje in odgovarja na čedalje večje povpraševanje po objektih, ki imajo minimalen vpliv na okolje. S celotno zasnovo je namreč moč priti do rešitev, ki bodo v večji meri udeležale principe trajnostne gradnje.

Pri celostnem pristopu rešujemo probleme z integriranim procesom, ki ga tvorita dve glavni komponenti (WBDG, 2008):

- **Integrirane zahteve.** Vsak član projektne skupine mora v začetni fazi projekta natančno raziskati projektne zahteve in jih jasno predstaviti drugim članom projektne delovne skupine. Zahteve vseh projektantov morajo biti nato usklajene v skupnih projektih ciljih, ki uspešno povežejo vse projektne zahteve v obliki kriterijev. Bistveno je, da se cilji skozi proces zasnove dosledno upoštevajo ter da se kriteriji uspeha projekta ne spreminjajo. Vsak izmed projektantov natančno ve, kje se njegovo področje prekriva z drugimi, zato poskuša priti do rešitev s skupnimi močmi.
- **Integriran timski proces.** Celotna zasnova v praksi zahteva tudi integriran timski

proces, v katerem deležniki gradbenega projekta sodelujejo skozi vse faze projekta ter skupaj stremijo k uresničitvi skupaj zastavljenih ciljev: nižji stroški, kakovost bivanja, učinkovitosti objekta, vpliva objekta na okolje, produktivnosti, kreativnosti ter udobja uporabnikov stavbe. Integriran timski proces poteka kontinuirano od začetnega posveta strokovnjakov, postavitve zahtev skozi izdelavo projekta, gradnjo do obratovanja.

2.2 Proces celostne zasnove

Zasnova objekta je pri dobro definirani projektne nalogi odvisna od vrste objekta, udeležencev, finančnih virov in časa.

Angažiranje udeležencev v celostni zasnovi.

Celotna zasnova zahteva, da ključni deležniki projekta sodelujejo pri razvoju projekta že v zgodnjih fazah. Razloge za tak način dobro ponazarja krivulja Macleamy-Tibett (slika 1), ki ilustrira možnost vplivanja na spremembe in stroške sprememb v odvisnosti od faz projekta. Zgodnja vključitev deležnikov v projekt omogoča večji vpliv na spremembe projekta, ko so stroški sprememb majhni.

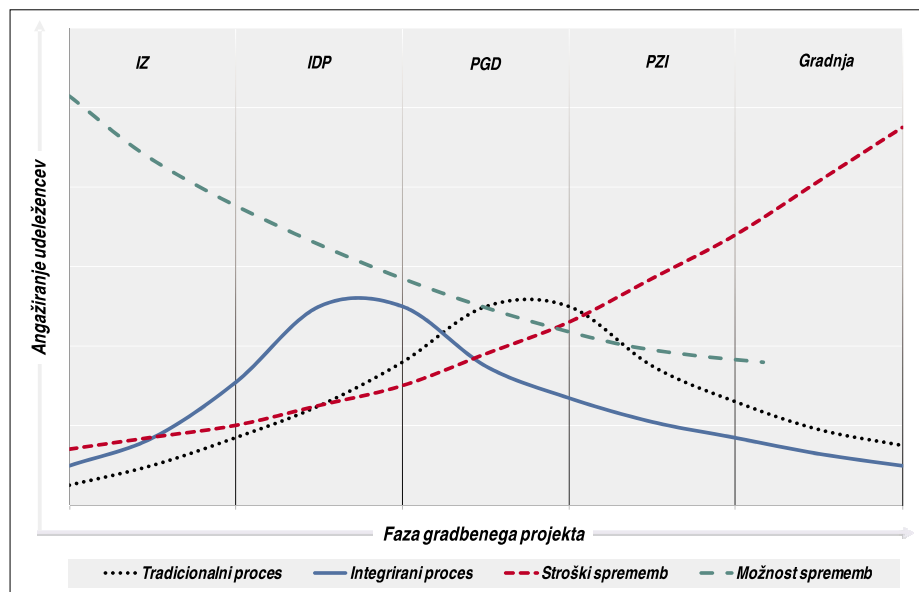
Krivulji sprememb. Zelena črtkana črta prikazuje *krivuljo možnih sprememb*, rdeča črtkana črta pa *krivuljo stroškov sprememb* načrtovalskih rešitev v odvisnosti od faze projekta. Možnosti za spremembe načrtovalskih rešitev se manjšajo s potekom projekta. Številne spremembe so sicer možne v poznejših fazah, vendar zahtevajo veliko količino dodatnega dela in s tem dodatnih stroškov. Na koncu

prekinjena krivulja možnosti sprememb ilustrira dejstvo, da nekaterih rezultatov projekta po določeni fazi ni moč več spreminjati ali pa so stroški sprememb preprosto previsoki. Načrtovalske rešitve, ki so sprejete s širšim strokovnim soglasjem, je lažje usklajevati in izvesti te spremembe.

Krivulji angažiranja. V današnji ustaljeni praksi se ključni deležniki angažirajo prepozno (tradicionalni proces – črna pikčasta črta). V kolikor že v uvodnih fazah projekta sodelujejo ključni deležniki projekta (integriran proces – polna modra črta), lahko ti vplivajo na ključne odločitve (povezane s spremembami na projektu) ob razmeroma majhnih stroških. S premikom krivulje angažiranja v levo bi bilo mogoče bistveno zmanjšati stroške sprememb, predvsem pa boljše zadovoljiti potrebe uporabnikov gradbenega objekta.

Celotna zasnova prinaša v načrtovanje spremenjeno dinamiko načrtovalskega procesa. Podajamo opis po obstoječih fazah projekta na osnovi priporočil Ameriškega združenja arhitektov (AIA) in inženirjev (ASCE) (AIA, 2007):

Idejna zasnova (IDZ) – od zahtev do ciljev zasnove. V začetku integriranega procesa je treba vzpostaviti skupne cilje in smernice razvoja projekta. V tej fazi je treba natančno preučiti lokacijo objekta ter fleksibilnost zahtev investitorja. Danosti lokacije in njene posebnosti so podlaga podrobnim projektним zahtevam, ki morajo omogočiti preveritev možnosti in omejitev. Na tem mestu je



Slika 1 • Macleamy-Tibbettova krivulja: angažiranje udeležencev v gradbenem projektu v fazah projekta; cilj integriranega timskega dela za celotno zasnovu je pravočasno angažiranje deležnikov v zgodnjih fazah projekta

treba natančneje določiti tudi cilje trajnostne gradnje, ki pokrivajo obsežno področje ekonomskih, ekoloških in socialnih kriterijev, ki določajo mero za uspeh projekta.

Idejni projekt (IDP) – *od ciljev do koncepta*. Delo temelji na podlagi vizije, ki je bila izdelana v prejšnji fazi. Pri tem je treba izpostaviti pomen intenzivnega raziskovanja, iskanja inovativnih idej, novih tehnologij, ki vodijo do optimalnejših rešitev. V okviru tega dela lahko strokovnjaki natančno analizirajo danosti in pasti lokacije objekta, poiščejo optimalne rešitve za umestitev objekta v okolje in odkrivajo povezave med strokami ter identificirajo morebitne dodatne zahteve strok. Območje raziskovanja ostaja široko, cilji in naloge pa morajo biti natančneje opredeljeni. Razviti je treba alternativne rešitve, ki odražajo znanja celotne projektne delovne skupine. Z analizo različic alternativ se izbere najboljši koncept glede na kriterije.

Projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja (PGD) – *od koncepta do sistemov stavbe*. V tej fazi je treba dokončati in ovrednotiti izdelane alternative, ki po podrobni analizi pripeljejo do izbire koncepta ter ne nazadnje odobritve izbranega koncepta s strani investitorja. Ocenijo se vsi relevantni kriteriji: arhitekturni, gradbeni, strojni in elektro sistemi, ter njihovo pričakovano obnašanje in vpliv. Pri tem je treba ugotoviti, v kolikšni meri dane rešitve zadovoljijo postavljene cilje in naloge. Na podlagi izbranih rešitev se izdelata PGD.

Projekt za izvedbo (PZI) – *od sistemov do komponent*. Projektno dokumentacijo za izvedbo pripravimo na podlagi PGD ter končnih izračunov ter na podlagi podrobnejšega opisa projekta. Za uspešen projekt se mora integracija, ki je bila vzpostavljena v prejšnjih fazah, ohraniti kljub vse večjim pritiskom zaradi iztekajočih se rokov. Treba je organizirati sestanke, ki omogočijo vključenost vseh deležnikov in potrebno diskusijo o morebitnih spremembah na projektu ter njihovi skladnosti z izvornimi načrtovalskimi rešitvami in nedokumentiranimi idejami.

Razpisna dokumentacija (PZR), gradnja in kontrola gradnje – *od zasnove do fizične realnosti*. Glavni deli zasnove objekta so do te faze že zaključeni. Potreben je premik iz abstraktnega sveta v realnost. Vodenje projekta prevzamejo njegovi izvajalci. Posebno pozornost je treba nameniti neizogibnim spremembam na projektu v času gradnje ter zagotoviti, da te spremembe ne posežejo v spremembo osnovne ideje zasnove. Potrebno je dobro sodelovanje med disciplinami, izvrševanje nadzora med gradnjo ter zaključna kontrola kakovosti izvedenih del.

Obratovanje objekta skozi celotno življenjsko fazo – *od realizacije do uporabe*. Izredno pomembna naloga projektantov objekta je, da njegove lastnike, uporabnike in vzdrževalce informirajo o pravilnem obratovanju ter uporabi objekta ter da dobijo povratno informacijo o načrtovalskih rešitvah. Treba je vzpostaviti sistem kontrole, ki omogoča sprotno spremljanje obnašanja objekta ter ukrepanje. Čez čas, med obratovanjem, je možno ugotoviti, ali sistemi zares obratujejo tako, kot je bilo predvideno v zasnovi in kakor so pokazale simulacije. V primeru neprimerne delovanja se poskuša izvesti ukrepe, ki skušajo optimizirati delovanje objekta. Te analize služijo projektantom tudi za prihodnje projekte, saj lahko s pridobljenimi izkušnjami in povratnimi informacijami v prihodnje izboljšajo svoje projekte.

2.3 Rezultati celostne zasnove

Načrtovalske rešitve morajo najprej zadostiti bistvenim zahtevam (mehanske odpornosti in stabilnosti; varnosti pred požarom; higienske in zdravstvene zaščite in zaščite okolice; varnosti pri uporabi; zaščite pred hrupom ter varčevanja z energijo in ohranjanja toplote).

Rezultati celostne zasnove vključujejo:

- idejne arhitekturne rešitve, osnovne dimenzije elementov, mehanizme prenosa obtežbe;
- analizo ekonomske učinkovitosti gradnje in obratovanja objekta;
- okvirno določitev stroškov skozi celoten življenjski cikel stavbe;
- integrirane lokacijske terminske plane in plane na osnovi modelov;
- analizo možnih tehnologij gradnje in posledic na okolje;
- informacijske modele stavb, ki imajo poleg geometrijskih podatkov še negeometrijske podatke;
- način komunikacije in protokole za izmenjavo informacij;
- specifikacijo potrebnih stopenj podrobnosti za posamezne faze projekta.

Pomemben vidik celostnega oblikovanja je obravnavan v (Kunič, 2008). Avtorja poudarjata, da je vpliv načrtovanja na stopnji planiranja največji, tj. na stopnji, ko je projekt tudi najcenejši, kar je tudi bistvo celostnega načrtovanja z vidika življenjske dobe materialov. Bistveno pomanjkljivost sedanje

Principi celostne zasnove	Prednosti
Celotna projektna delovna skupina je vključena v proces zasnove	<ul style="list-style-type: none"> • Manj neznanj v kasnejših fazah projekta • Sistemi gradbenih objektov so bolje integrirani • Vzpostavlja sinergijo med udeleženci od začetne faze • Zagotavlja optimalnejše načrtovalske rešitve • Neskladja med strokami se odkrivajo zgodaj
Kontinuirano sodelovanje članov projektne delovne skupine	<ul style="list-style-type: none"> • Vključuje učenje kot sestavni del dela na projektu • Omogoča izdelavo integriranih rešitev
Kriteriji uspeha projekta definirani v zgodnjih fazah projekta	<ul style="list-style-type: none"> • Zasnova je ciljno naravnana • Boljša usklajenost med člani projektne delovne skupine
Ponavljalni proces zasnove in sprotno vrednotenje rešitev	<ul style="list-style-type: none"> • Problemi se identificirajo v zgodnjih fazah projekta • Manj napak v zaključnih fazah procesa projektiranja
Celotno razmišljanje o projektu	<ul style="list-style-type: none"> • Spodbuja iskanje alternativnih integriranih rešitev • Preprostejša in transparentna optimizacija rešitev • Preprostejša in cenovno ugodna integracija trajnostne gradnje
Vrednotenje življenjskega ciklusa objekta (LCCA)	<ul style="list-style-type: none"> • Nižji stroški investicij, nabave in vgradnje • Stroški izgradnje uravnoteženi s stroški obratovanja objekta • Stroški obratovanja, energije, zamenjave in obratovanja • Stroški finančnih operacij (posojil in odplačevanja) • Omogoča ovrednotenje tudi »nemonetarnih stroškov« obratovanja

Preglednica 1 • Pregled rezultatov celostne zasnove

prakse avtorja vidita v predpisani vsebini projektne dokumentacije, ki je omejena na vzdrževanje in obratovanje objektov, medtem ko nista omenjena odstranjevanje in upravljanje z odpadki po koncu življenjske dobe. V procesu vrednotenja stroškov stavb z vidika dimenzioniranja toplotne izolacije, varčevanja z energijo, odločitve za odstranjevanje, recikliranje in deponiranje odpadkov ne vplivajo na stroške gradnje niti na naložbe. Tako ti stroški

niso niti regulirani, ampak celo zanemarjeni, čeprav niso vezani samo na življenjsko dobo objektov, ampak tudi na zaključek življenjske dobe materialov. Analiza življenjske dobe in vrednotenje ekonomske učinkovitosti objektov bi tako morala postati sestavni (predpisani) del projektiranja gradbenih objektov.

Cilj celostne zasnove objektov so visoko učinkoviti objekti, ki so energetsko učinkovitejši od običajnih objektov, zagotavljajo boljše bi-

valno okolje, večje udobje za uporabo ter so cenejši med obratovanjem in za vzdrževanje. Dodatno prednost prinaša celostna zasnova v sam proces zasnove objektov. Zaradi večje vključenosti članov v zasnovo je čutili timski duh, saj ima vsakdo izmed sodelujočih pomemben vpliv na skupne odločitve. Člani delovne skupine so spodbujeni k inovativnosti in iskanju integriranih rešitev. Prednosti celostne zasnove so dane v preglednici 1.

3 • INTEGRIRANO TIMSKO DELO

3.1 Definicija in organizacija integriranega projektiranja

Integriran proces označuje delo *interdisciplinarnih projektne delovne skupine strokovnjakov, ki vodi do boljših rešitev*. Za to sta potrebna skupna vizija celotne integrirane delovne skupine in razumevanje projekta kot celote, ne kot delno (moteče) povezanih načrtovalskih problemov.

Integrirano načrtovanje omogoča udejanjenje celostnega pristopa k zasnovi objektov. Cilji integriranega pristopa so visokoučinkoviti gradbeni objekti z vidika ekoloških in socialnih kriterijev, ob tem pa je treba upoštevati razpoložljive vire. Integrirani proces (Zimmerman, 2007) poteka skozi vse faze, vključno z obratovanjem. Za uspešno integrirano fimsko delo sta bistvena dva kriterija:

- *angažiranje* in
- *vodenje*.

Angažiranje. Integriran pristop lahko opišemo z naslednjimi značilnostmi:

- investitor ima večjo vlogo v projektu, saj definira začetni načrtovalski problem delovne skupine;
- vlogo vodje projektne delovne skupine v začetni fazi prevzame arhitekt, kasneje pa je lahko vloga tudi deljena;
- gradbeni in strojni inženirji ter inženirji elektrotehnike se intenzivneje vključijo v ožjo delovno skupino že v zgodnji fazi zasnove;
- izvajalec se vključi takoj, ko je to pogodbeno možno, sicer najamemo zunanjega eksperta, svetovalca.

Vodenje. Projektno delovno skupino lahko vodi neodvisni vodja, ki ne opravlja strokovnih nalog na projektu, ampak samo skrbi, da integrirani proces nemoteno poteka v želeni smeri. Pri imenovanju vodje imajo strokovne inženirske pristojnosti prednost pred izključno menedžerskimi. Za učinkovito delovanje pro-

jektne delovne skupine je potrebno dobro sodelovanje med strokami, kar omogoča, da se načrtovalski problemi obravnavajo interdisciplinarno. Integrirani proces je pri tem ponaavljen vse od začetnih faz projekta. Prav zgodnja vključenost različnih strokovnjakov v projekt daje možnost posamezniku, da s svojim tehničnim znanjem in idejami oplemeniti projekt. Prepozna vključitev strokovnjakom onemogoči, da bi vplivali na zasnovo, ki je pogojena z načrtovalskimi rešitvami drugih udeležencev.

3.2 Integriran proces projektne delovne skupine

Integriran proces se začne s formiranjem projektne delovne skupine, ki mora ustrezati zahtevnosti zasnove projekta. Zato je za vzpostavitev projektne delovne skupine treba dobro poznati projekt, da se lahko zagotovijo člani projektne delovne skupine s potrebnimi strokovnimi pristojnostmi, ob tem pa je treba upoštevati socialno komponento, ki vpliva na komunikacijo.

Projektna delovna skupina. Optimalna projektna delovna skupina mora zagotavljati:

- aktivno vlogo investitorja pri zasnovi;
- ustrezen spekter pristojnosti izbranih strokovnjakov za vsa zahtevana področja projekta;
- pogoje za uspešno sodelovanje in komunikacijo članov projektne delovne skupine.
- takšno vlogo vodje projektne delovne skupine, ki vključuje koordinacijo projekta od zasnove do uporabe objekta, vzpostavlja in vzdržuje vizijo projekta, ima sposobnost nepristranskega reševanja problemov ter je glavni pogajalec z investitorjem pri morebitnih nerealnih projektih zahtevah; vlogo vodje lahko v posameznih fazah projekta zavzamejo različni člani projektne delovne skupine;

- koordinacijo integriranega procesa z imenovanjem koordinatorja, ki skrbi za urejen pretok informacij med člani projektne delovne skupine, za sprotno preverjanje in izpolnjevanje zadanih ciljev in vizij, da ima sposobnost izrisa skupnega interdisciplinarnega mnenja ter koordinira sestanke.

Ožja projektna delovna skupina (jedro ekspertov). Projektna naloga določa parametre za sestavo projektne delovne skupine v smislu organizacijske strukture, vlog in pristojnosti članov projektne delovne skupine. Ključni deležniki vsakega projekta so: investitor, vodja, koordinater, arhitekt, gradbenik-konstruktor, tehnolog, strojni inženir, inženir elektrotehnike.

Navedeni deležniki predstavljajo tudi jedro projektne delovne skupine (glej sliko 3). S svojimi storitvami zagotavljajo ustrezno pokritost celotnega projekta. Kljub temu se od posameznih članov projektne delovne skupine ne pričakuje, da so odlični, ampak da razumejo problematiko drugih strokovnih področij.

Zato je ena izmed ključnih nalog, da pravočasno zaznajo probleme, ki presegajo skupne pristojnosti projektne delovne skupine, in da v tem primeru vključijo dodatne eksperte. Vsi udeleženi strokovnjaki morajo s svojim pristopom omogočiti, da je projekt obravnavan celostno.

Spremenljiva skupina zunanjih ekspertov.

Ožja projektna skupina lahko k sodelovanju povabi posamezne eksperte za omejen čas in/ali za določeno nalogo, predvsem v primeru, če ožja projektna delovna skupina ni sposobna določene naloge kakovostno ali dovolj hitro rešiti. Če gre pri tem za prenos znanja, lahko ta način predstavlja za člane projektne delovne skupine še dodaten motiv za vključitev zunanjih ekspertov. Pridobljeno znanje od zunanjih ekspertov lahko pomaga udeležencem pri delu na prihodnjih projektih. Poleg tehnične usposobljenosti članov projektne delovne skupine so pomembni

pravočasno delegiranje, koordinacija in obveščanje o aktivnostih drugih.

Koordinacija in vodenje projektne delovne skupine. Uveljavljata se dve vlogi, koordinator in vodja delovne skupine (IEA, 2003), ki sta potrebni za ustrezen potek in vzdrževanje pravilne naravnosti članov projektne delovne skupine. Zadnjo vlogo lahko zavzamejo člani projektne delovne skupine; če je treba, se lahko za projekt najamejo specialisti za določeno področje.

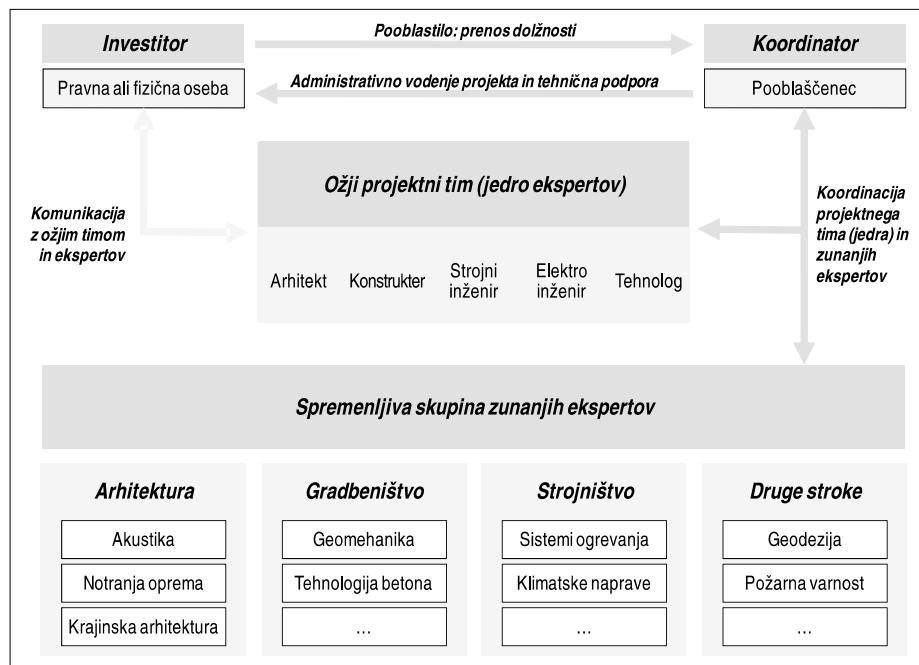
Organizacija. Ustrezno organizirana projektna delovna skupina mora upoštevati naslednja načela:

- jasno je treba opredeliti dolžnosti slehernega člana projektne delovne skupine;
- natančno določiti roke za izvedbo dejavnosti, ki so povezane z načrtovalskimi problemi;
- treba je določiti tolerance in strategijo upravljanja tveganj za investitorje in projektno delovno skupino;
- vzpostaviti je treba protokol komunikacije med člani in za izmenjavo informacij (tudi modelov);
- vzpostaviti je treba vrednote (spoštovanje, izmenjava mnenj, preglednost) in kriterije za rešitve.

Posebno zahtevno vlogo pri izvedbi integrirane delovne skupine imata nagrajevanje članov in priznanje skupinskega avtorstva. Običajno je sistem nagrajevanja pri delu na projektu organiziran na način, ki ne upošteva angažiranja strokovnjakov, saj udeležnemu pripada vnaprej določeni delež. To lahko zavira člane projektne delovne skupine pri iskanju boljših rešitev, kar vodi do ponavljanja obstoječih, ustaljenih načinov dela in uporabe rešitev, ki zahtevajo najmanj truda. Zato se mora spremeniti miselnost investitorja, ki mora biti zainteresiran za nagrajevanje projektne delovne skupine za inovativne načrtovalske rešitve, ki so veliko cenejše kot spremembe ob in po sami izvedbi.

3.3 Integrirani rezultati projekta

Bistvo integrirane zasnove objektov je boljše in pravočasno sodelovanje med člani projektne delovne skupine. Ustrezno organizirana, vodena in pristojna projektna delovna skupina spodbudi zaupanje, v kolikor so cilji orientirani na skupen uspeh projektne delovne skupine in projekta kot celote, in ne na parcialne individualne strokovne cilje. Tak način dela zahteva spremenjeno razmišljanje strokovnjakov, investitorjev in emancipacijo končnih uporabnikov.



Slika 2 • Organizacijska struktura integrirane projektne delovne skupine

Glavne prednosti integriranega pristopa so:

- Zgodnje sodelovanje bistvenih deležnikov omogoči in vzpostavi ustrezno tehnično podporo in sistem odločanja, ko se sprejemajo najpomembnejše odločitve. Veliko se lahko opravi v začetni fazi projekta.
- Naravnost h končnemu produktu je določena z jasno vizijo, cilji in nalogami delovne skupine. Ti trije elementi se lahko določijo tudi kot norme v posameznih fazah zasnove, katere je treba doseči oz. jim slediti. Na ta način se lahko natančno orientiramo skozi celoten projekt ter imamo nit, ki služi kot orientacija, da projekt ostane znotraj predvidene poti.

Bistveni kriteriji, ki določajo uspešnost projektne delovne skupine, so:

Zaupanje med udeleženci. Dobro sodelovanje vseh vključenih v projekt je ključnega pomena za uspešen potek integriranega procesa. Skozi celoten proces je potrebna odprta in stalna komunikacija med člani ekipe. Transparentna komunikacija spodbuja zaupanje med ljudmi in daje občutek pripadnosti projektu. Pomembno je, da se vsak član zaveda ter čuti, da lahko s svojim delom prispeva k uspešnosti projekta. Sočasno sta precej manjša možnost za konfliktno situacijo ter precej večja verjetnost, da bo vsak v najboljši meri prispeval k projektu ter s tem še povečal verjetnost za njegov uspeh. Pomembno je, da so vse rešitve najprej natančno obdelane ter da ima vsakdo možnost vpliva na odločitve.

Realizacija kompleksnih rešitev celostne zasnove.

Odprta miselnost in kreativnost sta ključna parametra za spodbuditev inovativnosti in sinteze rešitev, potrebnih za dosego kompleksne zahteve modernih objektov. Sinteza z drugimi besedami pomeni združitve posameznih rešitev, vse z namenom, da se ustvari koherentna celota, ki sledi načelu, da je celota boljša od skupka posameznih delov. Ko udeleženci zares občutijo, kako skupinsko delo spodbuja inovativne rešitve, se pogosto zaradi navdušenja težko vrnejo nazaj k ustaljenim delovnim navadam.

Opredelitev kriterijev za izbiro načrtovalskih rešitev.

Pri določitvi kriterijev za načrtovalske rešitve in pri izbiri alternativ morajo sodelovati vsi člani projektne delovne skupine. Vsak posameznik se mora zavedati svoje strokovne vloge in dolžnosti, ob tem pa mora poznati naloge in pristojnosti drugih strokovnjakov v projektne delovni skupini. Na ta način se omogoči, da se na probleme gleda celostno in ne samo z individualnega strokovnega zornega kota. S transparentnimi kriteriji in postopkom za izbiro rešitev se omogoči, da ne pride do sporov znotraj projektne delovne skupine in da so prispevki posameznih strok ustrezno upoštevani pri razvoju projekta kot celote.

Projektiranje kot učenje. Integrirani pristop je treba obravnavati kot ponavljalen in ustvarjaljen proces s povratnimi zankami. Povratne zanke omogočajo stalno preverjanje poteka po

aktivnosti ter kakšni so naslednji koraki. Sprotno kontroliranje procesa zasnove omogoča tudi sprotno učenje in vpeljevanje izboljšav v zasnovo objekta. Lekcije, pridobljene iz uspehov oz. napak pri starih projektih, služijo kot podloga za izboljšanje prihodnjih projektov. Iteracije omogočijo, da so odločitve skladne in da odsevajo kompetentnost celotne ekipe.

Tradicionalni proces zasnove	Integrirani proces zasnove
Člani ekipe sodelujejo samo takrat, ko je to potrebno.	Vsi sodelujejo od začetka projekta.
Malo časa, energije in sodelovanja v zgodnjih fazah.	Veliko časa in energije, vložene v začetni fazi.
Odločitve sprejema majhno število ljudi.	Na rešitve ima vpliv celoten projektna delovna skupina.
Linearni proces.	Ponavljalni proces.
Sistemi so obravnavani kot samostojne enote.	Celostno gledanje na projekt.
Omejena optimizacija.	Večja možnost optimizacije sistemov.
Ni pravega sodelovanja med ljudmi.	Sinergija.
Poudarek na začetnih stroških.	Upoštevani življenjski stroški objekta.
Projekt zaključen, ko je objekt zgrajen.	Proces poteka tudi v fazi uporabe objekta.

Preglednica 2 • Primerjava tradicionalnega in integriranega pristopa k snovanju (GreenBuildings BC, 2007)

4 • ŠTUDIJA PRIMERA

V tem poglavju je opisan način učenja in poučevanja za celostno zasnovo z integriranim pristopom v projektne študije PBL, pri katerem že 11 let sodeluje tudi Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani (UL FGG). Prvi avtor je pri projektu sodeloval v vlogi gradbenega konstruktorja v prvi polovici leta 2008, drugi avtor je bil prvi udeleženec in je kasneje prevzel vlogo mentorja in koordinatorja sodelovanja UL FGG.

4.1 Organizacija projektnega učenja PBL

Projektne študije PBL je študijski predmet, bolje rečeno program, ki ga na podiplomskem študiju izvaja Univerza Stanford, ZDA, pod imenom AEC Global Teamwork (Fruchter, 1999). PBL je angleška kratica za »*angl. Problem, Project, Product, Process, People Based Learning*«. PBL je proces poučevanja in učenja, ki se osredotoča na problemske, projektne orientirane učne dejavnosti, katerih rezultat je skupen projekt (Cerovšek, 2000). Pristop PBL temelji na predpostavki, da se lahko naučimo največ pri reševanju dejanskih problemov, takšnih, ki se pojavijo pri projektiranju v praksi. Velik poudarek je na procesu projektiranja in sodelovanju med strokami, tj. integriranem pristopu k projektiranju. Delo poteka v skupini, ki mora izdelati projekt, ki je podan s projektno nalogo in z omejitvami.

Projektno delo. Namen dela na projektu je uporaba teoretičnega znanja, pridobljenega med študijem, in sicer na dejanskem projektu. Veliko pozornosti se posveča komunikaciji med člani skupine ter opazovanju procesa projektiranja z vidika več strok, ki sodelujejo pri gradbenem projektu. Sam proces načrtovanja in informacije, ki vodijo k odločanju, je treba sproti dokumentirati vse do končnega izdelka. V končnem izdelku je v projektni dokumentaciji obdelano vse od arhitekturne zasnove, konstrukcijskih rešitev do plana gradnje in stroškovne analize. V zadnjih letih se daje velik poudarek tudi trajnostni gradnji, ki ob vseh koristih, ki jih prinaša, postaja tudi vse večji modni hit tamkajšnje industrije. Člani skupine razvijajo projektne rešitve tako samostojno kot skupinsko, vsaka odločitev pa mora biti sprejeta skupno. Zelo pomembno je sprotno obveščanje o vseh morebitnih spremembah na projektu, saj se zna v nasprotnem primeru kaj hitro zgoditi, da postanejo zadeve nekompatibilne.

Značilnosti programa PBL. Poleg dveh osebnih srečanj študentov na začetku in na koncu projekta celotno delo poteka preko interneta. Skupini so na voljo programi, strežnik ter internetne strani, na katerih izmenjujejo svoje mnenje ter se dogovarjajo o rešitvah. Pomanjkanje osebnega stika je lahko na trenutke velik

problem, saj se je veliko lažje pogovarjati o problemih na štiri oči. Ker študentje prihajajo iz različnih kontinentov, kjer angleščina ni nujno materni jezik, to predstavlja še dodatno oviro pri delu.

Pogosto se namreč zgodi, da so nekateri predlogi napačno razumljeni, kar lahko vodi do nepotrebnega in nekoordiniranega dela. Pomembno komponento ima tudi časovna razlika med udeleženci, kar lahko predstavlja prednost in slabost. Prednost je v tem, da lahko delo poteka 24 ur, slabost pa, da so nekateri sestanki ob najbolj neprimernih urah (tedenski sestanki so bili na sporedu vsak petek v poznih večernih urah).

Univerze v programu PBL. V programu PBL vsako leto sodeluje od dvajset in trideset do- in podiplomskih študentov arhitekture, gradbeništva in gradbenega menedžmenta ter strojništva. V letu 2008 so pri projektu sodelovale naslednje univerze: University of Stanford, California State University Chico, University of Wisconsin-Madison, Georgia Tech University Atlanta (vsi iz ZDA), Tsinghua University Peking – Kitajska, Universidad de Puerto Rico, Bauhaus Weimar – Nemčija, Royal Institute of Technology KTH – Stockholm (Švedska), ter Univerza v Ljubljani. S teh univerz prihajajo tudi predavatelji in mentorji, ki pokrivajo različna področja od dinamike, statike, geotehnike, planiranja gradnje, gradbene informatike do strojnih sistemov.

Industrija v programu PBL. Pomemben prispevek k projektu nudijo tudi praktiki, ki s

svojimi nasveti iz prve roke študentom podajo pristop k reševanju problema. Pri tečaju tako sodelujejo nekatera največja gradbena podjetja in projektantske hiše iz Kalifornije in širše iz ZDA. Poleg navedenih igrajo pomembno vlogo tudi pokrovitelji (med njimi so tudi zelo velika podjetja, na primer: Autodesk, Microsoft, Sun Microsystems, Intel, Cisco, IntelliCorp, BidCom). Ti nudijo pomoč v obliki finančnih sredstev, brezplačno strojno in programsko opremo, pomagajo pa tudi pri razvoju orodij. Eden izmed glavnih ciljev projektnega učenja je, da študenti pridobijo izkušnje delovanja v integrirani projektni skupini. Temu je podrejen tudi celoten način dela, ki je drugačen od običajnih študijskih predmetov. Ključni elementi sodelovanja v projektni skupini so bili:

- Skupinska srečanja
- Tedenska srečanja
- Pomoč strokovnjakov

Skupinska srečanja. Skupina se je dobivala enkrat tedensko, pred pomembnimi predstavami pa tudi večkrat. Na sestankih so bili običajno prisotni vsi člani projektne delovne skupine, sestanke vodijo izmenoma člani projektne delovne skupine. Za vsak sestanek je obvezno pripravljen dnevni red, kratek opis namena sestanka. Prav tako je vedno določen član projektne delovne skupine, ki pripravi zapisnik in poskrbi, da se dogovorjene aktiv-

nosti zares izvedejo in da se o njih poroča na naslednjem sestanku. Na sestankih je bilo izredno pomembno sproti preverjati, da vsi prisotni sledijo obravnavani problematiki ter da se aktivno vključijo v reševanje problemov. V začetni fazi projekta je prisoten koordinator, ki skrbi, da projektna delovna skupina napreduje. Ko se protokoli komunikacije ustalijo, se zmanjša prisotnost koordinatorske, stalno pa se kontrolirata potek aktivnosti in angažiranje članov projektne delovne skupine. S tem se vzdržuje primeren nivo pristopa, ki vodi do ustreznih načrtovalskih rešitev v okviru predvidenih rokov. To je tudi bistvena vloga koordinatorske projekta – da poskrbi, da ves proces zasnove poteka po predvidenih tirnicah.

Tedenska srečanja vseh študentov. Standardna oblika izvajanja pouka po navadi poteka enkrat tedensko, kjer se izvedejo predavanja, ki so aktualna za trenutno delo projektne delovne skupine. Ob tem se tudi pregleda napredek projektne delovne skupine. Vsebine predavanj pokrivajo tako timsko delo kot tudi posamezna strokovna področja, na primer: sočasno inženirstvo, proces modeliranja, metodologije načrtovanja, pristope k zasnovi konstrukcij, predstavitev večjih projektov itd.

Pomoč strokovnjakov. Organizirane so bile tudi seje, na katerih so študenti vprašali prak-

tike o problemih pri delu na projektu. Praktiki posredujejo izkušnje reševanja problemov v praksi. Podobno kot naj bi imela prava integrirana ekipa poleg ožjega kroga vpletenih na voljo vedno tudi pomoč zunanjih strokovnjakov, imajo študenti možnost, da se posvetujejo z zunanjimi eksperti-mentorji tako iz prakse kot tudi iz akademskih krogov. Z mentorji študenti komunicirajo preko elektronske pošte, po dogovoru pa se lahko sestanejo tudi preko spletne konference. To možnost študenti izkoristijo, ko načrtovalski problem presega njihova teoretična znanja ali/in praktične izkušnje ter kompetence celotne projektne delovne skupine.

4.2 Proces projektnega učenja na daljavo

Delo na projektu se po navadi prične januarja in konča junija, ko se vsi sodelujoči študenti osebno srečajo, drugače pa delajo na daljavo. Proces integriranega projektnega učenja na daljavo poteka v naslednjih korakih.

Idejna zasnova. Najprej se študenti srečajo na spoznavnem sestanku (*angl. kick-off event*), kjer se udeleženci seznanijo z drugimi študenti, profesorji, predstavniki iz industrije in pokrovitelji. Prva dva dneva sta namenjena medsebojnemu spoznavanju in navezovanju stikov, ker so se v nadaljevanju projekta videvali samo preko interneta. Timska naravnost se

		Prostori		Odnos med prostori: +2 (zelo skupaj), -2 (zelo narazen)													
		Št.	A (ft ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Pisarne osebja	20	180	#													
2	Pisarna upravnika	1	300	1	#												
3	Pisarniško delo	2	150	2	2	#											
4	Tajništvo	4	75	2	2	2	#										
5	Restavracija	1	1.000	1	1	0	0	#									
6	Študentske pisarne	20	60	-1	-1	-2	-2	-2	#								
7	Avditorij	1	3.000	-2	-2	-2	-2	-2	-2	#							
8	Velike predavalnice	2	800	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	#						
9	Male predavalnice	4	500	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	2	#					
10	Seminarske sobe	4	200	-2	-2	-2	-2	-2	2	1	2	2	#				
11	Laboratorij	2	1.000	-2	-2	-2	-2	-2	2	1	2	2	1	#			
12	Računalniška soba	1	800	-2	-2	-2	-2	-2	-2	0	-2	-2	-2	2	#		
13	Tehnična podpora	1	100	-2	-2	0	0	-2	2	0	-1	-1	0	2	2	#	
14	Shramba	1	1.000	-2	-2	1	2	-2	-2	1	1	1	1	2	2	2	#

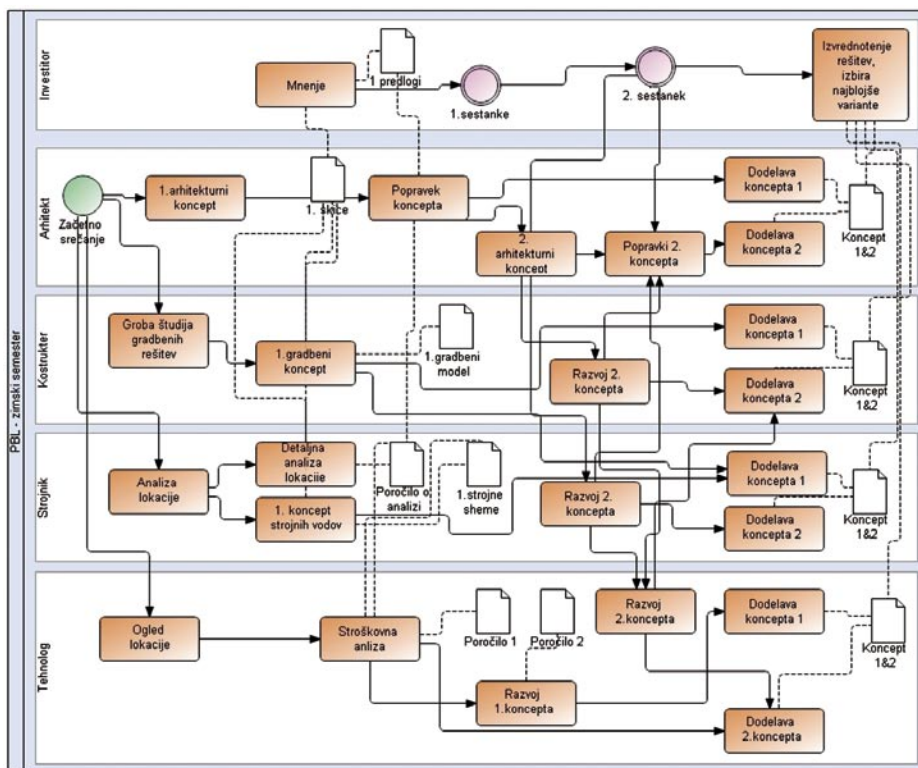
Preglednica 3 • Pregled funkcionalnih zahtev projektne naloge (vhodni podatek za projektno delovno skupino)

vzpostavi na osnovi aktivnosti, ki omogočajo formiranja delovnih skupin (*angl. team building*). Sočasno so organizirana predavanja, na katerih študenti dobijo vpogled na celoten proces, predstavljene so osnovne vloge in pričakovanja za člane projektnih delovnih skupin. Pri tem se tudi podrobneje spoznajo s predvidenim obsegom dela in potrebo po razumevanju drugih strok, kar sodi med ključne pogoje za uspešen integriran pristop k celostni zasnovi. Študenti se seznanijo tudi s programi in tehnologijo, ki jo uporabljajo pri delu.

V letu 2008 (Ožbolt, 2008) je bil predmet projektne naloge nov objekt Univerze v Madisonu, Wisconsin, ZDA. Objekt naj bi vzpostavil infrastrukturo za inovativne študije kot sestavni del globalne mreže podobnih ustanov. Lokacija objekta je bila natančno podana. Upoštevati je bilo treba tudi predviden datum izgradnje objekta – leta 2016. Na voljo je bil začetni proračun v vrednosti 7.500.000 USD, ki ga je treba najracionalneje uporabiti. Poleg funkcionalnih zahtev (preglednica 3) so podane splošne arhitekturne in tehnološke zahteve.

V letu 2008 so študenti prvič začeli z načrtovanjem dva dneva po uvodnem srečanju. Študenti so bili razdeljeni v skupine. Ob tem so bili študenti seznanjeni z natančnim programom dejavnosti, ki vključujejo predavanja na daljavo s pomembnejšimi datumi ter glavno nalogo – projektno nalogo, na kateri smo začeli tudi delati. Ker so bili študenti prvič udeleženi pri takšnem pristopu, so podane zahteve služile kot učni cilji, ki jih je treba uresničiti, podobno kot naj bi to bilo pri celostni zasnovi objektov. Glavni cilj tečaja je pridobiti razumevanje za rešitve različnih strok in sposobnost razlage ključnih zahtev svoje stroke dugim članom.

Organizirana je bila skupinska seja (*angl. design charette*), kot naj bi bilo to pri pravem integriranem projektu. Vsaka stroka naj bi natančno predstavila svoje zahteve ter prvo videnje morebitnih rešitev. Vsak izmed sodelujočih pri tem dobi občutek, kako se drugi člani lotevajo problemov, kakšen je njihov način razmišljanja in reševanja problemov. Začetna seja naj bi spodbudila izmenjavo idej in informacij, ki lahko v nadaljevanju projekta pripeljejo do resnično integriranih rešitev. Sledil je sestanek z lastnikom objekta, na katerem nam je postregel s svojimi zahtevami, željami in pričakovanji glede projekta. Kot nekdanji udeleženec predmeta PBL nam je podal tudi nekaj navodil, kako naj se čim uspešneje lotimo projekta ter vseh podanih nalog. Uvodni sestanek se je zaključil s predstavitvijo narejenih konceptov ter vizije skupine, kako se bo lotila nalog v prihodnjih mesecih.

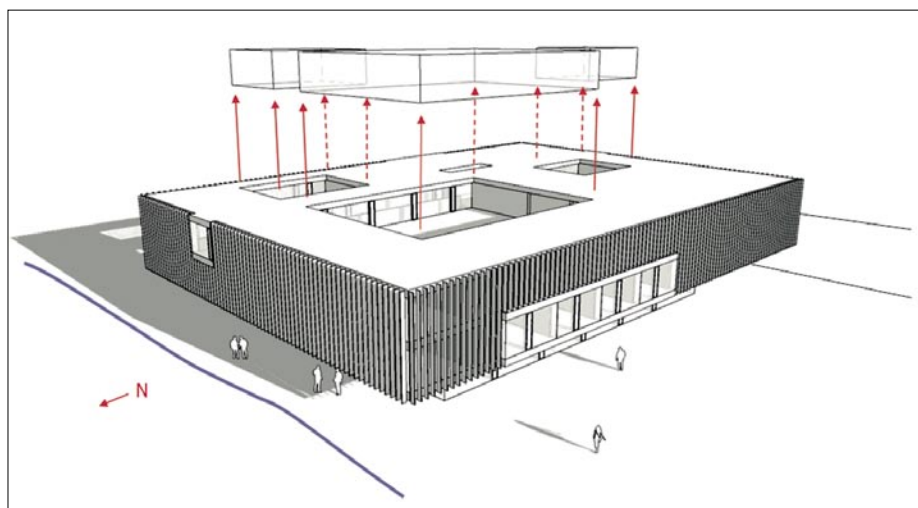


Slika 3 • Delo-tok aktivnosti načrtovanja v zimskem semestru

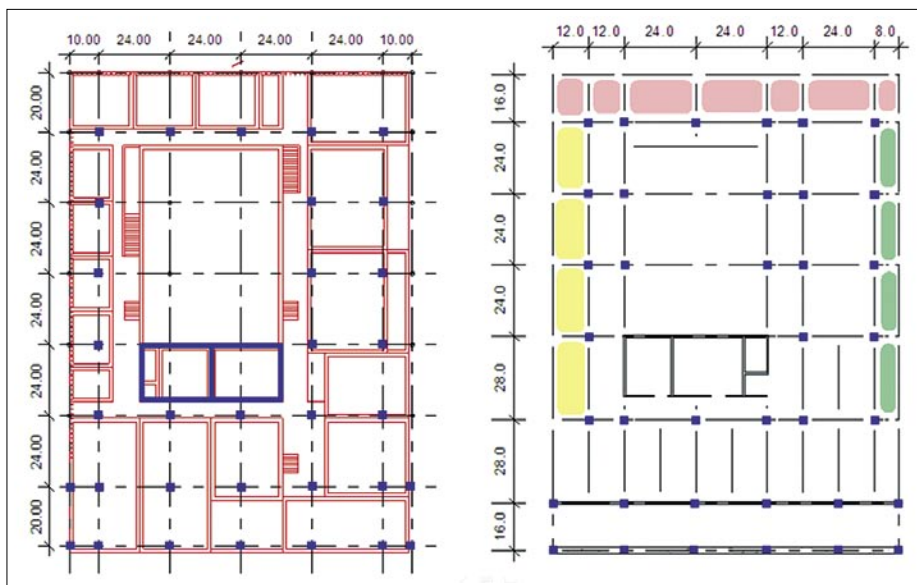
Shematska zasnova. Zimski semester je bil namenjen fazi shematske zasnove modelov. Na začetku je bila narejena natančnejša analiza lokacije. Preučiti je bilo treba, kje se objekt nahaja, kakšno zgodovino ima, kaj vse ga obkroža itd. Vsi ti parametri so nudili arhitektu ustrezen kontekst za umestitev objekta v prostor. Drugi člani projektne skupine so med tem opravljali druge aktivnosti. Gradbeniki so preučili vse predvidene obremenitve, poseb-

nosti lokacije, geološko sestavo tal ... Poseben problem je predstavljala preučitev ameriških standardov (ACI, ASCI), ki se razlikujejo od Evrokodov.

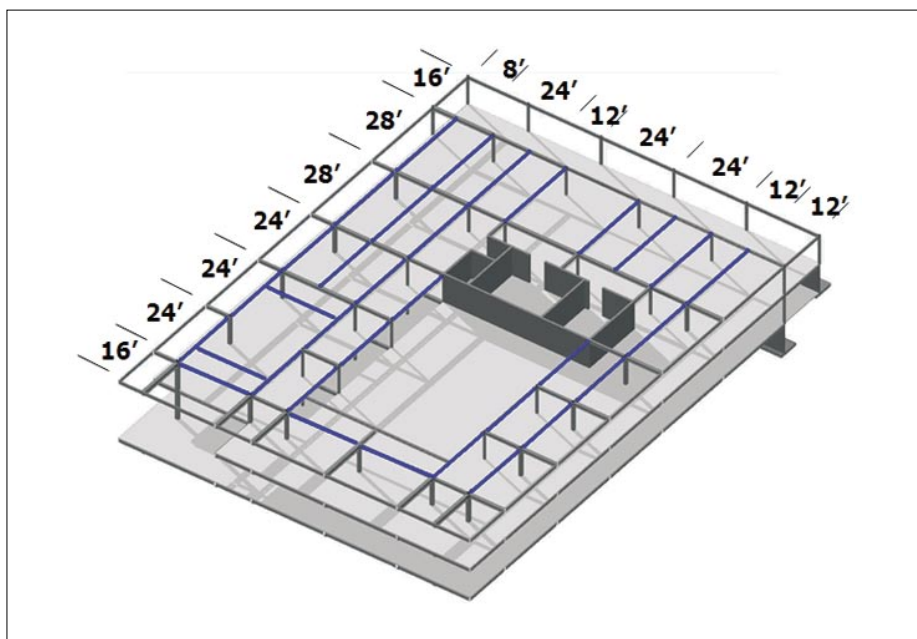
Strojniki so natančneje preučili lokacijo, vpliv osenčenosti na lokaciji ter vse večje obremenitve na objekt, ki so kasneje služili kot vhodni podatki za izvedbo študij. Tehnolog-menedžer je analiziral danosti lokacije glede na izbiro najprimernejše tehnologije.



Slika 4 • Prvi arhitekturni koncept Skrita svetloba (ang. Hidden light)



Slika 5 • Prva predlagana mreža (levo) in končna rešitev (desno)



Slika 6 • Konstrukcijski sistem

	Armirani beton (\$)	Prefabricirani beton (\$)	Jeklo (\$)
Temeljenje	94.682	94.682	91.897
Konstrukcija	1.299.899	1.517.838	2.652.131
Notranja oprema	819.280	819.280	682.000
Inštalacije	2.210.391	2.210.391	2.210.391
Izkopi	85.390	85.390	85.390
Stroški gradnje	983.100	983.100	877.300
Čisti stroški	5.492.742	5.710.681	6.599.109
Predračun (+15 % zavarovanje)	6.316.653	6.567.283	7.588.975

Preglednica 4 • Izračun stroškov za varianto 1. Natančneje so določeni stroški samo za konstrukcijo objekta, vsi drugi stroški so samo predvideni in natančneje obdelani v nadaljevanju

V začetku februarja, po dveh tednih raziskav, je bil izdelan prvi arhitekturni koncept. Narejen je bil osnovni kubus objekta s približno razporeditvijo prostorov. Na podlagi arhitekturnih podlog so bili izdelani prvi konstruktorski predlogi za mrežo nosilne konstrukcije v dveh variantah – v jeklu in betonu (preglednica 3). Pri tem je sodelovanje med konstruktorji in arhitekti usmerjeno k iskanju najoptimalnejše konstrukcijske mreže, ki ustreza zasnovi, zahtevam po simetriji in regularnosti konstrukcije. Prvi koncept je bil predstavljen tudi predstavniku investitorja, ki je podal lastne preference in kriterije.

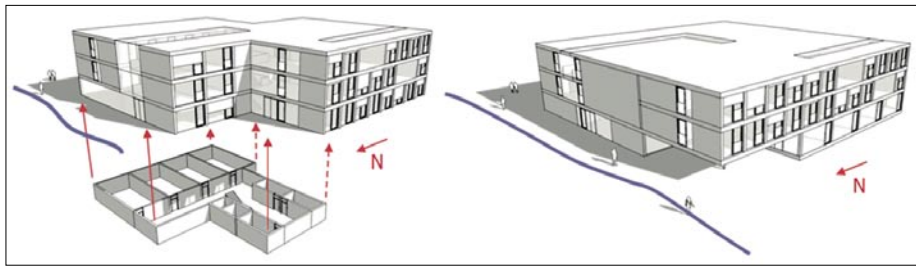
Strojniki so med tem poskušali analizirati pomembnejše karakteristike objekta – ali bodo vsi prostori v objektu dobili dovolj dnevne svetlobe, ter na podlagi študije predlagali drugačno razporeditev prostorov.

Raziskovati so začeli tudi sisteme za distribucijo zraka, ki so razpeljani po ceveh po celotnem objektu. S podatki o prepustnosti vodov se je začelo preučevati, kakšen vpliv imajo na ostale karakteristike objekta, kot sta svetla višina ter nosilna konstrukcija objekta. Zaradi omejenosti višine objekta je to predstavljalo eno izmed ključnih komponent pri izbiri horizontalne nosilne konstrukcije. Med tem je gradbeni menedžer intenzivno sodeloval s konstruktorjema, saj je bila izbira tipa nosilne konstrukcije v veliki povezavi s stroški. S svojimi napotki je vplival na izbiro oz. izpodbijanje različnih variant. Izdelani so bili tudi prvi izračuni vseh stroškov gradnje objekta.

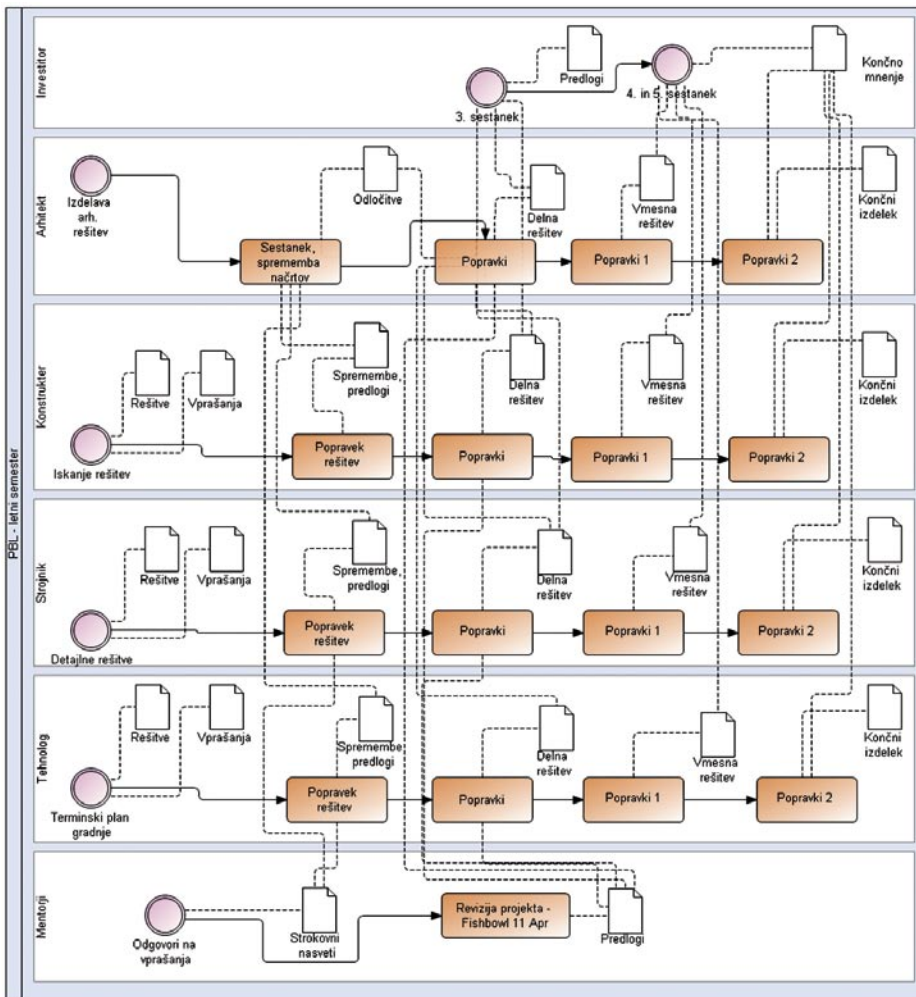
Po nekaj iteracijah (po približno mesecu dela) je bila končana shematska zasnova prvega koncepta, sočasno pa se je začel razvijati tudi drugi koncept. Ker se delo na drugem konceptu začne razmeroma pozno, študenti v dveh tednih ponovijo celoten postopek in utrdijo znanje. Prej navedeni postopek namreč v celoti ponovijo v bistveno krajšem času. Izkazalo se je, da to ne predstavlja večjih ovir, saj se je na podlagi izkušenj iz prvega primera delo bistveno pospešilo, ob tem pa rešitve niso prav nič slabše.

Ko sta bila nared oba koncepta oz. 4 variante, je bilo treba rešitve ovrednotiti ter izbrati najustreznejšo varianto. S posebno matriko smo ocenili, kako posamezne rešitve dosego zastavljene cilje. Pri tem je bila posebej upoštevana ocena investitorja kot eden ključnih kriterijev pri izbiri.

Detajlna zasnova. V letnem semestru je bila na vrsti detajlna zasnova izbrane variante. Vodilna vloga v projektni delovni skupini se od arhitekta preseli h gradbenemu menedžerju.



Slika 7 • Drugi koncept – Skladovnica (ang. Stack)



Slika 8 • Delo-fok aktivnosti v letnem semestru; delo-fok prikazuje razvoj projektne naloge v letnem semestru; razvidno je iterativno iskanje končne rešitve; prispevek vseh članov je bil velik skozi celoten proces zasnovanja

Ta je začel na podlagi natančnejšega plana gradnje ekipo poučevati o predvidenem načinu grajenja, natančnih zaporednih fazah grajenja, možnosti izdelave posameznih rešitev in njihovih stroških. Te nasvete so morale vse discipline upoštevati pri detajlnem izračunu. Glavne naloge arhitekta so bile dokončati načrte objekta, dodelati vse komponente ter ustrezno vizualizirati objekt. Gradbenika-kon-

struktorja sta naredila detajlni izračun konstrukcije z natančnimi dimenzijami vseh komponent, ki so vključevale statično, dinamično analizo in dimenzioniranje elementov. Strojnika sta detajlno določila vse sisteme v stavbi, naredila natančnejši plan vodov ter izvedla detajlne energetske simulacije na objektu glede na udobje, kakovost zraka, stroške vzdrževanja in letne porabe energije.

Posebna pozornost se v tem času posveča integraciji vseh rešitev, saj so se čez čas začela kazati posamezna mesta, kjer se rešitve niso povsem skladale, in je bilo treba najti rešitev, ki bo zadovoljila vse sodelujoče. Posebej pozorno je bilo treba uvajati morebitne spremembe na projektu, saj je to za seboj lahko prineslo nepredvidene dodatne spremembe in veliko dodatnega dela ostalim, zato smo morali te rešitve natančno preučiti ter upravičiti njihovo smiselnost.

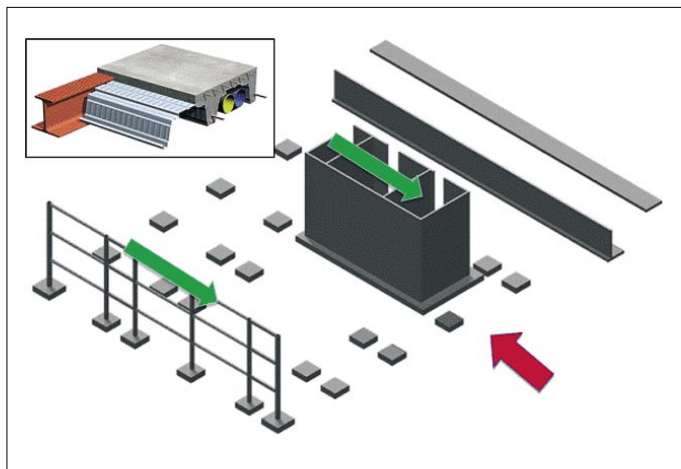
Zaključna predstavitev. V maju se študenti po štirih mesecih dela preko svetovnega spleta znova srečali na zaključni predstavitvi. Tu je potekalo sklepno usklajevanje še zadnjih detajlov ter izdelava predstavitve. Delo je bilo precej enostavnejše, saj je izmenjava idej na štiri oči precej preprostejša od kontakta preko spleta. Projekt je bil uspešno predstavljen na zaključni predstavitvi. Po komentarjih sodeč, lahko trdimo, da nam je uspela zares dobra integracija vseh rešitev ter celotnega projekta.

4.3 Rezultati projektne dela

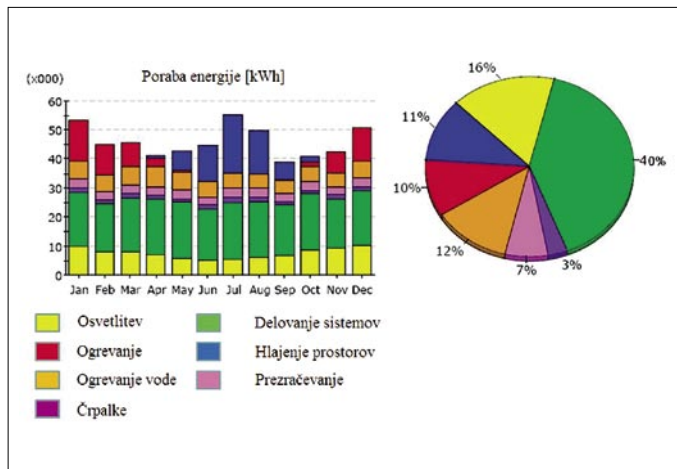
Pomemben rezultat integriranega projekta je zaključno poročilo s pridobljenimi izkušnjami (*angl. lessons learned*) ne glede na uspeh projekta. Le dokumentirane aktivnosti integrirane projektne delovne skupine lahko služijo projektantom za prihodnje projekte. Ob pridobljenih novih znanjih, seznanitvijo z najnovejšimi računalniškimi programi in možnostmi komuniciranja ima pomembno vlogo potek sodelovanja. Poleg pridobljenega teoretičnega znanja je najpomembnejše dejansko doživetje takšnega sodelovanja na projektu (*ang. real-life experience*).

Eden izmed bistvenih principov, ki se pri projektne delu uporabljajo, je, da se poskuša obravnavati načrtovalske probleme s stališča drugih strok. Taka sprememba razmišljanja zagotovo ni preprosta, lahko pa veliko pripomore k iskanju ustrežnejših in boljših rešitev. Zaradi natančnejšega poznavanja projekta skozi faze projekta posamezne rešitve niso brezhlebne, nekatere zaradi pomanjkanja časa, druge morda zaradi pomanjkanja strokovnega znanja, kljub temu pa sodelujoči pridobijo veliko novih, praktičnih znanj za delo v praksi.

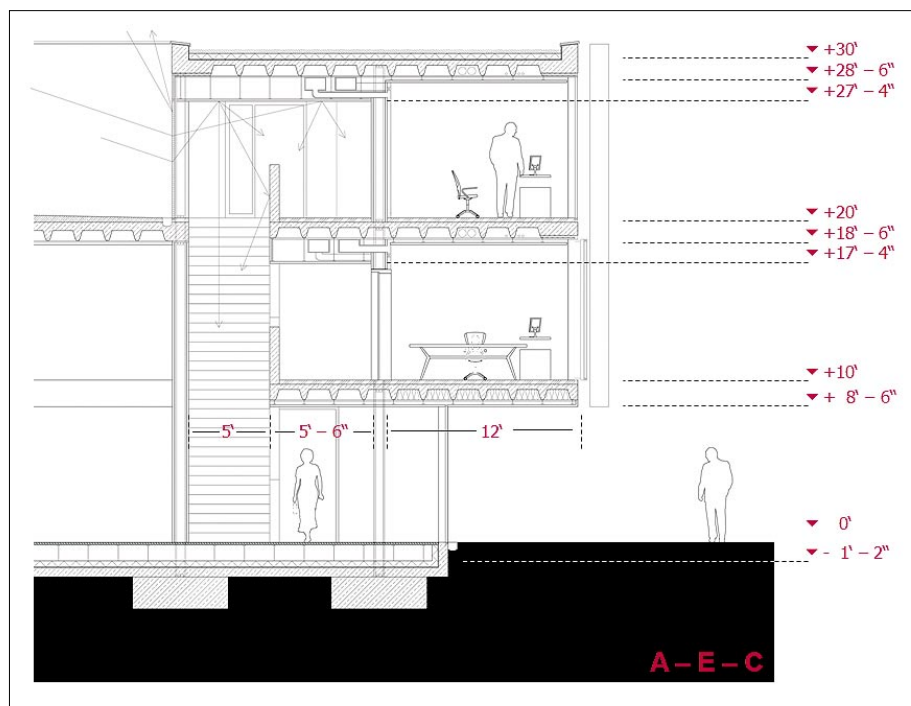
Bistveni rezultat integriranega projektne dela je dobra integracija vseh rešitev, kar se odraža na uspešno zaključenem in tudi predstavljenem projektu. Ključna komponenta za uspeh je ravno pripravljenost članov, da naredijo uspešen projekt, ki bo odražal kompetence celotne projektne delovne skupine in vložene energije ter časa. Pri tovrstnem integriranem projektne delu tudi ni komer-



Slika 9 • Horizontalni nosilni sistem v objektu



Slika 10 • Rezultati simulacije porabljene energije



Slika 11 • Prezrez objekta s svetlimi višinami; integrirana rešitev je vidna v prerezih

Stroški konstrukcije:	(\$)	Delež celotnih stroškov:	Karakteristični odstotni sestav stroškov:
Temeljenje	100.285	1,1 %	6,5 %
Konstrukcija	2.931.713	32,8 %	30 %
Notranja oprema	1.131.072	12,7 %	8,6 %
Inštalacije	3.047.674	34,1 %	21,2 %
Izkopi	470.230	5,3 %	2,2 %
Stroški gradnje	1.246.414	14 %	31,5 %

 Preglednica 5 • Stroški gradnje objekta in primerjava s karakterističnimi stroški gradnje¹

cialnih interesov, ki bi onemogočili uspešno sodelovanje, ampak uspeh projektne delovne skupine. Ob tem ni izključena stroškovna učinkovitost objekta, ki je do določene mere primerljiva s stanjem pri nas.

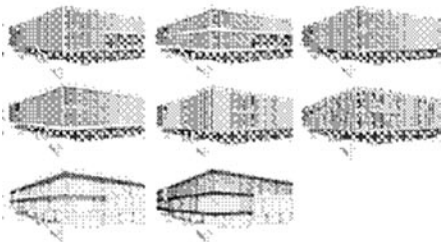
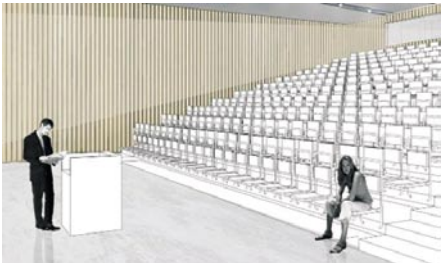
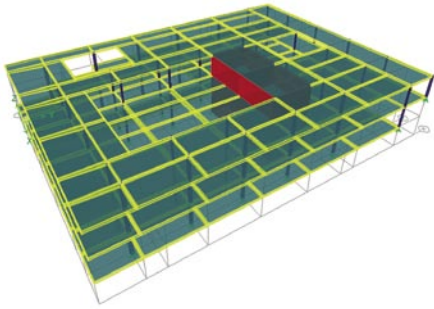
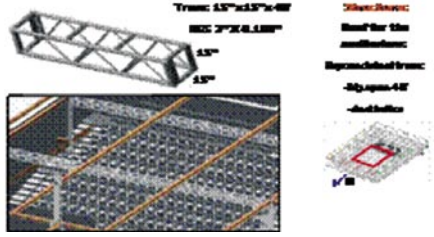

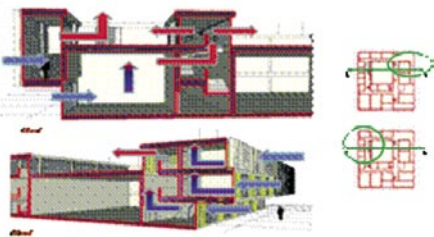
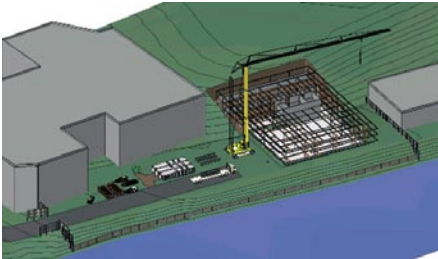
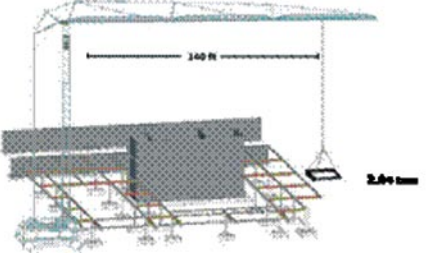
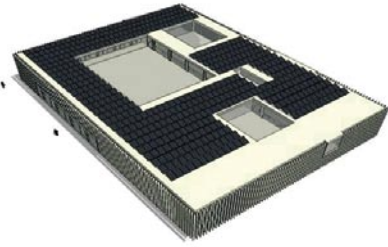
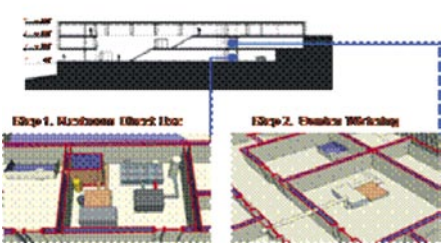
Primerjava z domačimi projekti kaže, da karakteristični odstotni deleži stroškov odstopajo v primerjavi z Nemčijo, kjer so podatki sicer razmeroma stari (iz leta 1999). Velika razlika je pri inštalacijah (skoraj 13 % točk). Razlika je posledica tega, da se v načrtovanem objektu uporabljene novejši in kompleksnejši ter s tem tudi dražje tehnologije. Velika razlika se pojavi tudi pri stroških gradnje, kjer je predvideno veliko prefabriciranih elementov in sodobnih načinov vgrajevanja elementov.

Pomemben delež k oceni projekta je prispeval ameriški točkovni sistem za vrednotenje trajnostne gradnje LEED², ki omogoča oceno objekta glede na smernice trajnostnega razvoja. Pri tem LEED tudi vodi načrtovalce že v fazi zasnove k izbiri sistemov stavbe, ki so primernejši.

Projektne timi so bili na uvodnem srečanju tudi soočeni z izzivom, da v svoj objekt vgradijo čim večje število komponent, ki jih je možno po končani obratovanli dobi objekta ponovno uporabiti oz. jih je možno reciklirati. Za ekipo z najboljšimi predlogi je bila razpisana simbolična nagrada podjetja Swinerton Builders, ki je eno vodilnih ameriških gradbenih podjetij na področju trajnostne gradnje. Ekipo UL FGG je v natečaju trajnostne gradnje osvojila prvo nagrado na osnovi ocene projekta s strani profesorjev in praktikov glede na funkcijo, formo, tehnologijo in zahteve za trajnostno gradnjo po ameriškem sistemu.

¹ IZS: Karakteristični sestav stroškov pri stavbah – srednje šole. <http://www.izs.si/> (14. 9. 2008).

² <http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CategoryId=19>.

Opis	Primerki modelov
<p>Modeli arhitekturnih rešitev</p> 	
<p>Modeli gradbenih konstrukcijskih rešitev</p> 	
<p>Modeli strojnih inštalacij</p> 	
<p>Modeli tehnologije gradnje</p> 	
<p>Modeli za trajnostno gradnjo</p> 	

Preglednica 6 • Pregled primerkov modelov različnih strok kot rezultat integriranega timskega dela za celotno zasnovo; pri integriranem pristopu modeli zamenjujejo 2D-risbe



Slika 12 • Vizualizacija objekta

5 • DISKUSIJA IN SKLEPI

5.1 Stanje projektne dela danes

Trenutne razmere pri projektiranju gradbenih objektov so naslednje:

- *Fragmentirani projektne timi in deležniki.* Pri večjih gradbenih projektih se po navadi vzpostavi projektna delovna skupina, še vedno pa se rešitve obravnavajo parcialno, nekaterih ključnih deležnikov se sploh ne (ali prepozno) vključi. Komunikacija med deležniki je omejena in ne poteka kontinuirano.
- *Slabo definirane projektne naloge.* Projektne zahteve so v začetnih fazah snovanja preveč ohlapno definirane, kar vodi do nezadostno določenih kriterijev uspeha ter posledično do velike količine dela skozi vse faze projekta. Bistvene posledice so: potrebne so spremembe, dodatna dela in rezultati niso optimalni.
- *Ohlapno definirani roki.* Začrtani so samo glavni roki faz projektov, medtem ko pomembni vmesni mejniki niso določeni. Ker podatki niso na voljo ob pravem času, prihaja do neskladij, zamud in dodatnih stroškov.
- *Slabo ali neopredeljene strokovne vloge.* Slabo so opredeljene naloge za nekatere aktivnosti. V primeru zamud pride do prelaganja krivde, saj vsakdo išče izgovore in prenos odgovornosti.
- *Stroški izvedbe pred kakovostjo izvedbe.* Pri večjih objektih za nemoten potek dela skrbijo vodje projektov. Njihov glavni cilj je uspešna realizacija projekta ob čim manjših stroških, kar izključuje druge kriterije.

- *Osredotočenost na kratkoročne cilje.* Pri projektu se premalo razmišlja o tem, kaj se bo z objektom dogajalo čez 10, 20 let. Tako se pogosti zgodi, da je po izgradnji objekta potrebno bistveno poseči v objekt zaradi slabe zasnove oz. nadomeščati z večjimi ter primernejšimi, kar povzroči nepotrebne dodatne stroške. Stroški rekonstrukcije so običajno bistveno večji od stroškov boljše zasnove in izvedbe osnovnega objekta.
- *Omejena motivacija in nagrajevanje.* Projektanti običajno niso nagrajeni za svoje rešitve, plačilo je dogovorjeno vnaprej, neodvisno od rešitev.
- *Zakonska podlaga in zahteve trga.* Novi pravilniki, na primer o energetski izkaznici, bodo sicer zahtevali nove elemente projektne dokumentacije, drugače pa zakonodaja ne obravnava celostne zasnove. Investitorji na osnovi predinvesticijskih študij oblikujejo zahteve trga za projektante, pogosto pa ne zahtevajo ustrezne celostne zasnove.
- *Omejena znanja in pripravljenost industrije.* Nov način dela zahteva nova znanja, ki niso splošno razširjena in zahtevajo tudi dodatno programsko opremo in spretnosti, ki jih praktiki v industriji težje raziskujejo in pridobijo.

5.2 Prednosti integriranega timskega dela pri celostni zasnovi

Integriran pristop ima še posebej velik potencial za (Sarja, 2002):

- *Projekte večjih objektov.* Večji objekti zaradi obsežnosti zahtevajo celostno obravnavo

in sodelovanje vseh strok pri procesu zasnove.

- *Projekte, ki uporabljajo prefabricirane konstrukcijske elemente in sisteme.* Pri tovrstnih sistemih je uporaba integriranih rešitev ključna za uspeh in uporabo gradbenega polproizvoda.
- *Razvoj industrializirane gradnje.* Industrializacija gradbene industrije bo omogočila nov način dela, ki bo bistveno zmanjšal čas proizvodnje, kar bo posledično zahtevalo boljše in hitrejše načrtovanje.

Pri razvoju manjših stanovanjskih objektov je smiselno integriran pristop uporabiti samo delno, saj je obsežnost del in potreba po sodelovanju manjša. Kljub temu delna uporaba integriranega pristopa v določenih fazah projekta lahko odpravi nastanek morebitnih napak v projektu. Takšne napake navadno zahtevajo popravke, kar pomeni dodatno delo in posledično dodatne stroške. Zato je ključnega pomena koordiniranje dela.

5.3 Pogoji uvajanja timskega dela za celostno zasnovi

Številni uspešno opravljeni projekti v tujini, kjer je projektna delovna skupina k načrtovanju pristopila celostno, kažejo, da:

- *Imajo vsi udeleženci v projektu nedvoumne koristi.* Trenutne razmere v Sloveniji so na tem področju slabe. Sodelovanje med različnimi strokami je pomanjkljivo oziroma ga ni.
- *Uvajanje integriranega pristopa v prakso ni preprost proces.* Poleg spremenjene vloge posameznika, npr. gradbenika-konstruktorja, imata spremenjeno vlogo komunikacija in

sodelovanje med vsemi strokami, ki vplivajo na projekt. Vsem udeležencem na projektu je treba natančno razložiti, zakaj je potrebna celostna obravnava objektov ter kako integrirano pristopiti k načrtovanju.

- *Potrebno poučevanje in učenje.* Potrebno je poučevanje o pristojnostih in sodelovanju različnih strokovnjakov. Za pozitivne spremembe je treba spremeniti tradicionalno razmišljanje ljudi ter zaverovanost v svojo

stroko in znanje. Sodelavci na projektih morajo pridobiti zaupanje v sposobnosti drugih strokovnjakov. Dodatna angažiranost v proces zasnove je potrebna tudi s strani investitorjev, uvesti pa je treba tudi sistem odločanja na projektu.

6 • ZAHVALA

Zahvaljujemo se dr. Renate FRUCHTER z Univerze Stanford, ki nam je kot vodja programa omogočila brezplačno sodelovanje v programu PBL ter Univerzi v Ljubljani, FGG in Javni agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije za podporo sodelovanju.

7 • LITERATURA

- AIA, American Institute of Architects (IAI), Integrated Project Delivery: A Guide, <http://www.aia.org/ipdg#ipdguide>, 2007.
- Cerovšek, T., Učenje in delo na daljavo, Gradbenik, november 2000.
- Cerovšek, T., Zupančič - Strojani, T., Kilar, V. Framework for model-based competency management for design in physical and virtual worlds, Journal of information technology in construction (15), 2010.
- Fruchter, R., A/E/C Teamwork: A Collaborative Design and Learning Space, Journal of Computing in Civil Engineering, 13, 261–269, 1999.
- Green Buildings BC, Roadmap for the Integrated Design Process, <http://www.greenbuildingsbc.com/Portals/GBBC/docs/IDP-FINAL.pdf>, 2007.
- IEA, International Energy Agency, Integrated Design Process Guideline, http://www.iea-shc.org/task23/publications/IDPGuide_print.pdf, 2003.
- Kunič, R., Krainer, A., Energetska učinkovitost, varovanje okolja in celostno načrtovanje, Gradbeni vestnik, junij, 2008.
- Lawson, B., Sketches of thought, Vinod Goel, MIT Press, Cambridge, MA (1995), 279 pp, ISBN 0-262-07163-0, Design Studies, 18, 129–130, 1997.
- Ožbolt, M., Celostna zasnova objektov kot integrirano projektno delo, diplomska naloga, FGG Ljubljana, 2008.
- Sarja, A., Integrated Life Cycle Design of Structures. London, Spon Press, 2002.
- WBDG, Whole Building Design Guide, <http://www.wbdg.org/>, 2008.
- Zimmerman, A., Integrated Design Process Guide, <http://www.waterfrontoronto.ca> (Vse povezave so delovale 1. 12. 2009.), 2008.

ZVEZA DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE

vabi na

REDNO SKUPŠČINO,

ki bo v četrtek, 27. maja 2010, s pričetkom ob 13.00 uri, v prostorih gostilne Livada, Hladnikova cesta 15, Ljubljana.

Predsednik ZDGITS
Miro Vrbeč, univ.dipl. inž.grad.

GEOTEHNIKA V LUKI KOPER NA ZAČETKU 21. STOLETJA – 1. DEL: RAZISKAVE TAL

GEOTECHNICAL ENGINEERING IN THE PORT OF KOPER AT THE BEGINNING OF 21ST CENTURY – Part 1: Ground investigations

izr. prof. dr. Janko LOGAR, univ. dipl. inž. grad.
Katedra za mehaniko tal z laboratorijem
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana

Strokovni članek
UDK: 624.13:627.3

Povzetek | Članek predstavlja sestavo in lastnosti tal v prostoru Luke Koper na podlagi zbranih rezultatov preiskav v celotnem obdobju razvoja Luke Koper, predvsem pa na podlagi novejših rezultatov zadnjih let, pridobljenih z uporabo sodobne raziskovalne opreme. Predstavljeni so tudi specifični pogoji za gradnjo v prostoru Luke, ki izhajajo iz njene dejavnosti in trendov mednarodnega trgovanja. Drugi del članka govori o aktualnih infrastrukturnih projektih v Luki Koper zadnjih petih let iz geotehničnega vidika. Pri tem je izpostavljen vidik medsebojnih vplivov obstoječe in na novo grajene pristaniške infrastrukture ter primeri uporabe geosintetičnih materialov v značilnih pogojih mehkih tal koprškega zaliva.

Summary | The paper presents the ground composition and soil properties within the Port of Koper based on the ground investigation results collected throughout the history of the development of the Port of Koper and especially in the last years using up-to-date investigation techniques. Some specific conditions for the infrastructural development of harbours are addressed, which arise from harbour daily activities and from the trends of international trading. The second part shows some examples of recent projects in the Port of Koper from geotechnical perspective. The emphasis is given on the mutual influence of the existing structures and structures under construction and selected examples of the use of geosynthetic materials in specific soft ground conditions so characteristic for the bay of Koper.

1 • UVOD

Razvoj Luke Koper se je začel sredi petdesetih let prejšnjega stoletja z ustanovitvijo Pristanišča Koper leta 1957 in pristankom prve preoceanske ladje Gorica na prvem privezu. Prvi privez dolžine 135 m je bil zgrajen kot težnostna obalna konstrukcija, saj je na severnem robu starega mestnega jedra, kjer je bil postavljen tedanji zametek današnje Luke Koper, podlaga iz eocenskega fliša plitvo pod površjem tal.

Da bi lahko v celoti izkoristili prednost koprškega pristanišča v primerjavi z drugimi pristanišči severnega Jadrana, mu je bilo treba omogočiti razvoj v smislu povečanja dolžine operativnih obal (danes znaša njihova skupna dolžina preko 3300 m) in hkrati širitev skladiščnih površin ter specialnih objektov za skladiščenje posameznih vrst tovarov. Tak razvoj je potekal bolj ali manj intenzivno vse do danes in se še nadaljuje. Večji del današnjih

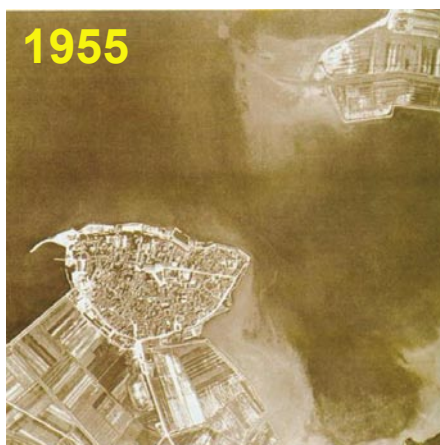
272 ha koprskih površin, namenjenih pretovoru, skladiščenju in transportu raznovrstnih tovarov je bilo iztrganih morju, kot to nazorno prikazujejo spodnje fotografije (slike 1 do 5). Tak razvoj infrastrukture, ki sledi trendom svetovne trgovine, omogoča nenehno rast obsega pretovora v Luki Koper (slika 6). Zaradi izrazito zahtevnih geotehničnih pogojev (glej naslednje poglavje) je bilo treba že zelo kmalu po izgradnji prvih operativnih obal najti rešitve za številna zahtevna razvojna vprašanja, ki so bila v veliki meri pogojena z geotehničnimi rešitvami. Za te ključne odločitve je imelo koprsko pristanišče vse od

začetka razvoja sogovornika in svetovalca iz vrst naše stroke v prof. Sovincu, ki je v nelahkih pogojih poiskal rešitve za gradnjo in temeljenje raznovrstnih objektov, ki jih Luka potrebuje za svojo dejavnost. V veliki meri se tehnološke rešitve, ki sta jih utemeljila prof. Sovinc in njegov sodelavec dr. Vogrinčič, uporabljajo še danes, le oplemenitene z novejšimi materiali in tehnologijami.

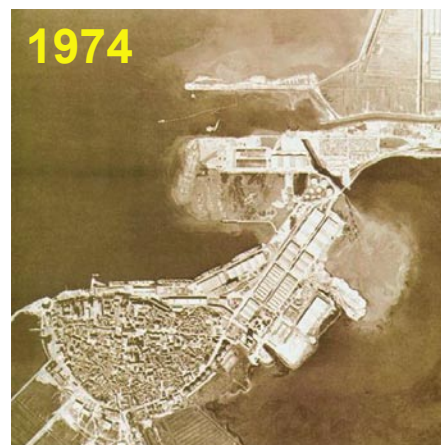
Če so bile v začetku največje težave povezane z gradnjo luške infrastrukture na izrazito mehkih morskih sedimentih, katerih debelina sega do 30 m, pa se danes srečujemo še z dodatnimi pogoji.

- Po celotnem prostoru Luke se izvaja njena primarna dejavnost in vsaka novogradnja se mora prilagoditi obstoječim objektom: ne sme povzročati prekomernih vplivov na obstoječe objekte in mora čim manj motiti dejavnost Luke. Del novogradenj že zdaj poteka v neposredni bližini objektov drugih lastnikov, kar je z vidika medsebojnih vplivov še posebej občutljivo.
- Objekti, grajeni v zgodnjem obdobju kopske Luke, so bili dimenzionirani na velikosti tedanjih ladij, na obtežbe in velikosti tedanjih dvigal, na tedanji obseg pretovora. S povečanim obsegom svetovne trgovine se povečujejo gabariti in obtežbe plovil, dvigal in druge opreme, kar zahteva ustrezne prilagoditve gradbenih objektov.
- Spreminja se delež posameznih tovorov, pojavljajo se novi, nekateri tovari se opuščajo, kar lahko pomeni, da bodo površine, danes namenjene skladiščenju tekočih tovorov, v prihodnosti prekrile denimo s kontejnerji.
- Novejši predpisi in zakonodaja zagotavljajo višjo raven zanesljivosti, kakovosti ter uporabnosti konstrukcij, kar prav tako zahteva nadgradnje že usvojenih rešitev, zaostreje pa se tudi vidik odgovornosti.
- Višji standardi varovanja okolja dodatno pogojujejo gradnje ob in v morju, upravljanje z gradbenimi odpadki, postavljajo pa tudi nove zahteve pri dejavnostih Luke, ki je – le kot primer – zaradi zaščite okolja postavila visoko protiprašno ograjo okrog evropskega energetskega terminala.

Odgovorni za razvoj v Luki Koper so imeli vselej velik posluš za argumentirane zahteve geotehnične stroke, istočasno pa se zavedajo, da v pogojih tal, kjer se razvija ta poslovno-logistični velikan (ki je po velikosti že davno prerasel staro mestno jedro Kopra), ni mogoče pričakovati (ali bolje rečeno – pogosto ni smiselno investirati v) konstrukcije enake trajnosti in uporabnosti kot v pogojih



Slika 1 • Koper in Koperski zaliv leta 1955



Slika 2 • Luka Koper leta 1974



Slika 3 • Luka Koper leta 1995



Slika 4 • Luka Koper leta 2005

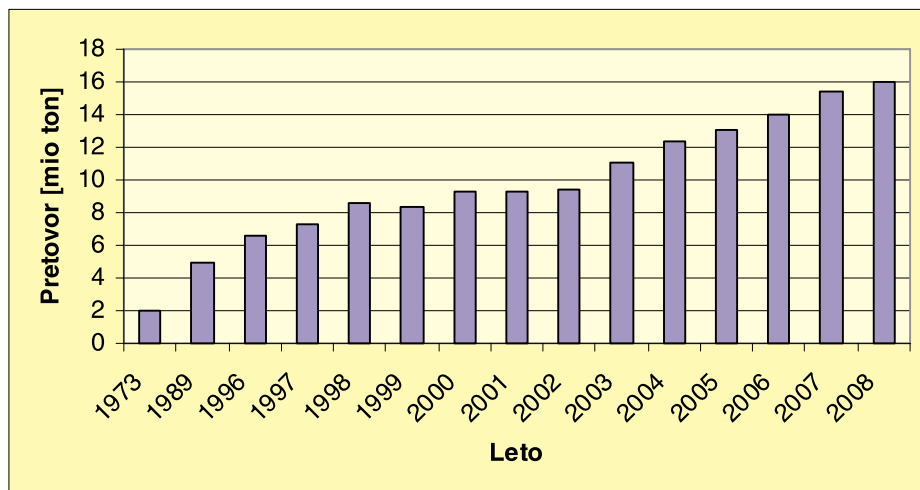


Slika 5 • Luka Koper danes (vse fotografije: Luka Koper)

bolje nosilnih in malo deformabilnih tal. Tako je že v začetku razvoja kopskega pristanišča Sovinc (Sovinc, 1994) uveljavil nekatera načela dobre geotehnične prakse, ki jih lahko danes kot standard beremo v Evrokodu 7:

- za vsak objekt se izdelajo raziskave s tipično mrežo vrtn in rastru največ 50 m,

- izdelata se ločeno poročilo o geotehničnih raziskavah in ločeno poročilo o geotehničnih vidikih projektiranja,
- kjer je to pomembno, je treba vzpostaviti sistem meritev in zanj pripraviti ustrezen projekt,
- kjer z računskimi analizami ni mogoče zanesljivo napovedati obnašanja konstruk-



Slika 6 • Obseg pretovora v Luki Koper od leta 1973 do 2008

cije, lahko projektiramo na podlagi rezultatov obremenilnih preizkušanj.

Tako je danes npr. na voljo katalog statičnih obremenilnih preizkušanj, ki ga je kot del

svoje disertacije pripravil Vogrinčič (Vogrinčič, 1992) in poleg drugih vsebuje podrobne podatke o statičnih obremenilnih preizkusih osno obremenjenih pilotov iz prostora Luke Koper. Tudi ta(k) dokument ima v duhu Evrokoda veliko vrednost, saj predstavlja »dokumentirane pretekle izkušnje«.

Razvoj Luke Koper se nadaljuje. Trenutno poteka javna obravnava državnega prostorskega načrta, ki definira prihodnje gabarite Luke Koper in rabo njenih posameznih površin ter objektov.

Pričujoči članek bo v nadaljevanju prikazal sestavo tal v prostoru Luke Koper, predstavil nekaj novejših metod raziskav tal (presiometer, dilatometer, seizmični dilatometer), ki smo jih v zadnjem času s koristjo uporabljali tudi v Luki Koper, kasneje pa prikazal izbrane primere gradenj zadnjih let s poudarkom na študiji vpliva novih gradbenih posegov na obstoječe objekte ter delno na uporabi novih materialov.

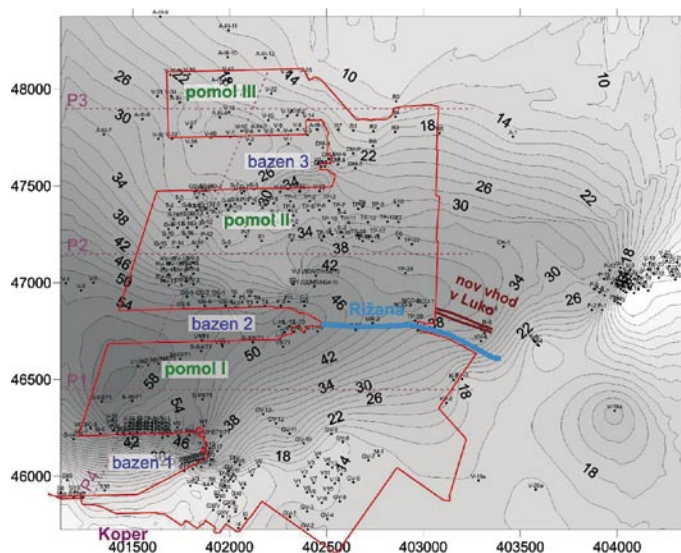
2 • SESTAVA TAL V PROSTORU LUKE KOPER

Za potrebe dosedanjega razvoja Luke Koper in nekaterih objektov v neposredni bližini (Instalacija Srmin, cestne navezave Luke Koper) je bilo izvrtanih preko 560 vrtin, kar je morda videti veliko, a pomeni le 1 vrtino na 5000 m² kopnega terena Luke ali, drugače, 11 izvedenih vrtin na leto. Iz podatkov teh vrtin so pripravljene slike 7 do 13, ki prikazujejo sestavo tal

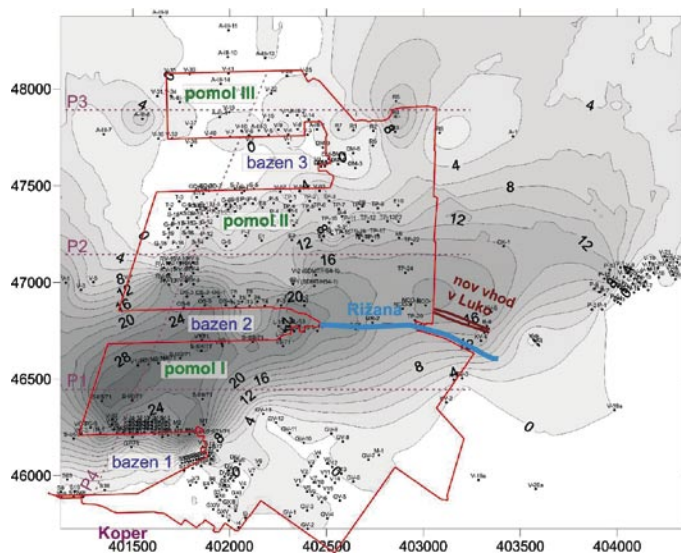
najprej situativno (koto dna morskih sedimentov, debelino proda ter koto flišne podlage) in nato še v 4 profilih preko osi vsakega od 3 pomolov ter še profil preko kopskega zaliva (P4 na sliki 13). Slike 7 do 9 so izdelane na podlagi vrtin, ki so na slikah tudi označene. Na mestih z vrtinami je prikazana sestava tal (kota ali debelina posameznega prikazanega

sloja) dobro določena, na vmesnih področjih (brez označenih vrtin) pa gre za matematično interpolacijo in dejanska sestava tal lahko odstopa od prikazane. Prikazani profili so nastali na podlagi podatkov s slik 7 do 9 in zato tudi zanje velja enak komentar. Zelo verjetno prikazana sestava tal na desni (vzhodni) polovici profila P1 odstopa od dejanskega stanja, saj tam ni podatkov.

Značilen profil tal v Luki sredi kopskega zaliva sestavlja podlaga iz eocenskega fliša na koti med -30 in -60 m. Nad njo je do



Slika 7 • Absolutne kote flišne podlage v prostoru Luke Koper



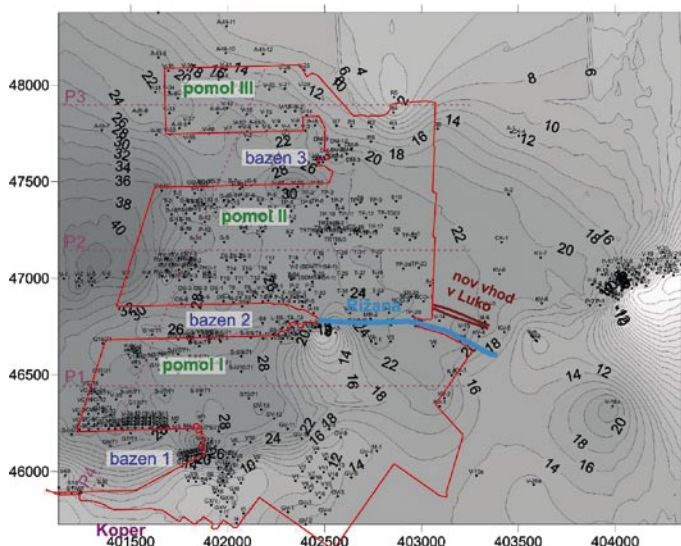
Slika 8 • Debelina prodno peščenih nanosov reke Ržane, ki lahko vsebujejo tudi do nekaj metrov debele leče gline, v prostoru Luke Koper

nekaj metrov debel sloj flišne preperine, ki ga prekrivajo različno debeli sloji pretežno prodnih in peščenih nanosov reke Rižane, ki so ponekod na različnih globinah prekinjeni z do 5 m debelimi sloji gline. Na vzhodu so to pretežno prodi, razmeroma čisti, medtem ko proti zahodu postaja ta sloj vse bolj peščen in zaglinjen. Slika 8, ki prikazuje debelino teh rečnih nanosov, lepo prikazuje njihovo lego na iztoku iz ustja Rižane, hkrati pa se največje debeline rečnih sedimentov ujemajo z lego flišne kotanje (slika 7). Na sloj rečnih sedimentov je odložen dominan-

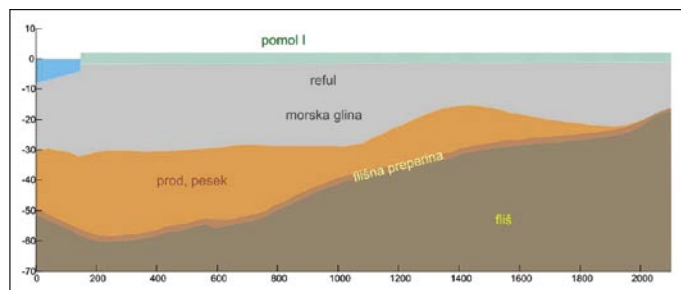
ten sloj mehkih morskih glin pretežno sive barve, ki sega pretežno do absolutne kote –26 do –30 m, le na zahodnem čelu pomola II seže do kote preko –40 m (slika 9). Med slojem morskih sedimentov in podlago se pogosto nahaja tanjši sloj organskega melja in šote.

Južni (proti mestu Koper) in severni del (proti Ankaranaru) koprskoga zaliva sta značilna po tem, da je flišna podlaga tu plitvejša, prodnih sedimentov Rižane tu praviloma ni, tako da je na sloj preperelega fliša neposredno odložen sloj mehke morske gline.

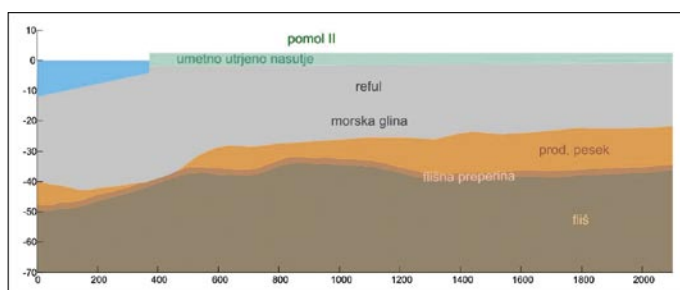
Na pomolih I in II, ki sta umetno zgrajena z materialom (refulom), pridobljenim s poglobljanjem plovnih poti s črpalnim bagrom, so na površini utrjena umetna nasutja iz flišnih in karbonatnih kamnin pretežno v debelini 2 do 4 m. Reful najdemo pretežno do največje globine 12 m (kota –10 m). Njegove lastnosti so podobne lastnostim morskih glin, le da je zaradi prečrpavanja nekoliko heterogen, saj se menjavajo tanjši sloji bolj glinastih in bolj meljno peščenih slojev. Morska glina izkazuje zelo homogen profil fizikalnih in mehanskih lastnosti z globino (glej slike 14, 16 in 17 v nadaljevanju).



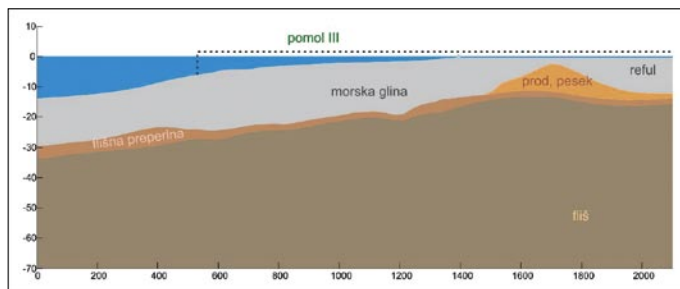
Slika 9 • Absolutne kote dna sloja mehkih morskih glin v prostoru Luke Koper



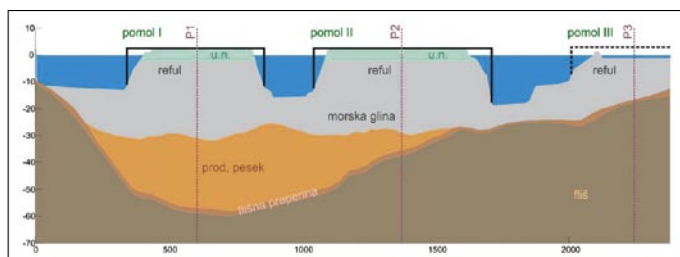
Slika 10 • Sestava tal v profilu P1 (preko pomola I); merilo višin 10-krat večje od merila dolžin



Slika 11 • Sestava tal v profilu P2 (preko pomola II); merilo višin 10-krat večje od merila dolžin



Slika 12 • Sestava tal v profilu P3 (preko pomola III); merilo višin 10-krat večje od merila dolžin



Slika 13 • Sestava tal v profilu P4; merilo višin 10-krat večje od merila dolžin

3 • RAZISKAVE LASTNOSTI TAL

Možnosti terenskih in laboratorijskih raziskav tal se nenehno širijo. V naših laboratorijih je v zadnjih 10 letih triosna preiskava postala rutin-

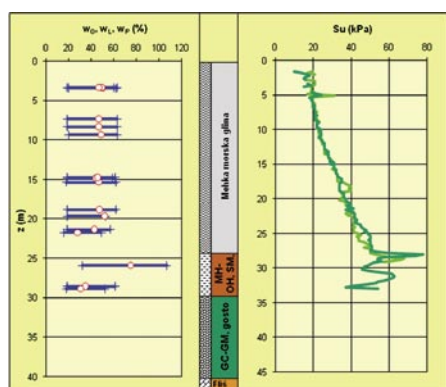
ska dostopna, posodobljeni so direktni strižni aparati in z dovolj majhnimi hitrostmi striženja lahko izmerimo drenirane strižne parametre

tudi zelo malo prepustnim glinam, kakršne so morske gline v prostoru Luke Koper. Hkrati se uvajajo tudi postopki izvedbe preiskav skladno z najnovejšimi mednarodnimi standardi. V zadnjih 10 letih smo v domači prostor pripeljali tudi nove metode terenskih meritev raziskav tal. CPT je dostopen in tudi v Luki

Koper uporabljan že od konca 80 let, od leta 2003 pa v Luki uporabljamo Marchettijev dilatometer in Ménardov presiometer. Seizmični dilatometer smo v Luki prvič uporabili leta 2006.

Pri raziskavah lastnosti tal za potrebe projektiranja in gradnje posameznih objektov v Luki Koper je vselej velika pozornost posvečena lokalnim lastnostim sloja morskih sedimentov, ki bistveno vpliva na stabilnost, posedanje tal in vplive na sosednje objekte, ter lastnostim nosilnega sloja (prodnopeščenega sloja rečnih sedimentov ali flišne podlage) zaradi projektiranja morebitnega globokega temeljenja objektov.

Dominanten sloj tal je sloj morske gline. Morska glina je normalno konsolidirana, visokoplastična glina z značilnimi mehanskimi lastnostmi, kot jih podajata preglednica 1 in slika 14, ki predstavlja profil tal na jugozahodnem delu pomola I. Nedrenirana strižna trdnost narašča z globino in ima plitvo pod površjem značilno vrednost okrog 15 kPa ter naraste do dna telega sloja na vrednosti preko 40 kPa. Podatki (Sovinc, Vogrinčič, 1994), ki se nanašajo na severni del pomola II, kažejo nekoliko bolj heterogeno sestavo mehkih morskih sedimentov, ugotovljene mehanske lastnosti so skladno s tem nekoliko bolj razpršene, a zelo podobnega reda velikosti.



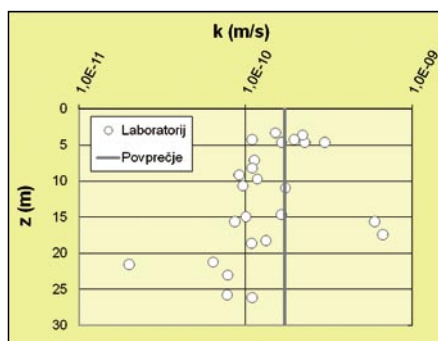
Slika 14 • Značilni profil tal v Luki Koper (JZ del pomola I) s prikazom profila vlažnosti in leznih mej (levo) ter profilom nedrenirane strižne trdnosti (desno)

3.1 Dilatometer

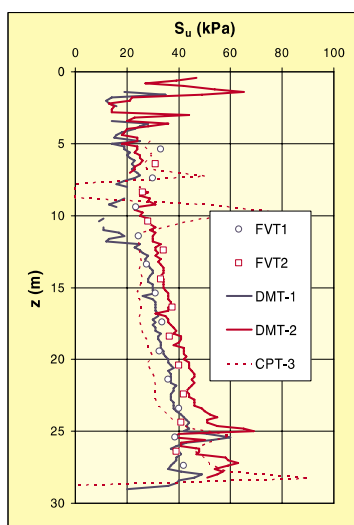
Ko smo leta 2003 prvič izvajali meritve z Marchettijevim dilatometerom (Marchetti, 1980), smo te meritve primerjali z rezultati že uveljavljenih meritev CPT in meritev s krilno sondo. Prednost dilatometra je v tem, da poleg zanesljivih podatkov o nedrenirani strižni trdnosti daje še zelo dobre podatke o modulu stisljivosti.

Lastnost	Vrednost
Prostorninska teža γ (kN/m ³)	17,0–18,0
Meja židkosti w_L (%)	61
Indeks plastičnosti I_p (%)	42
Indeks konsistence I_c (%)	0,1–0,6
Vlažnost w (%)	45–50
λ	0,17
κ	0,05
Strižni kot φ' (°)	24–26
Prepustnost k (m/s)	10^{-10}

Preglednica 1 • Značilne mehanske lastnosti sloja morske gline



Slika 15 • Izmerjene vrednosti prepustnosti sloja morske gline; podatki z jugozahodnega dela pomola I



Slika 16 • Primerjava nedrenirane strižne trdnosti, izmerjene z dilatometerom, krilno sondo in statičnim konusnim penetrometrom na jugovzhodnem delu pomola II; desno je shematska situacija sond

3.1.1 Nedrenirana strižna trdnost

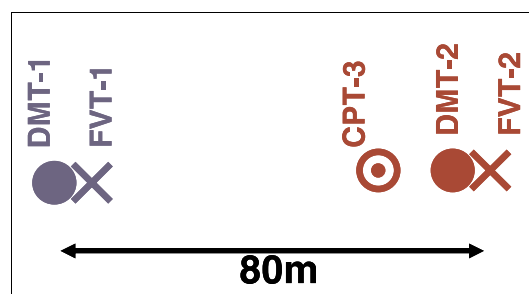
Primerjava nedrenirane strižne trdnosti je bila izvedena na podatkih iz jugozahodnega dela pomola II, kjer sta bila na medsebojni razdalji 80 m izvedena dva para meritev z dilatometerom in krilno sondo, 20 m od druge lokacije pa še meritev s statičnim konusnim penetrometrom (slika 16 desno). Razdalja med lokacijama meritev z dilatometerom in krilno sondo je znašala 3 oziroma 5 m. Graf na sliki 16 prikazuje primerjavo rezultatov z globino. Barve posameznih črt na grafu se ujemajo z barvami sond na shematski situaciji. Tako je treba medsebojno primerjati »modre« podatke za lokacijo 1 in »rdeče« za lokacijo 2. Ujemanje rezultatov krilne sonde in dilatometra je odlično, še posebej med globinama 12 do 23 m, kjer se nahaja homogen sloj morske gline. Višje se iz grafa razbere bolj heterogen material sicer podobnih lastnosti, kar je značilno za reful.

Na sliki 14 prikazan profil nedrenirane strižne trdnosti z druge lokacije (jugozahodni del pomola I) pokaže podoben red velikosti nedrenirane strižne trdnosti, poleg tega pa dokazuje odlično ponovljivost rezultatov meritev z dilatometerom.

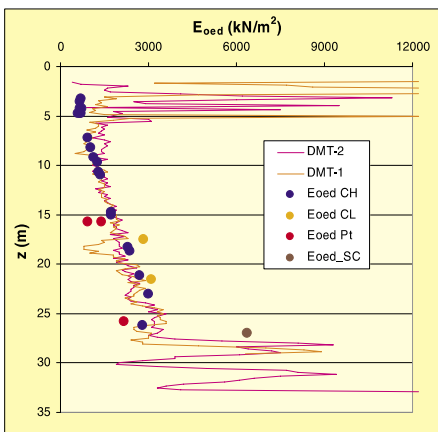
3.1.2 Togost (modul stisljivosti)

Bistvena prednost dilatometra pred preiskavo CPT je v tem, da poleg nedrenirane strižne trdnosti daje zanesljiv profil modula stisljivosti tal.

Za potrebe širitve obale na kontejnerskem terminalu, ki je kompleksen projekt (vsebuje izgradnjo obale za pretovor, zaledne konstrukcije za skladiščenje kontejnerjev, del zaledja iz zemeljskega nasutja ter kaseto za reful), so bile izvedene natančne raziskave tal, kar je omogočilo primerjavo edometričnih modulov, merjenih z dilatometerom, s tistimi iz laboratorijskih preiskav na 22 vzorcih. Zaradi velike površine, ki jo pokriva novogradnja, so bile



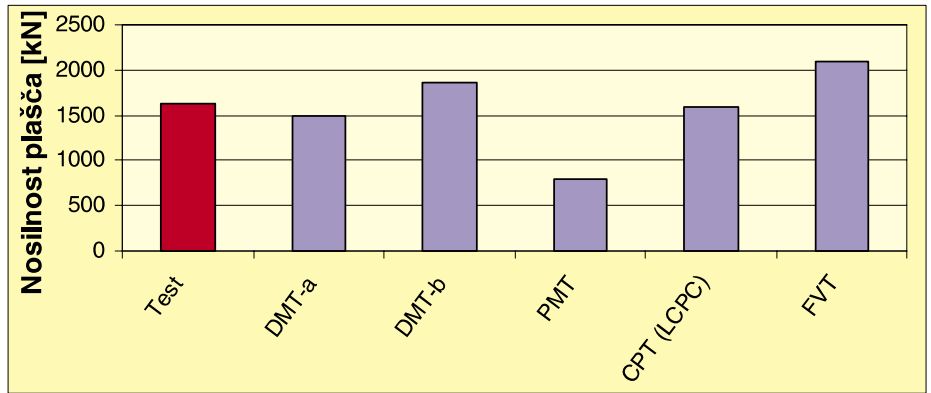
posamezne vrtnice z laboratorijsko preiskanimi vzorci tudi 200 m oddaljene od lokacij dveh dilatometrskih preiskav. Laboratorijski rezultati, prikazani na sliki 17, so interpretirani tako, da je modul izrednoten pri začetnem geološkem tlaku ob upoštevanju prirastka vertikalne napetosti 25 kPa. Primerjava teh vrednosti z dilatometrijskimi moduli stisljivosti kaže na izjemno dobro ujemanje, zlasti v sloju morske gline (modre točke na sliki 17). Če upoštevamo medsebojno prostorsko oddaljenost posameznih sond, lahko tudi za module stisljivosti, izmerjene vzorcem šote in nizkoplastične gline ter peska, ugotovimo, da dilatometer dobro opisuje togost zemljin v koprskem zalivu.



Slika 17 • Primerjava edometerskih modulov E_{oed} , dobljenih z dilatometrom in z laboratorijskimi preiskavami (jugozahodni del pomola I)

3.1.3 Nosilnost plašča pilota

Dilatometer omogoča tudi izračun nosilnosti plašča pilota v glinenih tleh. Teoretične osnove je podal Powell s sodelavci (Powell, 1991), in sicer navajajo dve možni metodi za oceno nosilnosti plašča – metodo a) za tlačno ali natezno obremenjene pilote ter metodo b) za izključno tlačno obremenjene pilote. Slika 18 prikazuje primerjavo nosilnosti plašča jeklenega pilota premera 813 mm v sloju gline, izračunano po obeh metodah Powella (DMT-a in DMT-b), na podlagi meritev s presiometrom (PMT), po metodi LCPC na podlagi CPT meritev ter na podlagi meritev s krilno sondo po enačbi $q_s = \alpha S_u$ (FVT). Opazimo lahko veliko neskladje nosilnosti, ocenjene na podlagi presiometrijskih meritev, kar je predvsem posledica slabe natančnosti meritev v mehki morski glini in ne računskih metod. Tu prideta do izraza dobra ponovljivost meritev in majhna odvisnost od operaterja pri izvedbi



Slika 18 • Merjena in računsko ocenjena nosilnost plašča pilota v sloju morske gline

meritev DMT in CPT. Nekoliko več podrobnosti je navedenih v članku Logarja in sodelavcev (Logar, 2007).

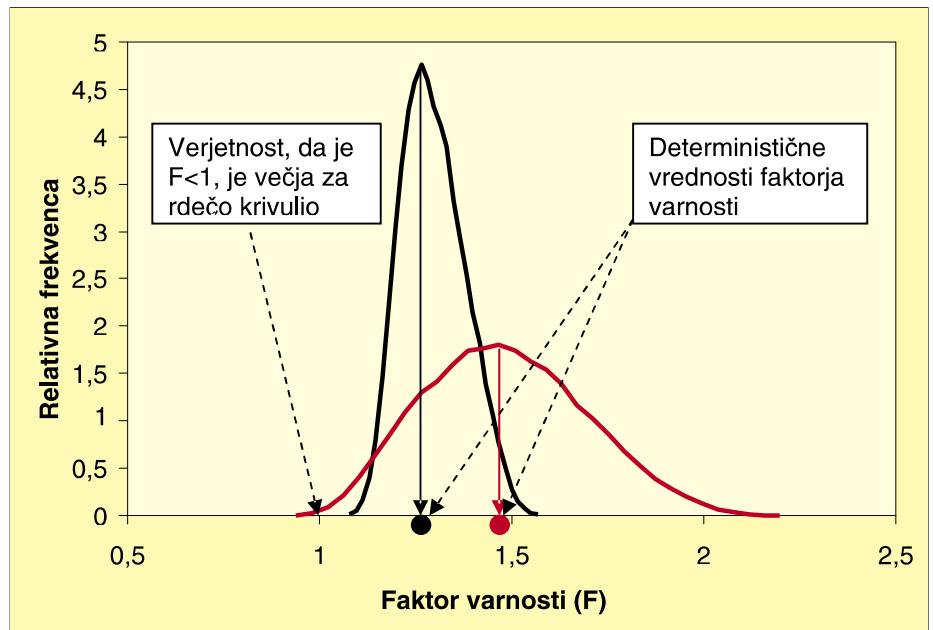
3.1.4 Probabilistična analiza stabilnosti

Čeprav imamo danes na voljo odlična komercialna orodja za analize stabilnosti, ki omogočajo probabilistične analize stabilnosti (izračun verjetnosti porušitve namesto determinističnega faktorja varnosti), se probabilistični računi stabilnosti v geotehnični praksi ne izvajajo. Najpogostejši racionalni razlog za to je, da imamo na voljo premajhno število materialnih podatkov iz preiskav tal za oceno statistične porazdelitve posameznega vplivnega parametra (npr. trdnosti). Odkar sta

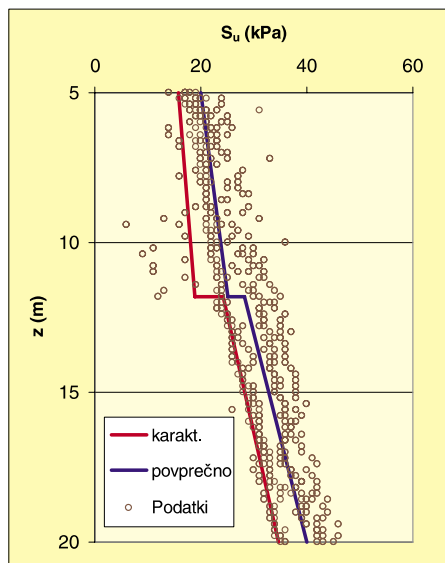
na voljo preiskavi, kot sta CPT in dilatometer, je tudi to le še izgovor.

Prednost probabilistične analize stabilnosti je v tem, da programsko orodje na podlagi ugotovljenih statističnih porazdelitev parametrov trdnosti (ali pa nivoja talne vode, prostorninske teže, obtežb ...) ponavlja račun stabilnosti za poljubno množico (več deset ali sto tisoč) naključnih kombinacij vseh relevantnih parametrov. Slika 19 prikazuje, da večji faktor varnosti še ne pomeni tudi manjše verjetnosti porušitve. S tem pa probabilistični račun pomeni boljši vpogled v zanesljivost geotehnične konstrukcije.

Za primer si poglejmo analizo stabilnosti nasutega zaledja nove kontejnerske obale



Slika 19 • Rezultata probabilistične analize stabilnosti. Rdeča krivulja je dobljena z materialnimi lastnostmi, za katere je značilen velik koeficient variacije (velik raztros rezultatov). Kakovostni materialni podatki in relativno homogene razmere v tleh pa vodijo do manjšega koeficienta variacije, in čeprav je povprečna vrednost nižja, je manjša tudi verjetnost porušitve (črna krivulja).

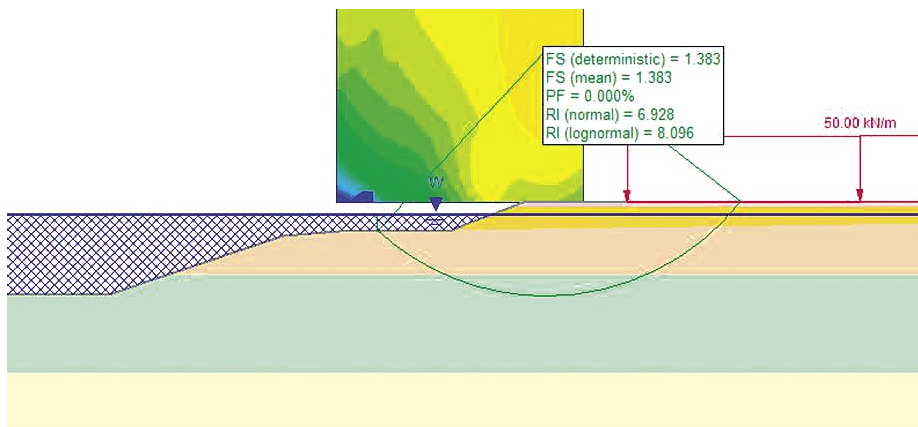


Slika 20 • Merjene vrednosti nedrenirane strižne trdnosti s prikazanimi linearnima aproksimacijama za povprečno (modro) in karakteristično vrednost s 95 % stopnjo zaupanja (rdeče)

na I pomolu Luke Koper. Na zaledju je še obtežba 50 kPa. Slika 20 prikazuje posamezne izmerjene vrednosti nedrenirane strižne trdnosti z dilatometrom na tej lokaciji. S pomočjo Excela smo določili povprečno (modro) in karakteristično (rdečo) linijo nedrenirane strižne trdnosti z globino. Nato smo s programom Slide (Rocscience) izvedli deterministično in probabilistično analizo stabilnosti. Deterministična analiza stabilnosti s karakterističnimi vrednostmi strižne trdnosti izračuna varnostni faktor $F = 1,28$, kar v skladu z Evrokodom 7, ki za nedrenirano strižno trdnost zahteva $F = 1,4$, ni dovolj. Deterministična analiza tudi za povprečno vrednost trdnosti tal privede le do varnosti $F = 1,38$. Probabilistična analiza z izračunano povprečno vrednostjo in koeficientom variacije pa kljub temu pri 100.000 simulacijah pokaže (slika 21), da je verjetnost porušitve 0 % z visokim indeksom zanesljivosti $RI = 6,93$ (običajno smo zadovoljni z rezultatom $RI > 3$, ki pomeni, da je rezultat za več kot tri standardne deviacije oddaljen od srednje vrednosti).

3.2 Seizmični dilatometer

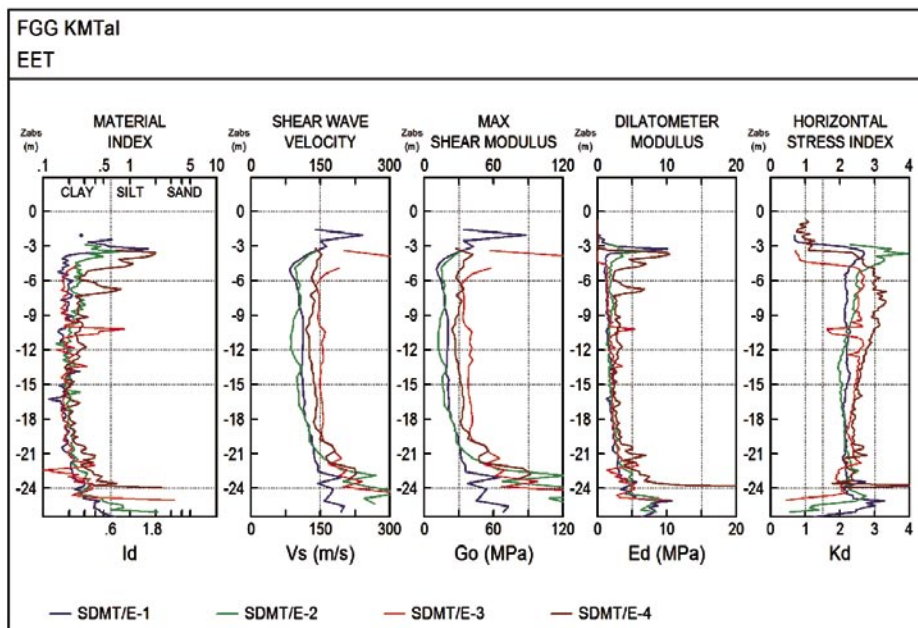
V letu 2007 so se izvajale preiskave tal na področju Evropskega energetskega terminala (EET), kjer smo lahko izkoristili tudi najnovejši razvojni dosežek Marchettija – seizmični dilatometer (SDMT). O opremi ter postopku



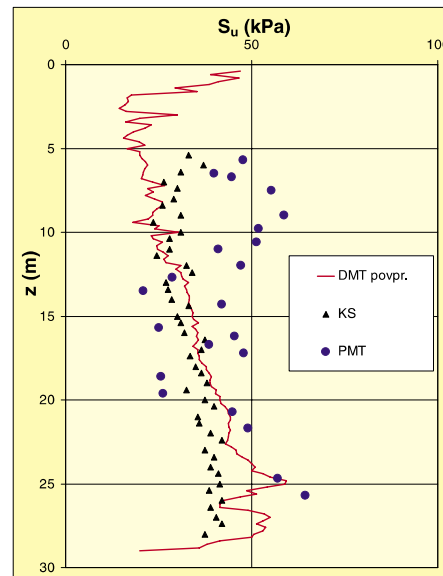
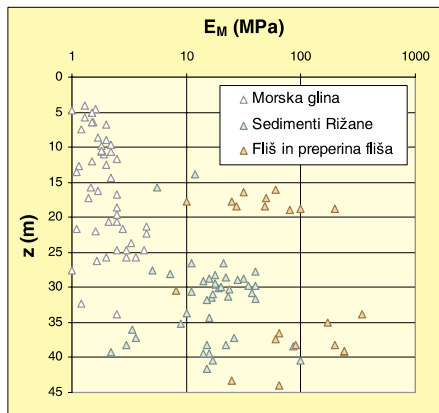
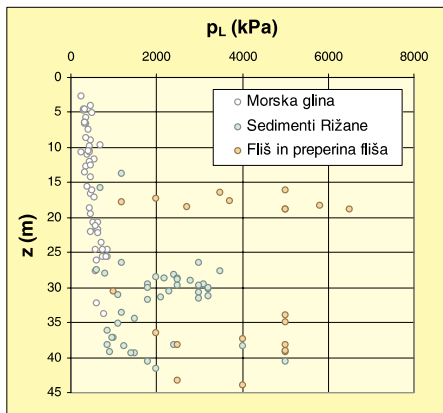
Slika 21 • Rezultat probabilistične globalne stabilnostne analize



Slika 22 • Situacija Evropskega energetskega terminala z lokacijami izvedenih meritev SDMT



Slika 23 • Rezultati meritev s seizmičnim dilatometrom na Evropskem energetskega terminalu



Slika 24 • Rezultati presiometriških meritev z Ménardovim presiometrom v Luki Koper: izmerjene vrednosti mejnega tlaka p_L (levo) in presiometriškega modula E_M (desno) za posamezne značilne sloje tal

meritve in analize smo že poročali (Robas, 2008). Seizmični dilatometer meri hitrosti strižnega valovanja tal in s tem omogoča izračun togosti tal pri zelo majhnih deformacijah (G_0).

Slika 22 prikazuje situacijo terminala z lokacijami štirih izvedenih meritev. Rezultati meritev so prikazani na sliki 23. Rezultati kažejo, da se pod različnimi mesti deponije dilatometriški moduli bistveno ne razlikujejo med seboj. Nasprotno pa začetni strižni modul (G_0) pokaže vpliv obremenitve tal na stanje sloja mehke morske gline: deponija se je začela uporabljati in širiti z vzhodne strani. Najdlje in z največjo trenutno obtežbo je obremenjen del deponije v okolici sonde SDMT-3 in v smeri proti SDMT-4. Trajanje in intenziteta obremenitve se manjšata proti zahodu – proti sondi SDMT-1. Temu dejstvu sledijo tudi merjene vrednosti hitrosti strižnega valovanja oziroma začetnega strižnega modula.

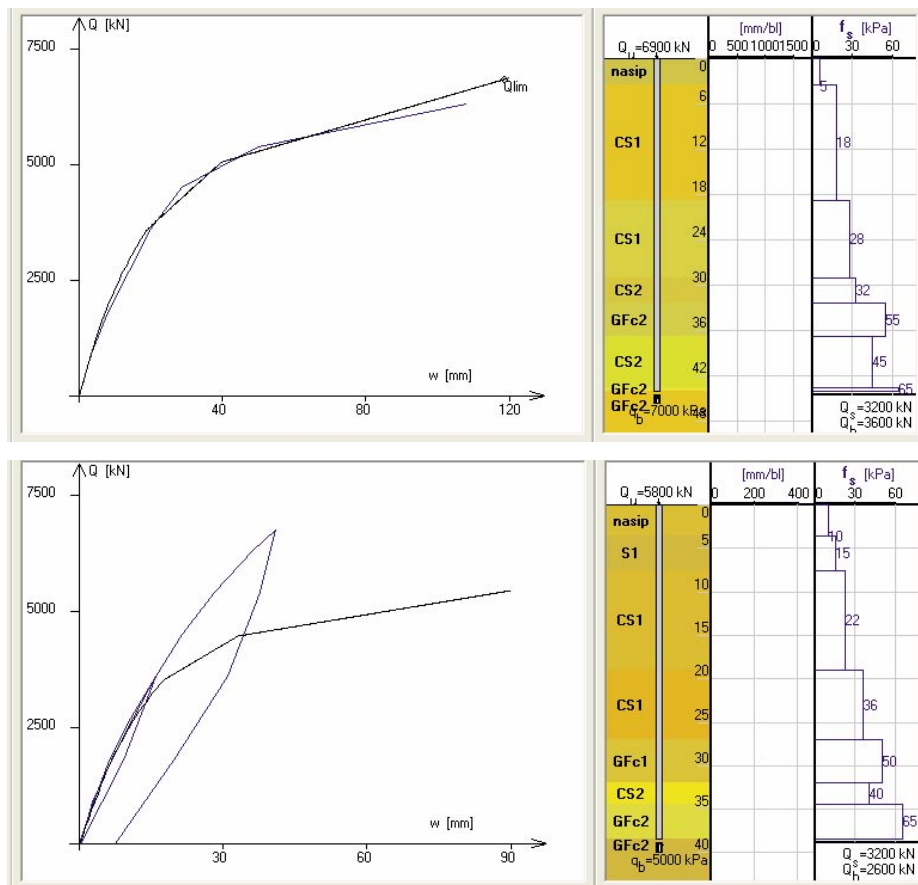
3.3 Presiometer

Ménardov presiometer smo v Luki Koper prvič uporabili leta 2004 in do danes izvedli meritve na lokacijah osmih objektov. Skupno je bilo izvedenih 118 meritev (51 v morskih sedimentih, 46 v prodnopesčenih sedimentih Rižane in 21 v flišni podlagi in njeni preperini). Rezultate meritev prikazuje slika 24, in sicer izmerjene vrednosti mejnega tlaka (p_L) in presiometriškega modula (E_M).

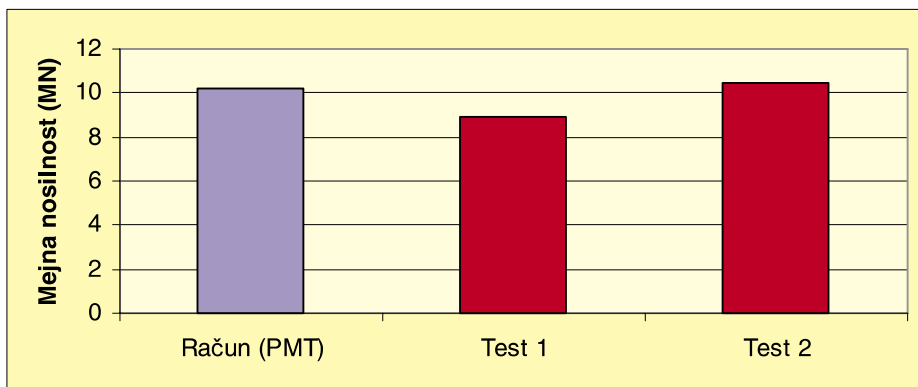
Slika 25 prikazuje še enkrat podatke s slike 16 s tem, da so dodane še ocene nedrenirane strižne trdnosti morske gline, dobljene na podlagi presiometriških meritev (PMT). Jasno je videti, da je red velikosti tega parametra na osnovi presiometriških meritev sicer pravi, a raztros rezultatov prevelik. Razlog je v premajhni občutljivosti presiometra za tako mehke

materiale oziroma v zahtevni izvedbi meritev v tovrstnih materialih. Zato smo meritve s presiometrom v sloju morskih glin izvajali le v nekaj prvih nizih raziskav, kasneje pa presiometer uporabljali le za meritve lastnosti sedimentov reke Rižane in flišne podlage.

Slika 25 • Raztros rezultatov nedrenirane strižne trdnosti, ocenjene iz presiometriških meritev (PMT), v primerjavi z rezultati krilne sonde (KS) in dilatometra (DMT)



Slika 26 • Rezultata napovedi obnašanja dveh pilotov, na katerih je bila kasneje izvedena statična obremenilna preizkušnja. Računsko napoved prikazuje črna črta, z modro je prikazan rezultat meritve



Slika 27 • Napovedana in merjena nosilnost (z dinamičnim obremenilnim testom) uvrtnih pilotov premera 118 cm in globine 40 m na nadvozu čez železnico

Presiometriške meritve smo uporabljali izključno za analizo nosilnosti in posedkov osno obremenjenih pilotov. Čeprav je metodologija za analizo nosilnosti in posedkov pilotov na podlagi presiometriških meritev dobro znana in uveljavljena, je bilo možno na podlagi 17 izvedenih statičnih obremenilnih testov v Luki Koper izdelati podrobnejša pravila za obnašanje stika med zemljinjo in pilotom posebej za jeklene pilote in za zemljine iz koprskega zaliva ((Kuder, 2007), (Kuder, 2008)). Za opis obnašanja plašča so uporabljeni bilinearni diagrami (trenje–pomik), za opis obnašanja konice pa trilinearni diagrami (odpor–posedek). Na tak način smo v letu 2007 pripravili slepo napoved obnašanja dveh jeklenih pilotov premera 813 mm s konico v prodnem sloju, ki sta bila pripravljena za statični obremenilni test. Rezultata prikazuje slika 26. Ena napoved se popolnoma ujema s kasnejšo meritvijo,

druga se ujema le v začetnem območju, ko je obnašanje bistveno odvisno od plašča pilota, kasneje, ko obtežbo prevzema še konica, pa je račun podcenil dejansko nosilnost. Tak rezultat je ugoden, saj lokalno boljših razmer ob konici, ki lahko pomembno vplivajo na obnašanje pilota pri večjih obtežbah, ne gre posploševati in upoštevati pri projektiranju. Obnašanje obeh pilotov v območju delovnih obtežb pa je z računsko metodo dobro napovedano. Rezultate presiometriških meritev smo uporabili tudi za dimenzioniranje uvrtnih pilotov. Prvič so bili uvrtni piloti v večjem obsegu uporabljeni na objektu za skladiščenje avtomobilov, ki je za tak način temeljenja primeren, saj je flišna podlaga tu relativno plitva (nad abs. koto – 15 m). Na dovozni rampi na garažni objekt, ki se od garaže oddaljuje v smeri proti morju, pa se flišna podlaga naglo spušča. Uvrtni piloti so na zadnjih podporah tako pri dolžinah

preko 40 m ostajali v flišni preperini ali celo v prodnopedšenem nanosu Rižane. Tu so bile preizkušane tehnološke meje opreme, saj je izvedba uvrtnih pilotov premera 150 cm do globin ca. 43 m vse prej kot vsakdanje delo. Ker pilot ni segel v flišno podlago, je bila z dinamičnim obremenilnim testom preverjena njegova nosilnost. Konservativna ocena nosilnosti z analizo CAPWAP je pokazala mejno nosilnost preko 12 MN, kar je zadoščalo projektnim zahtevam.

Za uvrtno pilote premera 118 cm, ki so bili predvideni za temeljenje nadvoza preko železnice na cestni navezavi na nov glavni vhod v Luko, je bilo na osnovi presiometriških meritev in projektnih zahtev ugotovljeno, da morajo segati vsaj 13 m v prodni nanos Rižane, kar pomeni, da morajo biti piloti globoki 40 m, saj sega glineni sloj do globine 25–27 m. Pri takih pogojih je bila računsko mejna nosilnost 10,2 MN. Z dinamičnima obremenilnima testoma je bila dokazana nosilnost 8,9 oziroma 10,5 MN (slika 27). Ker je bila pri tem ocenjena relativno nizka nosilnost konice (2,5 oziroma 2,7 MN ali 2,3 oziroma 2,5 MPa), je zelo verjetno, da bi s statično obremenilno preizkušnjo dokazali še nekoliko večje nosilnosti. Vsekakor je napoved na podlagi presiometriških meritev dobra.

Presiometer se je tudi v prostoru Luke Koper izkazal kot zanesljiv pripomoček za preiskave lastnosti nosilnih slojev tal z namenom dimenzioniranja globokega temeljenja.

(Se nadaljuje v majski številki)

KONFERENCA
**TRAJNOSTNO
GRADBENISTVO
& ZELENA JAVNA
NAROCILA**

**RAZVOJNE IN POSLOVNE
PRILOŽNOSTI**

18.05.2010
Konferenčni center
BRDO PRI KRANJU

ORGANIZIRA:
Inženirska zbornica Slovenije
Jarška cesta 10/b,
1000 Ljubljana, Slovenija

POD POKROVITELJSTVOM: **MOP**
V SODELOVANJU Z: **GZS, ZAG in GI
ZRMK**

Več na www.izs.si.

www.izs.si

KOLEDAR PRIREDITEV

3.-5.5.2010

**IABSE Conference
International Structural Codes**
Dubrovnik, Hrvaška
www.iabse.ethz.ch/conferences/calendarofevents

14.-20.5.2010

**ITA-AITES World Tunnel Congress 2010 and
the 36th ITA-AITES General Assembly**
Vancouver, Kanada
www.wtc2010.org

23.-27.5.2010

**5th International Symposium on Computational Wind
Engineering (CWE 2010)**
Chapel Hill, Severna Karolina, ZDA
www.cwe2010.org

29.5.-2.6.2010

**The Third International fib Congress and Exhibition
"Think Globally, Build Locally"**
Washington D.C., ZDA
www.fib2010washington.com

9.-11.6.2010

**STC 2010
Swiss Tunnel Congress**
Luzern, Švica
www.swisstunnel.ch/STC-2010.39.0.html?&L=0

14.-16.6.2010

**International Conference Underground Constructions
Prague 2010
Transport and City Tunnels**
Praga, Češka
www.ita-aites.cz/showdoc.do?docid=2004

20.-23.6.2010

8th fib International PhD Symposium in Civil Engineering
Kopenhagen, Danska
<http://conferences.dtu.dk/conferenceDisplay.py?confid=21>

21.-23.7.2010

**ICSA 2010
International Conference on Structures and Architecture**
Guimares, Portugalska
www.arquitectura.uminho.pt

3.-6.8.2010

**SMSB 10
8th International Conference on
Short and Medium Span Bridges 2010**
Niagara Falls, Ontario, Kanada
www.csce.ca/2010/smsb

8.-10.8.2010

Advances in Bridge Engineering – II
Daka, Bangladeš
www.iabse-bd.org

22.-24.9.2010

**34th IABSE Annual Meetings and
IABSE Symposium**
Benetke, Italija
www.iabse.ethz.ch/conferences/calendarofevents

30.9.-1.10.2010

**6th "CCC" Central European Congress on Concrete
Engineering**
Marianske Lazne, Češka
www.cbsbeton.eu/en/ccc2010

7.-8.10.2010

**SDGK 2010
32. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije**
Bled, Slovenija
www.sdgk.si

15.11.-16.11.2010

**State-of-the-art Bridge Deck Erection: Safe and
Efficient Use of Special Equipment**
Bangkok, Tajska
www.iabse.org/pdf/Bangkok-invitation.pdf

8.-10.6.2011

**fib Symposium: "Concrete engineering for excellence
and efficiency"**
Praga, Češka
www.fib2011prague.com

15.-17.6.2011

**ICMS 2011
12th International Conference on Metal Structures**
Wroclaw, Polska
www.icms2011.pwr.wroc.pl/index_pliki/Page300.htm

10.-15.7.2011

**13th International Conference on
Wind Engineering**
Amsterdam, Nizozemska
www.icwe13.org

7.-11.8.2011

**9th Symposium on High Performance Concrete
Design, Verification and Utilization**
Christchurch, Nova Zelandija
www.hpc-2011.com

20.-23.9.2011

**IABSE Annual Meetings and
IABSE Symposium**
London, Anglija
www.iabse.ethz.ch/conferences/calendarofevents

Rubriko ureja • **Jan Kristijan Juteršek**, ki sprejema predloge
za objavo na e-naslov: msg@izs.si