

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Visokošolski strokovni študij
gradbeništva, Konstrukcijska smer

Kandidat:

Uroš Jerič

TEHNOLOGIJA IZVEDBE PARKIRNE HIŠE NA KONGRESNEM TRGU V LJUBLJANI PO SISTEMU Z RAZPORNIMI PLOŠČAMI

Diplomska naloga št.: 408

Mentor:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

izr. prof. dr. Jana Šelih

Ljubljana, 2010

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Skladno s 27. členom Pravilnika o diplomskem delu UL Fakultete za gradbeništvo in geodezijo,

Podpisani/-a UROŠ JERIČ izjavljam, da sem avtor/-ica diplomske naloge z naslovom:
Tehnologija izvedbe parkirne hiše na Kongresnem trgu v Ljubljani po sistemu z razpornimi ploščami.

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

Noben del tega zaključnega dela ni bil uporabljen za pridobitev strokovnega naziva ali druge strokovne kvalifikacije na tej ali na drugi univerzi ali izobraževalni inštituciji.

Ljubljana, 10.12.2010

(podpis kandidata/-ke)

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

- UDK:** 624.152:725.381(043.2)
- Avtor:** Uroš Jerič
- Mentor:** izr. prof. dr. Janko Logar, univ. dipl. inž. grad.
- Somentorica:** izr. prof. dr. Jana Šelih, univ. dipl. inž. grad.
- Naslov:** Tehnologija izvedbe parkirne hiše na Kongresnem trgu v Ljubljani po sistemu z razpornimi ploščami
- Obseg in oprema:** 61 strani, 10 preglednic, 43 slik, 6 grafikonov
- Ključne besede:** varovanje gradbene jame, diafragma, medetažna razporna plošča, jeklene razpore, sestava tal, geostatična analiza, terminski plan

Izveček

V vse bolj gosto naseljenih mestnih jedrih primanjkuje parkirnih prostorov za stanovalce mestnih jeder in dnevne migrante, zato se v zadnjem času pogosto izdelujejo podzemne parkirne hiše, ki omogočajo parkiranje večjega števila vozil in so skoraj neopazne na površju. Namen diplomskega dela je predstavitev izvedbe parkirne hiše na Kongresnem trgu v Ljubljani. Prvi del opisuje varovanje gradbene jame in izvedbo armirano betonske diafragme. Na podlagi sestave tal iz geotehničnega poročila je bila z računalniškim programom Amses izdelana geostatična analiza predvidenega najbolj obremenjenega prečnega prereza. Rezultati analize so pokazali največje upogibne, prečne in osne obremenitve v najglobljem delu konstrukcije, kar je bilo pričakovano, saj z globino naraščajo zemeljski pritiski na konstrukcijo. Drugi del predstavlja varovanje gradbene jame na Kongresnem trgu z armirano betonsko diafragma in opisuje izvedbo konstrukcijskih elementov ter črpanje podtalne vode. Tretji del pa je namenjen predstavitvi tehnologije izvedbe parkirne hiše po sistemu od zgoraj navzdol z razpiranjem diafragme z razpornimi medetažnimi ploščami in jeklenimi razporami.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDK:	624.152:725.381(043.2)
Author:	Uroš Jerič
Supervisor:	Associate. Prof. Ph. D. Janko Logar, B.S.C.E.
Co-supervisor:	Associate. Prof. Ph. Jana Šelih, B.S.C.E
Title:	Technological aspects of the construction of underground parking house in the center of Ljubljana by top - down method
Notes:	61 pages, 10 tables, 43 figures, 6 graphs
Key words:	excavation pit, diaphragm wall, supporting floors, sheet piles, structure of the soil, geostatic analysis, time schedule

Abstract

In densely populated urban areas there is a lack of parking spaces for urban residents and commuters. That is why underground parking houses are being made. They allow parking of numerous vehicles and are almost invisible on the surface. The purpose of this Graduation Thesis is to present the construction of the parking house at Kongresni trg in Ljubljana. The first part describes the protection of excavation pit and construction of reinforced concrete diaphragm wall. Based on the structure of the soil which is described in the geotechnical report, the static analysis has been carried out with the use of Amses computer program. Results of analysis show the maximum bending moments, shear and axial forces account in the deepest ground part of the structure, which was expected because stresses in the soil structure increase with depth. The second part of the Thesis presents the protection of excavation pit with reinforced concrete diaphragm wall and describes the construction of structural components and groundwater pumping. Finally the third part describes the construction technology for building the parking house by diaphragm walls from top to bottom by supporting reinforced concrete floor and tubular steel braces.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju izr. prof. dr. Janku Logarju in somentorici izr. prof. dr. Jani Šelih za pomoč in vodenje pri nastajanju diplomske naloge.

Za nasvete in podporo pri izdelavi diplomske naloge se zahvaljujem g. Štefanu Cöru, podjetju Swietelsky Kft. in podjetju Gradis skupina G d.d. ter vsem ostalim, ki so mi kakorkoli nudili pomoč.

Posebna zahvala gre dekletu Jerneji za razumevanje in spodbujanje tekom študija in pomoč pri nastajanju diplomske naloge.

Iskrena zahvala moji družini, ker ste mi omogočili študij in nudili pomoč tekom študija.

Vsem skupaj še enkrat hvala!

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	VAROVANJE GRADBENE JAME	3
2.1	Gradbena jama	3
2.1.1	Gradbena jama s prostimi brežinami	3
2.1.2	Gradbena jama s podporno konstrukcijo	4
2.2	Armirano betonska diafragma	5
3	SESTAVA TAL NA KONGRESNEM TRGU	8
3.1	Opis terenskih preiskovalnih del	9
3.1.1	Sondažno vrtanje	9
3.1.2	Presiometriške preiskave tal	9
3.1.3	Dilatometriške preiskave tal	10
3.1.4	SPT preiskave tal – standardni penetracijski preizkus	11
3.1.5	Laboratorijske preiskave	12
3.2	Geološka sestava tal	12
3.3	Hidrogeološke razmere	17
3.3.1	Viseča podzemna voda	17
3.3.2	Spodnja gladina podzemne vode	18
3.4	Seizmičnost terena	19
3.5	Računski model tal	19
4	GEOSTATIČNA ANALIZA	20
4.1	Zasnova konstrukcije	20
4.2	Vplivi na konstrukcijo	21
4.2.1	Stalna obtežba	21
4.2.2	Obtežba zemljine	21
4.2.3	Koristna obtežba	22
4.3	Izračun in rezultati geostatične analize	22
4.3.1	Potek izračuna in kontrola točke vpetja	23

4.3.2	Rezultati geostatične analize	26
5	VAROVANJE GRADBENE JAME NA KONGRESNEM TRGU	29
5.1	Armirano betonska diafragma	29
5.1.1	Izdelava vodilnega kanala	30
5.1.2	Izkop ter varovanje jarka z bentonitno izplako	31
5.1.3	Izdelava in montaža armaturnega koša	31
5.1.4	Betoniranje diafragme	33
5.2	Armirano betonske medetažne razporne plošče	33
5.3	Armirano betonski stebri	34
5.4	Zniževanje nivoja podzemne vode	36
5.4.1	Izvedba vodnjakov za črpanje podtalne vode	36
5.4.2	Črpanje in zniževanje gladine podtalne vode	38
6	TEHNOLOGIJA IZVEDBE PARKIRNE HIŠE NA KONGRESNEM TRGU	41
6.1	Razpiranje diafragme z medetažnimi razpornimi ploščami	41
6.1.1	Zaporedje izvedbe medetažnih plošč	42
6.1.2	Izvedba medetažnih razpornih AB plošč z detajli	45
6.1.3	Tehnološke odprtine za vertikalni transport	48
6.1.4	Izkop materiala in potrebna mehanizacija	49
6.1.5	Zahteve in tehnologija vgrajevanja betona	51
6.1.6	Tesnjenje delovnih stikov	53
6.1.7	Terminski plan napredovanja del	55
6.2	Razpiranje diafragme z jeklenimi razporami	57
6.2.1	Izvedba začasnega razpiranja diafragme	58
6.2.2	Demontaža začasnega razpiranja diafragme	59
7	ZAKLJUČEK	61
	VIRI	63
	PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Izvedena vrtalna in raziskovalna dela	9
Preglednica 2: Zbirna preglednica presiometriških preiskav	10
Preglednica 3: Rezultati dilatometerskih preiskav	11
Preglednica 4: Koeficient prepustnosti v prodnatih sedimentih	18
Preglednica 5: Mirni zemeljski pritiski - os A	22
Preglednica 6: Mirni zemeljski pritiski - os C	22
Preglednica 7: Pasivni in mirni zemeljski pritiski	24
Preglednica 8: Maksimalne obremenitve in pomiki	28
Preglednica 9: Trdnostni razredi	52
Preglednica 10: Kontrola pomikov – posedki objektov ob diafragmi (Geoid, 2010)	60

KAZALO SLIK

- Slika 1: Kongresni trg in park Zvezda iz leta 1938
(<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?=-679724>) 1
- Slika 2: Gradbena jama s prostimi brežinami (foto: Jerič, 2008) 3
- Slika 3: Gradbena jama z oporno konstrukcijo (Swietelsky, 2007) 4
- Slika 4: Armirano betonska diafragma (Swietelsky, 2007) 5
- Slika 5: Izkop jarka za diafragma (Swietelsky, 2009) 6
- Slika 6: Zaporedna izvedba posameznih lamel (Majes, Fundiranje I, str. 73) 7
- Slika 7: Izmenična izvedba posameznih lamel (Majes, Fundiranje I, str.74) 7
- Slika 8: Lokacija izvedenih vrtin (ZRMK, 2010) 8
- Slika 9: Vzdolžni profil tal (Gradis - Biro za projektiranje, 2008) 13
- Slika 10: Prečni profil tal (Gradis - Biro za projektiranje, 2008) 13
- Slika 11: Računski model tal 19
- Slika 12: Zasnova konstrukcije 20
- Slika 13: Mirni zemeljski pritiski 23
- Slika 14: Upogibni momenti 26
- Slika 15: Prečne sile 27
- Slika 16: Osne sile 27
- Slika 17: Pomiki 28
- Slika 18: Vodilni kanal diafragme (Swietelsky, 2009) 30
- Slika 19: Montaža armaturnega koša (Swietelsky, 2010) 31
- Slika 20: Povezovalne armaturne palice v AB diafragmi (foto: Jerič, 2010) 32
- Slika 21: Medetažna razporna plošča in stena (foto: Jerič, 2010) 34
- Slika 22: Izkop jarka za steber (Swietelsky, 2010) 35
- Slika 23: Namestitev armaturnega koša za steber (Swietelsky, 2010) 35
- Slika 24: Shema lokacij vodnjakov (Swietelsky, 2010) 36
- Slika 25: Spodnji perforirani del vodnjaka (foto: Jerič, 2010) 37
- Slika 26: Parkirna hiša na Kongresnem trgu (IZTR, 2010) 41
- Slika 27: Vzdolžni prerez parkirne hiše (IZTR, 2010) 41
- Slika 28: Zaporedje izvedbe posamezne medetažne plošče 44
- Slika 29: Vgrajevaje podložnega betona (foto: Jerič, 2010) 45

- Slika 30: Detajl medetažne plošče na stiku z diafragmo (Swietelsky, 2010) 46
- Slika 31: Detajl nosilca in medetažne plošče (Swietelsky, 2010) 47
- Slika 32: Cevi za betoniranje sten (foto: Jerič, 2010) 48
- Slika 33: Dvigovanje gradbenega stroja (foto: Jerič, 2010) 49
- Slika 34: Tehnološke odprtine (Swietelsky, 2010) 49
- Slika 35: Trakovi za transport izkopane zemljine (foto: Jerič, 2010) 50
- Slika 36: Bager s podaljšano roko grabilca (Swietelsky, 2010) 51
- Slika 37: Nihajna grabežna žlica (foto: Jerič, 2010) 51
- Slika 38: Shema gladine 100 in 20 letne podtalne vode 54
- Slika 39: Detajl tesnjenja delovnega stika (Gradis - Biro za projektiranje, 2010) 55
- Slika 40: Razpore v prečni osi 4, 5 in 6 (foto: Jerič, 2010) 57
- Slika 41: Detajl razpore in spojnice pri stebru (foto: Jerič, 2010) 58
- Slika 42: Konzola za obešanje jeklene razpore (foto: Jerič, 2010) 59
- Slika 43: Demontaža razpore (foto: Jerič, 2010) 60

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Kontrola pritiskov 25

Grafikon 2: Kontrola pritiskov - globina vpetja diafragme 26

Grafikon 3: Količina črpanja posamezne črpalke v odvisnosti od časa 38

Grafikon 4: Količina črpanja vseh črpalk skupaj v odvisnosti od časa 38

Grafikon 5: Nivo podtalnice pri posameznih vodnjakih v odvisnosti od časa 39

Grafikon 6: Povprečno zniževanje podtalnice v odvisnosti od časa 40

1 UVOD

Pomanjkanje parkirnih prostorov v večjih mestnih jedrih je vzrok za gradnjo parkirnih hiš, ki omogočajo enostavno in varno parkiranje vozil ter zmanjšujejo zasičenost cest z mirujočim prometom v centrih mest. Ločimo dve vrsti izvedbe parkirne hiše in sicer parkirna hiša izvedena nad nivojem terena ali podzemna parkirna hiša. Izvedba slednje je veliko bolj zahtevna vendar za okolico in arhitekturno urbanistične plane bolj primerna, saj je skoraj neopazna po končani gradnji.

Ureditev Kongresnega trga na podlagi urbanističnega plana je bila izhodišče za projektante parkirne hiše na Kongresnem trgu saj bo mesto s tem doseglo, da bo končna podoba Kongresnega trga ob parku Zvezda v skladu z urbanističnimi načrti arhitekta Jožeta Plečnika iz leta 1928.



Slika 1: Kongresni trg in park Zvezda iz leta 1938

(<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?=679724>)

Parkirna hiša obsega celotni Kongresni trg ob parku Zvezda in meri v dolžino 149,0 m ter 29,0 m v širino. Na zahodnem delu ima parkirna hiša pet etaž, globine do 18,52 m pod nivojem terena, na vzhodnem delu pa štiri etaže. Vseh parkirnih prostorov je skupaj 720, od tega je polovica parkirnih mest v najvišji etaži predvidena za invalide. Vertikalna komunikacija je izvedena preko štirih ločenih stopnišč, dve na vsaki strani parkirne hiše, enega osrednjega stopnišča pri dovozu v garažo, dveh osrednjih dvigal, ki povezujeta

posamezne etaže in enega ob Slovenski cesti namenjenega za invalide. Uvoz in izvoz iz parkirne hiše je izveden po skupni dovozni rampi, ki leži pod parkom Zvezda v smeri sever jug ter se nadaljuje po Šubičevi ulici. Vhod in izhod je mogoč iz Slovenske ceste ob objektu Kazina.

Nosilna konstrukcija parkirne hiše je sestavljena iz armirano betonskih medetažnih plošč, ki omogočajo parkiranje vozil, in obodnih nosilnih sten, ki so povezane z vodotesno diafragmo. Srednje nosilne stene so dodatno podprte s sredinskimi armirano betonskimi stebri, ki prenašajo obremenitve razpornih plošč do temeljnih tal.

Izvedba podzemne parkirne hiše je zahtevna predvsem zaradi sosednjih obstoječih objektov na južni strani parkirne hiše, kjer so objekti od le te oddaljeni za približno 1,0 m, kar pa pomeni dodatne obremenitve in dodatne konstrukcijske zahteve za objekt.

Za izvedbo parkirne hiše je bila izbrana tehnologija varovanja gradbene jame z razpornimi armirano betonskimi medetažnimi ploščami po metodi od zgoraj navzdol. Metoda se v Sloveniji le redko uporablja, zato je namen tega dela njen podroben opis.

Diplomsko delo je razdeljeno na tri dele. V prvem delu so opisani različni načini varovanja gradbene jame ter izvedba armirano betonske diafragme. V drugem delu je opisana geološka sestava tal in geostatična analiza prečnega prereza konstrukcije. Tretji del pa opisuje tehnologijo gradnje po sistemu od zgoraj navzdol in posebnosti pri izvedbi parkirne hiše.

2 VAROVANJE GRADBENE JAME

2.1 Gradbena jama

Gradbena jama je začasen izkop za potrebe izvedbe temeljev objekta ali samega objekta. Izkopana mora biti pravilno in kakovostno, v nasprotnem primeru lahko pride do porušitve, kar podaljša čas in poveča stroške gradnje. Način izvedbe izkopa je odvisen predvsem od fizikalnih lastnosti zemljine, razpoložljivega prostora ter prisotnosti talne vode in njene globine. V temeljnih tleh je pogosto prisotna talna voda, zato ločimo suhe gradbene jame, gradbene jame pod gladino podtalnice in gradbene jame v vodi. Glede na naklon brežine izkopa ločimo gradbene jame s prostimi brežinami in gradbene jame, kjer so izkopane brežine podprte ali ojačane z različnimi konstrukcijami (Majes, Fundiranje I).

2.1.1 Gradbena jama s prostimi brežinami

Gradbena jama se izkoplje v naklonu, ki ga s svojimi fizikalnimi lastnostmi določa zemljina brez posebne varovalne konstrukcije. Naklon bočnih površin pri izkopu je odvisen od globine jame, vrste tal, višine podtalne vode, načina dela in podnebnih razmer. Med samim delom se v gradbeni jami ne sme zbirati voda, saj lahko ta omehča zemljino in ovira delo.



Slika 2: Gradbena jama s prostimi brežinami (foto: Jerič, 2008)

2.1.2 Gradbena jama s podporno konstrukcijo

Gradbena jama s podporno konstrukcijo se uporablja, kadar je potrebno brežino jame zavarovati z ustrezno konstrukcijo. Za način izvedbe podporne konstrukcije se odloča na osnovi globine gradbene jame, nivoja talne vode, vrste in lastnosti temeljnih tal in lokacije gradbenega objekta. V mestnih jedrih zaradi bližine sosednjih objektov praviloma primanjkuje prostora za izvedbo gradbene jame s prostimi brežinami, zato se jo izvaja s podprtimi konstrukcijami.



Slika 3: Gradbena jama z oporno konstrukcijo (Swietelsky, 2007)

Glede na značaj ločimo trajne in začasne podporne konstrukcije. Slednje po končanju objekta nimajo več funkcije in se lahko odstranijo. Narejene so tako, da se izkopano zemljinu na mestu podporne konstrukcije nadomesti z armiranim betonom, lahko se izkopano zemljinu na mestu podporne konstrukcije injektira¹ ali pa se elemente podporne konstrukcije v tla uvrta ali zabije. Po zgraditvi objekta zemeljske pritiske okolice prevzame objekt.

Trajne podporne konstrukcije so armirano betonske konstrukcije, ki so povezane z objektom in tudi po končanju objekta prenašajo zemeljske pritiske okolice, sem sodijo membrane ali vkopano zidovje ali armirano betonska diafragma (Majes, Fundiranje I).

¹ Injektiranje – utrjevanje zemljine, gradbenega elementa z vtisnjnim polnilom ali vezivom.

2.2 Armirano betonska diafragma

Diafragma je trajna podporna konstrukcija, ki poleg varovanja gradbene jame služi tudi kot obodna stena objekta. Odvisno od njene namembnosti lahko prenaša obremenitve tudi po končani gradnji. Je armirano betonska kontinuirana konstrukcija, ki je sestavljena iz večjega števila panelov. Debelina diafragme je odvisna od zunanjih obremenitev, lastnosti zemljine in globine diafragme.

Prvotno se je diafragma uporabljala pri gradnji zemeljskih pregrad, kjer je jarek napolnjen z betonom deloval kot zapora proti pronicanju vode pod pregrado. Za zaščito gradbene jame se je uporaba diafragme razširila šele, ko so razvili kakovostno vgradnjo betona z bentonitno izplako (Cigler, 2009).

Izvedba varovanja gradbene jame z AB diafragmo je v Sloveniji razmeroma redka. Ena prvih je bila izvedena pri gradnji podvoza pod železniško progo na Erjavčevi cesti ob Tivoliju v Ljubljani leta 1975. Kasneje je bila diafragma uporabljena pri gradnji kleti za poslovno stavbo ob Langusovi ulici v Ljubljani, parkirne hiše stanovanjskega naselja Stožice in hotela pri WTC-ju v Ljubljani. V zadnjem času pa so diafragmo uporabili ob postavitvi poslovnega objekta Barka 2, poslovno stanovanjskega objekta in parkirne hiše Zeleni park 2 v Kopru, Multikina Kolosej in Univerzitetne knjižnice v Mariboru, pri gradnji kleti za poslovno stanovanjski objekt Vila Urbana in pri izvedbi prizidka Opere v Ljubljani (Fašalek, 2008).



Slika 4: Armirano betonska diafragma (Swietelsky, 2007)

Za vkopano zidovje se v tleh najprej izdelata betonski vodilni kanal, ki določa začetno mesto odkopa. Odkop zemljine poteka s posebnim grabežem in žerjavom goseničarjem, ki mehansko nastavi vertikalnost grabeža. Odkopne stene se varujejo s težko bentonitno izplako, ki je suspenzija vode in bentonitne gline. Za pripravo in predelavo bentonitne izplake se na gradbišču postavi vodotesne zabojnike. Odkop diafragme poteka po odsekih oziroma lamelah, običajno dolžine do 3,00 m.

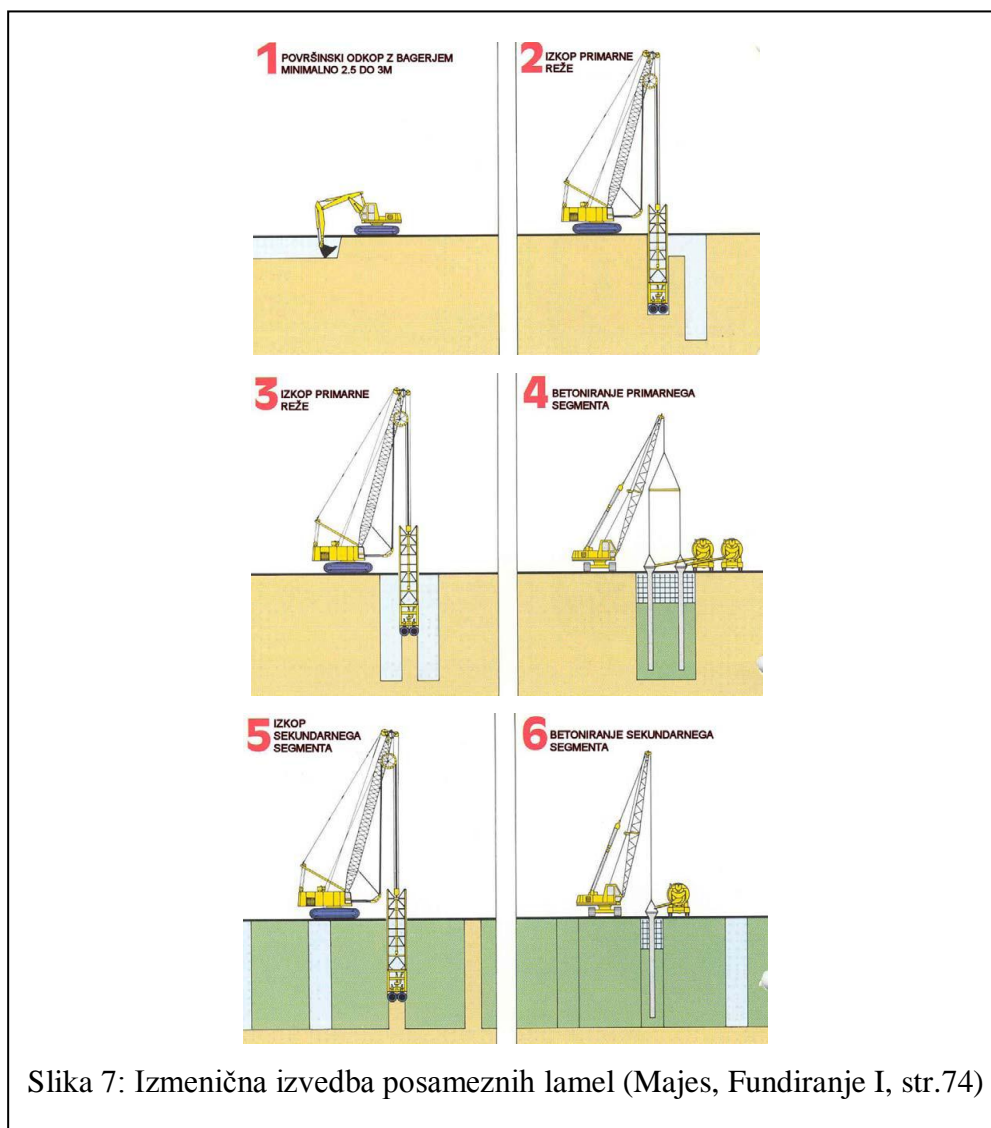
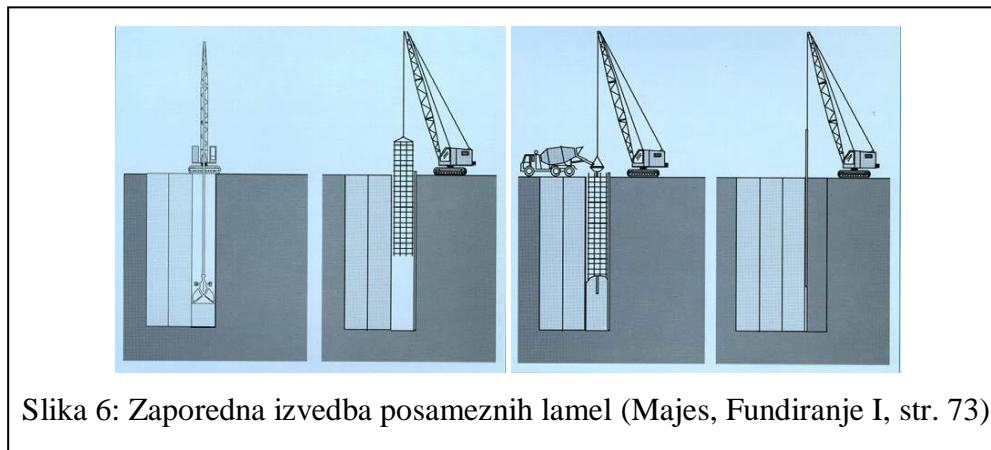


Slika 5: Izkop jarka za diafragmo (Swietelsky, 2009)

Po odkopu posamezne lamele se v izkop postavi armaturni koš, ki mora biti na preklopih armature varjen, tako da med prevozom in vgradnjo ne razpade. Izkop se nato zabetonira in posamezne lamele diafragme na vrhu poveže z vezno gredo. Lamele diafragme običajno med seboj po globini niso povezane z armaturo. Stik dveh lamel je navadno polkrožne oblike na pero in utor. Posamezne lamele so lahko različnih oblik in so odvisne od oblike grabeža.

V preteklosti je bil odkop diafragme mogoč le v zemljinah, ki se jih je dalo odkopati z običajnimi grabeži. Danes obstajajo posebni rezkarji, s katerimi lahko prebijemo tudi trše plasti zemljine, na primer konglomerat (Fašalek, 2008).

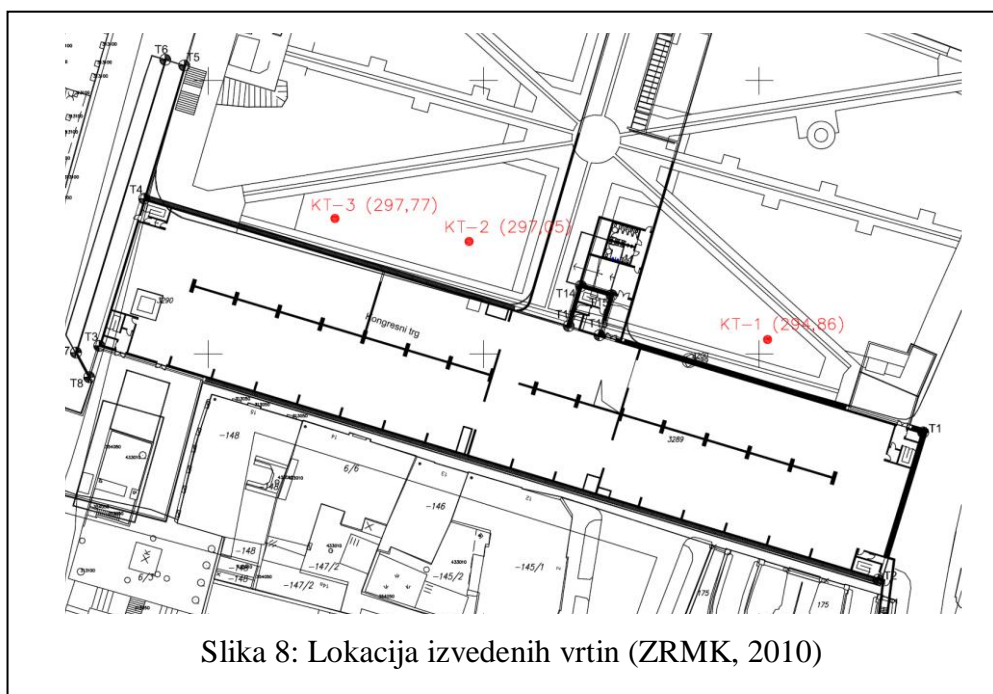
Glede na način izvedbe armirano betonske diafragme ločimo zaporedno (slika 6) in izmenično (slika 7) izvedbo.



3 SESTAVA TAL NA KONGRESNEM TRGU

Hidrogeološke in geomehanske raziskave sestave tal so bile za potrebe idejnega projekta parkirne hiše izvedene leta 1987. Opravil jih je Geološki zavod Ljubljana. Izvrtanih je bilo 14 sondažnih vrtin globine 20 do 25 m. Ugotovili so, da je sestava tal zelo heterogena, saj se pod površjem terena sprva pojavlja približno 4 m debel umetni zasip, temu sledi mlajši savski nanos, ki sega od 4 do 9 m globoko pod površje. Sledijo barjanski sedimenti z glinami, melji in peski različnih konsistenc. Prodnati nanosi se pojavljajo pod globino približno 20 m. Podzemna voda se pojavlja v dveh vodonosnikih.

Pred pričetkom gradnje parkirne hiše so bile leta 2008 izvedene tri nove sondažne vrtime globine 31 m, ki so bile opremljene s piezometri spodnje gladine podzemne vode, kar omogoča monitoring hidrogeoloških razmer na območju gradbene jame. Narejenih je bilo 46 SPT preiskav, 6 presiometriških preiskav, dilatometriške preiskave ter odvzetih 12 vzorcev za laboratorijske preiskave.



Slika 8: Lokacija izvedenih vrtin (ZRMK, 2010)

3.1 Opis terenskih preiskovalnih del

3.1.1 Sondažno vrtanje

Na območju predvidene gradnje parkirne hiše so bile pred pričetkom del leta 2008 izvrtane tri vrtine v skupni dolžini 93 m. Vrtano je bilo kontinuirno na jedro z vrtalno garnituro Boart-Longyear. Globina posamezne vrtine je bila zaradi geološko – geomehanskih razmer podaljšana iz predvidenih 25 na 31 m. Sondažne vrtine so bila izvedene izven območja sklenjene diafragme zaradi stalne kontrole hidrogeoloških razmer med gradnjo parkirne hiše (slika 8).

Preglednica 1: Izvedena vrtalna in raziskovalna dela

VRTINA	KT - 1	KT - 2	KT - 3
Kota vrha (m.n.v.)	294,86	297,05	297,77
Globina (m)	31	31	31
Vrtalna garnitura	Boart-Longyear	Boart-Longyear	Boart-Longyear
ŠPT meritve	15	16	15
Presiometriške meritve	2	2	2
Dilatometriške meritve	da	da	da
Odvzeti vzorci	4	3	5

3.1.2 Presiometriške preiskave tal

Preiskave z Menardovim presiometrom so se izvajale v vrtinah z oznako KT-1, KT-2, KT-3. S presiometriško preiskavo so bili pridobljeni podatki o deformabilnosti (E_M , E_R) in trdnosti (p_{LM}) temeljnih tal za potrebe dimenzioniranja gradbene jame. Preiskave so bile izvedene v pretežno glinasto meljastih oziroma zaglinjenih prodih. V vsaki vrtini sta bili izvedeni po dve presiometriški preiskavi. Preiskave so se izvajale s prirastki tlaka ob merjenju sprememb prostornine merilne sonde.

Zaradi izvajanja preiskav s sondo tipa AX, ni bila dosežena priporočena deformacija za neposredno določitev mejnega tlaka p_{LM} . Preiskave so bile prekinjene, ko je bila dosežena

največja tlačna obremenitev sonde ali pa največja dovoljena prostorninska deformacija, zato je bil mejni tlak p_{LM} ocenjen. Izračuni modulov E_M in E_R so bili obdelani računalniško, numerične vrednosti so podane v preglednici 2.

Dobljeni rezultati so pokazali, da so tla na mestih preiskav dobro nosilna in malo stisljiva.

Preglednica 2: Zbirna preglednica presiometriških preiskav

VRTINA	GLOBINA [m]	OPIS ZEMLJINE	P_{LM} [kPa]	E_M [MPa]	E_R [MPa]	E_M/P_{LM}	E_M/E_R
KT-1	25,3	glinasto meljasti prod	5000	65	375	13,0	5,8
KT-1	27,1		2300	20	130	8,7	6,5
KT-2	23,7	zaglinjeni prod	2500	23	160	9,2	7,0
KT-2	26,6		6000	100	540	16,7	5,4
KT-3	21,7	glinasto meljasti prod	6000	140	600	23,3	4,3
KT-3	23,7		6000	250	850	41,7	3,4

3.1.3 Dilatometriške preiskave tal

Izvedene so bile tri dilatometriške preiskave z oznakami DMT-1, DMT-2, DMT-3. S preiskavami tal so bili pridobljeni podatki o modulu stisljivosti (M_v) in nedrenirani strižni trdnosti (C_u), v peskih pa tudi konzervativne ocene strižnih kotov. Rezultat meritev je tudi posredna klasifikacija zemljin preko mehanskih lastnosti.

Na lokaciji sonde DMT-1 je bila ta izvedena preko prodnega zasipa (prevrtavanje) od globine 8,8 m do globine 21,8 m. Meritve so bile izvedene na območju menjavanja tankih slojev stisljivih glin, meljev in peskov. Podobno velja za lokacijo sonde DMT-2, ki je bila izvedena od globine 8,8 m do globine 22,6 m.

Na lokaciji sonde DMT-3 je bila ta prav tako izvedena preko prodnega zasipa (prevrtavanje) od globine 8,2 m do globine 12,2 m. Meritve so bile izvedene na območju menjavanja tankih slojev stisljivih, meljev in peščenih meljev.

Preglednica 3: Rezultati dilatometerskih preiskav

VRTINA	GLOBINE OD [m]	GLOBINE DO [m]	E _{oed} [Mpa]	Cu [Mpa]	ZEMLJINA
DMT-1	8,8	10,0	1,7 - 9,0	31 - 89	tanjši sloji gline
	10,0	13,0	1,1 - 7,0	38 - 65	bolj stisljiva glina
	13,0	17,0	1,1 - 19	30 - 72	sloji gline in melji
	17,0	21,8	3,1 - 30,3	28 - 90	tanjši sloji zaglinjenega melja
DMT-2	8,2	10,0	3,7 - 27,7	36 - 105	melji in peski
	10,0	17,0	1,4 - 20,5	39 - 60	stisljiva glina in melji
	17,0	22,0	1,4 - 3,8	27 - 57	bolj stisljiva glina
DMT-3	8,2	8,4	15,5 - 21,0	49 - 95	malo stisljiv peščen melj
	8,4	12,0	1,7 - 8,9	24 - 83	gline in zemeljene gline
	12,0	12,2	15,5 - 21,0	49 - 95	malo stisljiv peščen melj

3.1.4 SPT preiskave tal – standardni penetracijski preizkus

Standardni penetracijski preizkusi se izvajajo v nekoherentnih materialih. Pridobljeni rezultati omogočajo oceno gostotnega stanja, določitev strižne trdnosti in izračune posedkov temeljnih tal pod objekti. Pri izvedbi SPT se uporablja vrtalno drogovje, utež v kladivu (teže 63,5 kg), ki se dviguje avtomatsko in pada z višine 76 cm ter konico premera 51 mm. Ob začetku meritev se dno vrtine očisti, nato se s pomočjo padanja uteži zabije konico najprej 15 cm, da se preide cona poškodovanosti zaradi vrtnanja. Sledi štetje udarcev (N), ki so potrebni za penetracijo naslednjih 30 cm, oziroma se pri 60 udarcih izmeri globina penetracije.

Formula za izračunan korigirane vrednosti SPT (Komel, 2008):

$$(N_1)_{60} = N * \lambda * k_{60} * C_n$$

N = merjeno število udarcev za penetracijo 30 cm

λ = korekcija zaradi dolžine drogovja

k₆₀ = korekcijski koeficient glede na preneseno energijo in pomeni razmerje med dejansko preneseno energijo in 60% teoretične potencialne energije za predpisani SPT sistem

C_n = korekcija zaradi efektivnega tlaka

V treh vrtinah je bilo skupaj opravljenih 46 meritev, ki so se izvajale na globini po 2,0 m. SPT preizkusi so bili izvedeni v umetnih nasipih površinskih slojev, glinastih, meljastih in peščenih prodih z vmesnimi hudourniškimi nanosi in v glinasto meljastih ter peščenih barjanskih sedimentih.

3.1.5 Laboratorijske preiskave

V geomehanskem laboratoriju so bile izvršene preiskave na skupno 12 vzorcih, od tega so bili štiri vzorci odvzeti za sejalno analizo.

Pri glinah in meljih je bila na neporušenih vzorcih določena naravna vlažnost, meja plastičnosti, prostorninska teža, nedrenirana strižna trdnost, modul stisljivosti v edometru, koeficient vodoprepustnosti in strižna trdnost v direktnem strižnem aparatu.

Pri produ je bila določena naravna vlažnost, prostorninska teža in zrnavostna sestava ter vodoprepustnost.

3.2 Geološka sestava tal

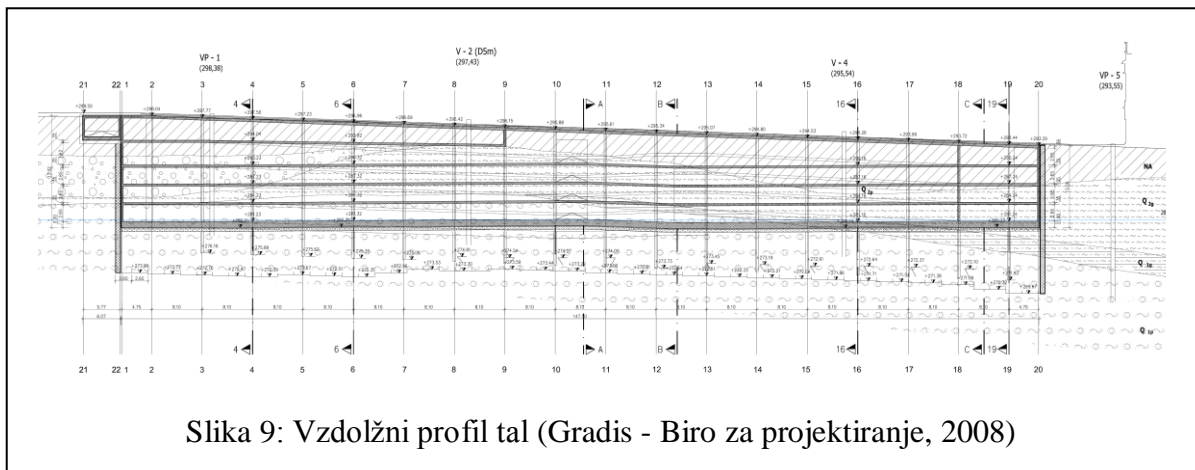
Geološka sestava tal na območju Kongresnega trga je zelo pestra, plasti sestavljajo prodi starejšega savskega zasipa, barjanski sedimenti, ki so na mestih prekinjeni z glineno gruščnatimi hudourniškimi vložki. Barjanske sedimente sestavljajo gline, glinasti melji, peščeni melji in peski, ki se medsebojno hitro menjavajo. Nad barjanskimi sedimenti leži mlajši savski zasip, ki na mestu Kongresnega trga prehaja v umetni nasip.

Geološko geomehanski model je bil izdelan na podlagi rezultatov novih preiskav v vrtinah KT-1, KT-2 in KT-3 ter 14 vrtin, ki so bile izvrtane leta 1987.

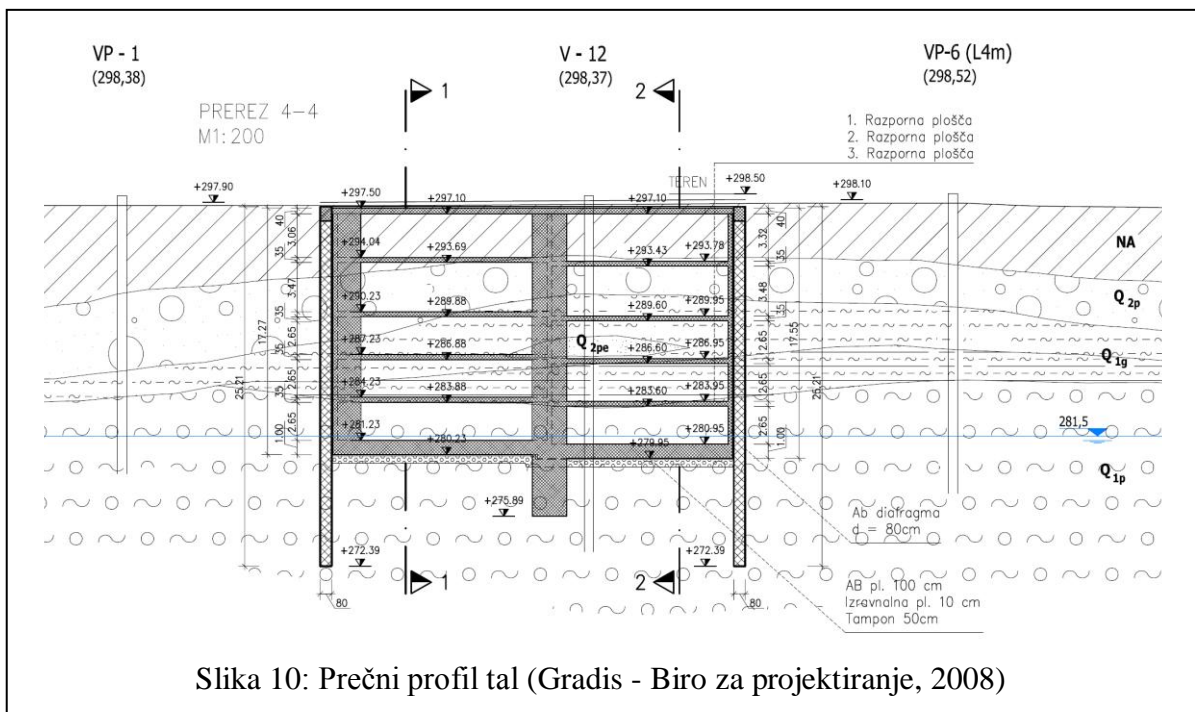
Materiali si sledijo od zgoraj navzdol:

- Nasip (NA), na globini od 0,4 m do 5,5 m;
- Prodni zasip (Q_{2p}) – GP/GW/GM, na globini od 1,5 m do 10 m;

- Glinaste in meljaste zemljine (Q_{2g}) – CH/CL/ML/SC, na globini od 3 m do 15 m ;
- Peščene zemljine (Q_{2pe}) – SP/ML/SC, na globini od 9 m do 13 m;
- Glinaste in meljaste zemljine (Q_{1g}) – CH/CL/ML/SP, na globini od 13 m do 15 m;
- Prodni zasip (Q_{1p}) – GC/GM/GP, na globini od 13 m in naprej.



Slika 9: Vzdolžni profil tal (Gradis - Biro za projektiranje, 2008)



Slika 10: Prečni profil tal (Gradis - Biro za projektiranje, 2008)

- **Nasip (NA)**

Plast umetnega nasipa sestavlja grušč, prod pomešan z glino, ostanki opeke in rimske Emone ter leseni ostanki. Debelina umetnega nasipa znaša od 0,7 do približno 9,0 m (pri vrtini V-4).

Karakteristične vrednosti materialnih lastnosti nasipa:

- strižni kot: $\varphi_k = 35^\circ$ (SPT)
- modul stisljivosti: $M_{V_k} = 50$ MPa (SPT)
- kohezija: $c = 1$ kN/m² (ocena)

- **Prodni zasip (Q_{2p}) – GC/GM/GP**

Prodni zasip se pojavlja pod umetnim nasipom in predstavlja mlajši savski nanos. Sestavljajo ga slabo granulirani meljasti ter meljasto do peščeni srednje gosti prodi z velikostjo zrn do 5 cm.

Karakteristične vrednosti materialnih lastnosti prodnega zasipa:

- naravna vlaga: $w = 20,4$ %
- strižni kot: $\varphi_k = 35^\circ$ (SPT)
- modul stisljivosti: $M_{V_k} = 45$ MPa (SPT)
- vodoprepustnost določena iz zrnivosti: $k = 1,2 \times 10^{-4}$ m/s (USBR)
 $k = 9,5 \times 10^{-6}$ m/s (HAZEN)

- **Glinaste in meljaste zemljine (Q_{2g}) – CH/CL/ML/SC**

Barjanske sedimente, ki navzdol sledijo mlajšemu savskemu nanosu, sestavljajo mastne sive gline, meljaste do peščene gline z vložki peščenega melja oz. meljastega peska. Gline so srednje do težko gnetne konsistence (mestoma tudi poltrdne), vmes se pojavljajo 0,5 do 1,0 m debeli vložki lahko gnetnih glin.

Karakteristične vrednosti materialnih lastnosti glinaste in meljaste zemljine:

- naravna vlaga: $w = 21,8\% - 26,6\%$
- indeks konsistence: $I_c = 0,6 - 1,0$

- prostorninska teža: $\gamma_k = 21 \text{ kN/m}^3$
- nedrenirana strižna trdnost: $\tau_v = 6,1 - 31,5 \text{ kN/m}^2$ (krilna sonda)
- strižni kot: $\varphi = 24^\circ$ in $c = 2 \text{ kN/m}^2$ pri $c = 0$ je $\varphi = 27^\circ$ (direktni strig)

- modul stisljivosti: $\sigma = 50 - 100 \text{ kN/m}^2 \rightarrow E_{\text{oed}} = 2100 - 5600 \text{ kN/m}^2$
(obremenitev) – edometer $\sigma = 100 - 200 \text{ kN/m}^2 \rightarrow E_{\text{oed}} = 4300 - 8300 \text{ kN/m}^2$
 $\sigma = 200 - 300 \text{ kN/m}^2 \rightarrow E_{\text{oed}} = 6300 - 12200 \text{ kN/m}^2$

- modul stisljivosti: $\sigma = 50 - 100 \text{ kN/m}^2 \rightarrow M_v = E_{\text{oed}} = 11500-20600 \text{ kN/m}^2$
(razbremenitev) $\sigma = 100 - 200 \text{ kN/m}^2 \rightarrow M_v = E_{\text{oed}} = 18600-27500 \text{ kN/m}^2$
 $\sigma = 200 - 300 \text{ kN/m}^2 \rightarrow M_v = E_{\text{oed}} = 22200-27000 \text{ kN/m}^2$
 $\sigma = 300 - 400 \text{ kN/m}^2 \rightarrow M_v = E_{\text{oed}} = 12700-21200 \text{ kN/m}^2$

- vodoprepustnost (lab.): $\sigma = 100 \text{ kN/m}^2 \rightarrow k = 1,5 \times 10^{-10} - 2,6 \times 10^{-10} \text{ m/s}$
 $\sigma = 200 \text{ kN/m}^2 \rightarrow k = 9,7 \times 10^{-10} - 1,35 \times 10^{-10} \text{ m/s}$

• Peščene zemljine (Q_{2pe}) – SP/ML/SC

Peščeni barjanski sedimenti, ki jih sestavljajo sivi drobnozrnati meljasti peski do peščeni melji ter peski v obliki pol in vmesnih plasti. Peski so rahli, peščeni melji pa židke do lahko gnetne konsistence.

Karakteristične vrednosti materialnih lastnosti peščene zemljine:

- enoosna tlačna trdnost: $0 - 125 \text{ kN/m}^2$ (ročni penetrometer)
- strižni kot: $\varphi = 31^\circ$ (ocena – dilatometrski podatek)

• Glinaste in meljaste zemljine (Q_{1g}) – CH/CL/ML/SP

Barjanski sedimenti tega sloja, so po sestavi podobni sloju Q_{2g} (mastne sive gline, meljaste do peščene gline z vložki peščenega melja oz. meljastega peska). Od sloja Q_{2g} se ta sloj razlikuje po tem, da so gline in melji pretežno lahkognetne, pogostokrat tudi židke konsistence, peščeni sedimenti pa so rahli. Barjanski sedimenti so mestoma prekinjeni z vložki rjavo rumenih hudourniških nanosov. Ti v profilih stratigrafsko niso posebej ločeni.

Karakteristične vrednosti materialnih lastnosti glinaste in meljaste zemljine:

- naravna vlaga: $w = 26,9\% - 30,6\%$
- indeks konsistence: $I_c = 0,3 - 0,6$
- prostorninska teža: $\gamma_k = 2,3 \text{ kN/m}^2$
- nedrenirana strižna trdnost: $\tau_v = 27,7 \text{ kN/m}^2$ (krilna sonda)
- strižni kot: $\varphi = 17^\circ$ in $c = 10 \text{ kN/m}^2$ pri $c = 0$ je $\varphi = 28^\circ$ (direktni strig)

- modul stisljivosti: $\sigma = 50 - 100 \text{ kN/m}^2 \rightarrow E_{\text{oed}} = 3100 - 3200 \text{ kN/m}^2$
(obremenitev) – edometer $\sigma = 100 - 200 \text{ kN/m}^2 \rightarrow E_{\text{oed}} = 4200 - 5000 \text{ kN/m}^2$
 $\sigma = 200 - 300 \text{ kN/m}^2 \rightarrow E_{\text{oed}} = 6600 - 9100 \text{ kN/m}^2$
 $\sigma = 300 - 400 \text{ kN/m}^2 \rightarrow E_{\text{oed}} = 9000 - 10600 \text{ kN/m}^2$

- modul stisljivosti: $\sigma = d_0 - 100 \text{ kN/m}^2 \rightarrow M_v = E_{\text{oed}} = 17000 - 20000 \text{ kN/m}^2$
(razbremenitev) $\sigma = 100 - 200 \text{ kN/m}^2 \rightarrow M_v = E_{\text{oed}} = 20600 - 23800 \text{ kN/m}^2$
 $\sigma = 200 - 300 \text{ kN/m}^2 \rightarrow M_v = E_{\text{oed}} = 29000 - 32800 \text{ kN/m}^2$
 $\sigma = 300 - 400 \text{ kN/m}^2 \rightarrow M_v = E_{\text{oed}} = 27000 - 27500 \text{ kN/m}^2$
 $\sigma = 400 - 500 \text{ kN/m}^2 \rightarrow M_v = E_{\text{oed}} = 14800 - 18400 \text{ kN/m}^2$

- vodoprepustnost (lab.): $\sigma = 100 \text{ kN/m}^2 \rightarrow k = 2,5 \times 10^{-10} - 6,7 \times 10^{-10} \text{ m/s}$
 $\sigma = 200 \text{ kN/m}^2 \rightarrow k = 7 \times 10^{-10} - 2,8 \times 10^{-10} \text{ m/s}$

• Prodni zasip (Q_{1p}) – GC/GM/GP

Prodni zasip se pojavlja pod barjanskimi sedimenti in predstavlja starejši savski nanos. Sestavljajo ga pretežno slabo granulirani glinasto meljasti ter mestoma peščeni prodi, ki so po podatkih iz SPT raziskav srednje gosti do gosti, glede na presiometrijske preiskave pa se lahko označijo za zelo goste. Prodi z velikostjo zrn do 8 cm so pretežno karbonatni z vmesnimi vložki kislih grödenskih kamnin.

Karakteristične vrednosti materialnih lastnosti prodnega zasipa:

- naravna vlaga: $w = 8,0\% - 11,6\%$
- strižni kot: $\varphi = 35^\circ$ (SPT)
- modul stisljivosti: $M_{v_k} = 50 \text{ MPa}$ (SPT)

- enoosna tlačna trdnost: $q_u = 130 - 220$ kPa (SPT)
- presiometrski modul: $E_M = 20 - 250$ MPa
- presiometrski modul: $E_R = 130 - 850$ MPa
- mejni tlaki: $p_{LM} = 2300 - 6000$ MPa (ocena)
- vodoprepustnost ocenjena iz zrnivosti: $k = 1 \times 10^{-5} - 3,8 \times 10^{-5}$ m/s (USBP);
 $k = 3,4 \times 10^{-6} - 6,2 \times 10^{-6}$ m/s (HAZEN)

3.3 Hidrogeološke razmere

Na območju nameravane gradnje parkirne hiše na Kongresnem trgu so bile izvrtane tri geomehanske vrtine KT-1, KT-2 in KT-3, ki so bile opremljene kot piezometri spodnje gladine podtalne vode. V fazi hidrogeoloških preiskav je bila opravljena spremljava aktivacije piezometrov, meritve gladine podzemne vode ter opis hidrogeoloških razmer za pogoje gradnje.

3.3.1 Viseča podzemna voda

Viseča gladina podzemne vode se zaradi vmesnih slabše prepustnih plasti pojavlja na globinah približno 7 do 8 m pod površjem. Te plasti segajo različno globoko, ponekod tudi pod spodnjo gladino podzemne vode (Komel, 2008). Po podatkih poročila o hidrogeoloških in geotehničnih razmerah o izvedbi in temeljenju garažne hiše pod Trgom osvoboditve v Ljubljani je iz karte hidroizohips² razvidno, da se voda pretaka v smeri proti severovzhodu, ob tem se je večina izceja v Ljubljano. Vodonosnik se napaja iz obrobja Rožnika, padavin in delno verjetno tudi iz netesnih vodovodnih kanalizacijskih cevi (Šterk, 1978, cit. po Komel, 2008).

² hidroizohipsa - črta, ki povezuje mesta z enakim hidravličnim potencialom na piezometrični gladini podzemne vode.

3.3.2 Spodnja gladina podzemne vode

Iz obstoječih podatkov poročila Hidrogeološke zgradbe kvartarnega zasipa južnega območja Ljubljane je razvidno, da je na mestu Kongresnega trga podlaga na koti 240 m.n.m. Debelina vodonosnika Ljubljanskega polja na mestu Kongresnega trga je ocenjena na približno 55 m pri tem pa so možna odstopanja od dejanske vrednosti (Prestor, 1988, cit. po Komel, 2008).

Piezometrična gladina podzemne vode spodnjega vodonosnika se nahaja približno na koti 281,5 m.n.m., oziroma med 13 in 16 m pod površjem, odvisno od nagiba površja. Po oceni avtorja hidrogeološkega poročila so bile meritve izvedene v času nizkih srednjih vod. V sušnem in deževnem obdobju je gladina podzemne vode lahko dokaj različna. Po do sedaj znanih podatkih na širšem območju sklepam, da razlika med najvišjo in najnižjo gladino znaša približno 3,5 m. Pri izrednih 100-letnih vodah se upošteva možnost dviga gladine za 3 do 3,5 m nad sedaj izmerjene vrednosti, pri 20-letnih pa približno za 2,5 m. Na podlagi sejalne analize odvzetih vzorcev iz jeder vrtin so bili izračunani okvirni koeficienti prepustnosti v prodnatih sedimentih, ki so prikazani v preglednici 4 (Komel, 2008).

Preglednica 4: Koeficient prepustnosti v prodnatih sedimentih

VRTINA	GLOBINA VZORCA [m]	KOEFIČIENT PREPUSTNOSTI - k[m/s]	
zgornji vodonosnik			
KT-3	4,0 - 7,0	$1,2 \times 10^{-4}$	$9,5 \times 10^{-6}$
spodnji vodonosnik			
KT-1	25,0 - 27,5	$1,0 \times 10^{-5}$	$3,4 \times 10^{-6}$
KT-2	26,0 - 29,0	$3,8 \times 10^{-5}$	$6,2 \times 10^{-6}$
KT-3	17,0 - 20,0	$1,5 \times 10^{-5}$	$4,1 \times 10^{-6}$

Koeficienti prepustnosti so reda velikosti okoli 10^{-5} (po USBR³), kar uvršča sedimente v dobro do srednje vodoprepustne. Dno gradbene jame je v najglobljem delu na višinski koti 278,68 m.n.v. in sega okoli 3 m pod piezometrično gladino spodnje podzemne vode pri normalnih razmerah. Le te je potrebno upoštevati pri določevanju globine AB diafragme.

³ USBR – profesionalno teleskopsko orodje namenjeno za preiskavo karakteristik zemljin.

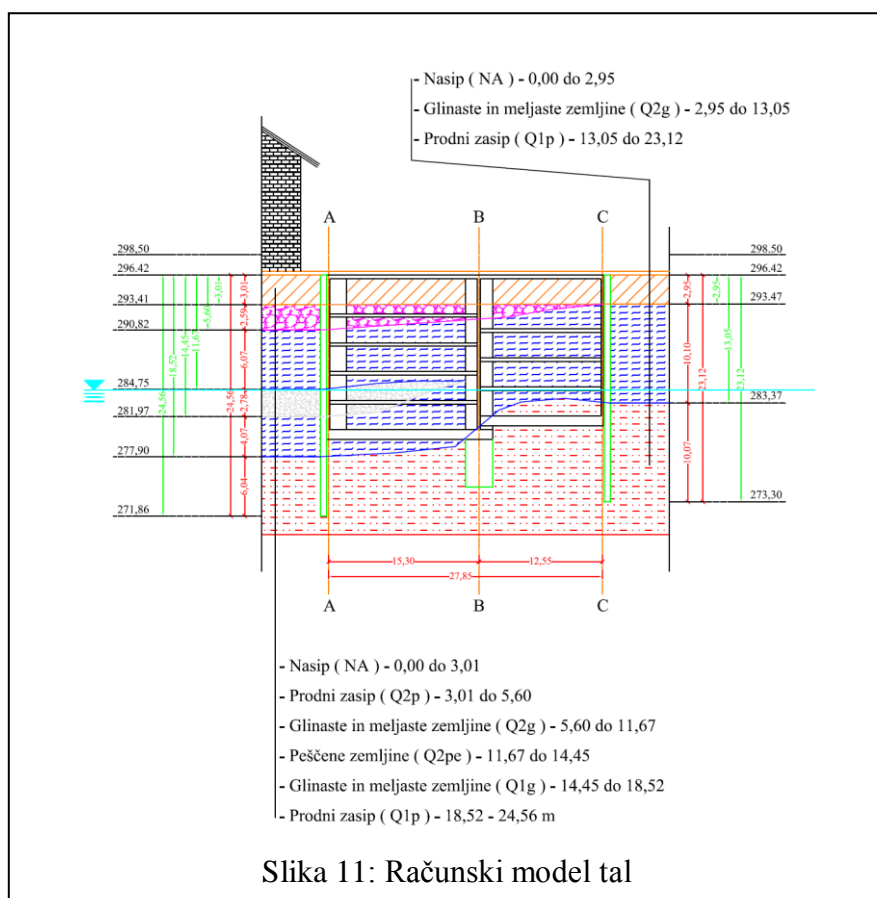
3.4 Seizmičnost terena

Po karti projektnega pospeška s povratno dobo 475 let, ki je bila izdelana s strani ministrstva za okolje in prostor (Lapajne et al., 2001), lahko pričakujemo projektne pospeške do 0,25 g.

Glede na slovenski standard SIST EN 1998-1:2006 lahko uvrstimo tla, ki jih sestavlja mlajši prodni savski zasip in heterogeni barjanski sediment z glinami, melji in peski v tip tal D. Starejši prodni savski zasip, ki se pojavlja pod barjanskimi sedimenti pa uvrstimo v tip tal C (Komel, 2008).

3.5 Računski model tal

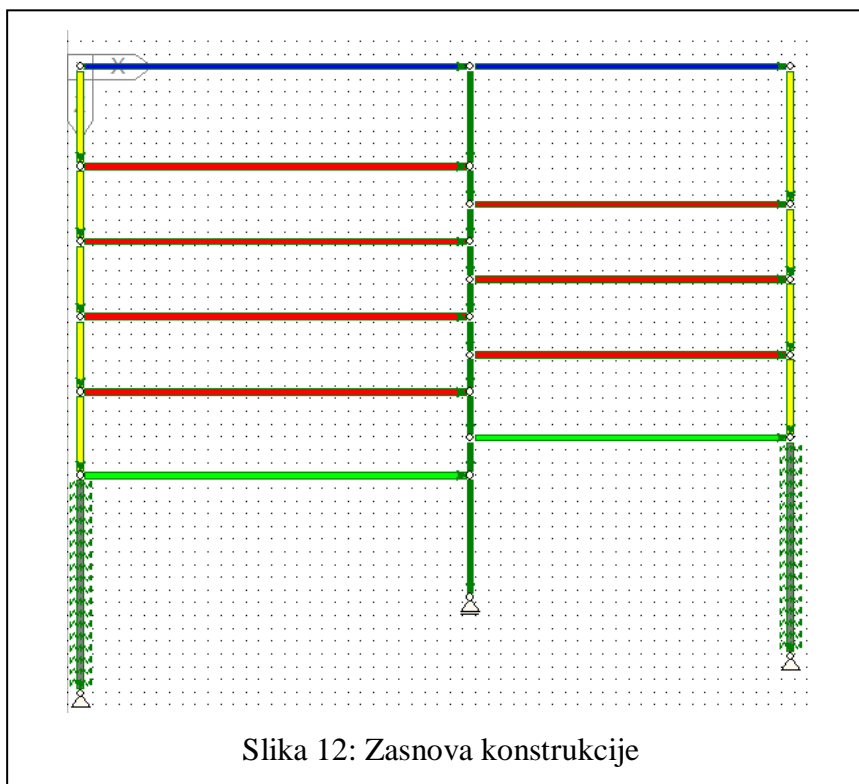
Model tal je izdelan na osnovi geološko – geotehničnih raziskav za izgradnjo parkirne hiše na Kongresnem trgu.



4 GEOSTATIČNA ANALIZA

Analizo varovanja gradbene jame na Kongresnem trgu sem izdelal na podlagi geološko geomehanskega poročila ter računalniškega programa Amses Frame 2D. Pri analizi sem obravnaval predvidoma najbolj kritičen prečni prezek v osi 8 (slika 24), kjer so bile pričakovane dodatne obremenitve na konstrukcijo zaradi neposredne bližine obstoječih stanovanjskih objektov.

4.1 Zasnova konstrukcije



Uporabljeni materiali:

- beton C35/45: $f_{ck} = 3,5 \text{ kN/cm}^2$, $E_{cm} = 3400 \text{ kN/cm}^2$, $f_{ctm} = 0,32 \text{ kN/cm}^2$ (SIST EN 1992-1-1-2005).

4.2 Vplivi na konstrukcijo

4.2.1 Stalna obtežba

• Krovna plošča.....betonska plošča deb. 10 cm	$0,10 \cdot 22 = 2,20 \text{ kN/m}^2$
gramozno nasutje deb. 40 cm	$0,40 \cdot 20 = 8,00 \text{ kN/m}^2$
AB plošča deb. 40 cm	$0,40 \cdot 25 = 10,00 \text{ kN/m}^2$
	<hr/>
	$g_k = 20,20 \text{ kN/m}^2$
• Medetažna plošča.... AB plošča deb. 35 cm	$0,35 \cdot 25 = 8,75 \text{ kN/m}^2$
	<hr/>
	$g = 8,75 \text{ kN/m}^2$
• Talna plošča..... AB plošča deb. 100 cm	$1,00 \cdot 25 = 25,00 \text{ kN/m}^2$
	<hr/>
	$g_t = 25,00 \text{ kN/m}^2$

4.2.2 Obtežba zemljine

Za obtežbo zemljine sem predpostavil mirne zemeljske pritiske na konstrukcijo, saj je predviden maksimalni premik konstrukcije manjši od $5 \times 10^{-4} \times h$ (SIST EN 1997-1, 9.5.2(2)). Ob osi A (slika 11) sem za dodatno obtežbo obstoječih objektov predpostavil vertikalno napetost 55 kN/m^2 .

Iz podatkov o prostorninski teži (γ) in strižnem kotu (φ) posamezne zemljine sem s pomočjo računalniškega programa Excel izračunal mirne zemeljske pritiske (preglednica 5 in 6), pri tem sem za višino podtalne vode (porni tlak) vzel najbolj kritično višino in sicer 100-letno vodo, ki je predvidena na višini 284,70 m.n.v. oziroma 11,72 m pod površjem računanege prereza. Mirni zemeljski pritiski (P_{0+u}) v zaledju konstrukcije naraščajo z globino (z) in so zapisani v preglednicah 5 in 6.

Preglednica 5: Mirni zemeljski pritiski - os A

zempljina	γ [kN/m ³]	φ_d	z [m]	σ_v [kN/m ²]	u	σ_v' [kN/m ²]	$k_{0,d}$	Po [kN/m ²]	Po+u [kN/m ²]
NA	21,0	29,3	0,00	0	0,0	55	0,511	28	28
	21,0	29,3	3,01	63	0,0	118	0,511	60	60
Q2p	21,0	29,3	3,01	63	0,0	118	0,511	60	60
	21,0	29,3	5,60	118	0,0	173	0,511	88	88
Q2g	20,5	22,2	5,60	118	0,0	173	0,623	107	107
	20,5	22,2	11,67	242	0,0	297	0,623	185	185
Q2pe	21,0	25,7	11,67	242	0,0	297	0,567	168	168
	21,0	25,7	14,45	300	27,3	328	0,567	186	213
Q1g	20,5	23	14,45	300	27,3	328	0,609	200	227
	20,5	23	16,00	332	42,8	344	0,609	210	252

Preglednica 6: Mirni zemeljski pritiski - os C

zempljina	γ [kN/m ³]	φ_d	z [m]	σ_v [kN/m ²]	u	σ_v' [kN/m ²]	$k_{0,d}$	Po [kN/m ²]	Po+u [kN/m ²]
NA	21,0	29,3	0,00	0	0,0	0	0,511	0	0
	21,0	29,3	2,95	62	0,0	62	0,511	32	32
Q2g	20,5	22,2	2,95	62	0,0	62	0,623	39	39
	20,5	22,2	13,05	269	13,3	256	0,623	159	172
Q1p	21,5	29,3	13,05	269	13,3	256	0,511	131	144
	21,5	29,3	14,55	301	28,3	273	0,511	140	168

4.2.3 Koristna obtežba

- Krovna plošča.....kategorija C5 (površine, kjer se zbirajo ljudje) $q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$
- Medetažna plošča..... kategorija F (prometne in parkirne površine) $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$
- Talna plošča.....kategorija F (prometne in parkirne površine) $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$
- Obtežba snega.....(SIST EN 1991-1-3-2003) $S = 1,21 \text{ kN/m}^2$

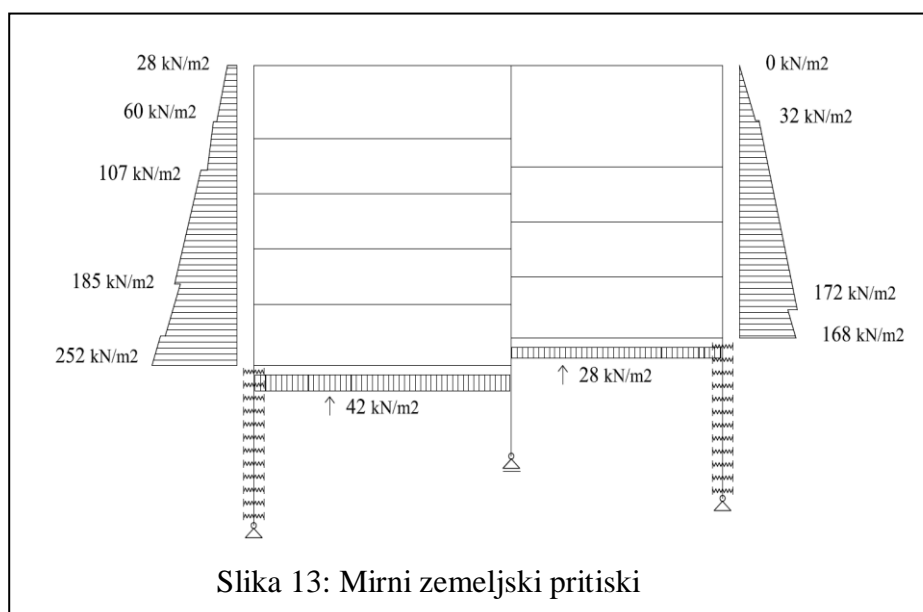
4.3 Izračun in rezultati geostatične analize

Statični izračun v računalniškem programu Amses Frame 2D predstavlja končno stanje zgrajene parkirne hiše v najbolj neugodnem prečnem prerezu. Program ne omogoča

upoštevanja materialnih karakteristik in zakonitosti povezanih z zemeljskimi pritiski, zato je bilo potrebno z vmesnimi računskimi koraki le te upoštevati.

4.3.1 Potek izračuna in kontrola točke vpetja

- Najprej predpostavimo in izračunamo mirne zemeljske pritiske v zaledju konstrukcije, ki naraščajo z globino do talne plošče parkirne hiše. Slika 13 prikazuje velikosti mirnih zemeljskih pritiskov. Konstrukcija je podprta s členkastimi nepomičnimi podporami, v območju diafragme spodaj pod parkirno hišo pa z vzmetmi, ki predstavljajo odpor zemljine. Koeficient vzmeti je izračunan na podlagi presiometriških meritev in znaša 100 MN/m^3 .



- Na podlagi s programom Amses izračunanih horizontalnih pomikov, mirne zemeljske pritiske v osi C nadomestimo s pasivnimi pritiski, vendar samo do globine pri kateri se horizontalni pomik v zgornji točki osi A približuje vrednosti 0 cm. Pasivne zemeljske pritiske sem zato predpostavil od vrha konstrukcije do globine -2,60 m, nižje navzdol pa delujejo mirni zemeljski pritiski (preglednica 7).

Preglednica 7: Pasivni in mirni zemeljski pritiski

zempljina	γ [kN/m ³]	φ_d	z [m]	σ_v [kN/m ²]	σ_v' [kN/m ²]	$k_{0,d}$	P_{o+u} [kN/m ²]	
NA	21,0	29,3	0,00	0	0	2,912	0	PASIVNI PRITISKI
	21,0	29,3	1,60	34	34	2,912	98	
	21,0	29,3	2,60	55	55	2,912	159	
	21,0	29,3	2,95	62	62	0,511	32	
Q2g	20,5	22,2	2,95	62	62	0,623	39	MIRNI PRITISKI
	20,5	22,2	11,72	242	242	0,623	150	
	20,5	22,2	13,05	269	256	0,623	172	
Q1p	21,5	29,3	13,05	269	256	0,511	144	
	21,5	29,3	14,55	301	273	0,511	168	

- Pri ponovnem izračunu s programom Amses, z upoštevanjem pasivnih pritiskov, kontroliramo horizontalne pomike na mestu vzmetnih podpor oziroma na mestu vpetja diafragme od spodnje kote talne plošče do členkastih podpor (slika 13).

Na podlagi rezultatov horizontalnih pomikov na območju vzmeti in predhodno določenega koeficienta vzmeti, sem s programom Excel izračunal pritiske na vzmeti v odvisnosti od globine. Poleg pritiska na vzmeti so na grafikonu 1 prikazani tudi pasivni zemeljski pritiski, ki z globino naraščajo.

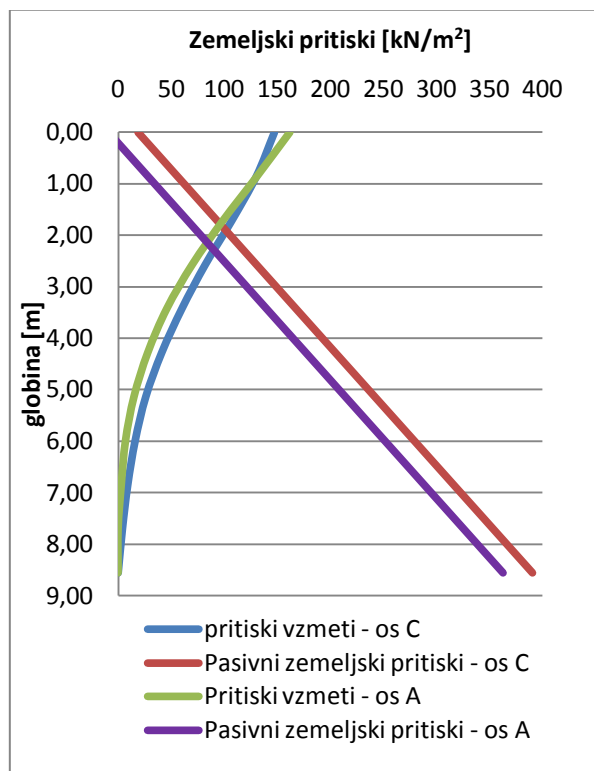
Pritiski na vzmeti:

uhorizontalni pomik

k koeficient vzmeti

Aktivni zemeljski pritiski: —

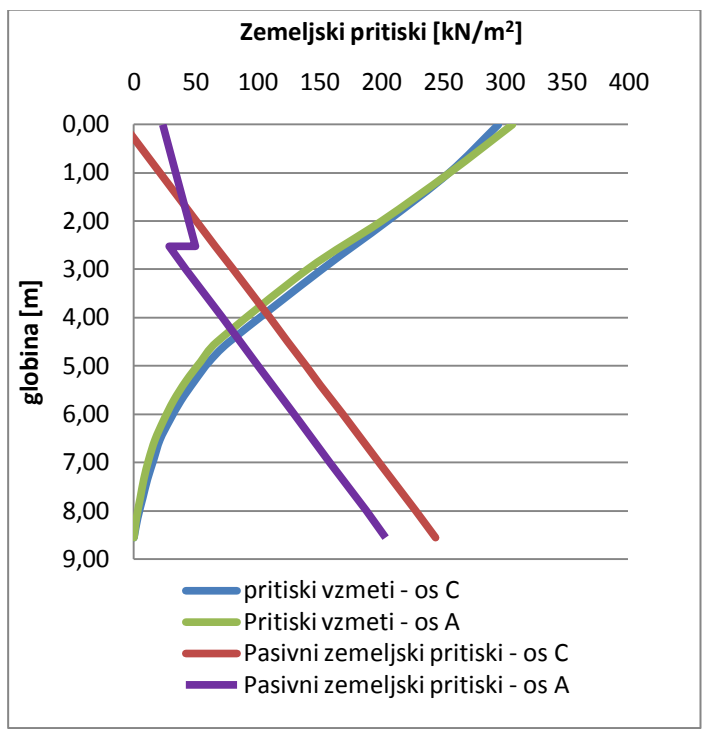
Pasivni zemeljski pritiski: —



Grafikon 1: Kontrola pritiskov

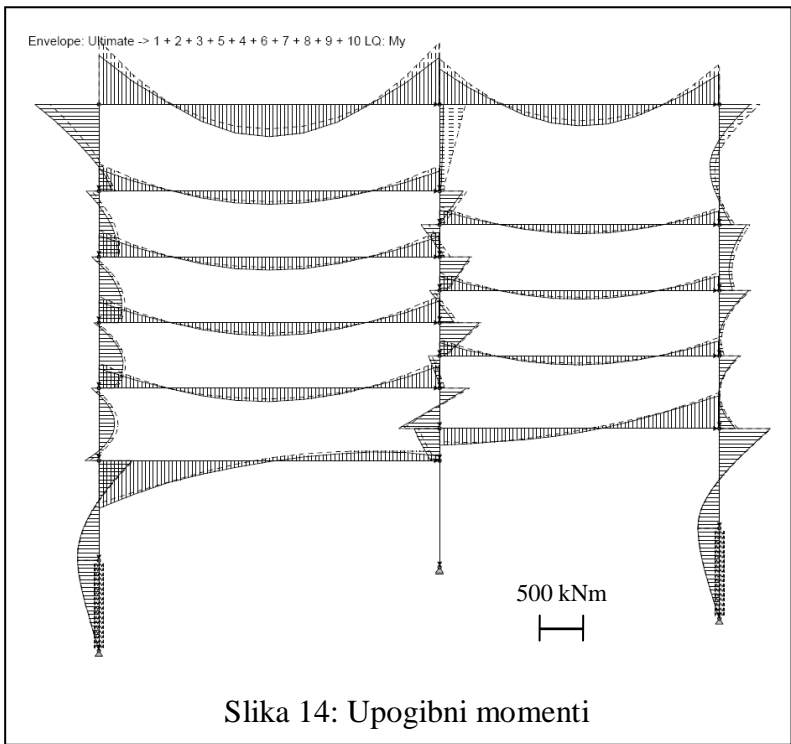
- Na globini, kjer je pritisk na vzmeti večji od pasivnih zemeljskimi pritiskov (grafikon 1), nadomestimo vzmeti s pasivnimi pritiski, s tem da se upošteva tudi aktivne zemeljske pritiske z nasprotne strani.

Kontrolo izvedemo na podlagi preizkušanja z nadomeščanjem pasivnih zemeljskih pritiskov z vzmetmi. Globina vpetja diafragme je točka, kjer se seka graf pritiska na vzmet in graf pasivnega zemeljskega pritiska (grafikon 2) in se nahaja v osi A na globini približno 4,20 m in v osi C na 4,00 m od talne plošče.

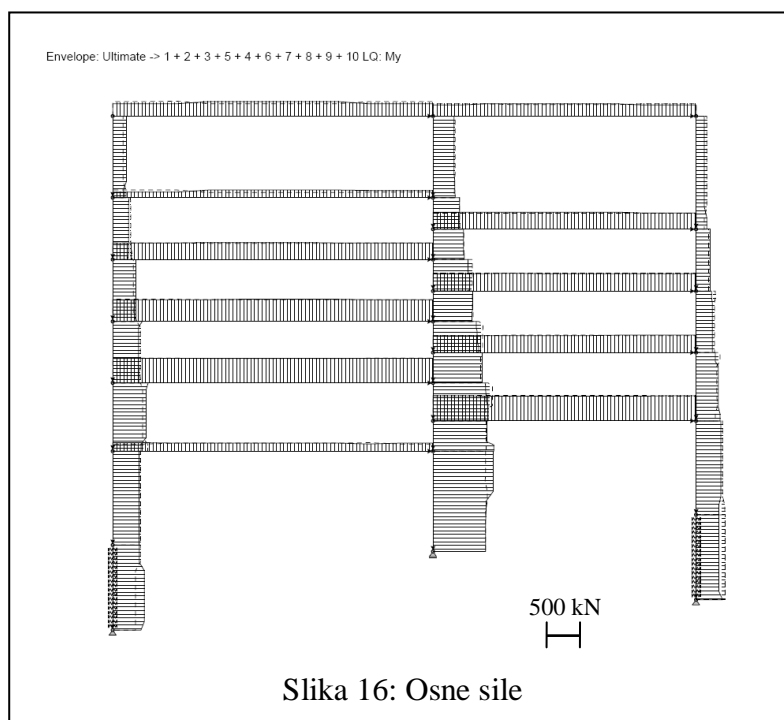
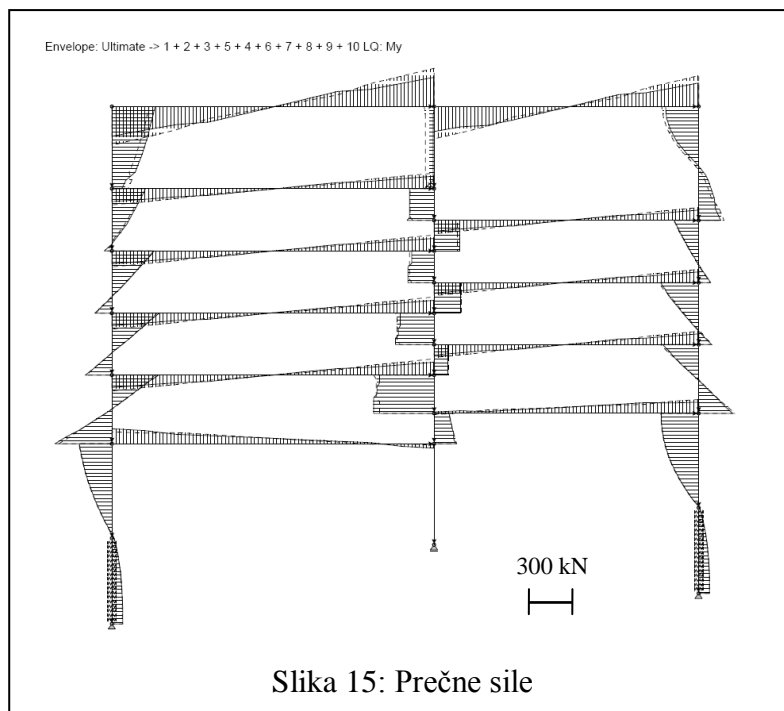


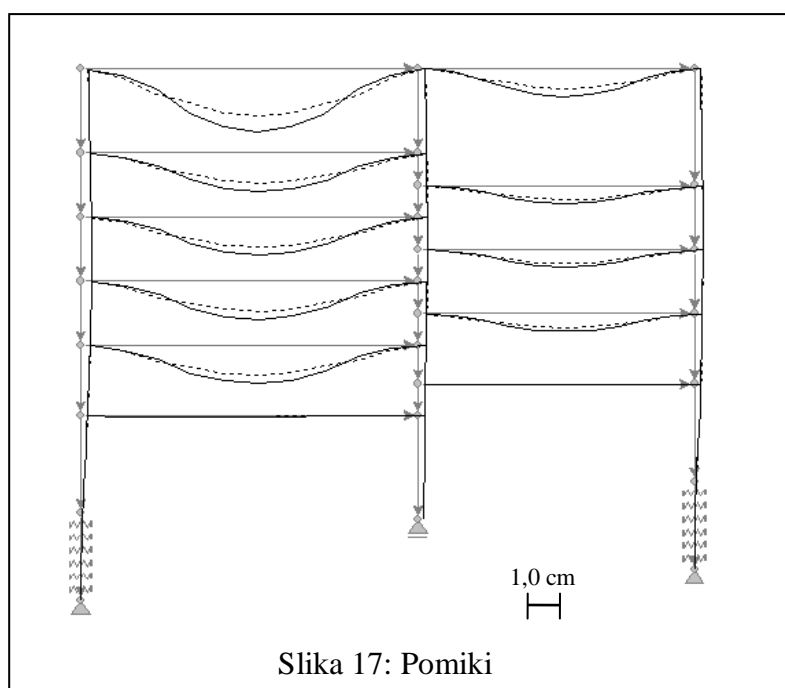
Grafikon 2: Kontrola pritiskov - globina vpetja diafragme

4.3.2 Rezultati geostatične analize



Slika 14: Upogibni momenti





Preglednica 8: Maksimalne obremenitve in pomiki

oznaka	opis	konstrukcijski element	globina [m]	nivo	vrednost/enota
M	upogibni moment	diafragma - os A	0,00	krovna plošča	701 kNm
		diafragma - os C	-14,55	4. etaža	568 kNm
Fz	prečna sila	diafragma - os A	-16,00	5. etaža	406 kN
		AB stena - os B	-16,00	5. etaža	- 1242 kN
Fx	osna sila	diafragma - os A	-24,55	5. etaža	540 kN
u	horizontalni pomiki	diafragma - os A	0,00	krovna plošča	3,5 mm
		diafragma - os A	-16,00	5. etaža	3,0 mm
		medetažna plošča	0,00	krovna plošča	22 mm

Rezultati kažejo, da se napetosti na konstrukcijo parkirne hiše pričakovano povečujejo z globino. Prav tako so pričakovane največje prečne obremenitve znotraj konstrukcije parkirne hiše v armirano betonski steni v osi B, kjer so stebri dodatno armirani z jeklenimi HEM profili, ki prevzemajo večji del napetosti, medtem ko se manj napetosti prenaša na vzdolžno steno, ki sega od talne do krovne plošče in je debeline 30 cm. Globoko vpetje diafragme preprečuje njene prekomerne deformacije ob obstoječih sosednjih objektih predvsem med gradnjo oziroma izkopom.

5 VAROVANJE GRADBENE JAME NA KONGRESNEM TRGU

Pri parkirni hiši na Kongresnem trgu je bilo zaradi neposredne bližine obstoječih objektov in globine izkopa potrebno izvesti varovanje gradbene jame s podporno konstrukcijo. Izvedena je bila s sklenjeno AB diafragmo in razpornimi AB medetažnimi ploščami do končne globine parkirne hiše. AB razporne medetažne plošče so se izdelovale sprotno po metodi od zgoraj navzdol.

Nosilni elementi parkirne hiše :

- armirano betonska diafragma;
- armirano betonske medetažne plošče;
- armirano betonski sredinski stebri.

5.1 Armirano betonska diafragma

Na objektu parkirne hiše se je izvajala diafragma z izmenično izvedbo posameznih lamel globine do 26,00 m in debeline 65 cm. Posamezna dolžina lamele je 2,80 m in je identične oblike in dolžine grabeža za izkop zemljine. Izkop se je lahko vršil v širini največ dveh medsebojnih lamel oziroma v skupni širini več kot 5,50 m. Na južni strani Kongresnega trga, kjer so obstoječi objekti zelo blizu diafragme in predstavljajo dodatno obremenitev, je bilo dovoljeno vršiti izkop zemljine v širini ene lamele. Zaporedje izdelave posamezne lamele diafragme je bilo določeno vnaprej.

AB diafragma na Kongresnem trgu se je izvajala v štirih fazah:

- izdelava vodilnega kanala;
- izkop ter varovanje jarka z bentonitno izplako;
- izdelava in montaža armaturnega koša;
- betoniranje diafragme.

5.1.1 Izdelava vodilnega kanala

Betonski vodilni kanal služi za natančen izkop zemljine z grabilcem in za obežanje oziroma namestitvev armaturnega koša. Vodilni kanal tvori jarek s parom betonskih sten globine 1,50 m, širine 65 cm in debeline 15 cm na obeh straneh. Izvajal se je po odsekih dolžine približno 5,0 m in vedno pred izkopom zemljine.

Dolžina posameznih odsekov je odvisna od lastnosti tal in dodatnih zunanjih obremenitev (sosednji obstoječi objekti). Betonski vodilni kanal je minimalno armiran, saj ga je potrebno po zabetoniranju diafragme odstraniti.



Slika 18: Vodilni kanal diafragme (Swietelsky, 2009)

Vodilni kanal diafragme pri priključkih podvozov za vozila in podhodov za pešce je bil izveden na nivoju 1. etaže. Na mestih, kjer je v ravnini vodilnega kanala nastopil višinski skok, se je najprej izvedel vodilni kanal na višjem nivoju.

5.1.2 Izkop ter varovanje jarka z bentonitno izplako

Med izkopom zemljine se je stabilnost jarka vzdrževala z bentonitno izplako. Bentonitna izplaka s svojo prostorninsko težo preprečuje zasutje in porušitev stene jarka. Nujno je čiščenje pretežke, z zrni zemljine pomešane bentonitne mešanice pred njeno ponovno uporabo. Bentonitna izplaka se je čistila in skladiščila na gradbišču v velikih vodotesnih rezervoarjih.

5.1.3 Izdelava in montaža armaturnega koša

Namestitev armaturnega koša se je po vstavitvi v vodilni kanal višinsko in vodoravno kontrolirala, saj med betoniranjem vedno obstaja možnost izpodrivanja in dvigovanja armaturnega koša. Armaturni koši posameznih lamel so se pripravljali na gradbišču. Stiki armaturnih palic v posameznem armaturnem košu so bili varjeni ter s tem dovolj togi za dvigovanje in premikanje. Dvigovanje posameznega armaturnega koša v vertikalni položaj se je izvajalo z dvema dvižnima nihajnim ročicama.



Slika 19: Montaža armaturnega koša (Swietelsky, 2010)

Na vrhu diafragme so bile iz posameznih lamel puščene armaturne palice, ki so služile za povezavo diafragme z AB gredo in AB krovno ploščo. Zaradi povezovanja diafragme z notranjo AB konstrukcijo so se pred vgradnjo posameznega armaturnega koša nanj namestile armaturne palice, ki služijo za povezavo med AB diafragmo in AB obodnimi stenami parkirne hiše. Povezovalne armaturne palice so se zaradi kasnejšega čiščenja pred vgradnjo zaščitile s folijo, zato da pri betoniranju diafragme niso bile v stiku s svežim betonom.



Slika 20: Povezovalne armaturne palice v AB diafragmi (foto: Jerič, 2010)

V fazi izkopa zemljine na območju parkirne hiše se je sprva z vodnim curkom pod pritiskom očistila notranja stena diafragme nato se je odstranil odvečni beton do povezovalnih palic. Povezovalne palice so se izvlekle oziroma ukrivile in očistile zaščitne folije. Pri armiranju obodnih sten se je povezovalna armatura od diafragme vezala skupaj z vertikalnimi nosilnimi in horizontalnimi razdelilnimi armaturnimi palicami.

5.1.4 Betoniranje diafragme

Priprava in vgradnja betona je med najpomembnejšimi fazami pri izvedbi diafragme. Betoniranje je potekalo preko kontraktorskih⁴ cevi na vrhu opremljenih z lijakom. Način betoniranja temelji na principu izpodrivanja lažjega materiala (bentonitna izplaka) s specifično težjim materialom (betonom). Kontraktorsko cev je potrebno zaradi preprečevanja mešanja bentonitne izplake in betona spustiti približno 10 cm od dna jarka. V nadaljevanju betoniranja mora biti kontraktorska cev vedno potopljena v sveži beton. Pomembna je konstantna dostava betona do zabetoniranja posamezne lamele.

5.2 Armirano betonske medetažne razporne plošče

Razpiranje diafragme je bilo dokončano z izvedbo nosilnih medetažnih plošč, ki so se izvajale po metodi od zgoraj navzdol. AB diafragma debeline 65 cm je zagotavljala zaščito gradbene jame tako, da se je poglobljanje zemeljskih del vršilo samo na eni etaži in da je dosegala neposredna plošča nad njo zahtevano trdnost. Razporne medetažne plošče so z diafragma konstrukcijsko povezane preko povezovalnih armaturnih palic (slika 20).

Po izdelavi AB obodnih sten, srednje stene in AB stebrov v isti etaži se medetažna konstrukcija »obesi« na diafragma in na predhodno vgrajene jeklene profile sredinskih stebrov ter tako omogoča nadaljevanje gradnje z izkopom pod ploščo.

⁴ Kontraktorska cev – cev, ki je v fazi betoniranja potopljena v sveži beton.



Slika 21: Medetažna razporna plošča in stena (foto: Jerič, 2010)

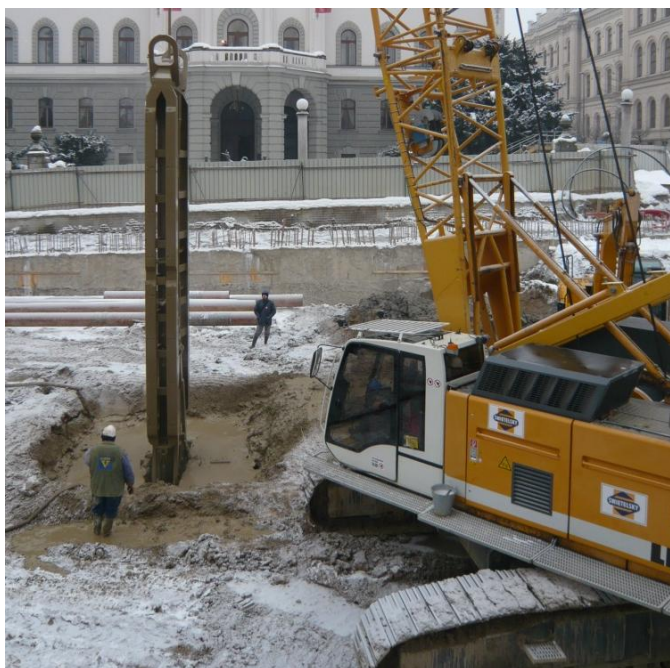
5.3 Armirano betonski stebri

Medetažne plošče podzemne parkirne hiše se opirajo na stene diafragme in na sredinske AB stebre. Vseh stebrov v etaži je 16 in so razvrščeni na osni razdalji 8,10 m. Stebri so armirani s togo jekleno konstrukcijo in dolžine od 20 do 25 m. Izvajali so se takoj za AB diafragmo.

Izkop jarka za stebre se je izvajal podobno kot izkop za diafragmo z vravnim grabežem (slika 22). Zapolnitev jarka z betonom je bila izvedena do višine talne plošče kot temelj stebra. Nad talno ploščo se je jarek zasipal z zemljino, začasno nosilno vlogo pa sta prevzela dva HEM profila⁵, ojačena z varjenimi nosilci v obliki paličja. Do vgradnje talne plošče so obtežbo konstrukcije, prenašali jekleni HEM profili in pripadajoči temelji.

Za stebre so se tako kot za diafragmo predhodno izdelali betonski vodilni kanali, ki so zagotavljali natančno višinsko namestitev armaturnega koša.

⁵ HEM profil – vročevaljani nosilec v prečnem prerezu oblike črke I in ima višino večjo od širine.



Slika 22: Izkop jarka za steber (Swietelsky, 2010)



Slika 23: Namestitev armaturnega koša za steber (Swietelsky, 2010)

AB stebri so prereza velikosti grabežne žlice 280 x 65 cm z ločnimi zaokrožitvami na obeh koncih. Globina AB stebrov in vpetje v podnožje je bilo dimenzionirano tako, da obremenitve lastne teže in koristne obtežbe vseh AB medetažnih plošč lahko nosijo stebri tudi brez izdelave AB talne plošče. Betoniranje stebrov se je izvajalo sprotno po etažah skupaj z AB stenami. Z izdelano talno ploščo in z zabetoniranjem stebrov po celotni višini postanejo AB stebri polnovredno nosilni.

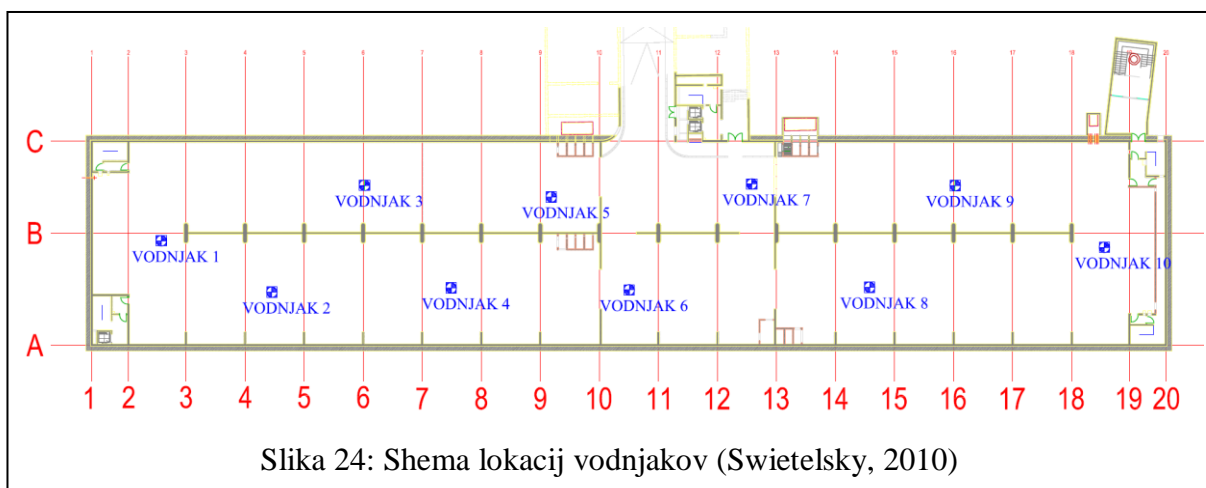
5.4 Zniževanje nivoja podzemne vode

Zaradi vodonosnika Ljubljanskega polja na mestu Kongresnega trga se spodnja podzemna voda nahaja razmeroma globoko, viseča podzemna voda pa nekoliko višje. Slednja poteka med nivojema 291,00 – 286,00 m.n.v. oziroma približno 7,5 m pod površjem in se pretaka v smeri severovzhoda proti reki Ljubljanici.

Gladina spodnje podtalne vode pa se nahaja približno na koti 281,50 m.n.v. Nivo spodnjega roba najglobljega dela talne plošče je na koti 278,98 m.n.v., kar pomeni, da je bilo potrebno pri gradnji parkirne hiše gladino podtalne vode znotraj AB diafragme znižati za minimalno 2,5 m. Zniževanje gladine podtalne vode se je izvajalo s črpanjem 24 ur na dan neprekinjeno do izvedbe talne plošče.

5.4.1 Izvedba vodnjakov za črpanje podtalne vode

Za namen črpanja podtalne vode iz gradbene jame je bilo znotraj zaključene diafragme nameščenih deset vodnjakov. Upravljali so se lahko ločeno, vezani pa so bili na skupni cevovod.



- vodnjak št. 1 ob osi B, med prečnima osema 2 – 3
- vodnjak št. 2 med osema A – B, med prečnima osema 4 – 5
- vodnjak št. 3 med osema B – C, prečnima osema 6

- vodnjak št. 4 med osema A – B, med prečnima osema 7 – 8
- vodnjak št. 5 med osema B – C, ob prečni osi 9
- vodnjak št. 6 med osema A – B, med prečnima osema 10 – 11
- vodnjak št. 7 med osema B – C, med prečnima osema 12 – 13
- vodnjak št. 8 med osema A – B, med prečnima osema 14 – 15
- vodnjak št. 9 med osema B – C, ob prečni osi 16
- vodnjak št. 10 ob osi B, med prečnima osema 18 – 19

Vodnjak je izdelan iz jeklene cevi premera 400 mm, ki se namesti v predhodno izkopen jarek globine do 25,0 m in prereza 2,80 x 0,65 m. Spodnji konec jeklene cevi vodnjaka je zaprt, tako da se na višini 1,0 m od spodnjega konca cevi ustvari tako imenovana vodna vreča v katero se postavi črpalko. Nad tem delom je jeklena cev v dolžini 2,0 m perforirana in opremljena s kovinsko cedilno tkanino (bakrenim sitom). Po vgradnji vodnjaka na določeno mesto se odprtina okoli cevi vodnjaka zasuje z okroglo prano frakcijo (savski prodec) ustreznih granulacije in višine ter se s tem ustvari drenažni sloj.



Slika 25: Spodnji perforirani del vodnjaka (foto: Jerič, 2010)

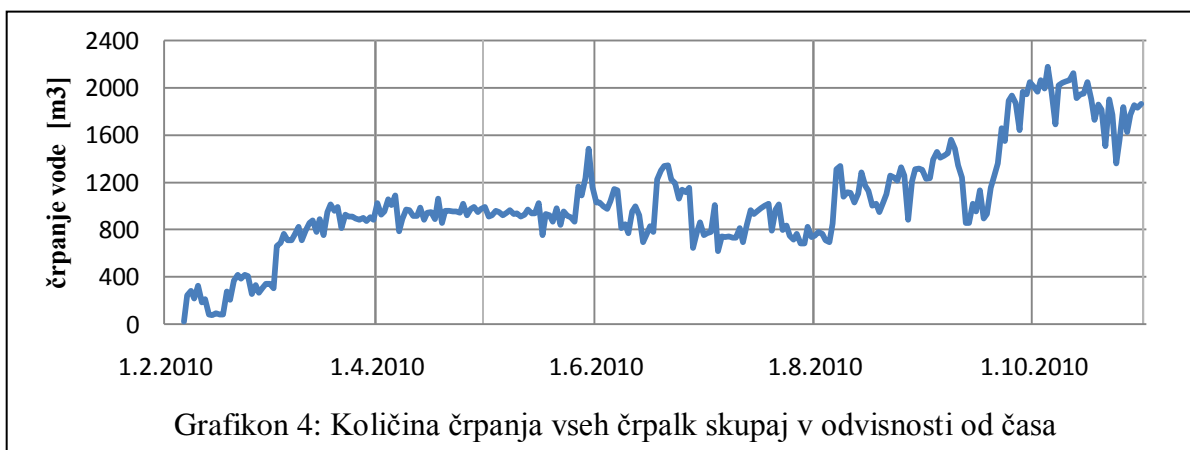
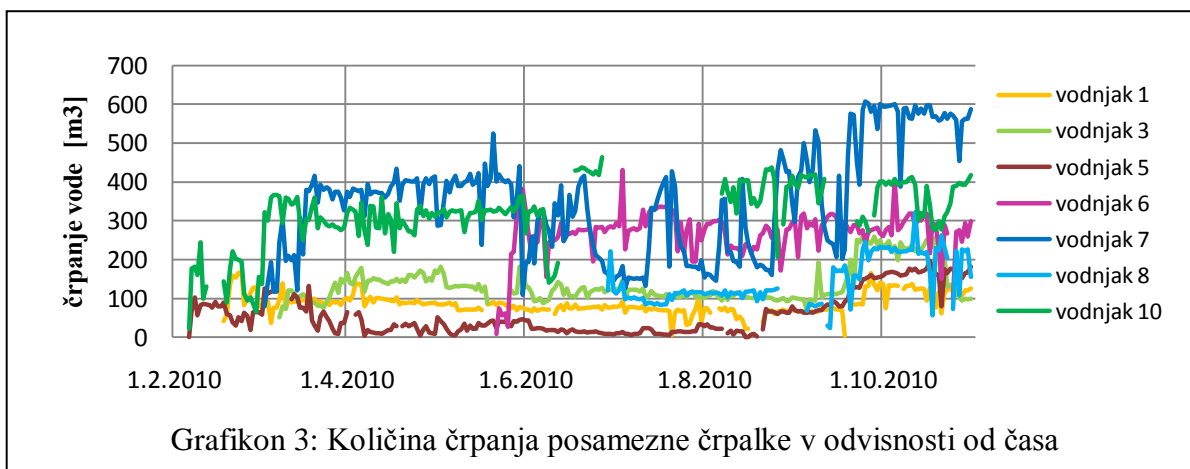
Med vgrajevanjem jeklene cevi se je izvajalo stalno izpiranje z bentonitno izplako, po zasutju jarka pa se je kompresorsko očistila notranja površina vodnjaka. V vsak posamezni vodnjak se je namestila potopna črpalka primerne črpalne kapacitete z ustreznim cevovodom in z možnostjo namestitve nivojskega usmerjanja.

Po kompresijskem čiščenju izdelanega vodnjaka je potrebno predvideti pričakovano donosnost vodnjaka. Za preizkus primernosti črpalke se je najprej vgradilo črpalno kapacitete 200 l/min z vodomerno uro. V kolikor črpalna ni bila sposobna znižati gladine vode v vodnjaku nad filtriranim delom za 1,0 m, je bilo potrebno namestiti močnejšo črpalno.

S črpanjem podtalne vode se je pričelo takoj po izdelavi sklenjene AB diafragme. Črpalke so se namestile v vodnjake z veliko donosnostjo podtalne vode, preostale vodnjake pa se je uporabljalo za opazovanje in merjenje gladine podtalne vode.

5.4.2 Črpanje in zniževanje gladine podtalne vode

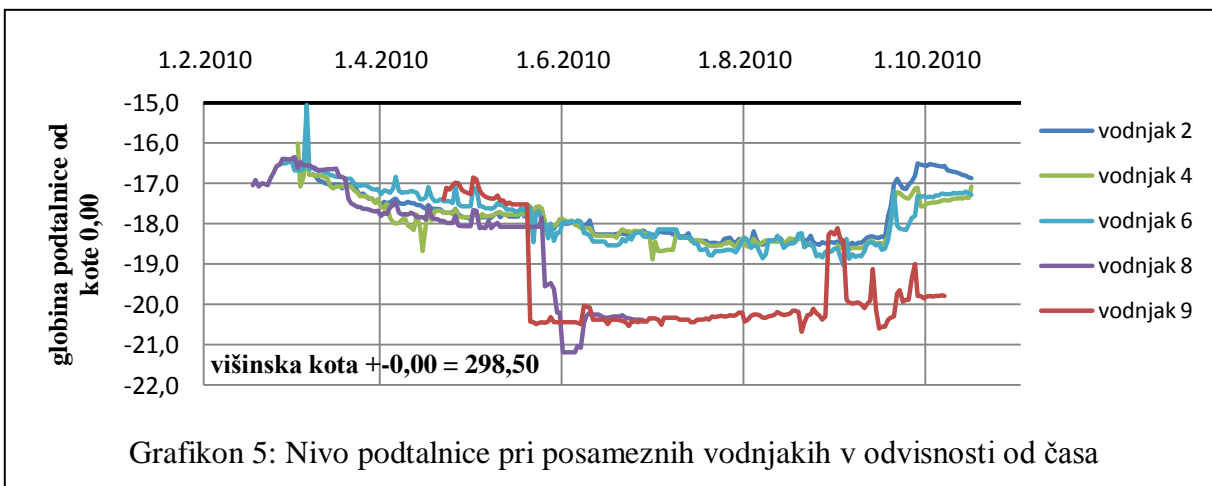
Podtalno vodo se je s črpanjem odvajalo v obstoječo meteorno kanalizacijo. V povprečju se je dnevno prečrpalo 930 m³ podtalne vode oziroma se je znižalo gladino podtalne vode za približno 1 cm na dan.

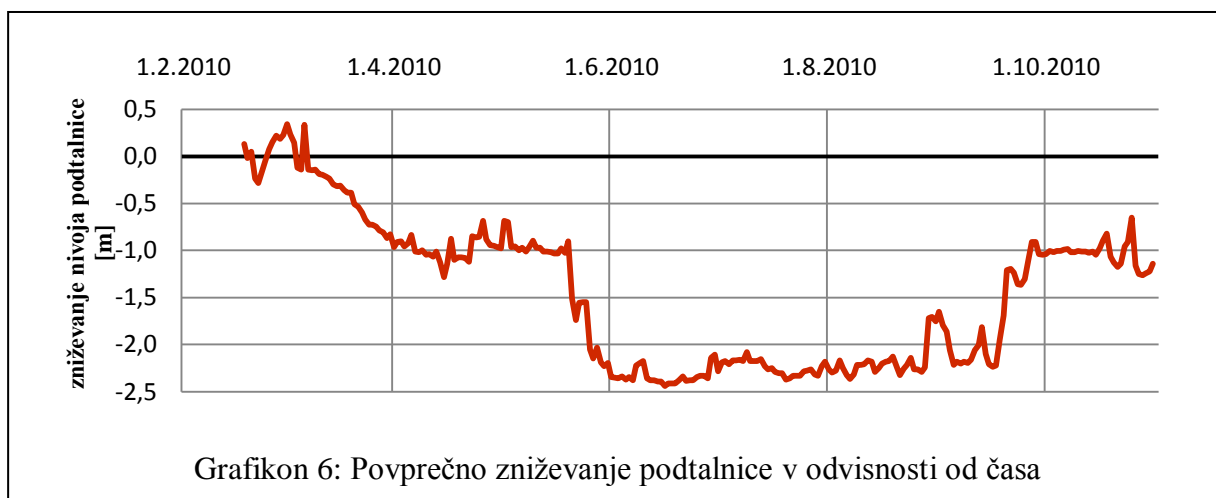


Grafikona 3 in 4 prikazujeta količino črpanja podtalne vode na območju znotraj AB diafragme v času gradnje objekta. Črpanje podtalne vode se je pričelo v drugi polovici meseca februarja 2010. Kot je razvidno iz grafikonov, se je kapaciteta črpanja podtalne vode s časom postopoma povečevala. Prvo odstopanje je bilo zaslediti na začetku meseca marca 2010 in sicer zaradi priključitve črpalke v vodnjaku št. 7 in pričetka optimalnega delovanja črpanja vodnjaka št. 10.

Naslednje večje odstopanje je sledilo ob koncu meseca junija 2010, ravno takrat je bilo zabeležena velika količina padavin na območju Ljubljane in celotne Slovenije. Sledila je priključitev dodatne črpalke v vodnjaku št. 6. Dodatna črpalka je ponovno omogočila konstantno zniževanje podtalne vode na območju parkirne hiše znotraj diafragme.

Maksimalna količina črpanja podtalne vode je bila zabeležena ob koncu meseca septembra 2010, ravno v času poplav v Sloveniji. Najvišja dnevna količina črpanja v tem obdobju je bila zabeležena 05.10.2010 in sicer 2.176 m³. V tem obdobju je bilo na sistem priključenih sedem črpalk. Povprečno največje količine vode prečrpata črpalke iz vodnjaka št. 7 in št. 10, kar pomeni, da je na tem območju največji pretok podtalne vode.





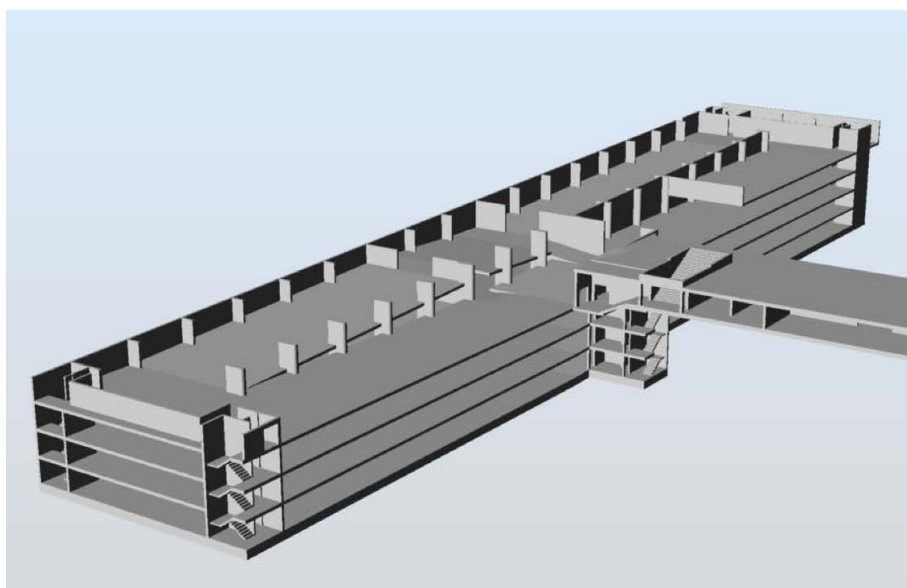
Grafikona 5 in 6 prikazujeta zniževanje gladine podtalne vode v območju parkirne hiše v določenem časovnem obdobju, od pričetka črpanja do meseca novembra 2010.

Grafikon 5 prikazuje zniževanje podtalne vode v posameznih vodnjakih, ki so bili razporejeni na južnem delu parkirne hiše (sliki 24). Na ordinatni osi so izpisane višine podtalne vode od začetne višinske kote $\pm 0,00$ oziroma 298,50 m.n.v. Gladina podtalne vode je bila ob začetku merjenja na višinski koti približno -17,0 m oziroma 281,50 m.n.v. Spodnji rob talne plošče parkirne hiše je na višinski koti -19,52 m, kar pomeni, da je bilo potrebno podtalno vode znižati za minimalno 2,5 m. Na grafikonu 5 po mesecu juniju 2010 se opazi dve različni gladini podtalne vode. V vodnjakih št. 2, 4 in 6, ki ležijo na zahodnem območju, je podtalna voda na višini -18,50 m pod površjem, pri vodnjaku št. 8 in 9, ki sta na zahodnem območju, pa je podtalna voda nižja, in sicer -20,20 m pod površjem. Razlog za to je v sestavi zemeljskih tal oziroma različnih prepustnosti zemljin.

Grafikon 6 prikazuje povprečno vrednost zniževanja podtalne vode v odvisnosti od časa, merjeno iz petih vodnjakov. Razvidno je, da je gladina podtalne vode upadala ravno takrat, ko se je na drugi strani povečala količina črpanja. Črpanje in merjenje gladine podtalne vode na objektu se je izvajalo do izdelave talne plošče in vseh pripadajočih sten na najglobljem nivoju 5. etaže.

6 TEHNOLOGIJA IZVEDBE PARKIRNE HIŠE NA KONGRESNEM TRGU

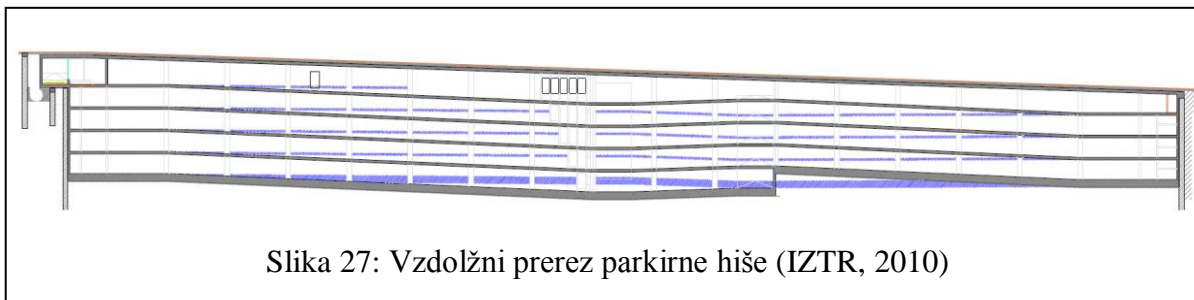
Parkirna hiša na Kongresnem trgu se je izvajala po metodi od zgoraj navzdol s sprotno izvedbo nosilne medetažne konstrukcije z razpiranjem. Po velikosti spada med večje podzemne hiše na tem območju. Izbrana tehnologija ob pravilni izvedbi kar najbolj preprečuje pomike na sosednjih objektih.



Slika 26: Parkirna hiša na Kongresnem trgu (IZTR, 2010)

6.1 Razpiranje diafragme z medetažnimi razpornimi ploščami

Podzemna parkirna hiša je proti zahodu pet etažna, medtem ko je proti vzhodu, zaradi nagiba terena štiri etažna. V vzdolžni smeri so medetažne plošče izvedene z menjajočimi nagibi in z prehodnimi rampami oziroma klančinami, ki omogočajo prehod med posameznimi etažami.



Slika 27: Vzdolžni prerez parkirne hiše (IZTR, 2010)

Razpiranje diafragme se je pričelo z AB medetažno ploščo na nivoju 1. etaže, kar pomeni, da se je izkop zemljine ob diafragmi do območja obstoječih objektov lahko izvedel neovirano. Na območju obstoječih objektov je bilo potrebno pred izkopom do nivoja 1. etaže izdelati razpiranje z jeklenimi razporami (poglavje 6.2) in šele zatem izdelati medetažno ploščo na omenjenem nivoju. Krovna plošča se je po izdelavi medetažne plošče na nivoju 1. etaže in pripadajočih AB obodnih sten in stebrov podprla in klasično opažila v skupno petih delovnih etapah.

6.1.1 Zaporedje izvedbe medetažnih plošč

Posamezna medetažna plošča se je izvajala v osmih delovnih etapah betoniranja. Ključno za konstrukcijsko pravilno izvedbo je bilo zaporedje izdelave medetažnih plošč in upoštevanje dejstva, da je potrebno najprej izdelati globlje oziroma nižje etape v posamezni etaži. Razporeditev delovnih etap je bila načrtovana tako, da je omogočala neprekinjeno napredovanje gradbenih del.

Pred vsako izvedbo del je potrebna izdelava terminskega plana napredovanja del, ki mora biti predviden kar se da učinkovito in optimalno. Planirani vrstni red izvedbe posameznih faz je statična zahteva, kar pomeni, da se zaporedje izvedbe posameznih etap ne sme spreminjati.

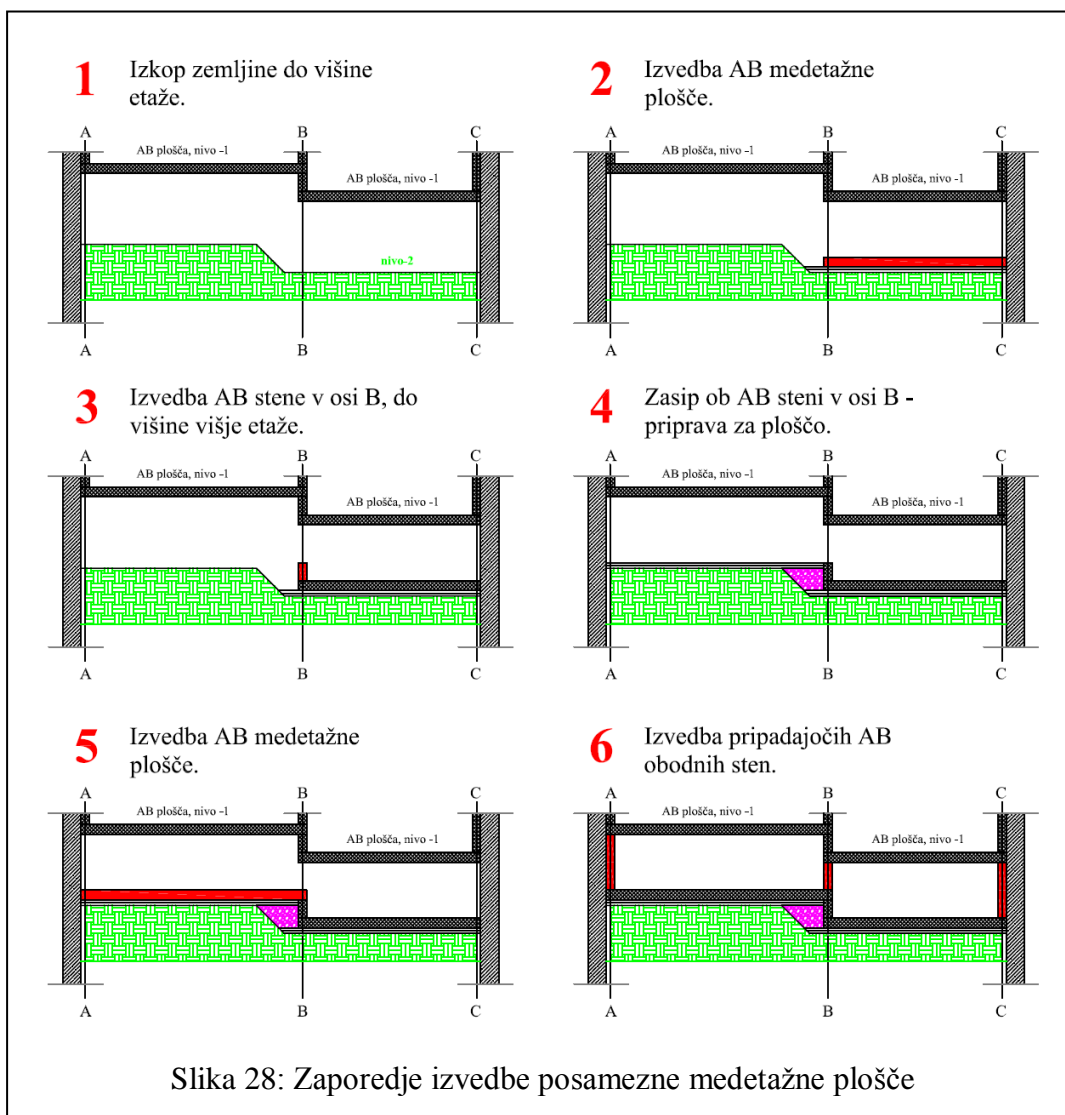
Predstavitev izvedbe posameznih gradbenih faz:

- **I. faza (1. etaža):**
 1. rušenje notranjega vodilnega kanala;
 2. izkop zemljine do globine izvedbe medetažne plošče na nivoju 1. etaže do prečne osi 13 (slika 24);
 3. izvedba razpiranja z jeklenimi razporami na nivoju 1. etaže od prečne osi 12 do prečne osi 4;
 4. izkop zemljine pod jeklenimi razporami do globine medetažne plošče na nivoju 1. etaže;
 5. čiščenje površine odkopane diafragme in armature stebrov ter izvlečenje armaturnih palic »zadrg« iz diafragme;

6. utrditev terena, vgrajevanje podložnega betona, polaganje desk in talnega opaža za etape 1. etaže ter vgrajevanje armature za ploščo;
 7. betoniranje AB medetažne plošče na nivoju 1. etaže razdeljene na 9 etap;
 8. etapna izvedba AB obodnih sten ob diafragmi, sredinske AB stene in AB stebrov;
 9. demontaža jeklenih razpor od prečne osi 12 do osi 4;
 10. opaženje in izdelava delovnega odra na izgotovljeni plošči na nivoju 1. etaže za zaključno ploščo izvedeno v petih etapah.
- **II., III. in IV. faza (2., 3. in 4. etaža):**
 1. izkop zemljine pod izvedeno medetažno ploščo na nivo 2., 3. in 4. etaže;
 2. čiščenje površine odkopane diafragme in armature stebrov ter izvlečenje armaturnih palic »zadrǵ« iz diafragme;
 3. izdelava peščenega nasutja ter utrditev terena, vgrajevanje podložnega betona, polaganje desk in talnega opaža ter vgrajevanje armature za ploščo;
 4. betoniranje AB medetažne plošče na nivoju 2., 3. in 4. etaže razdeljene na 8 etap;
 5. etapna izvedba AB obodnih sten ob diafragmi, sredinske AB stene in AB stebrov;
 6. izvedba preostalih AB konstrukcijskih sten in stopnic.
 - **V. faza (5. etaža):**
 1. izkop zemlje pod izvedeno medetažno ploščo na nivo 5. etaže oziroma do globine talne plošče;
 2. čiščenje površine odkopane diafragme in armature stebrov ter izvlečenje armaturnih palic »zadrǵ« iz diafragme;
 3. izdelava tampona, podložnega betona ter vgrajevanje armature za ploščo;
 4. betoniranje AB medetažne plošče na nivoju 5. etaže razdeljene na 4 etape;
 5. etapna izvedba AB obodnih sten ob diafragmi, sredinske AB stene in AB stebrov.
 - **VI. faza (zaključna):**
 1. zaključevanje del na izgradnji konstrukcije in zidanje ob prezračevalnih jaških in ostalih prostorih;
 2. betoniranje začasnih tehnoloških odprtín za izkop po metodi od spodaj navzgor;

3. postopno zaustavljanje črpanja podtalnice ter zaprtje vodnjakov;
4. zaključna obrtniška dela;
5. izgradnja cestnih površin in zunanja ureditev okolja.

Posamezne gradbene faze in delovne etape se med seboj časovno prekrivajo, vendar je zaradi statičnih omejitev potrebno izvedbo posameznih delovnih etap strogo upoštevati. To pomeni, da se lahko izkop v globini ene etaže na določenem območju izvaja samo v primeru, ko je nad omenjenim izkopom izvedena AB medetažna plošča in njej pripadajoče AB stene, na katere se medetažna plošča »obesi«.



Slika 28 prikazuje faze izvedbe posamezne medetažne razporne plošče. Izvedba le te si sledi v prikazanem zaporedju in je vedno potrebno najprej izdelati nižje ležeče medetažne plošče in nato še višje ležeče. Izjema so skrajno ležeče plošče na zahodnem in vzhodnem delu parkirne hiše, pri katerih se medetažna plošča izvede po celotni širini v eni fazi.

6.1.2 Izvedba medetažnih razpornih AB plošč z detajli

Zaporedje izvedbe medetažne razporne plošče se vedno prične z izkopom zemljine do višine izvedbe utrjenega peščenega nasutja, ki se izvaja v debelini 10 cm in služi kot posteljica za izvedbo podložnega betona. Svetla višina izkopa je približno 3,0 m.

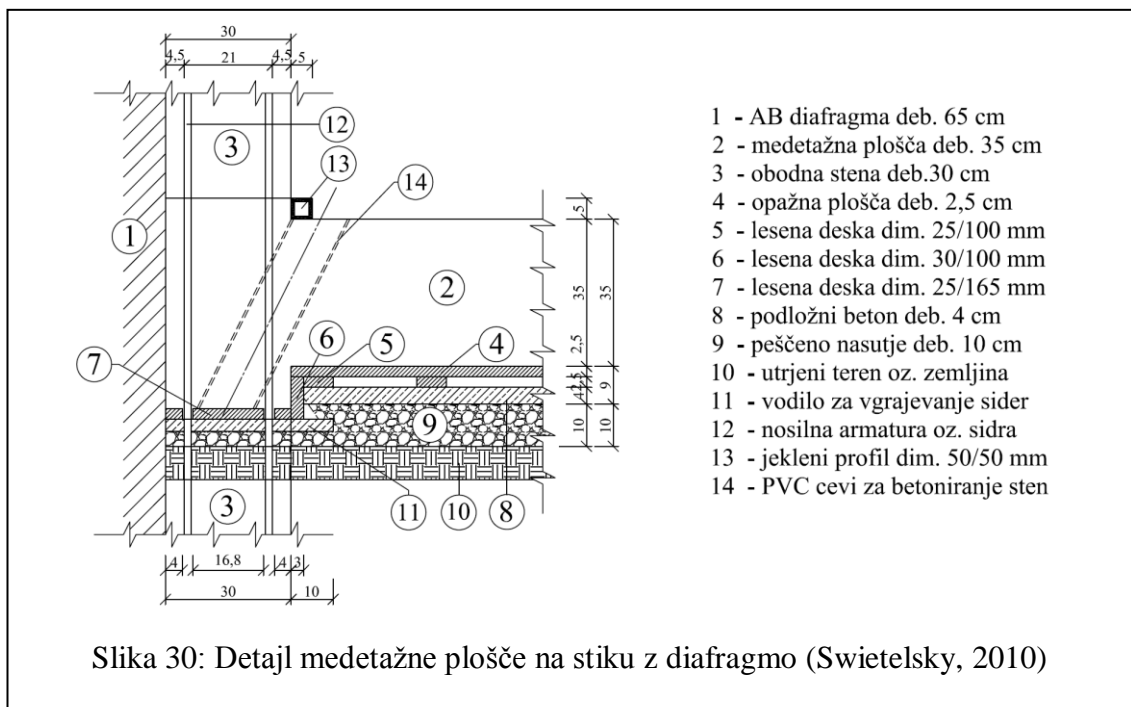
Peščeno nasutje se utrjuje pod dvostranskim prečnim naklonom, ki se izvaja zaradi projektantskega predvidenega povesa medetažne plošče po končani gradnji za 5 cm v prečni smeri medetažne plošče. Nasutje in prečni naklon se izvede v padcu približno 1 %.

Debelina podložnega betona je 4 cm, ki ga je potrebno vgraditi pred izvedbo vsake posamezne medetažne plošče in služi kot priprava in izvedba prečnega naklona za opažne plošče. Za izvedbo podložnega betona se pred pričetkom vgrajevanja betona pripravijo jekleni pravokotni profili (slika 29), kateri so višinsko nastavljeni in služijo kot linija za zgladitev svežega betona.

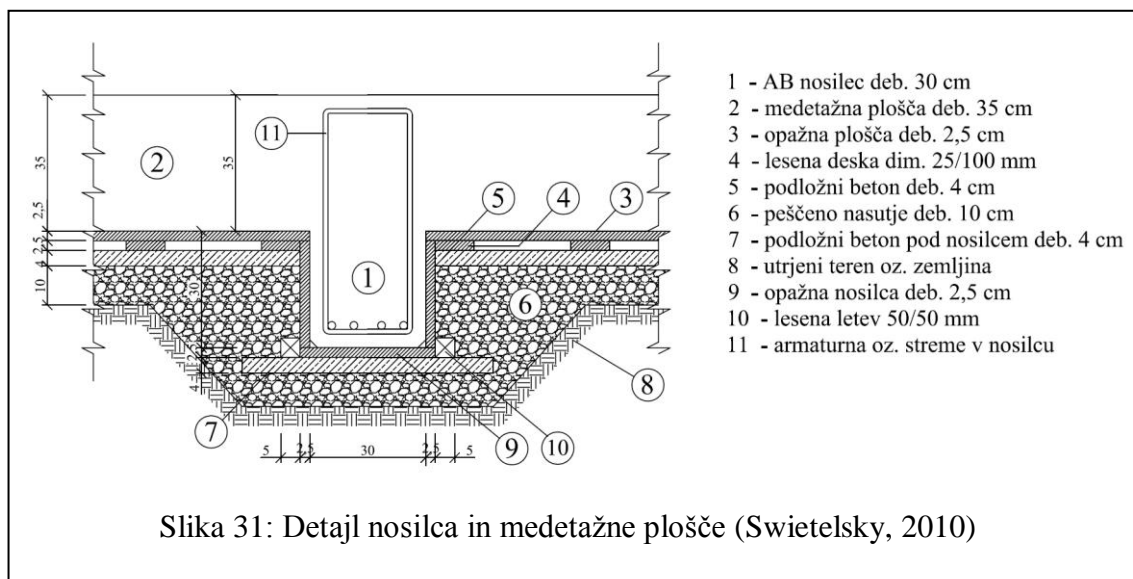


Slika 29: Vgrajevanje podložnega betona (foto: Jerič, 2010)

Pred izvedbo podložnega betona je potrebno na območjih sten zabetonirati in zaopaziti tako imenovano vodilo za stene, ki služi za natančno vgradnjo armaturnih palic oziroma sider za povezavo sten med etažami. Armaturne palice oziroma sidra se vgrajujejo z vrtnanjem do zahtevane globine približno 1,0 m, zato da se z njimi konstrukcijsko poveže zgornje stene (npr. stene nivo 1. etaže) s spodnjimi stenami (npr. stene nivo 2. etaže).



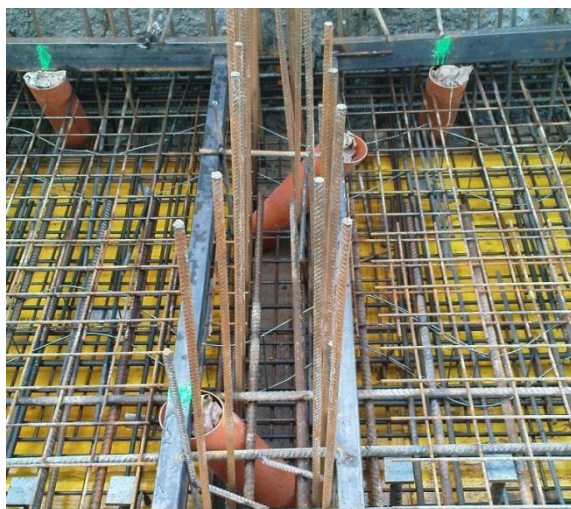
Na podložni beton, ki je izveden v točno določenih padcih prečno in vzdolžno, se sprva položijo lesene letve, katere služijo za lažje odstranjevanje opaža pri izkopu pod ploščo (slika 30, točka 5). Za opaženje medetažne plošče se uporablja klasične lesene opažne plošče. Pomembna je tudi pravilna odstranitev opaža, da se le ta ne poškoduje in se lahko ponovno uporabi.



Nosilec ali preklado, ki služi za prenos obtežbe nad odprtino pri stenah v nivoju npr. 2. etaže, je potrebno izdelati že pri izvedbi medetažne plošče na nivoju 1. etaže (slika 31).

Med pripravo in utrjevanjem terena za izvedbo podložnega betona je potrebno odstraniti beton diafragme zaradi armaturnih sider oziroma armaturnih zadrž, ki so bila vgrajena v času izvedbe diafragme na armaturni koš. Armaturne zadrž so ključnega pomena za povezavo obodnih sten in diafragme ter za prevzemanje obremenitev na obodne stene, ki jih povzroči izkop pod le temi.

Med vgrajevanjem armaturnih mrež in armaturnih palic za medetažne plošče se v območju sten pritrdijo PVC cevi premera 125 mm, ki kasneje služijo za vgrajevanje sveže betonske mešanice za stene v nižje etaže (slika 30, točka 14). Medosni razmik med cevmi ne sme biti večji od 125 cm zaradi zadostne zapolnitve betona do vrha stene. V vogalih in stikih dveh sten je potrebno cevi namestiti na krajših medosnih razdaljah zaradi zapolnitve sten z betonom.



Slika 32: Cevi za betoniranje sten (foto: Jerič, 2010)

Prav tako je potrebno delovni stik sten izdelati med dvema cevema. Pred betoniranjem se plastične cevi odstrani, tako da se zagotovi stik starega betona medetažne plošče s svežim betonom na mestu odprtine.

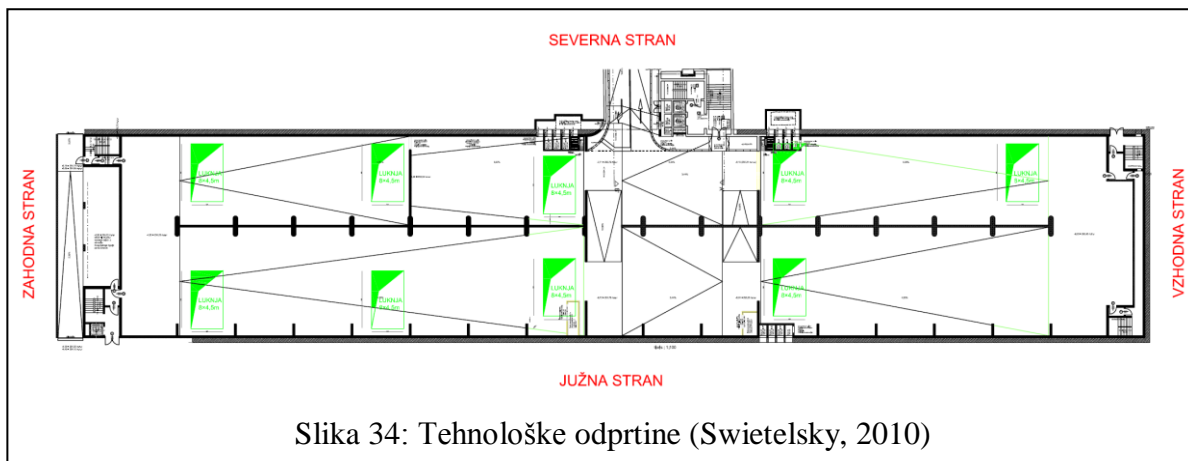
6.1.3 Tehnološke odprtine za vertikalni transport

Število in velikost odprtin za vertikalni transport in lokacije teh odprtin je pomemben dejavnik, od katerega je odvisna hitrost izvedbe celotnega izkopa predvsem vertikalnega prenosa izkopanega materiala. Ker se vertikalni transport izkopanega materiala podzemne parkirne hiše vrši izključno v območju sklenjene diafragme, je potrebno celoten material transportirati preko tehnoloških odprtin. Vseh odprtin na posamezni medetažni plošči je 9 in so velikosti 4,5 x 8,0 m. Odprtine se zapre oziroma zabetonira šele po izvedbi talne plošče v najnižji etaži objekta po sistemu od spodaj navzgor. Pomembna je izvedba delovnega stika in ojačitve med odprtino in medetažno ploščo. Izvedba premajhne odprtine pa omejuje predvsem vertikalni transport armaturnih mrež in palic, ki so omejene na dolžino 8,0 m ter vertikalni dvig in spust gradbenih strojev.



Slika 33: Dvigovanje gradbenega stroja (foto: Jerič, 2010)

Lokacije tehnoloških odprtin so predvsem odvisne od ureditve gradbišča in možnosti dostopa do odprtin z gradbenimi stroji. Na Kongresnem trgu so problem predstavljala zaščitena drevesa v parku Zvezda, ki so omejevala nemoteno delo z gradbenimi stroji in pogojevala lokacije tehnoloških odprtin v plošči (slika 34).



Slika 34: Tehnološke odprtine (Swietelsky, 2010)

6.1.4 Izkop materiala in potrebna mehanizacija

Izkop zemljine izpod medetažne plošče je mogoč, ko dosežejo plošče in stene zahtevano projektirano tlačno trdnost.

Vertikalni transport izkopane zemljine je potekal preko začasnih tehnoloških odprtih z vrvnim grabežem. Prenos zemljine do tehnoloških odprtih se je izvajal z bagri in čelnimi nakladači manjših dimenzij. Izkop materiala pod ploščo se je vršil s časovnim zamikom, glede na izvedbo medetažne plošče, obodnih sten ter stebrov zgornje etaže, dokler beton ni dosegel zahtevane tlačne trdnosti.

Za izkop so potrebni manjši oziroma dovolj nizki gradbeni stroji zaradi omejene svetle delovne višine posamezne etaže, ki pri izkopu znaša 3,0 m, po izdelavi plošče pa je svetla višina etaže 2,60 m. Število gradbenih strojev je odvisno od pripravljenih kapacitet izkopa zemljine in zahtev po časovnem napredovanju del ter količini izkopa. Skupaj je bilo potrebno izkopati približno 50.000 m³ zemljine.

Horizontalni transport izkopanega materiala v etažah se je izvajal s kompaktnimi nakladalci, bagri manjših dimenzij in industrijskimi premičnimi trakovi različnih dolžin (slika 35).



Slika 35: Trakovi za transport izkopane zemljine (foto: Jerič, 2010)

Vertikalni transport zemljine se je izvajal preko tehnoloških odprtih in sicer z bagrom s podaljšano roko grabilca prostornine 0,50 m³ ali z žerjavom goseničarjem z grabilcem prostornine približno 2,50 m³. Vertikalni transport zemljine se je z bagrom (slika 36) lahko izvajal do globine nivoja 3. etaže ali približno 10,0 m od nivoja obstoječega terena, za globine večje od 10,0 m pa se je uporabljal žerjav goseničar z nihajno grabežno žlico (slika 37).



Slika 36: Bager s podaljšano roko grabilca (Swietelsky, 2010)



Slika 37: Nihajna grabežna žlica (foto: Jerič, 2010)

6.1.5 Zahteve in tehnologija vgrajevanja betona

Pred vgraditvijo betona na gradbišču se izvede notranja in zunanja kontrola temperature in poseda ali razleza svežega cementnega betona ter vzamejo vzorci le tega betona za preizkus tlačne trdnosti oziroma drugih predpisanih zahtev.

V skladu s »Programom dokazovanja skladnosti betona na gradbišču« se izdelajo betonski preizkušanci (kocke in prizme) po standardu SIST EN 12390-2. Zaradi kontrole skladnosti strjenega betona s projektom predpisanimi zahtevami, se preizkuša tlačno trdnost na kockah po standardu SIST EN 12390-3, vodotesnost po SIST EN 12390-8, notranjo odpornost proti zmrzovanju skladno s SIST 1026 dodatek 4. (Gajšek, 2010).

Za potrebe hitrejšega napredovanja del je potrebno med betoniranjem odvzeti tudi tehnološke kocke katerih preizkus tlačne trdnosti se opravi v krajšem času npr.: tretji, sedmi ali štirinajsti dan odvisno od hitrosti napredovanja del. Te kocke morajo v času preiskave doseči vsaj 70% predpisane trdnosti betona po 28 dneh.

Poleg pogojev iz projekta konstrukcije so upoštevane tudi zahteve slovenskih standardov za proizvodnjo betona ter gradnjo betonskih konstrukcij (Gajšek, 2010):

- SIST EN 206-1: Beton – 1. del: Specifikacija, lastnosti, proizvodnja in skladnost;
- SIST 1026: Beton – 1.del: Specifikacija, lastnosti, proizvodnja in skladnost – Pravila za uporabo SIST EN 206-1;
- PBAB: Izvajanje betonskih konstrukcij – členi od 231 do 287, Ocena dosežene marke betona po partijah in dokaz ostalih lastnosti na mestu vgrajevanja: členi od 45 do 49;
- SIST EN 13670: Izvajanje betonskih konstrukcij – 1.del: Splošno.

Zahtevani trdnostni razredi so podani v preglednici 9.

Preglednica 9: Trdnostni razredi

Konstrukcija – element	Trdnostni razred
1. AB krovna plošča	C35/45
2. AB medetažne plošče	C35/45
3. AB talna plošča	C25/30 *
4. AB obodne stene	C25/30
5. AB stebri in stena os B	C35/45
* C30/37, tlačna trdnost betona po 90 dneh	

- Vgrajevanje betona v talno ploščo

Talna plošča debeline 100 cm se izvaja po delovnih etapah, v treh slojih 45+45+10 cm z vgrajevanjem svežega betona preko avto-črpalke po cevovodu do spodnje talne plošče. Dolžina cevovoda je odvisna od velikosti plošče in maksimalne oddaljenosti vgrajevanja betona v ploščo in tehnološke odprtine, preko katere se vgrajuje beton. Zgoščanje svežega vgrajenega betona se izvaja z vibratorskimi iglami. Ko beton doseže določeno trdnost, se le tega površinsko zgladi z gladilci. Beton je potrebno negovati s stalno mokrim filcem ter PVC folijo, ki preprečuje prezgodnje izsuševanje betona.

- Vgrajevanje betona v medetažne plošče

Medetažna plošča debeline 35 cm se izvaja po delovnih etapah, v dveh slojih 25+10 cm s pomočjo avto-črpalke, preko cevovoda do medetažne plošče. Ko beton doseže določeno trdnost se le tega površinsko zgladi z gladilci. Trdnost betona ob razopaženju ne sme biti manjša od 70% predpisane, kar se preveri na vzorcih.

- Vgrajevanje betona v stene in stebre

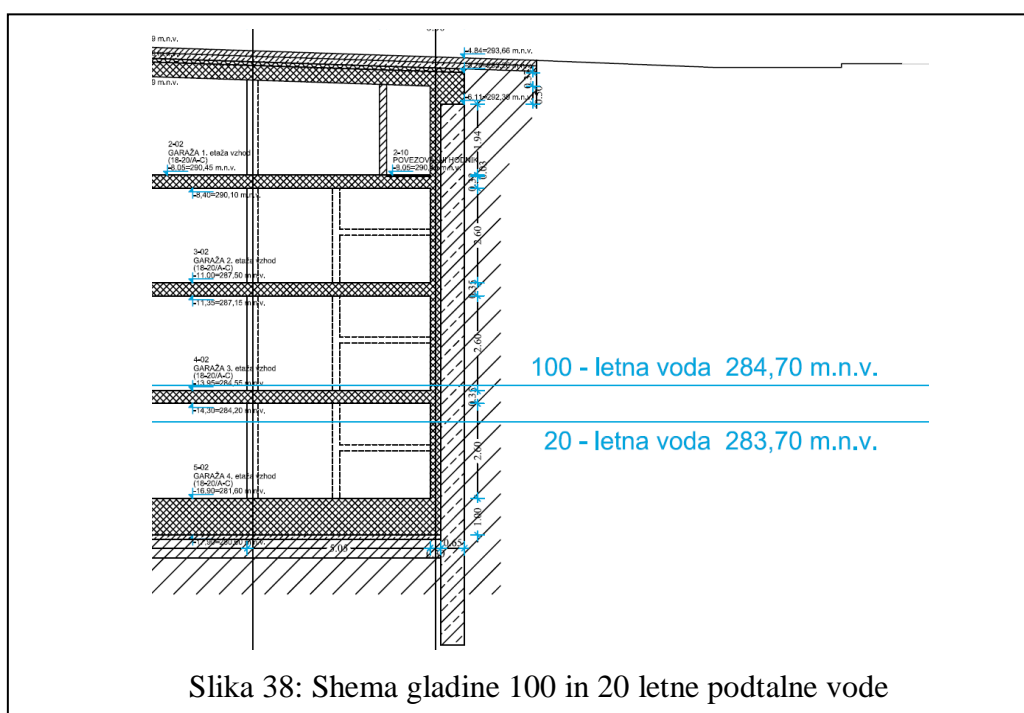
Vgrajevanje betona se izvaja z avto-črpalco ali z avto-dvigalom in betonsko posodo po zaporednih slojih debeline 40 cm do vrha segmenta. Vgrajevanje betona v stene in stebre spodaj se izvaja preko odprtin premera 125 mm predhodno izdelanih pri izvedbi medetažne plošče (slika 32). Beton se vgrajuje z avto-črpalco preko cevovoda, ki je razpeljan po plošči nad steno do omenjenih odprtin. Zgoščanje betona se izvaja z vibratorskimi iglami, pri enostranskem opažu sten pa tudi z opažnim vibratorjem. Odstranitev opaža sten je možno naslednji dan, ko beton doseže vsaj 30% predvidene karakteristične tlačne trdnosti.

6.1.6 Tesnjenje delovnih stikov

Delovni stiki nastajajo zaradi postopnega betoniranja posameznih gradbenih elementov. V gradbeništvu se navadno zaradi velikosti posameznih elementov betonira v zaporednih fazah. Stik med že trdnim betonom in svežim betonom imenujemo delovni stik. V primerih, kjer je prisotna voda je pravilna izvedba delovnega stika zelo pomembna.

Tesnjenje delovnega stika preprečuje prehod vode preko debeline elementa zato se vedno izvaja na mestih, kjer je prisotna voda. Na objektu parkirne hiše na Kongresnem trgu je bilo zaradi prisotnosti podtalne vode izvedeno tesnjenje delovnih stikov med posameznimi medetažnimi ploščami in stenami na 3., 4. in 5. etaži.

Med gradnjo objekta se je podtalna voda neprekinjeno črpala in tako omogočala delo v suhi gradbeni jami. Po dokončanju parkirne hiše se črpanje podtalnice ustavi in podtalna voda se predvidoma dvigne oziroma uravna z gladino podtalne vode zunaj meja diafragme. Zaradi izravnave gladine podtalne vode na tem območju je parkirna hiša na nivoju 4. in 5. etaže v višini podtalne vode. Predvidena 20 letna gladina podtalne vode je 283,70 m.n.v. in 100 letna gladina na 284,70 m.n.v.

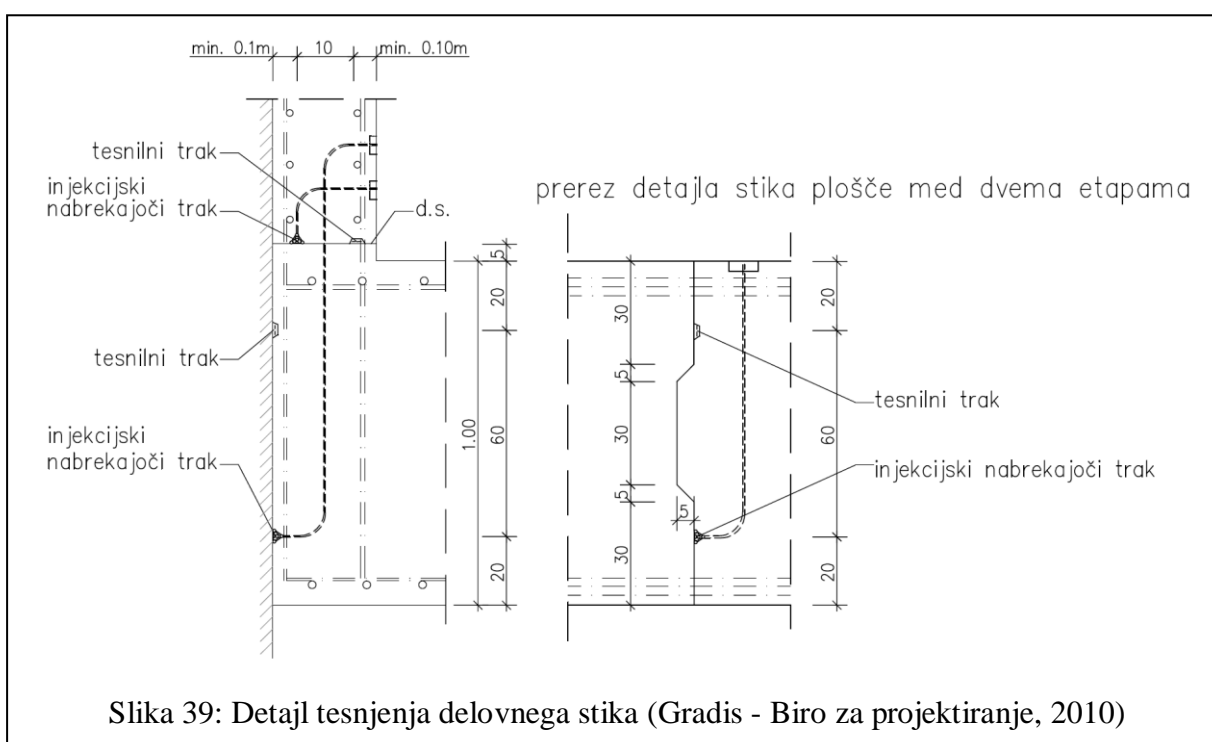


Tesnjenje delovnih stikov je na območjih stoletnih voda izvedeno po sistemu dvojnega varovanja z injekcijsko nabrekajočimi trakovi in tesnilnimi trakovi.

Tesnilni trak je vgrajen na vseh delovnih stikih ob injekcijsko nabrekajočem traku na notranji strani (slika 39) in tudi na vseh stikih medetažne razporne plošče, kjer je prisotna padavinska

voda od vozil. Tesnilni trak v stiku z vodo ali vlago nabrekne in preprečuje prehod vode. Na podlago se lepi s posebnim nabrekajočim lepilom.

Injekcijsko nabrekajoči trakovi v stiku z vodo ali vlago nabreknejo in zatesnijo stik. Na podlago se poleg lepljenja dodatno fiksirajo s pritrdilnimi kljukami, ki se jih vgradi v sveži beton. Če tesnitev ni zadovoljiva, se v predhodno pripravljene doze injektira injekcijska masa, ki prepreči pot vode in s tem dodatno pripomore k tesnjenju stika. Injektiranje mase se izvaja s posebnim orodjem pod pritiskom.



6.1.7 Termiski plan napredovanja del

Termiski plan prikazuje časovni okvir in medsebojne odvisnosti posameznih aktivnosti in je v gradbeništvu navadno dodatno prikazan grafično. Poleg tega pa prikazuje tudi predvidene količine porabe materiala in s tem povezane stroške v odvisnosti od časa.

Vsa dela na Kongresnem trgu je bilo potrebno pred pričetkom del natančno planirati zaradi kontinuiranega dnevnega dela. Gradbena dela so se pričela z izvedbo varovanja gradbene

jame oziroma armirano betonsko diafragma in z izdelavo stebrov s temelji. Temu so sledila arheološka raziskovalna dela, zaradi zgodovinsko pomembnega območja ob stari Emoni.

Parkirna hiša se je pričela izvajati v začetku meseca februarja 2010 z razporno ploščo na nivoju 1. etaže. Izkop zemljine znotraj diafragme je potekal neprekinjeno 24 ur na dan z povprečno količino 400 m³ izkopanega materiala.

Zaporedje napredovanja del je potekalo po sledečem vrstnem redu:

- Diafragma.....(110 delovnih dni)
 - a. Prevoz gradbene mehanizacije, postavitve bentonitnih postaj in ostala pripravljala dela;
 - b. izkop zemljine po lamelah in betoniranje diafragme;
 - c. pospravljanje bentonitnih postaj in odvoz.

- Podzemna parkirna hiša.....(362 delovnih dni)
 - a. Klet K1, razporna plošča in stena nivo 1. etaže
 - b. Klet K2, razporna plošča in stene nivo 2. etaže
 - c. Klet K3, razporna plošča in stene nivo 3. etaže
 - d. Klet K4, razporna plošča in stene nivo 4. etaže
 - e. Klet K5, razporna plošča in stene nivo 5. etaže
 - f. Zaključna dela (betoniranje tehnoloških odprtih)

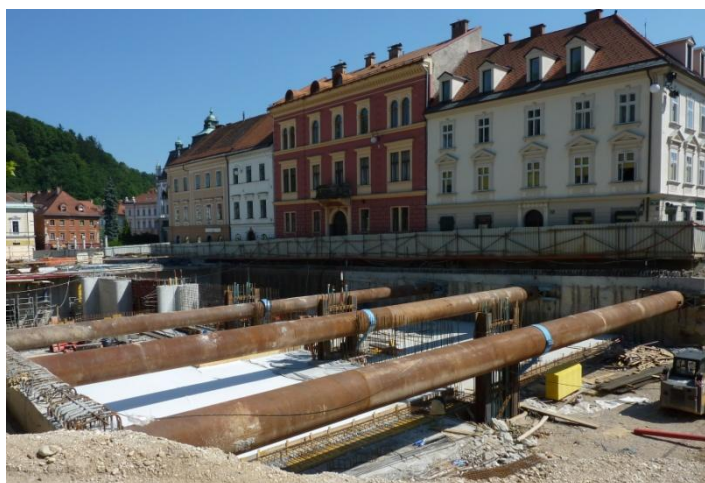
- Dovozna rampa v parkirno hišo.....(94 delovnih dni)
- Zaključna dela (obrtiško inštalaterska dela).....(172 delovnih dni)
- Zunanja ureditev Kongresnega trga in parka Zvezda...(73 delovnih dni)

Dela na posameznih območjih kot sta na primer dovozna rampa in podzemna parkirna hiša so se med seboj prekrivala oziroma izvajala istočasno. Varovanje gradbene jame pa je moralo biti izvedeno pred kakršnim koli posegom oziroma izkopom v območju parkirne hiše.

Za izvedbo ene etaže parkirne hiše (izkop zemljine, izdelava medetažne plošče in sten) je bilo potrebnih približno 120 delovnih dni razen najnižjih etaž, pri katerih je bilo zaradi globine izkopa potrebnih nekaj več. Dela v posamezni etaži so se izvajala po etapah, za katere je bilo potrebnih v povprečju 25 do 35 delovnih dni.

6.2 Razpiranje diafragme z jeklenimi razporami

Na zahodnem delu parkirne hiše se je varovanje gradbene jame na nivoju krovne plošče izvajalo z jeklenimi razporami. Razpiranje diafragme z jeklenimi razporami se je izvajalo zaradi arheoloških izkopavanj na tem območju.



Slika 40: Razpore v prečni osi 4, 5 in 6 (foto: Jerič, 2010)

Pri dimenzioniranju diafragme ob obstoječih objektih je bila v 1. fazi predvidena takojšnja izgradnja krovne plošče. S tem so bili preprečeni pomiki, ki bi lahko ogrozili varnost obstoječih objektov. Po izvedenih geomehanskih raziskavah se namreč na tem območju nahaja nasip in v veliko globino segajoči muljasti material. Za vpetje armirano betonske diafragme se nosilne zemljine začnejo šele 10 - 12 m pod površjem, kar pomeni, da bi diafragma lahko prenesla dodatne obremenitve zaradi teže objektov samo z izvedbo dodatne razporne konstrukcije. Slaba nosilnost zgornjih slojev tal ne dopuščajo konzolnega vpetja diafragme. V kolikor pomiki diafragme z izvedbo dodatne razporne konstrukcije ne bi bili preprečeni, bi se lahko obstoječi objekti pomaknili za več centimetrov.

6.2.1 Izvedba začasnega razpiranja diafragme

Pred vgradnjo razpor sta se na vrhu diafragme izdelali armirano betonski vezni gredi, ki sta razporedili in prenašali obremenitve iz razpor na med seboj vzporedne panele diafragme.

Razpore so bile vgrajene ob sredinskih stebrih na medsebojnih razmakih 8,10 m na odseku od prečne osi 4 do 12 (slika 24), kjer so dodatne obremenitve na diafragmo zaradi obstoječih stanovanjskih objektov. Višinsko so razpore sledile AB vezni gredi nad diafragmo.



Slika 41: Detajl razpore in spojnice pri stebri (foto: Jerič, 2010)

Na severni strani parkirne hiše je bila razpora naslonjena na jekleno ploščo in pritrjena na AB vezno gredo, medtem ko je bil drugi konec ob obstoječih objektih vpet in fiksiran na par jeklenih profilov za raznos obtežbe. Par jeklenih profilov za raznos obtežbe se je namestil na konzolna držala ob AB veznih gredah. Na HEM profil od sredinskega stebra so se navarile spojnice, ki so zmanjševale uklonsko dolžino razpor.

Napenjanje jeklene cevi se je izvajalo s pomočjo hidravlike. Na par jeklenih gred, položenih na konzole se je na dveh straneh cevi namestil hidravlični valj. Oba hidravlična valja sta se priključila na skupni oljni krog in se tako aktivirala. Moč razpiranja se je merila na manometru hidravličnega sistema.



Slika 42: Konzola za obešanje jeklene razpore (foto: Jerič, 2010)

Izkop zemljine na tem nivoju se je na območju obstoječih objektov začel izvajati neposredno po vgradnji razpor. Izvedena tehnologija razpor je omejevala pomike AB diafragme ter s tem preprečila dodatno posedanje obstoječih objektov oziroma jih zadržala v mejah želenih vrednosti.

6.2.2 Demontaža začasnega razpiranja diafragme

Začasne razpore so se odstranile, ko je beton medetažne razporne plošče na nivoju 1. etaže dosegel zahtevano tlačno trdnost. Tako izvedena medetažna plošča po celotni širini objekta je nudila zadostno podporo AB diafragmi. Konzolni del diafragme nad medetažno ploščo na nivoju 1. etaže je sposoben prevzeti obremenitve obstoječih objektov in zemeljskih pritiskov brez razpor.

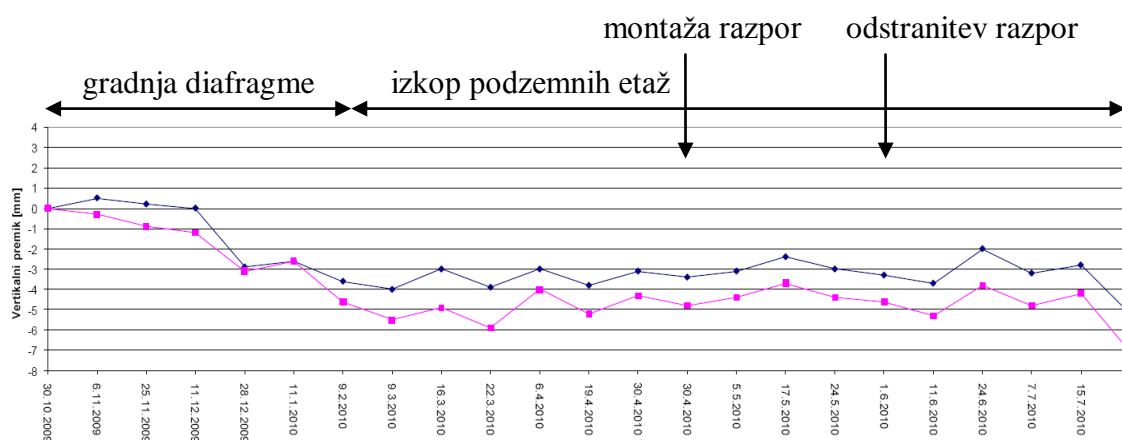


Slika 43: Demontaža razpore (foto: Jerič, 2010)

Demontaža razpor se je vršila v obratnem vrstnem redu montaže. Pred vgradnjo razpor, med vgrajevanjem razpor, med demontažo razpor, po demontaži razpor in med izdelavo armirano betonske krovne plošče se je izvajala kontrola pomikov obstoječih objektov in AB diafragme, ki pa ni pokazala večjih odstopanj. Vrednost vertikalnega pomika obstoječih objektov ob diafragmi znaša 7.1 mm (preglednica 10).

Preglednica 10: Kontrola pomikov – posedki objektov ob diafragmi (Geoid, 2010)

Datum	5.5.2010	17.5.2010	24.5.2010	1.6.2010	11.6.2010	24.6.2010	7.7.2010	15.7.2010	8.9.2010	Kum. ver. premik	Ver. premik
Meritev	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	22. - 0.	22. - 21.
Oznaka	H [m]	H [m]	H [m]	H [m]	H [m]	H [m]	H [m]	H [m]	H [m]	dH [mm]	dH [mm]
R23	297,0281	297,0288	297,0282	297,0279	297,0275	297,0292	297,0280	297,0284	297,0260	-5,2	-2,4
R25	296,7205	296,7212	296,7205	296,7203	296,7196	296,7211	296,7201	296,7207	296,7178	-7,1	-2,9



7 ZAKLJUČEK

Tehnologija izvedbe podzemne parkirne hiše po sistemu z razpornimi ploščami je v Sloveniji relativno nova oblika gradnje, kar predstavlja izziv različnim strokovnjakom v gradbeništvu. Je zahtevna in sistematična oblika gradnje, pri kateri je potrebno vključevanje sodobne tehnologije in strokovnega znanja. Za izvedbo parkirne hiše na Kongresnem trgu je bilo za gradnjo izbrano podjetje iz sosednje države z dolgoletnimi izkušnjami s tovrstno podzemno obliko gradnje.

Namen diplomskega dela je predstavitev tehnologije izvedbe parkirne hiše z razpornimi ploščami in geostatična analiza konstrukcije. Geostatična analiza je bila izvedena na predvidoma najbolj kritičnem prečnem prerezu konstrukcije, pri katerem so prisotne dodatne obremenitve zaradi obstoječih sosednjih objektov. Največje obremenitve na nosilno konstrukcijo so pri najnižjih etažah zaradi pritiska zemljine, ki se z globino povečuje. Glede na izračune je obremenitev podtalne vode (porni tlak) na talno ploščo večja kot zunanja obremenitev na krovno ploščo. Pri podtalni vodi pa so pomembne predhodne hidrološke meritve o njeni višini. Predstavljeni način varovanja gradbene jame z razpornimi ploščami, kar najbolj preprečuje pomike konstrukcije in je zato primeren za gradnjo v gosto naseljenih mestnih jedrih.

S podzemno parkirno hišo na Kongresnem trgu glavno slovensko mesto pridobi dodatnih 720 parkirnih mest. S to pridobitvijo bo Ljubljana vsaj delno rešila problem pomanjkanja parkirnih prostorov v strogem mestnem jedru, zaradi velikega števila dnevnih migrantov in stanovalcev v okolici. Glede na predhodno stanje parkirnih mest na Kongresnem trgu bo podzemna parkirna hiša zagotovila več kot štirikratne parkirne površine ter s tem ohranila prvotno namembnost parka nad njo. Z arheološkimi izkopaninami, ki so bile odkrite ob gradnji, pa bo mestno jedro pridobilo ne le funkcionalen objekt, temveč tudi kulturno in zgodovinsko zanimivost.

VIRI

Cigler, S. 2009. Geotehnična analiza konstrukcije za varovanje gradbene jame garažne hiše pod Kongresnim trgom v Ljubljani. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo: 8 str.

<http://dkum.uni-mb.si/IzpisGradiva.php?id=10279>. (10.04.2010)

Fašalek, M. 2008. Zaščita gradbenih jam v mestnih središčih – praksa v Sloveniji. Gradbeni inštitut ZRMK, d.o.o. Gradbenik., 1/2008: 31-32.

[http://www.gi-zrmk.si/Knjiznica/Gr_1-08_31-34\(geotehnika\).pdf](http://www.gi-zrmk.si/Knjiznica/Gr_1-08_31-34(geotehnika).pdf). (01.06.2010).

Gajšek, M., Zrim, S., 2010. Projekt betona Garažna hiša, Kongresni trg. Ljubljana, Gradbeni laboratorij, Gradis skupina G d.d.: 13 f.

Geoid, 2010. Opazovanje reperjev za potrebe določitve vertikalnih pomikov. Ljubljana, Gradbeni inštitut ZRMK d.o.o.: 11 f.

Gradis - Biro za projektiranje, 2010. Načrt delovnega stika talne plošče. Maribor, Gradis – Biro za projektiranje d.o.o.: 1 f.

Gradis - Biro za projektiranje, 2008. Načrt gradbenih konstrukcij, Geologija: Prečni prerezi. Maribor, Gradis – Biro za projektiranje d.o.o.: 1f

Gradis - Biro za projektiranje, 2008. Načrt gradbenih konstrukcij, Geologija: Vzдолžni prerezi. Maribor, Gradis – Biro za projektiranje d.o.o.: 1f

IZTR, 2010. Projektna dokumentacija »Ureditev Kongresnega trga podzemna parkirna hiša, 3D model parkirne hiše«. Ljubljana, IZTR inženiring in projektiranje d.o.o.

IZTR, 2010. Projektna dokumentacija »Ureditev Kongresnega trga podzemna parkirna hiša, Prerez 1-1«. Ljubljana, IZTR inženiring in projektiranje d.o.o.

Komel, P. 2008. Poročilo o geološko – geotehničnih raziskavah za potrebe gradnje garažne hiše Kongresni trg. Ljubljana, Gradbeni inštitut ZRMK, d.o.o.: 24 f.

Majes, B. Fundiranje I. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 1, 15, 73-74.

http://www.fgg.uni-lj.si/kmtal-gradiva/GR-UNI/F1/gradbena_jama.pdf. (01.06.2010)

- Nagy, J. 2009. Gradnja sredinskih stebrov za podzemno garažo na Kongresnem trgu v Ljubljani. Tehnično poročilo, Budimpešta, interno gradivo Swietelsky Kft.: 7 f.
- Nagy, J. 2010. Načrt začasnega odvodnjavanja za podzemno garažo na Kongresnem trgu v Ljubljani, Budimpešta, interno gradivo Swietelsky Kft.: 4 f.
- Nagy, J. 2009. Tehnično poročilo o graditvi gradbene jame z diafragmo in AB konstrukcije za podzemno garažo na Kongresnem trgu v Ljubljani, Budimpešta, interno gradivo Swietelsky Kft.: 16 f.
- Swietelsky Kft. 2010. Fotografije objekta Parkirna hiša na Kongresnem trgu. Ljubljana, interno gradivo Swietelsky Kft.
- Slovenski inštitut za standardizacijo. 2004. Evrokod 7, SIST EN 1997 – 1: Geotehnično projektiranje – Del 1: Splošna pravila.
- Slovenski inštitut za standardizacijo. 2005. Evrokod 2, SIST EN 1992 – 1 – 1: Projektiranje betonskih konstrukcij – 1 – 1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe.

PRILOGE