

Stefan BERGER  
dipl.ing., BAUER Spezialtiefbau Ges.m.b.H., Dunaj

Erwin GIRSCH  
dipl.ing., prokurist, BAUER Spezialtiefbau Ges.m.b.H., Dunaj

Robert ETTINGER  
dr., dipl.ing., MPT Engineering Ges.m.b.H., Linz/Steierregg

## **INOVATIVNI PRISTOP H GLOBOKEM TEMELJENJU OBJEKTA „PLUS CITY PASCHING“**

**POVZETEK:** V primeru razširitve obstoječih kapacitet nakupovalnega centra Plus City v občini Pasching blizu Linza je kombinacija splošnih robnih pogojev in visokih obremenitev objekta na točkovne temelje ter visok nivo podzemne vode postavila projektante in investitorja v položaj, ko je bilo potrebno poiskati hitro in poceni tehnologijo, sposobno rešiti nastali večplastni problem. Prenos velikih točkovnih obremenitev v podlago, vodotesna zaščita izkopa pod nivojem talne vode, delno zaščita gradbene jame, kratek čas izvedbe, omejitve okolice (tresljaji, hrup, zakonske omejitve) so naloge, ki naj bi jih, ob najnižji končni ceni, po možnosti rešila ena sama tehnologija. Mixed-In-Place (MIP) postopek je tako posamično kot v splošnem postavljenim zahtevam našel najustreznejše odgovore.

## **INOVATIVE APPROACH TO DEEP FOUNDATION AT OBJECT „PLUS CITY PASCHING“**

**SUMMARY:** In case of enlargement Plus City shopping center in Pasching near Linz the combination of general worksite conditions, high object's loads and high water level put designers and investor into position to find quick and inexpensive technology, which will be able to give an adequate solution to arisen many-sided situation. The idea was to solve problems of transferring high loads into the base ground, of making watertight protection for excavation under water table, of making slope protection in some sections of excavation, of shortening an execution time, of fulfilling existing limitations (noise, vibrations, legislation) for the minimum price within only one technology and at the minimum execution time. Mixed-In-Place technology was able to meet those requirements and expectations at the best possible way.

## PROJEKT

Na jugozahodnem delu avstrijskega mesta Linz, v občini Pasching, ki šteje 6.000 prebivalcev in je po vsej Avstriji znana po istoimenskem nogometnem klubu, stoji nakupovalni center „Plus City“, katerega lastniki so se odločili razširiti njegove nakupovalne površine za 50%, na skupnih 68.000 m<sup>2</sup>.

Zaradi obstoječih zakonskih in poslovno – ekonomskih pogojev je bilo od začetka - rušitvena dela, do konca gradnje – izdelava zadnje stropne plošče objekta, na voljo le sedem in pol mesecev izvedbenega časa. V tem obdobju je bilo izkopanih približno 62.000 m<sup>3</sup> zemeljskega materiala, izdelanih 7.600 m<sup>2</sup> „Mixed-In-Place“ panelov (postopek mešanja zemljine/cementa na mestu vgradnje – v vrtini ali krajše MIP postopek), v objekt pa je bilo vgrajenih 31.000 m<sup>3</sup> betona in 4.500 t armature.

Za primer lahko navedemo, da je bilo na teden opaženih, armiranih in nato zabetoniranih tudi do 2.000 m<sup>2</sup> armiranobetonskih plošč.

## GEOTEHNIČNE PODLAGE

### Lastnosti tal

Za regionalno geologijo in področje projekta so značilne kvartarne usedline in naplavine reke Traun. Neposredno pod tanko plastjo humusne podlage leže srednje goste do goste gramozne plasti, odložene v terasah iz würmske ledene dobe. Nanosi nad gladino podtalnice spadajo med bolj prodnate peske, pod gladino pa se zaradi strujanja vode delež peska v nanosih zmanjša, tako da so ti zastopani z gostejšimi, peskastimi prodi.

V skladu z izkušnjami je za prehodni pas usedlin v terciar, ki se tu pojavlja kot najgloblja geološka enota, regionalno znana kot „Schlier“, značilna možnost pojava večjih kamnitih gmot in posamičnih blokov kamnin.

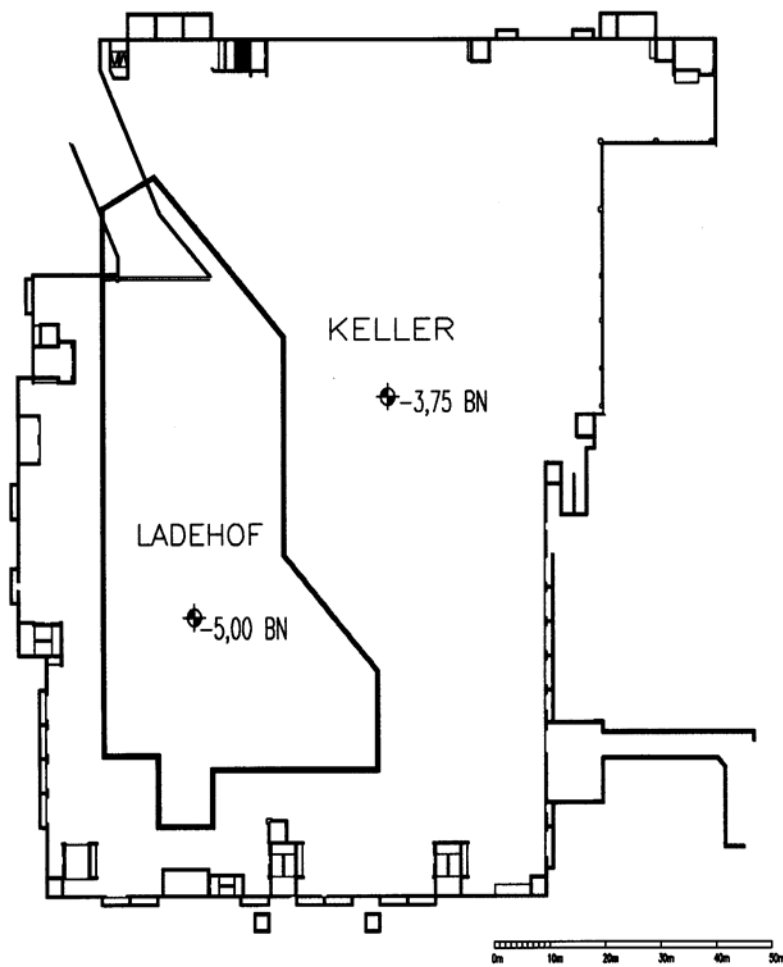
Za relief podlage oz. Schlier je značilna žlebasta struktura, ki v grobem sledi površini podtalnice. Schlier uvrščamo med drobnopeskaste, glinene srednjeplastične mulje, katerih konsistenca z globino hitro narašča, tako da že po približno enem metru globine dosega svoje končne trdnosti.

S sondiranjem terena (standardni penetracijski testi) je bilo ugotovljeno, da so tla v veliki meri dobro do zelo zbita, ni pa na voljo natančnejših rezultatov, saj meritev ni bilo mogoče izvajati v celoti. Tako je že v globinah med 2,0 in 3,0 m od nivoja izvedbe izmerjeno število udarcev ( $n_{10}$ ), potrebnih za prodor konusne glave 10 cm globoko, presegljo vrednost 200, zato je na teh mestih sondiranje prekinjeno.

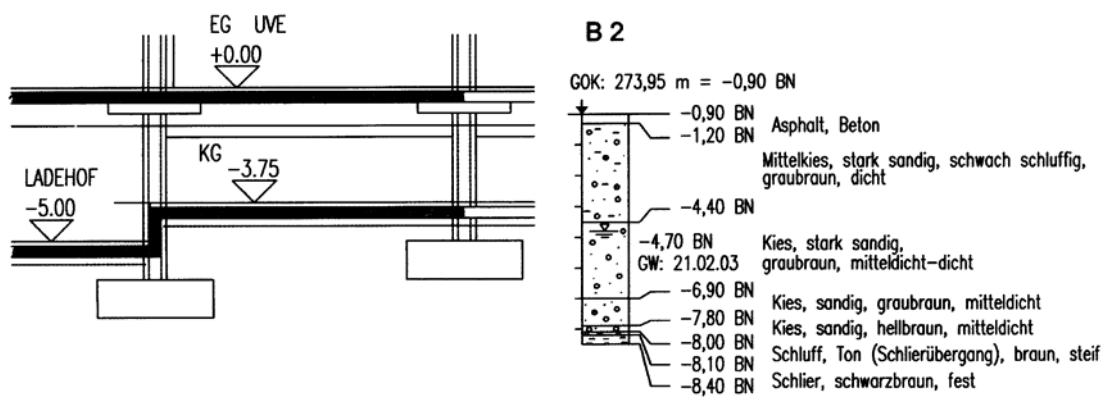
### Podtalnica

Trgovski center leži v zaledju območja Scharlinz, področja vodnega zajetja, ki južni del Linza oskrbuje s pitno vodo. Podtalnica je bila ob raziskovalnem vrtanju na jedro ugotovljena na globinah med -4,7 in -5,1 m, merjeno od ničelne kote objekta (ta leži na absolutni nadmorski višini 274,85 m), kar ustreza obstoječim podatkom za to območje. Naknadna analiza letnih nihanj nivojev pa je pokazala, da je podtalnica v času meritev v povprečju za 2,0 m višje od dolgoročnih srednjih vrednosti, kar se ravno tako ujema z dobljenimi rezultati meritev.

Prepustnost nanosov (peskov in prodov) je bila dobljena iz krivulje zrnivosti.



Slika 1. Tloris nakladalne etaže (Ladehof) in kleti (Keller)



Slika 2. Geološki profil in prerez skozi nakladalno etažo (Ladehof) in klet (Keller)

## ZASTAVLJENE NALOGE

Ob naročilu projekta je dobilo projektantsko podjetje MPT (dr. Robert ETTINGER, dipl. ing.) nalogo, da izdelava geološko strokovno mnenje, ki naj poda tehnološko in gospodarsko optimirane rešitve temeljenja objekta, upošteva izredno visoke obtežbe temeljev (do 25.000 kN), omejen čas gradnje in pogoj, da poslovanje obstoječih trgovin in lokalov (npr. prodajalne z računalniki), med gradnjo ne sme biti moteno.

Dodatni pogoj, ki je vključeval vodotesnost zavarovanja izkopa za globlje ležečo nakladalno etažo, pa je bil definiran šele po obdelavi podatkov o višini in gibanju nivoja podtalnice. Ta je, kot že omenjeno, v času meritev (februar) segala za več kot 2,0 m nad siceršnje letno povprečje.

## MOŽNE REŠITVE

Glede na velike delujoče obtežbe sta se že v fazi idejnega projekta pokazali dve možni rešitvi:

Plitvo temeljenje – točkovni temelji in vezne grede ter  
Globoko temeljenje – npr. temeljenje na pilotih.

Pri začetnem preverjanju tehnoloških rešitev in po približnem izračunu stroškov obeh variant se je pokazalo, da površinsko temeljenje ob zelo velikih količinah vgrajenega betona in armature v točkovne temelje in grede pomeni tudi poseg v podtalnico in s tem v vodno zajetje, zaradi česar bi bila potrebna tesnilna zavesa ali pa izvedba vodoneprepustnih sten gradbene jame.

Tako tesnilna zavesa kot vodonepropustno zavarovanje gradbene jame sta bili v večjem obsegu zaradi močno prepustnega proda iz gospodarsko-ekonomskih, tehničnih in predvsem iz vodovarstvenih razlogov neizvedljivi, poleg tega pa bi posega pomenila iskanje novih dovoljenj in soglasij in s tem posledično podaljšan čas gradnje.

Da bi se lahko držali predvidenega termina za začetek del in da bi se zmanjšal poseg v podtalnico, je bilo že pred izdelavo strokovnega mnenja predvideno temeljenje z uvrtnimi piloti, pri čemer se je zabijalna tehnika, zaradi opisanih pogojev (možen pojav samic...) in velike gostote temeljnih tal ter strogih zahtev po omejitvi emisije hrupa in tresljajev v okolico, takoj pokazala kot neustrezna.

Med pripravo strokovnega mnenja je z natančnejšo obdelavo podatkov o podtalnici, dobljenih na podlagi meritev gladine vode v izvedenih vrtinah, postalo jasno, da bo vodotesno zavarovanje za izkop poglobljenega dela gradbene jame (nakladalna etaža) vsekakor potrebno. Po podatkih je namreč izkop za ta del stavbe segal do 1,5 m pod izmerjeno gladino podtalnice.

Ker so pri izbiri tehnologije izdelave tesnilne konstrukcije obveljale podobne omejitve, ki so narekovale že izbiro tehnologije temeljenja, so kot tehnično zanimive rešitve v poštev prišle bodisi jet grouting tesnilne zavese (DSV), pilotne stene iz rezanih pilotov ali vkopano zidovje (ti. debelostenska diafragma ali SW).

Končna odločitev, o kateri je razmišljal investitor, je bilo pilotiranje in izvedba vkopanega zidovja - diafragme, obstajala pa je tudi možnost enovite rešitve, ki jo je zaradi svojih prednosti ponujala diafragma:

- Diafragma lahko predstavlja vodotesno zavarovanje za izkop gradbene jame;
- Z diafragmo je mogoče temeljiti obodne stene objekta;
- Posamezen segment diaframe lahko služi tudi kot pilot pravokotnega preseka – ti. temeljna lamela;
- V primeru uporabe temeljnih lamel so lahko dimenzija točkovnih temeljev še dodatno zmanjša, kar glede pilotiranja pomeni še manj vgrajenega betona in armature ter manjši poseg v podtalnico.

Ko je bilo podjetje BAUER Spezialtiefbau še v času iskanja ustreznih rešitev in zbiranja ponudb povabljen k sodelavi, je zaradi relativno visokih stroškov izdelave vkopanega zidovja – diafragme, predstavilo svoj pogled na celovito rešitev problema s pomočjo MIP postopka. Kot se je kasneje tudi izkazalo, je predlagana rešitev postavljene zahteve izpolnila v vseh ključnih točkah:

- Zaradi pravokotnega prereza MIP panelov je, tako kot pri diafragmi, možno zmanjšati debelino točkovnih temeljev (manj armature in betona) in dodatno zmanjšati poseg v podtalnico (manj tesnitve izkopov pred podtalnico), sam način izvedbe pa je neškodljiv (injektiranje cementnih mešanic);
- Z MIP postopkom je povsem izvedljivo tudi tesnenje dotokov vode v gradbeno jamo;
- Gradnja poteka brez tresljajev in hrupa (ni motenja okolice in delujočih lokalov);
- Metoda je hitra (minimalni izvedbeni čas) in poceni (ekonomičnost).

**Preglednica 1.** Primerjava prednosti/slabosti možnih rešitev

		DSV	Zabiti piloti	Uvrtani piloti	SW	MIP
<b>Temeljenje</b>	Zmanjšana dimenzija temeljev	-	-	-	+	+
	Zmanjšana globina izkopa (manj tesnenja)	+	+	+	+	+
	Gradnja z manj hrupa in tresljajev	+	-	+	+	+
<b>Vodotesno zavarovanje</b>	Definiranost posega v podlagi Schlier	-	ni izvedljivo	+	+	+
	Gradnja s čim manj hrupa in tresljajev	+		+	+	+
	Definirana oblika (debelina) zavese	-		+	+	+
<b>Čas gradnje</b>		-	+	+	-	+
<b>Ekonomičnost</b>		-	+	+	-	+

Legenda:

(+) predstavlja prednost

(-) predstavlja slabost

Po analizi predstavljene rešitve in intenzivnih razgovorih med predstavniki investitorja (arhitekt, statik in geotehnik), izvajalskim podjetjem ARGE (STRABAG in DYCKERHOFF&WIDMANN) in podjetjem za globoko temeljenje, je bila sprejeta odločitev o izbiri Mixed-In-Place tehnologije.

## IZVEDBA

### Opis postopka

Pri Mixed-In-Place oz. MIP postopku se pri izdelavi ti. MIP panelov (segmentov poboljšane zemljine) mešanica obstoječe zemljine in cementa pripravi na mestu samem – v vrtini, saj se vezivo (cement) v vrtino dovaja skozi votlo jedro vrtalnih špiral oz. drogovja. Osnovna struktura tal je pri tem s pomočjo mehanskega delovanja (mešanja) vrtalnih špiral porušena in pretreta, odprtine in pore v zemljini pa se zapolnejo z dodajanjem vezivne cementne suspenzije.

Pri izvedbi del je bil uporabljen stroj tipa BAUER RG20, ki ima na vrtalni ročici nameščene tri vrtalne špirale, ki kot neskončni polži poleg vrtanja s spreminjajočo smerjo rotacije opravijo še funkcijo mešanja zemljine. Premer posamezne špirale je 55 cm (debelina lamele in s tem zavese), postavljene v vrsto pa zagotavljajo minimalno geometrijo (širino) MIP panela 170 cm.

Ob upoštevanju obstoječih pogojev in danih zahtev ter glede na lastnosti zemljine je bila uporabljena vezivna suspenzija na osnovi cementa.

Podrobnejše informacije o MIP tehnologiji je moč najti na spletni strani [www.bauer-spezialtiefbau.at](http://www.bauer-spezialtiefbau.at).



**Slika 3.** Stroj RG20 s trojnimi vrtalnimi spiralami (polži); izdelava elementov temeljenja

## **Globoko temeljenje**

### *Parametri dimenzioniranja*

Osnove pri dimenzioniranju temeljenja z MIP tehnologijo so predstavljali izračuni iz geološkega poročila (trenje po plašču, maksimalni pritisk na peti pilota), podatki o delujočih obtežbah, ki jih je podal statik objekta, ter notranja nosilnost MIP elementov.

Geotehnik je v geološkem poročilu določil naslednje dopustne vrednosti za zunanjo nosilnost elementov temeljenja:

trenje po plašču:	prod:	110 kN/m <sup>2</sup>
	Schlier:	70 kN/m <sup>2</sup>

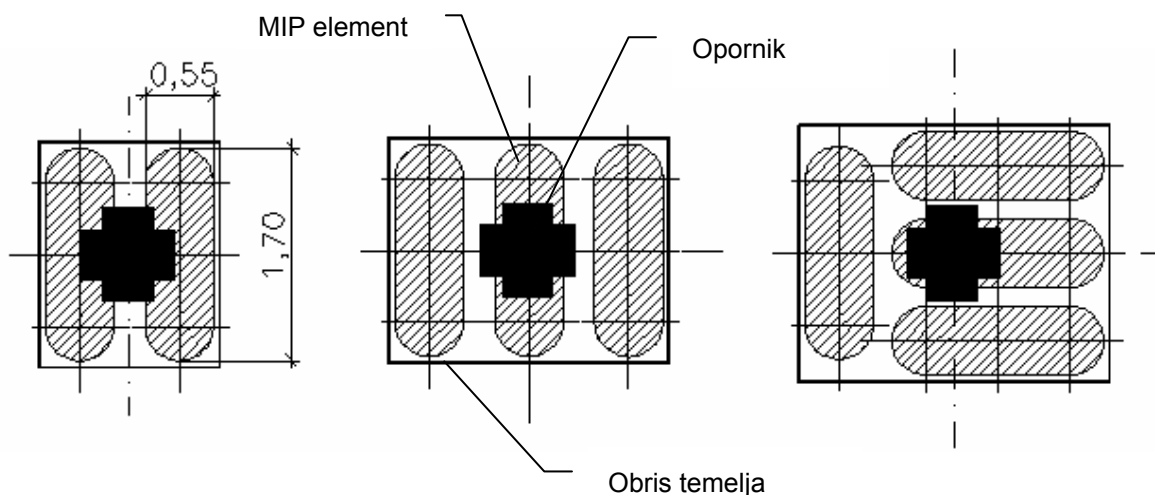
Dopustni tlak na peti:	Schlier:	2.000 kN/m <sup>2</sup>
------------------------	----------	-------------------------

Z nekoliko spremenjeno zasnovo temeljenja pa je tudi statik uspel zmanjšati delujoče obtežbe na točkovne temelje na vrednosti okoli 10.000 kN.

Izvajalec globokega temeljenja, podjetje BAUER Spezialtiefbau, je za dimenzioniranje notranje nosilnosti MIP elementov kot osnovno privzelo minimalno tlačno trdnost 15 N/mm<sup>2</sup>, ki je bila dokazana s pomočjo serije preizkusov tlačne trdnosti na odvzetih vzorcih izdelanega kompozita zemljina/cement.

### Porazdelitev elementov

Za prenos različnih obtežb so bile zasnovane štiri različne vrste temeljev. Tako so bili poleg temeljev enojnih elementov zasnovani še elementi temeljenja z dvema, tremi in štirimi MIP elementi.



**Slika 4.** Vrste temeljev

Zaradi skoraj polnopršinskega naleganja temeljev na elemente temeljenja je bilo mogoče debelino temeljev, glede na rešitev s piloti, še dodatno zmanjšati. Debelina temeljev je tako znašala med 60 in 80 cm, odvisno od velikosti obtežbe, kar je, kot je bilo že omenjeno, dodatno zmanjšalo potrebno globino izkopa ter poseg v območje podtalnice.

Notranja nosilnost posamezne MIP lamele, definirane s prečnim prerezom ter predvideno in dokazano tlačno trdnostjo narmiranegah prereza, je reda velikosti 3.260 kN (glej Preglednico 2).

Za izračun zunanje nosilnosti posameznih elementov oz. skupin elementov je bilo potrebno izhajati iz najneugodnejšega ugotovljenega primera, visoko ležeče Schlier podlage, saj je v tem primeru na voljo manj površine za trenje po plašču elementa v prodem materialu. Osnova za domnevo so rezultati raziskovalnih vrtin, ki kažejo, da kontakt med nanosi in podlago lahko po višini niha tudi do 1,50 m. V izogib nevarnosti zmanjšanja nosilnosti je bilo z izračunom pokazano, da je obstoječe obtežbe moč v celoti prenesti v podlago s tem, da se MIP elemente zavrta najmanj en meter vanjo.

Pri izračunu dopustne nosilnosti na peti pilota je bila upoštevana neto površina MIP elementov, za določitev trenja ob plašču MIP elementov pa je merodajna obodna površina (ovojnica) elementov.

Zunanje in notranje nosilnosti sestavljenih elementov temeljenja so za opisane pogoje predstavljene v naslednji preglednici. Za dimenzioniranje je bila vselej merodajna manjša (zunanja) nosilnost, z izjemo enojnega elementa, kjer je bila merodajna njegova notranja nosilnost!

**Preglednica 2.** Nosilnosti sestavljenih MIP elementov

	Zunanja nosilnost	Notranja nosilnost
Enojni element	3.350 kN	3.260 kN
Dvojni element	5.780 kN	6.520 kN
Trojni element	8.210 kN	9.780 kN
Štirojni element	10.640 kN	13.040 kN



**Slika 5.** Stroj RG20 s trojnimi vrtnimi spiralami (polži); temeljenje obodnih sten

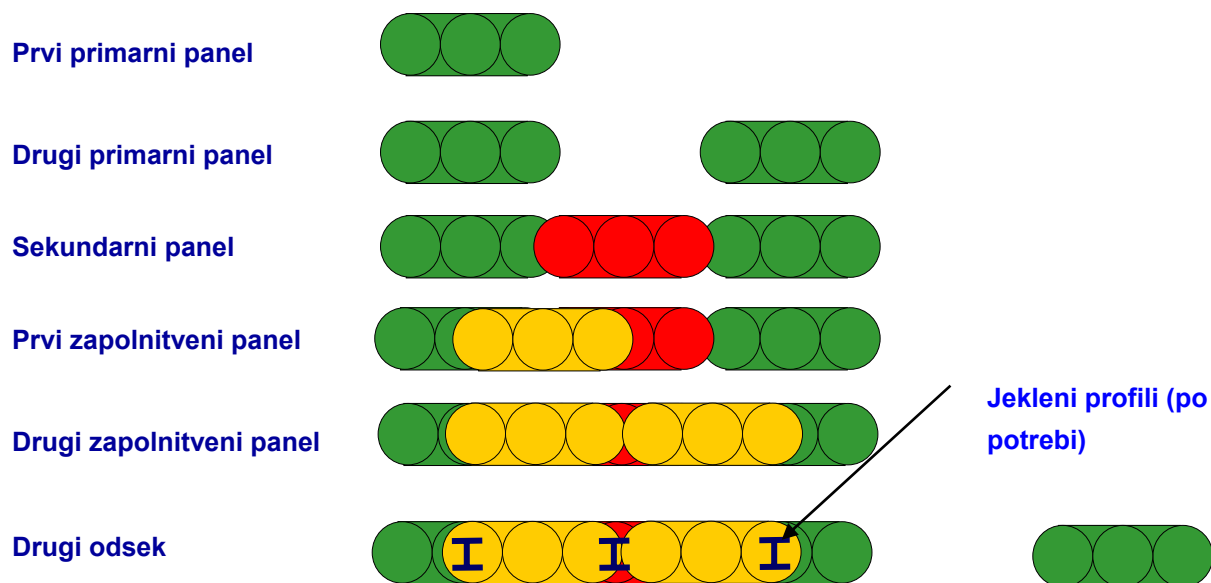


**Slika 6.** Detajl uvtavanja trojnih spiral; minimalne količine odvečnega materiala MIP postopka



## Zavarovanje/zaščita gradbene jame

Poleg opisanih del temeljenja je bila na področju globlje ležeče nakladalne etaže z MIP postopkom izdelana še tesnilna zavesa, ki je istočasno služila temeljenju tega dela objekta. Pri izdelavi je bil zaradi zagotavljanja tesnenja in oblike pregrade uporabljeno dvojno prekrivanje MIP panelov (slika 7).

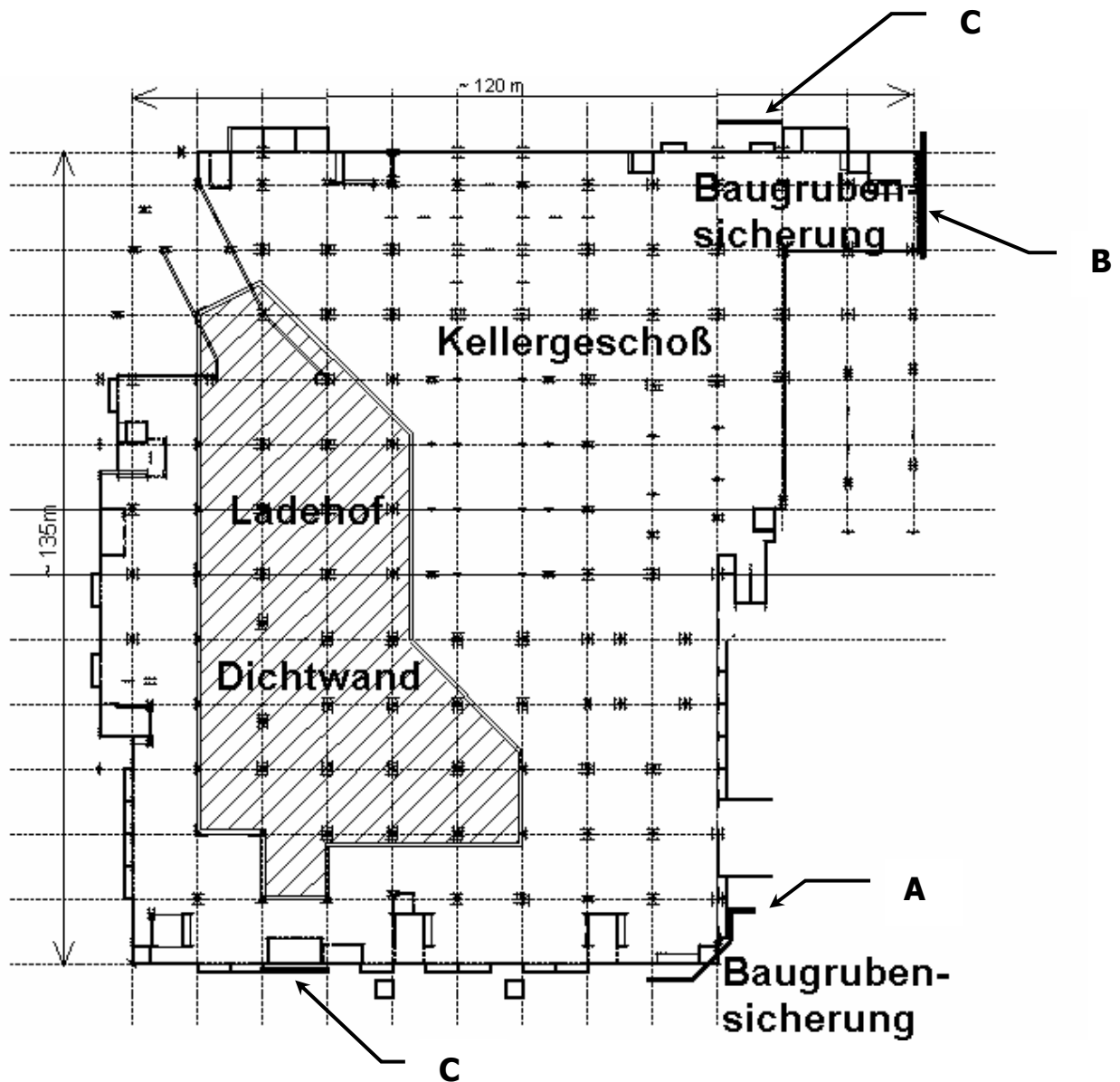


Slika 7: Faznost izvedbe MIP zidu

Če se v tako izdelane MIP panele dodajo še ojačitve (jekleni I ali U profili), je moč s takšno konstrukcijo zaščititi izkop gradbene jame, kar je bilo v konkretnem primeru uporabljeno za manjše odseke gradbene jame, kjer zaradi prostorskih razlogov prosti izkop ni bil mogoč (dovoz za interventna vozila, zavarovanje gradbenega žerjava,...).



Slika 8: Zaščita gradbene jame iz MIP panelov, armiranih z železnimi profili, na področju dovoza za interventna vozila



Legenda:

Nakladalna etaža (Ladehof): dno izkopa –6,00 m pod ničelno koto objekta (računsko določena gladina vode: –4,75m pod ničelno koto objekta); ukrep predstavlja tesnitev dotokov vode s pomočjo pregrade iz MIP elementov (Dichtwand) po obodu etaže, ki je na tem delu hkrati element temeljenja in temeljenje na mestih točkovnih temeljev

Kletna etaža (Kellergeschoß): dno izkopa –4,00 m pod ničelno koto objekta; ukrep predstavlja izdelava MIP elementov kot osnove za točkovne temelje

Varovanje gradbene jame (Baugrubensicherung) na posameznih mestih oboda: na področju interventne poti (A), za zavarovanje bližnjega objekta (B) in za zavarovanje gradbenega žerjava (C, 2x)

**Slika 9.** Pregledni načrt izvršenih ukrepov in del

Tudi material, ki pri izdelavi MIP panelov kot odvečen izhaja iz vrtin, je lahko uporaben, saj kot mešanica gramoza in cementa lahko služi npr. za podložni beton.



**Slika 10.** Uporaba navrtanine (mešanice in-situ materiala in cementa) za podložni beton

## PRIMERJAVA ORIGINALNE PROJEKTNE REŠITVE IN IZVEDENIH DEL

### Transporti

Za MIP postopek je značilno majhno število potrebnih transportov za oskrbo gradbišča in odvoz odvečnega materiala. Kot je bilo že opisano, je bil v konkretnem primeru odvoz izkopanega materiala v celoti nepotreben, saj se je navrtan material uporabil kot podložni beton, dovoz na gradbišče pa je predstavljal oskrbo s potrebnimi vezivnimi sredstvi (cementom). Ta se na delovišču skladišči v silosih, kar ob normalni dinamiki del zadostuje za min. 12-urno delo, zato ni nepotrebnih vsakokratnih kratkotrajnih zastojev zaradi eventuelnih zamud pri dostavi materiala kot npr. pri dobavi betona za pilote.

Naslednji seznam prikazuje razliko med transportiranimi masami obeh rešitev (prvotno načrtovane in izvedene), kamor pa niso vključeni transporti za ureditev gradbišča in temu namenjena poraba goriv ter potrebna dobava armature (v MIP panele se, razen na odsekih varovanja grabbene jame, armature ni vgrajevalo!).

**Preglednica 3.** Primerjava med številom transportiranih ton materiala

	<b>Originalna projektna rešitev (diafragma in piloti)</b>	<b>MIP</b>
Izkop tesnilne pregrade – diafragme	~ 2.600 ton	0
Izkop za temeljenje – piloti	~ 8.100 ton	0
Beton tesnilne pregrade – difragme	~ 2.900 ton	~ 1.900 ton <sup>1)</sup>
Beton za temeljenje – pilote	~ 11.700 ton	
<b>Skupaj</b>	<b>~25.300 ton</b>	<b>~ 1.900to</b>

<sup>1)</sup> skupno število porabljenih ton cementa za tesnilno pregrado in temeljenje

Preglednica 3 pokaže, da je bila z uporabo MIP postopka količina transportov zmanjšana za več kot 90%, s čimer je gotovo odpadla vrsta težav pri logistiki in organizaciji izvedbe del.

## **Izvedene količine in čas gradnje**

Izvedene količine del lahko so bile naslednje:

- temeljenje: ~ 5.400 m<sup>2</sup>
- tesnilna pregrada: ~ 1.700 m<sup>2</sup>
- zavarovanje gradbene jame: ~ 500 m<sup>2</sup>

Dela so bila izvedena v maju in juniju leta 2003, v skupnem času približno sedmih tednov, z enim samim kompletom opreme.

## **LITERATURA**

- (1) Ausserlechner, P., Seidel, A., Girsch E. (2003). Deichsanierung im Mixed-In-Place-Verfahren (MIP) am Beispiel München, Isarplan. 18. Christian Veder Kolloquium, april 2003, Graz
- (2) BAUER Spezialtiefbau Ges.m.b.H. Internal data sheet. Produktinformation zum MIP-Verfahren.
- (3) Ettinger R. (2003) Bodengutachten zum Bauvorhaben „Plus City Bauetappe V“