

UDK 624.131.8:721

Primljeno 15. 3. 2003.

Geotehnički problemi projektiranja i ponašanja građevnih jama

Grzegorz A. Horodecki, Adam F. Bolt, Eugeniusz Dembicki

Ključne riječi

geotehnički problemi, građevna jama, projektiranje, Gdanjsk, gradska infrastruktura, tehnologija građenja

Key words

geotechnical problems, foundation pit, design, Gdanjsk, municipal infrastructure, construction technology

Mots clés

problèmes géotechniques, fouille, étude, Gdanjsk, infrastructure urbaine, technique de constr

Ключевые слова

геотехнические проблемы, строительный котлован, проектирование, Гданьск, городская инфраструктура, технология строительства

Schlüsselworte:

geotechnische Probleme, Baugrube, Entwerfen, Gdanjsk, städtische Infrastruktur, Bautechnologie

G. A. Horodecki, A. F. Bolt, E. Dembicki

Stručni rad

Geotehnički problemi projektiranja i ponašanja građevnih jama

Opisuju se primjeri dubokih građevnih jama u Gdanjsku. Kod građevina čiji su podzemni dijelovi u prenapučenoj mreži gradske infrastrukture pojavljuju se ograničenja u vezi s iskorištavanjem mogućih tehnologija građenja. Ujedno se postavljaju vrlo visoki zahtjevi glede projektiranja i ugradnje novih građevina s obzirom na njihov utjecaj na susjedne građevine. U radu je prikazano nekoliko slučajeva takve izgradnje s analizom osnovnih čimbenika i područja utjecaja novih građevina.

G. A. Horodecki, A. F. Bolt, E. Dembicki

Professional paper

Geotechnical problems relating to foundation pit behavior and design

Several examples of deep foundation pits in Gdanjsk are described. In case of structures with underground portions situated in midst of crowded municipal infrastructure systems, the choice of possible construction technologies is often quite limited. In addition, builders are faced with very high requirements regarding design and erection of new buildings due to influence they exert on neighboring structures. Some cases of such construction are presented, and basic factors and area of influence of such new structures, are analyzed.

G. A. Horodecki, A. F. Bolt, E. Dembicki

Ouvrage professionnel

Problèmes géotechniques dans l'étude et le comportement des fouilles

On décrit les exemples des fouilles profondes à Gdanjsk. Les bâtiments dont les parties souterraines se trouvent dans le réseau sursaturé de l'infrastructure urbaine présentent des limitations dans le choix des techniques de construction. En même temps on pose des exigences très sévères en matière d'étude et d'implantation de nouveaux bâtiments compte tenu de leur influence sur les bâtiments voisins. L'article donne quelques exemples de telles constructions, avec une analyse des facteurs essentiels et de la zone d'influence des nouveaux bâtiments.

Г.А. Хородецкий, А. Ф. Болт, Е. Дембицкий

Отраслевая работа

Геотехнические проблемы проектирования и поведения строительных котлованов

В работе описываются примеры глубоких строительных котлованов в Гданьске. У сооружений, подземные части которых находятся в перегруженной сети городской инфраструктуры, появляются ограничения в связи с использованием возможных технологий строительства. Одновременно ставятся очень высокие требования в отношении проектирования и строительства новых сооружений с учётом влияния их на соседние объекты. В работе показано несколько случаев такого строительства, с анализом основных факторов и областей влияния новых сооружений.

G. A. Horodecki, A. F. Bolt, E. Dembicki

Fachbericht

Geotechnische Probleme des Entwerfens und des Verhaltens von Baugruben

Beschrieben sind Beispiele tiefer Baugruben in Gdanjsk. Bei Bauwerken deren unterirdische Teile sich im überbesiedelten Netz der städtischen Infrastruktur befinden treten Begrenzungen in der Anwendung möglicher Bautechnologien auf. Zugleich stellt man sehr hohe Ansprüche an den Entwurf und Bau neuer Bauwerke wegen ihrem Einfluss auf benachbarte Bauwerke. Im Artikel sind einige Beispiele solcher Bauten dargestellt, mit Analyse der Grundfaktoren und des Einflussbereichs der neuen Bauwerke.

Autori: Doc. dr. sc. **Grzegorz A. Horodecki**; prof. dr. sc. **Adam F. Bolt**; prof. dr. sc. **Eugeniusz Dembicki**,
Fakultet za hidrotehniku i ekologiju, Sveučilište tehničkih znanosti u Gdanjsku, Poljska

1 Uvod

Kako u urbanim područjima nema dovoljno slobodnog mjesta za nove građevine, one se nerijetko grade u neposrednoj blizini postojeće infrastrukture, a često se radi o starijim građevinama povijesnog značaja. Osim toga, da bi novi trgovački, uslužni, turistički i financijski centri te stambene četvrti, mogli funkcionirati na odgovarajući način, potrebno je osigurati jednostavan pristup i prostor za parkiranje velikog broja vozila. Sve to, zajedno s kroničnim nedostatkom slobodnog prostora za parkiranje u gradovima, ukazuje na potrebu da se nove građevine grade s jednim ili više podzemnih katova. Tako postaje značajno ponašanje dubokih temelja, koji su smješteni u blizini a ponekad i tik uz postojeće zgrade, zelene površine i druge građevine. U radu su prikazani slučajevi dubokih razuprtih građevnih jama koje su autori projektirali i čije su izvođenje nadzirali.

2 Opis građevnih jama

2.1 Multikino u Gdanjsku

Građevna je jama locirana u povijesnoj jezgri Gdanjska s nekoliko stotina godina starim građevinama i s postojećim podzemnim dijelom koji se trebao srušiti. Prema morfološkim istraživanjima, područje projekta je međuzona smještena između akumulacijske terase i delte rijeke Visle. Temeljno tlo se sastoji od fluvioglacijalnih naslaga, uglavnom od pijeska i šljunka. Debljina sloja u kojem se nalaze ostaci cigle te dijelova temelja i zidova starih zgrada varira od 0,3 do 4,0 m.

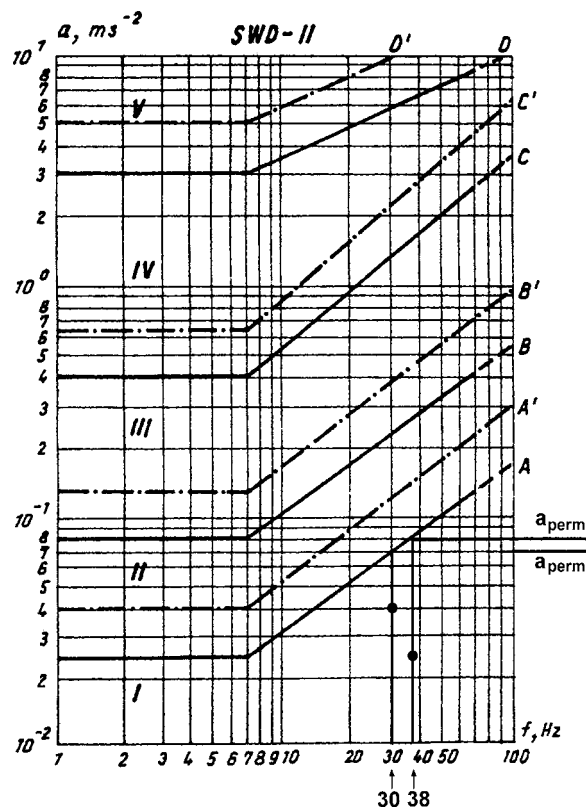
Razina podzemne vode nalazi se na 0,5 - 0,6 m iznad razine mora, s mogućim kolebanjem od oko 1 m.

U temeljnom se tlu nalazi sitan do srednje krupan pijesak s primjesama šljunka, u zbijenom do srednje zbijenom stanju ($I_D^{(n)} = 0,70$), te vlažan i vodom zasićen šljunak u zbijenom i srednje zbijenom stanju ($I_D^{(n)} = 0,70$).

Geotehnički parametri pojedinih slojeva, određeni u skladu s poljskim propisima (metoda "B"), prikazani su u tablici 1. [1].

Građevna je jama na tri strane zaštićena čeličnim talpama, koje su zabijene visokofrekventnim vibracijskim

čekićem, a na četvrtoj strani starim podrumskim zidom koji je 6 m udaljen od povijesnog kaptola. Iskop je izvršen na površini od 4000 m² do dubine od 4 - 5 m (do koje 2,4 - 1,4 m iznad razine mora).



Slika 1. Maksimalne amplitude vibracija izmjerene pri frekvenciji od 30 Hz i 38 Hz

Tijekom zemljanih i građevinskih radova na susjedne su građevine najviše utjecale vibracije čekića za zabijanje i izvlačenje talpa, rušenje postojećih konstrukcijskih elemenata te tijekom zbijanja temeljnoga tla. Postojeće povijesne građevine, koje su već više puta obnavljane, izuzetno su osjetljive na bilo kakve aktivnosti u obližnjem tlu pa se stoga trebaju na poseban način zaštititi. Da bi se izbjegla oštećenja tijekom radova, ponašanje ovih građevina pratilo se mjerenjem vibracija i nadzorom pukotina i raspuklina. Za zabijanje i izvlačenje talpa uporabljen je vibracijski čekić TUNKERS HVB 100 s dvostrukim vibracijskim djelovanjem [2]. Kod prvobitno frekvencije

Tablica 1. Vrijednosti karakterističnih geotehničkih parametara

Vrsta tla	Volumenska težina $\gamma^{(n)}$ [kN/m ³]	Indeks relativne zbijenosti $I_D^{(n)}$	Kut unutarnjeg trenja $\phi^{(n)}$ [°]	Modul stišljivosti $M_0^{(n)}$ [MPa]	Koeficijent materijala γ_m
pijesak (+ šljunak)	18,2/10,3	0,70	34	86	1±0,1
šljunak, (šljunak + valutice)	18,6/10,8	0,70	40	195	1±0,1

od 30 Hz izmjerena je dva puta veća akceleracija od one izmjerene pri frekvenciji od 38 Hz (slika 1.) što bi na



Slika 3. Završena zgrada

malim udaljenostima prekoračilo takozvanu prvu zonu opasnosti [3]. Prema tome, u daljnjem se radu koristilo vibracijama od 38 Hz s amplitudom od 8 mm. To je omogućilo generalno svrstavanje u drugu zonu opasnosti sa srednjim vrijednostima u rasponu za prvu zonu. Na temelju rezultata mjerenja primijenjena je takva tehnologija rada s pomoću koje je negativan utjecaj vibracija na susjedne objekte sveden na minimum. Primjerice, vibracijski su valjci i veliki uređaji za zbijanje, koji generiraju vibracije niske frekvencije, zamijenjeni statičkim valjcima odnosno malim uređajima za zbijanje. Praće-

njem vibracija na udaljenosti do 50 m od izvora, ustanovljeno je da vibracijski valjak uzrokuje veće vibracije od onih predviđenih za prvu zonu opasnosti. Pretpostavljeno je da je tome razlog postojanje nepoznatih starih temelja i dijelova građevina u tlu [4].

Tijekom radova također su se mjerili vertikalni i horizontalni pomaci zidova kaptola. Kako se nalazi u vrlo lošem stanju, povijesni je kaptol izuzetno osjetljiv na bilo kakva potresanja. Rezultati dobiveni mjerenjem pomaka uglavnom su potvrđeni odgovarajućim proračunima. Početno rasterećenje temeljnoga tla iskopom uzrokovalo je manje podizanje zida kaptola, ali je kasnije, tijekom postupnoga opterećenja tla ispod iskopa, zabilježeno i odgovarajuće slijeganje. Horizontalni pomaci varirali su u ovisnosti o vremenu, a na veličinu pomaka najviše su utjecali vjetar i temperatura.

Unatoč svim tim teškoćama, zgrada je podignuta bez bitnih oštećenja susjednih građevina. Iskop i završne faze gradnje prikazani su na slikama 2. i 3.

2.2 Stambeno-uslužna zgrada u Sopotu [5]

Iskop za zgradu izvršen je na prostoru na kojem su se nalazile građevine koje su srušene. Taj je prostor okružen postojećim starim tradicionalno građenim kućama koje su u lošem stanju. Kuće su više puta adaptirane i mijenjane im je namjena, tako da su im statički sustavi složeni i oslabljene su zbog ovih promjena. Dodatni je nepovoljni čimbenik plitko temeljenje većine ovih starih kuća na slabim temeljima (cigla, kamen, trakasti temelji bez armature).

Temeljno se tlo sastoji od kvartarskih formacija. Od površine pa do dva metra dubine tlo se sastoji od prašinas-tog pijeska pomiješanog s humusom i ostacima cigle. Ispod ovog sloja na gotovo se cijelom području izgradnje nalazi sloj treseta debljine 0,3 - 0,4, a ispod treseta su naslage pijeska, praha i šljunka.

Razina podzemne vode stabilizira se na dubini od oko 1,6 m ispod površine, tj. 2,2 m iznad dna iskopa, u naslagama pijeska.

Temeljno je tlo podijeljeno na sljedeća četiri geotehnič-

Tablica 2. Vrijednosti karakterističnih geotehničkih parametara

Vrsta tla	Indeks relativne zbijenosti $I_D^{(m)}$	Kohezija $c^{(m)}$ [kPa]	Kut unutarnjeg trenja $\phi^{(n)}$ [°]	Modul stišljivosti $M_0^{(n)}$ [MPa]	Koeficijent materijala γ_m
Treset	-	5	5	0,25	$1 \pm 0,2$
Prašnasti pijesak, pjeskoviti prah, prah	0,2	-	25	10	$1 \pm 0,1$
Sitni i srednje krupni pijesak	0,7	-	34	25 - 50	$1 \pm 0,1$
Krupni pijesak, šljunak	0,85	-	40	60 - 120	$1 \pm 0,1$

ka sloja: raspadnuti treset, prašnasti pijesak, prah i pjeskovit prah, nejednoliko granulirani pijesak i zbijeni šljunak. Geotehnički su parametri (utemeljeni na poljskim propisima - metoda "B") za pojedine slojeve prikazani u tablici 2.

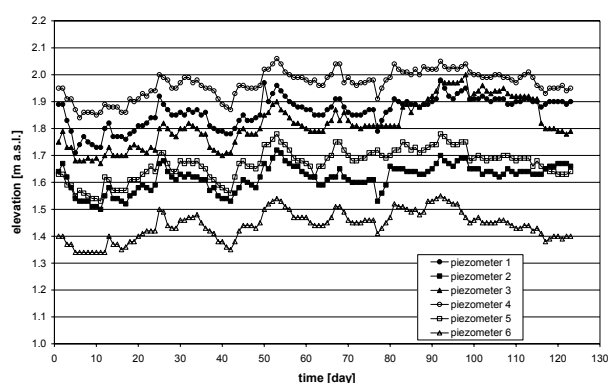
Sloj treseta pronađen je samo mjestimično ispod temelja susjednih građevina. Da bi se susjedne građevine zaštitile od slijeganja zbog spuštavanja razine podzemne vode i od vibracija zbog zabijanja talpa, tlo ispod temelja poboljšano je cementno-kemijskim injektiranjem koje je izvršeno pod niskim tlakom.

Dubina iskopa je 3,7 m, ponegdje i do 5 m, a iskop je zaštićen čeličnim talpama dubine 9 m. Zbog visoke razine podzemne vode tijekom iskopa bilo je nužno crpiti vodu. Tijekom radova praćeni su vertikalni pomaci susjednih zgrada a na 6 se piezometara oko iskopa pratila razina podzemne vode. Također se pratio postupak zabijanja i izvlačenja talpa.

Osnovni problem tijekom radova bio je utjecaj vibracija tijekom zabijanja i izvlačenja talpa i utjecaj snižavanja razine podzemne vode na susjedne zgrade. Iako je razmak između kuća i čeličnih talpa bio prilično malen, tj. varirao je od 1 do 3 m, poboljšanjem tla [6] poništen je negativni utjecaj vibracija koje su se kretale u rasponu od prve do druge zone opasnosti [3]. Osim toga, tanak sloj polupropusnog tla male debljine (0,5 m), koji se nalazio ispod dna iskopa, pomogao je u djelotvornom projektiranju sustava za crpenje vode, tako da nije bilo potrebno znatno smanjiti razinu podzemne vode u blizini iskopa. Srednja razina podzemne vode odgovarala je razini u prirodnom stanju. Najveća odstupanja od srednjih vrijednosti varirala su od +7 cm do -3 cm, dok su u odnosu na početne vrijednosti najveća privremena kolebanja tijekom crpenja vode varirala od +15 cm do -18 cm i nisu se razlikovala od kolebanja koja se javljaju u prirodnim uvjetima. Razine podzemne vode, izmjerene na piezometrima postavljenim 3 - 5 m od rubova iskopa tijekom crpenja vode, prikazane su na slici 4. Početne vrijednosti odgovaraju početnim hidrogeološkim uvjetima prije početka crpenja, dok se zadnje vrijednosti odnose na uvjete nakon završetka crpenja. Opći prikaz radova tijekom iskopa prikazan je na slici 5.

2.3 Trgovački centar Manhattan u Gdanjsku [7]

Gradilište trgovačkog centra Manhattan nalazi se u Gdanjsku-Wrzeszczu na glavnoj gradskoj prometnici. Teren je donekle nagnut prema zapadu pa kote variraju od 19 do 22 m nadmorske visine. S morfološkog gledišta, ta je zona dio pleistocenske akumulacijske terase. U blizini površine, pa do dubine od 50 do 60 m nalaze se kvartarne formacije slojeva pijeska i šljunka koje na dubini od 5,0 do 18,0 m razdvajaju slojevi gline i glinovitog pijeska. Ispod toga se nalaze glinasto-pjeskovite ter-



Slika 4. Izmjerene piezometarske visine oko iskopa. Razdoblje od početka do završetka crpenja vode



Slika 5. Opći prikaz radova tijekom iskopa

cijarne formacije. Razina podzemne vode nalazi se na dubini od 16,5 do 17,8 m.

Geotehnički parametri pojedinih geotehničkih slojeva prikazani su u tablici 3.

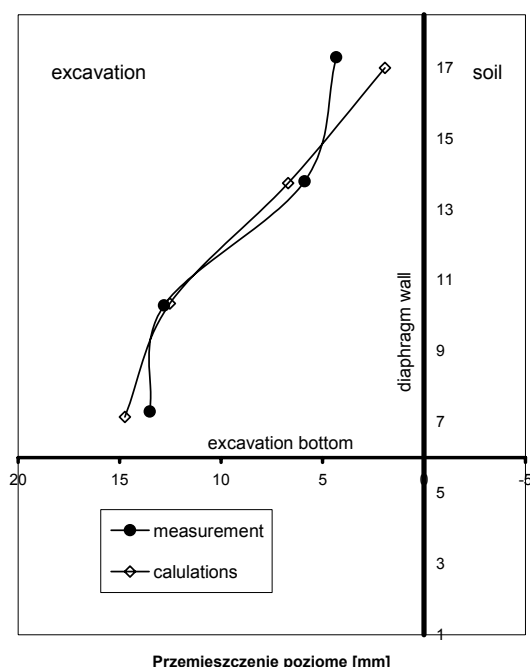
U toj su se zoni nekada nalazile zgrade koje su bile znatno oštećene tijekom rata. Zbog toga je odlučeno da se površina spusti na kotu od +19,5 m iznad razine mora. Nova zgrada temeljena je unutar sidrene armiranobetonske dijafragme debljine 0,8 m i dubine 17,5 m. Dijafragma je sastavni dio konstrukcije a ujedno služi kao zaštita iskopa. Iskop je izvršen u fazama visine polukata s privremenim čeličnim razuporama oslonjenim na pilote. U gotovoj se zgradi horizontalni pritisci tla prenose na strope.

Zgrada se sastoji od tri podzemna tla i pet katova iznad tla. Nulta kota građevine nalazi se na koti od +20 m iznad razine mora. Razina iskopa ispod temeljne ploče, tj. "razina -3", nalazi se na 7,50 m iznad razine mora. Mjestimično je iskop izvršen i do kote od 6,20 m iznad razine mora.

Statički proračuni zaštite iskopa izvršeni su s pomoću programa PLAXIS v. 7.2 [9] i pritom su u obzir uzeti parametri graničnog stanja nosivosti i graničnog stanja

uporabivosti u pojedinim fazama gradnje. Proračunom su određeni pomaci zida i površine tla u blizini iskopa i vrijednosti unutarnjih sila u konstrukciji tijekom faza izgradnje. Također je određeno maksimalno opterećenje podova i odgovarajući pomaci.

Tijekom radova postavljeni su reperi za mjerenje vertikalnih pomaka površine tla oko iskopa i reperi za mjerenje horizontalnih pomaka dijafragme. Vertikalni pomaci površine tla iza zida praćeni su i s pomoću 10 repera smještenih na susjednim kućama te sa 17 dubokih repera. Horizontalni pomaci praćeni s pomoću 43 repera koja su postavljena na četiri razine duž rubova iskopa, i to 10 mjernih točaka na "razini 0", 10 točaka na "razini -1", 12 točaka na "razini -2" i 12 točaka na "razini -3". Reperi čine 12 vertikalnih mjernih linija, po 4 repera u svakoj liniji.



Slika 6. Horizontalni pomaci zida. Iskop odgovara razini temeljne ploče, razina -1; prikazane su izmjerene i izračunane

vrijednosti

Općenito su rezultati mjerenja horizontalnih pomaka u skladu s rezultatima proračuna u svim fazama zemljanih i građevinskih radova. Procijenjeni najveći pomak na "razini -1" je 17 mm [10], dok je izmjerena vrijednost -9 mm [8]. Do ove je razlike došlo zato što su se pomaci počeli mjeriti kada je iskop već dosegao "razinu -1", tako da nisu uključeni pomaci koji su se dogodili prije toga.

Na slici 6. prikazana je raspodjela izračunanih i izmjerenih horizontalnih pomaka za odabranu fazu radova u jednoj od horizontalnih linija.

Izmjereni vertikalni pomaci tla iza dijafragme uglavnom su odgovarali izračunatim vrijednostima. Najveće vrijednosti slijeganja susjednih građevina nisu bile veće od 3,7 mm. Najveće (privremeno) slijeganje dubokih repera bilo je 2,1 mm.

Rasterećenje temeljnoga tla iskopom dovelo je do primjetnog podizanja površine tla oko iskopa. Slijeganja zabilježena na udaljenosti većoj od 3H (gdje je H dubina iskopa [11]) povezuju se s jakim utjecajem opetovanih opterećenja zbog prometa motornih vozila (tramvaji i automobili).

Iskopi na razinama -1 i -3 prikazani su na slikama 7. i 8.



Slika 7. Iskop na razini -1. Podni prsten -1 (ostatak poda izveden je u sljedećoj fazi radova)

Tablica 3. Vrijednosti karakterističnih geotehničkih parametara

Vrsta tla	Indeks plastičnosti ili relativne zbijenosti	Vlažnost [%]	Volumenska težina [kN/m ³]	Kohezija	Kut unutarnjeg trenja [°]	Modul stišljivosti [MPa]	Koeficijent materijala γ_m
Glinoviti pijesak	0,28	16,37	20,5	15,9	14,8	28	1 ± 0,1
Pjeskovita glina	0,31	17,46	20,5	18,2	14,2	26	1 ± 0,1
Sitni pijesak	0,41	16,42	17,0	-	32,4	52	1 ± 0,1
Sitni pijesak	0,73	22,47	19,5	-	36,2	82	1 ± 0,1
Srednje krupni pijesak	0,76	12,47	18,3	-	30	128	1 ± 0,1
Šljunak	0,77	12,52	20,5	-	40	195	1 ± 0,1

Mjerenja tijekom pojedinih faza radova pokazuju dobru podudarnost izračunanih i izmjerenih pomaka dijafragme, što potvrđuje da su parametri tla te krutosti i faze izgradnje konstrukcije bili dobro određeni.



Slika 8. Iskop na razini -3

3 Zaključak

Projektiranje i ponašanje dubokih građevnih jama u izrazito urbaniziranim područjima uvijek je povezano s ozbiljnim problemima koji se uglavnom odnose na utjecaj izvođenja i zaštite iskopa na susjedne građevine koje se nalaze u neposrednoj blizini. Stoga je s tehničkog stajališta izuzetno važno već u fazi projektiranja odrediti raspon mogućih utjecaja.

Slučajevi opisani u ovom radu pokazuju da se tijekom izgradnje utjecaji raznovrsnih čimbenika mogu razliko-

vati od pretpostavljenih. Kada se radi o vibracijama, koje su opisane u prvom slučaju, te o iskopu, koji se analizira u posljednjem slučaju, raspon utjecaja bio je veći od uobičajenog, dok je kod crpenja vode (drugi slučaj) depresijska ploha bila povoljnija od teoretskog predviđanja (uglavnom zbog povoljnih uvjeta u temeljnom tlu).

U većini se slučajeva dobro može predvidjeti utjecaj raznih čimbenika, što nam omogućuje da na odgovarajući način zaštitimo susjedne objekte od razornog utjecaja građevinskih radova, i to prije samog početka radova (npr. injektiranjem se može poboljšati tlo ispod temelja, može se pojačati konstrukcija koja se gradi itd.). U svakom slučaju treba pratiti ponašanje susjednih građevina tijekom iskopa i zaštite građevne jame da bi se, prema potrebi, mogla primijeniti odgovarajuća tehnologija rada, a sve radi smanjenja štetnih utjecaja. Nužno je da se dobro odrede geotehnički uvjeti, tj. treba istražiti "poviest" područja uključujući i susjedne objekte. Važan je i pravilan odabir metode proračuna te iskustvo stečeno na sličnim projektima. Dobro provedeno mjerenje omogućuje provedbu povratne analize, što opet omogućuje bolje predviđanje ponašanja konstrukcije u sljedećim fazama rada [12].

Potrebno je također istaknuti i da se izvođač ne smije birati samo na temelju cijene, već i na osnovi njegova iskustva stečenog u radu na sličnim projektima.

LITERATURA

- [1] The assessment of the impact of works carried out for City Forum II - Krewetka project on the neighboring structures, Report of Geosyntex Company Ltd., July 2000, (in Polish).
- [2] The expertise on the impact of demolition and earth works and driving of G62 steel sheet piling on the surrounding structures during construction of City Forum II- Krewetka project, (in Polish) Report of Geosyntex Company Ltd., February 2001.
- [3] Polish Code No. PN-85/B-02170. The assessment of the vibration transmitted through the subsoil onto the buildings, (in Polish).
- [4] Geotechnical supervision regarding foundation, earth and road works for the City Forum II-Krewetka project. The assessment of the impact of vibrations onto monastery objects and surrounding buildings, (in Polish) Report of Geosyntex Company Ltd. January 2002.
- [5] The design of dewatering and casing of the excavation for residential and service centre in Sopot, Monte Cassino street, (in Polish) Report of Geosyntex Company Ltd. January 2001.
- [6] The design of subsoil improvement for buildings around the excavation for residential and service centre in Sopot, Monte Cassino street, (in Polish) Report of Geosyntex Company Ltd. June 2001.
- [7] The design of the protection of excavation in terms of hollow wall during the construction of "Manhattan" Shopping Centre in Gdańsk, for residential and service center in Sopot, Monte Cassino street, (in Polish) Report of Geosyntex Company Ltd. August 2001.
- [8] The construction design of "Manhattan" Shopping Centre in Gdańsk, Floor slab - "1" level - ring, "MSE" - Design Office, (in Polish) Gdansk 2001.
- [9] Vermeer at al: Plaxis. Finite Element Code for Soil and Rock Plasticity. V. 7.2. A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield 2000.
- [10] Construction of "Manhattan" Shopping Center in Gdańsk, Supervision during deepening of excavation. Final report, (in Polish) Report of Geosyntex Company Ltd. July 2002.
- [11] Prediction of surface displacements with respect to geotechnical threat of the object. (in Polish) Warsaw Technical University, Warsaw 1999.
- [12] Bolt A.F., Dembicki E., Horodecki G.A., Kryczak A., Cudny M.: An assessment of construction state and the subsoil conditions by loading tests and back analysis. Proc. of XV International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Istanbul 27-31.09.2001.

