

TORONYHÁZAK ALAPOZÁS- ÉS SZERKEZETTERVEZÉSE – 2. RÉSZ



Kanizsár Szilárd

DOI: 10.32969/VB.2019.1.4

A 100 m magasságot meghaladó épületek tervezése a hazai mérnöki gyakorlatban kevésbé ismert területnek számít. A cikkben a területi korlátok ellenére törekszem arra, hogy átfogó képet adjak a téma iránt érdeklődők számára mind szerkezettervezési, mind geotechnikai szempontból. Külföldi szakirodalmi művek alapján, és megépült szerkezetek példáin keresztül alapozási és szerkezettervezési koncepciókat ismertetek, melyeket értékelve szó esik a budapesti lehetőségekről is. A magasház fogalmának tisztázása után kitérek a tervezéshez szükséges hazai előírások alkalmazhatóságára, valamint a toronyházak építészeti szöveghözható méreteinek szerkezeti vonatkozásaira. Szót ejtek a külföldi magasépületeknél felhasznált szerkezeti anyagok szilárdsági jellemzőiről, valamint ezek alkalmazása kapcsán a világban megfigyelhető trendekről. Betekintést nyújtok a toronyházak tartószerkezeti rendszereinek típusaiba. Külföldi példákon keresztül szemléltetem a leggyakrabban alkalmazott alapozási megoldások elvi működését, gyakorlati kialakítását. Röviden vázolom Budapest geotechnikai adottságait a toronyházak vonatkozásában. A tartószerkezetről és az alapozásról szóló fejezetek végén áttekintem, hogy az ismertetett tervezési koncepciók melyike jöhet számításba a hazánkban megvalósuló projektek esetében.

Kulcsszavak: toronyház, magasépület, belső szerkezeti rendszer, külső szerkezeti rendszer, outrigger, alapozás, CPRF

8. ALAPOZÁSI KONCEPCIÓK ÉS MEGOLDÁSOK

A szakirodalomban fellelt CPRF szerkezeteket a kialakításuk módja szerint három csoportba soroltam:

- terhelésintenzitástól független, egyenletes kiosztású cölöpképpel kialakított CPRF,
- terheléshez igazodó cölöpképpel kialakított CPRF,
- süllyedéskiegyenlítést célzó cölöpkiosztással kialakított CPRF.

A következőkben ezekre mutatok be néhány lehetőséget feltüntetve a főbb szerkezeti méreteket is abból a célból, hogy az olvasók „érezhessék” a Budapestéhez hasonló talajkörnyezetben megvalósult alapozási szerkezetek dimenzióit.



9. ábra: Blumau Tower (78 m), Linz

8.1. CPRF egyenletes cölöpkiosztással

A linzi Blumau Tower (9. ábra) szolid magassági méretéből fakadó viszonylag kis terhelése lehetővé tette a meglehetősen egyszerűen, egyenletes kiosztással kialakított cölöpképpel alkalmazását. A $D=90$ cm átmérőjű, 17-21 m hosszú, fűrt cölöpöket egymástól jellemzően $\sim 2,5D$ távolságra helyezték el függetlenül a teherintenzitás változásától (10. ábra). Az alaplemez vastagsága 1,6-2,0 m között változott, ami a $\sim 26 \times 26$ m átlagos oldalhosszúságú négyszög alaprajzzal merev szerkezetet eredményezett. Ha – mint itt – a lemez a cölöptávolsághoz képest vastag, a lemez felső síkján ható erők nagy része közvetlenül a cölöpökre jut, a vastag lemez



11. ábra: DC Tower 1 (220 m), Bécs

merev fejtömbként funkcionál, kiegyenlíti, a teherintenzitás változásától függetlenül ráosztja a terheket az egyenletesen kiosztott és azonosan süllyedő cölöpökre.

Nagyobb terhelések esetén (a magasépületeken kívül pl. hídpillérek, vízerőművek, stb. esetében) előszeretettel alkalmazták a dobozalakú cölöp- és réspillér alapozást (box-shaped pile and diaphragm wall foundation). (Ha a réselés valamely oknál fogva nehézségekbe ütközik, akkor cölöpsorokból képezik a dobozokat.)

Ezzel a CPRF szerkezettel épült a bécsi DC Tower 1 (11. ábra) is: 171 db 3,6x0,6 m méretű, 20-25-30 m mélységű réspillér készült a 4,0 m vastag vasbeton alaplemez alá. Az alaprajzilag ortogonális rendszerben lemélyített réspillérek téglalap alakú cellákat alkotnak (12. ábra). Az egy cellához tartozó, azonos irányú réspillérek nem kerültek közelebb egymáshoz 4,0 m-nél, és nem voltak távolabb egymástól 7,0 m-nél. A réspillérek egymáshoz nem kapcsolódtak, köztük a szerkezeti kapcsolat közvetett úton, a nagyon merev vasbeton alaplemezen keresztül valósult meg (Adam, Markiewicz, Deix, 2013).

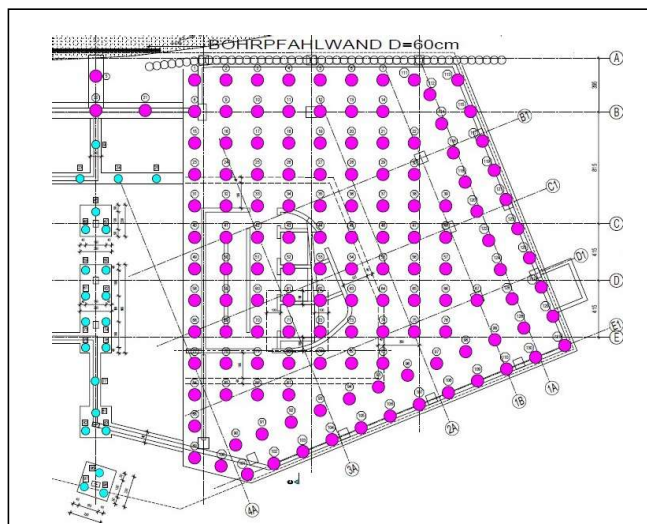
E rendszernek több előnye van (Brandl, 2010):

- a réspillérek által közbezárt mag gátolt oldalirányú elmozdulásának köszönhetően a talajra nagyobb függőleges teher hárítható,
- a réspillér és a talaj integrált teherviselő egységet képezve kvázi-monolitikus szerkezetként kedvezőbb süllyedési jellemzőkkel rendelkezik,
- a földrengésből származó terhekkel szembeni ellenállása is szignifikánsan nagyobb a konvencionális cölöp csoportokénál.

A CPRF-alapozás kialakítható az alaplemezzel össze nem kapcsolt cölöpökkel, illetve réspillérekkel is (NCPRF/DCPRF = non-connected/disconnected CPRF). E megoldás az CPRF-szerkezet olyan változata, mely a cölöpöket tisztán csak a lemezalap alatti altalaj merevségének növelésére használjuk, ezzel természetesen redukálva a lemezalap süllyedéseit. A lemezalap és a tőle független cölöpök között egy megfelelő vastagságú, merev ágyazati réteg biztosítja a lemezen ható terhek továbbítását a cölöpökre.

8.2. CPRF a terheléshez igazodó cölöpkiosztással

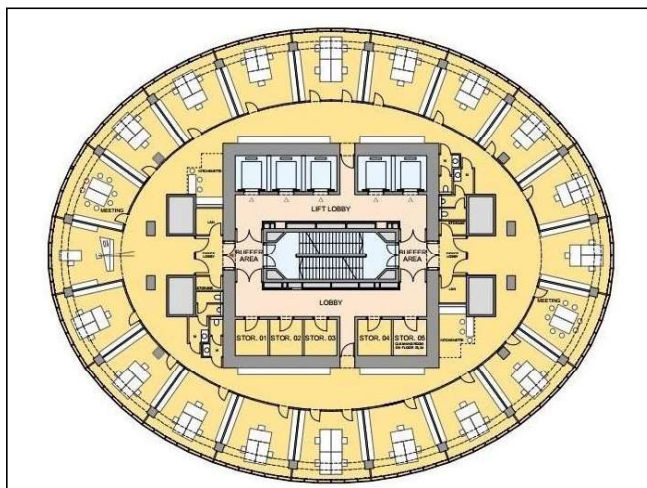
A klasszikus cölöp tervezési felfogás szerinti réspillér kiosztással valósították meg a bukaresti 37 szintes, 137 m magas Sky Tower (13. ábra) kombinált alapozását. Az íves alaprajzú vázszerkezet geometriájához (14. ábra) igazodva a réspillérek közvetlenül a terhelt falak, illetve pillérek alá pozícionáltak (15. ábra). A 0,6-0,8 m vastag, 15-30 m hosszúságú réspillérek szerkezetiileg egy 2,6 m vastag alaplemezhez csatlakoztak. A réspillérek alaprajzi értelemben egymástól függetlenül alakították ki, közöttük szerkezeti kapcsolat csak az alaplemezen keresztül, közvetett módon jött létre (Tschuchnigg, 2011). A váltakozó rétegződésű homok, illetve iszapos agyag talajokra végzett 2D-s és 3D-s szimulációk eredményei azt mutatták, hogy a 2D-ben realiztikusan valójában nem modellezhető geometriai és terhelési viszonyokra 100%-kal nagyobb relatív süllyedés értékek adódtak a 3D-s végelem-számítás eredményeihez képest. Az alapozási koncepciót tehát csak térbeli szimulációval lehetett elemezni és optimalizálni, s ilyen számítással vetették össze a validáláshoz egy réspillér Osterberg-cellás próbaterhelésének eredményeit is (Schweiger, 2010).



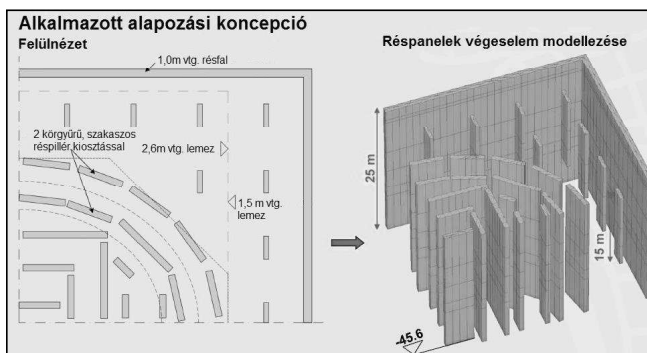
10. ábra: CPRF alaprajz - Blumau Tower



13. ábra: Sky Tower (137 m), Bukarest



14. ábra: Alaprajz - Sky Tower



15. ábra: Réspillér kiosztása és 3D végeselemes modellje (Forrás: Schweiger, 2010)

8.3. CPRF süllyedéskiegyenlítést célzó cölöpkiosztással

Egymáshoz közel épülő magasházak esetében az épületek egymásra hatásából származó többlétsüllyedések elkerülése (mérséklése) végett ajánlatos aszimmetrikus cölöpképet tervezni, ami megakadályozza a tornyok egymás felé dőlését.

Jó példa erre a bécsi DC Tower két épülete (16. ábra), melyek közül eddig csak a 220 m-es, magasabb torony épült meg (11. ábra), a 168 m-es alacsonyabb építésére még várni kell.

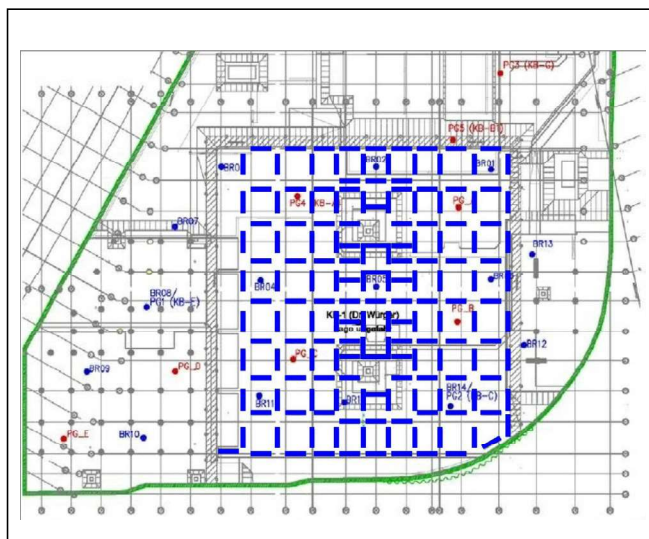
A DC Tower 1 CPRF-alapozását úgy alakították ki, hogy a saját terhek szempontjából elégséges réspillérek 20 m hosszát a majdani szomszédos torony irányába két lépcsőben 30 m hosszúságúra növelték. Így az épületet alkalmassá tették a majdani, DC Tower 2 által okozott járulékos hatások viselésére (Adam, Markiewicz, Deix, 2013).

A 17. ábrán láthatók az 1-es torony süllyedésmérési adatai. Megfigyelhető, hogy a lépcsőzetesen megnövelt réspillér hosszaknak köszönhetően (18. ábra) az épület 2-es torony felőli oldalán a süllyedések értéke kisebb távolságon belül cseng le, mint az átellenes oldalon, a süllyedési horpa aszimmetrikus. Látható, hogy a megépült torony minimális mértékben okozott süllyedést a majdani DC Tower 2 helyén ($s_{max} = 3 \text{ mm}$). Ennél várhatóan kisebb (gyakorlatilag elhanyagolható) többlétsüllyedésre lehet majd számítani DC Tower 1 helyén a DC Tower 2 megépítése után, hiszen annak terhei kisebbek lesznek.

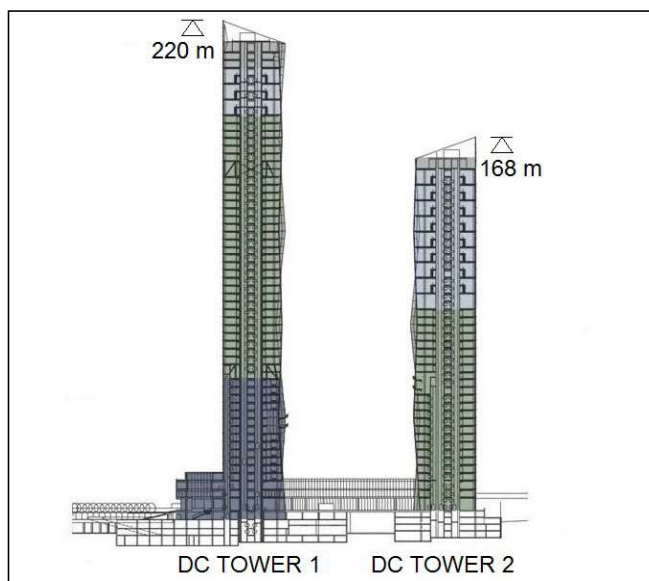
A bécsi Millennium Tower (19. ábra) CPRF-alapozásánál a relatív süllyedések csökkentése céljából sikeresen használták a cölöpök ciklikus előterhelését (terhelés – tehermentesítés – újrateljesítés). Erre azért került sor, mert a projekt elején a cölöppróbaterhelésekből kiderült, hogy a cölöpök erő-süllyedés diagramjai erősen különböznek, jöllehet a cölöpök egyazon talajkörnyezetben és technológiával (gépek, személyzet, stb.) készültek. A 2,2 m vastag alaplemez alá készített 151 db cölöp előterhelése során aztán meg is állapították, hogy valóban meglehetősen nagy eltérések vannak az egyedi cölöpök első terheléseinek karakterisztikáiban (átlag 11,1 mm, szórás 5,3 mm) (20. ábra).

Az előterheléshez a cölöpfejek és az alaplemez közé 600 t-s emelő sajtókat helyeztek, és a cölöpöket a tervezési értékek 1,2-szeresének megfelelő erővel ciklikusan addig terhelték, míg az újrateljesítési görbék gradiensei meg nem egyeztek, amihez 2-3 hiszterézishurok általában elegendőnek bizonyult (21. ábra). Az előterhelést a második térszín alatti szint beépítése után kezdték meg, az addig beépült szerkezetek súlya a szükséges ellentartást biztosította. Az alaplemez és a cölöpök közötti kapcsolatokat csak azután alakították ki, miután az előterheléseket befejezték. A módszerrel jelentősen csökkenthetők a CPRF-alapozás abszolút és relatív süllyedései, melyek az azonos viselkedésűnek feltételezett egyedi cölöpök első terhelés során tapasztalható eltérő karakterisztikáinak köszönhető (Brandl, 2005).

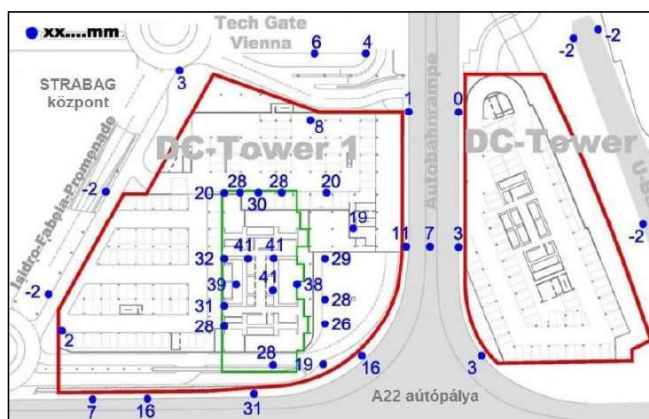
A hagyományos cölöptervezési felfogás szerint, ha a felszín közeli rétegek alapozásra alkalmatlanok, akkor az épület teljes terhét a cölöpökre hárítva, azokat a mélyebben levő teherbíró talajrétegbe fogják be. Bár ilyen körülmények voltak a Millennium Tower építésénél is, azonban mégsem az említett elvet követték: a CPRF alkalmazhatósága végett az alaplemez alatt fekvő, sok helyen nagyon laza szemcsés rétegek teherviselését a cölöpözés előtt egyenletesebbé és kedvezőbbé tették. A dinamikus nehéz verőszondával végzett vizsgálatokkal feltérképezték azokat a helyeket, ahol a 10 cm-es behatoláshoz szükséges ütőszám nem érte el a 20-at. s e területeken a szemcsés rétegben, ~2,5 x 2,5 m-es raszterben vibroflotációs talajjavítást végeztek. Így a tömörített és homogenizált rétegen fekvő, 2,2



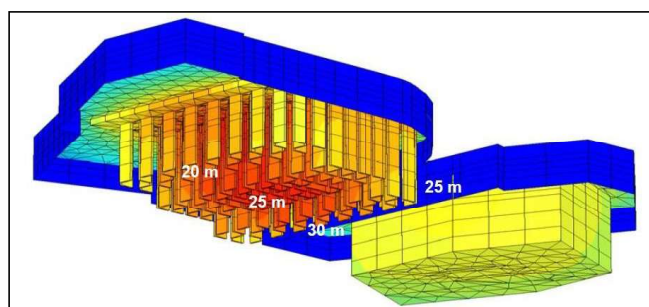
12. ábra: Alaplemez alatti réspillér kiosztás alaprajza



16. ábra: A megépült DC Tower 1 és a tervezett DC Tower 2, Bécs



17. ábra: DC Tower 1 mért süllyedései (Forrás: D. Adam, R. Markiewicz, J.D. Deix, 2013)



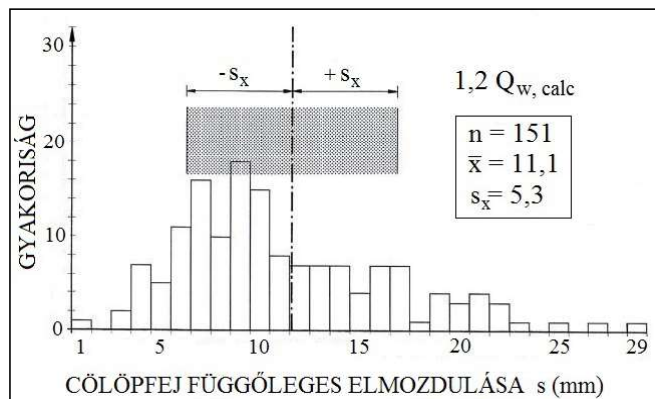
18. ábra: DC Tower CPRF 3D nézete alulról – rés-pillérek lépcsőzése (Forrás: Adam, Markiewicz, Deix, 2013)

2. táblázat: A kiscelli agyag jellemző talajfizikai paraméterei (Forrás: Kálmán, 2012.)

Talajmegnevezés	Térfogat-sűrűség r_t [t/m ³]	Belső súrlódási szög Φ [°]	Kohézió c [kN/m ²]	Összenyomódási modulus E_s [MPa]	Konzisztencia index I_c [-]	Hézagtényező e [-]
Mállott zóna	2,1	20-23	50-100	7-10	>1,0	0,40-0,68
Repedezett zóna	2,2	25-28	420	15-20	>1,2	0,32-0,40
Ép közettömeg, expandációs határon túli zóna	2,3	35-50	400-1000		>1,3	0,18-0,32



19. ábra: Millennium Tower (202 m), Bécs



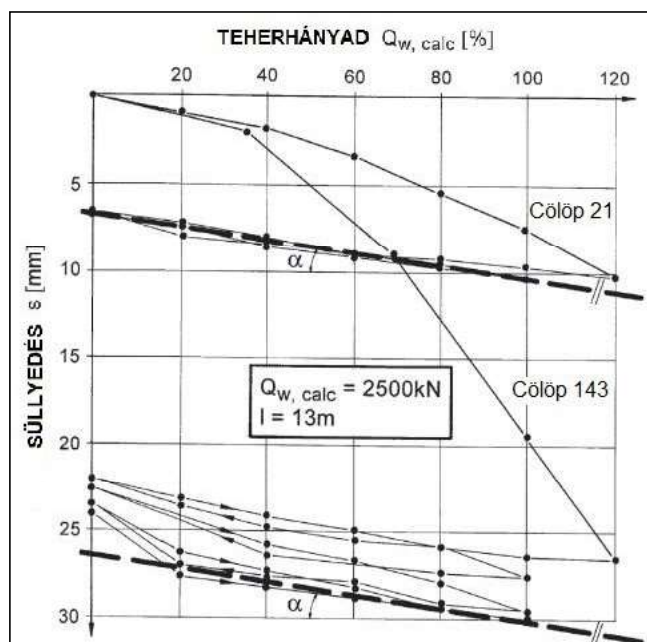
20. ábra: Cölöpfejek süllyedése az első terhelés hatására – gyakorisági hisztogram (Jelölések: $Q_{w,calc}$ = SLS terhelés; n = cölöpszám; \bar{s} = cölöpfejek süllyedéseinek átlaga; s_x = cölöpfejek süllyedéseinek szórása) (Forrás: Brandl, 2005)

m vastag lemezalap részt tudott vállalni a teherviselésből. Az alaplemez alatt 151 db CFA-cölöp ($D=0,88$ m) 13-16 m között változó hosszakkal közvetíti a terheket az iszapos és agyagos talajrétegekre. Az eljárásnak köszönhetően a 202 m magas épület teljes süllyedése az építés befejezése után 3 évvel 38 mm-ben maximalizálódott, a relatív süllyedések legnagyobb értéke 23 mm volt (Brandl, 2005).

9. A BUDAPESTI TORONYHÁZAK ALAPOZÁSI KÉRDÉSEI

9.1. Geotechnikai adottságok

A vonatkozó hazai műszaki előírásokat, az építészeti funkcionalitást és az európai példákat tekintve joggal feltételezhető, hogy a jövőbeli budapesti toronyházak sem nélkülözhetik majd a többszintes, térszín alatti mélygarázsokat, amelyek kialakítása a szerkezetek alapozása szempontjából is kulcsfontosságú. Budapesten ilyen szempontból kedvezőnek mondható a helyzet, hiszen a hazai mérnökök mára már ele-



21. ábra: Ciklikusan előterhelt cölöpök erő-elmozdulás ábrája (Forrás: Brandl, 2005)

gendő számú megépült, többszintes mélygarázs tervezési és kivitelezési tapasztalataival rendelkeznek, ezért egy elinduló toronyház projektben várhatóan nem a talajvízes környezetben épülő térszín alatti szerkezetek megvalósítása jelenti majd a legnagyobb műszaki kihívást. Budapest azon részein, ahol egyáltalán városépítészeti szempontból szóba jöhetnek a 120 m magas épületek, a geotechnikai környezet viszonylag kedvező a mély munkaterek kialakíthatósága szempontjából.

A 120 méter magas toronyházak számára kijelölt területek geológiája hasonlóan nevezhető. A harmadidőszakban keletkezett oligocén korú kiscelli agyagra, mint alapkőzetre 10-12 m vastagságban negyedidőszaki pleisztocén korú fluvialis (folyóvízben keletkezett), illetve fluvioeolikus (folyóvíz és szél által szállított) szemcsés üledék települt, miután a miocén korú tengeri üledékek részben vagy teljes egészében eróziós folyamatok során lepusztultak. A szemcsés rétegek felett néhány méter vastag feltöltés található. A talajvíz a pleisztocén rétegekben tárolódik, illetve áramlik.

Az oligocén korú alapkőzetnek (a továbbiakban kiscelli agyag) a toronyházak alapozása és a térszín alatti szerkezetek építéséhez szükséges vízzáró munkagödör kialakítása szempontjából kulcsszerepe lesz. A toronyház terhei várhatóan és jellemzően ebben a talajrétegben fognak átadódni a talajkörnyezetre, valamint ideiglenes állapotban a kiscelli agyag tudja biztosítani – a gyakorlatban jól bevált módon – a munkagödör alsó vízzárását az agyagrétegbe szükséges mértékben befogott munkatérhatároló szerkezetek segítségével.

Az agyag feké geológiai előtörténetét tekintve nem kezelhető homogén, egyazon tulajdonságú öszletnek, a helyszíni- és laborvizsgálatok rámutattak arra, hogy függőleges tagozódás figyelhető meg. A felső, 6-8 méter vastag mállott zónát egy repedezett zóna követi, alatt van az ép közettömeg. A három zóna természetesen különböző talajparaméterekkel jellemez-

hető (2. táblázat), ezért a tervezés során ezeket külön rétegeként célszerű modellezni (Kálmán, 2012.).

A toronyházak alapozását akár síkalappal, akár mélyalapozással oldják majd meg, várhatóan a legmélyebben fekvő ép köztömeg is érintett lesz, még akkor is, ha az alapozási szerkezettel esetleg fizikailag már nem is lesz kapcsolatban. Az alapozás alatt kialakuló feszültségek ugyanis nagy valószínűséggel összenyomódásokat keltenek az ép kiscelli agyagban is, a süllyedésszámításban figyelembe veendő határmélység ebben lesz.

9.2. Alapozási szerkezetek megválasztása

Megfelelő színvonalú 3D-ben végzett végeeselemes modellezések és költségsszámítások nélkül nem állapítható meg egyértelműen, hogy a bemutatott koncepciók közül melyik lehet Budapesten optimális. A kiscelli agyag kedvező mechanikai jellemzőinek köszönhetően a síkalapozás is szóba jöhet, a cölöpök nélküli megoldás, amely a frankfurti agyagban nem működött, a merevebb kiscelli agyagon talán megoldás lehet. A kedvezőbb talaj mellett az is segíthet, hogy a Budapestre tervezett magasságokkal a terhelés sokkal kisebb lenne. A cölöpözés nélküli síkalapozást tehát eleve kizárni nem kell, szofisztikált süllyedésszámításokon alapuló megvalósíthatósági tanulmányban érdemes a kérdést vizsgálni.

A CPRF-rendszerek természetesen alternatívákat jelentenek, azonban a kivitelezési nehézségek megakadályozhatják például az alaplemez alatti réspillérek alkalmazását. Ha ugyanis több tíz méter mély réspillérek válnak szükségessé, az oligocén alapkőzet fejtési nehézsége a hagyományos kanalas réselőgépek számára még előfűrés alkalmazása esetén is megghiúsíthatja a kivitelezést. Marótárcsás réselőgép alkalmas lenne ugyan több tíz méteres réspillérek készítésére is (pl. az M4 metró Gellért téri állomás, Fővám téri állomás falai így készültek), a technológia felvonultatása azonban egy-egy épület esetében bizonyosan nem lenne versenyképes egy cölöpözött szerkezettel szemben. Ez gazdaságos és műszakilag alkalmas szerkezet lehet akár az alaplemezrel szerkezettel összekapcsolt módon, de akár úgy is, hogy az alaplemez és a cölöpök szerkezetiileg nem kapcsolódnak össze.

10. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A BFRSZ jogilag megteremtette a 120 m magas toronyházak építésének lehetőségét, a beruházói igények pedig mostanra időszzerűvé tették az ilyen épületek tervezését. A cikkben hangsúlyt kapott, hogy az említett épületek tervezésében nem követhetők a rutinszerűen alkalmazott tervezési elvek és műszaki megoldások. Világviszonylatban vagy akár csak az EU-ban épült magasépületek mellett eltörpülő budapesti toronyházak mérete elsősorban nem érzékelteti igazán, hogy a feladat a hazai mérnökök számára mennyiben lesz más, illetve újszerű a mindennapi gyakorlatban megszokotthoz képest. Nagy hiba lenne azonban, ha a toronyházak tervezésében és építésében sok évtizednyi tapasztalattal bíró országok számára e már valóban rutinfeladatot jelentő problémát a hazai mérnökök nem a megfelelő súllyal kezelnék. A külföldi példák tanulmányozása, az összehasonlítás fontos és elengedhetetlen, de azokból a számunkra fontos információkat kell kinyernünk, s el kell kerülnünk a téves következtetéseket.

Látható, hogy a tervezéshez szükséges hazai előírások nem feltétlenül fednek le minden tervezési részterületet, fontos feladat ezek vizsgálata. A hiányzó útmutatások vonatkozó részeit

pótolni kell külföldi szabványokból, tapasztalati értékek és/vagy szakirodalmi ajánlások alapján.

A külföldi magasépületeknél felhasznált szerkezeti anyagok a hazai gyakorlatban alkalmazottnál többnyire magasabb szilárdsági jellemzőkkel rendelkeznek. A toronyház építés terén nálunk jóval előrébbjártó országok tervezési és építési gyakorlatából látszik, hogy bizonyos magasságon felül egyértelműen előnyös a kompozit anyagú szerkezetek alkalmazása, melyek sok szempontból kedvezőbb tulajdonságokkal rendelkeznek a tisztán vasbetonból vagy acélból készült szerkezetekhez képest.

A tartószerkezeti koncepciókat áttekintve egyértelmű, hogy a belső szerkezeti rendszerek közül a merevítő magas koncepciót érdemes használni a majdani hazai épületek esetében, hiszen a 120 méterben maximált magassági korlát nem teszi indokoltá sem outrigger beépítését, sem külső rendszerek alkalmazását. Alapozási szerkezetként a kedvezőnek minősített geotechnikai adottságoknak leginkább megfelelő CPRF alapozás jöhet szóba, de megfelelő színvonalú süllyedésszámítás alátámasztásával a tiszta lemezalapozás is megoldást jelenthet.

Ma még nem tudható, hogy Budapesten hány 120 m magas építmény valósul majd meg a jövőben, de ha ez a szám nem is lesz túl nagy, és csak magasház ($H < 65$ m) besorolású épületek épülnek majd **jelentősebb számban, a témakör tudományos és műszaki életre gyakorolt pozitív hatása már most megkérdőjelezhetetlen.** A külföldön széleskörűen használt tervezési elvek, gyakorlati megoldások elsajátítása, és az ezeket megalapozó tudományos kutatások eredményeinek ismerete egyértelműen a szakma hazai fejlődését vonja maga után, a toronyházak tervezésével nyert tapasztalatok hasznosulhatnak a magasházak és más hasonló szerkezetek tervezésében is.

11. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkkel kapcsolatos értékes észrevételeiért, tanácsaiért és segítségéért köszönet illeti Dr. Szepesházi Róbertet.

12. HIVATKOZÁSOK

- Adam, D., Markiewicz, R., Deix, J.D. „Donau City Tower I – Deep foundation, excavation and dewatering scheme for the 220 m tall high-rise building in Vienna” 2013, Bratislava, Proceedings of the 11th Slovak Geotechnical Conference
- Ali, M.M., Moon, K.S. „Structural Development in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects”, Architectural Science Review, 2007., Vol. 50, pp. 205-223. <https://doi.org/10.3763/asre.2007.5027>
- Bak E., Koch E., Palotás B., Szepesházi R. „Kombinált (cölöp és lemez) alapozás modellezése, Közlekedésképzési Szemle, 2010., 60. évfolyam, 3. szám
- Bollinger, K., Grohmann M., Berger, A. „The Vienna Donau City Tower – 2000 mm Flat Slabs as Outrigger Structure for Unique Landmark Building” Proceedings CTBUH International Conference New York, 2015.
- Brandl, H. „Cyclic preloading of piles to minimize (differential) settlements of high-rise buildings” Slovak Journal of Civil Engineering, 2005/3., 1-12. o.
- Brandl, H. „Cyclic preloading of piles and box-shaped deep foundations”, 2010, Moscow, Proceedings of the International Geotechnical Conference, Russia, 2010., 15-28. o.
- Calzón, J.M., Navarro, M.G. „Torre Espacio. Building Structure.” Hornigón y Acero, Vol. 59, n° 249, pp. 19-43., 2008.
- Eslami, A., Veiskarami, M., Eslami, M.M. „Study on optimized piled-raft foundations (PRF) performance with connected and non-connected pile-three case histories” International Journal of Civil Engineering, 2012., Vol. 10, No. 2., 100-111.
- Katzenbach, R., Bachmann, G., Boled-Mekasha, G., Ramm, H. „Combined pile raft foundations (CPRF): an appropriate solution for the foundations of high-rise buildings” Slovak Journal of Civil Engineering, 2005/3., 19-29. o.
- Kálmán E. „Nyugalmi feszültségállapot meghatározása a túlkonzolidált kiscelli agyagban” - PhD értekezés, 2012.
- Poulos, H. G. „Tall Building Foundation Design” CRC Press, USA, 2017. <https://doi.org/10.1201/9781315156071>
- Ray, R., Scharle P., Szepesházi R. „Numerikus modellezés a geotechnikai tervezési gyakorlatban” Geotechnika 2009. ISSMGE-MMK, Ráckeve – konferencia kiadvány, 2010.

- Schweiger, H.F. „Finite element analysis of deep foundations and tunnels – practical applications” Alert Workshop 2010 – Session Engineering Geotechniques, Aussois, 2010.
- Taranath, B.S. „Reinforced Concrete Design of Tall Buildings” CRC Press, USA, 2010.
- Taranath, B.S. „Structural Analysis and Design of Tall Buildings – Steel and Composite Construction” CRC Press, USA, 2012.
- Temprano, P.J.B., Castilla, C.H., Vinals, J.I., „Torre de Cristal. Structural Design for a High-Rise Building.” Hormigón y Acero, Vol. 59, n° 249, pp. 71-87., 2008.
- Tschuchnigg, F. „Optimization of a deep foundation with diaphragm wall panels employing 3D FE analysis”, Proceedings 21st EYGEC Rotterdam, 2011. pp. 47-53.

Kanizsár Szilárd (1973) okl. építőmérnök (BME, 1997), okl. szerkezetépítő szakmérnök (BME, 2004), okl. mérnök-közgazdász (BKE, 2002), tartószerkezeti és geotechnikai tervező és szakértő, az osztrák PORR Konzern magyarországi cégének főmérnöke. PhD kutatási területe a budapesti toronyházak alapozásának témaköre (Széchenyi István Egyetem, Győr)

BUILDING FOUNDATION AND CONSTRUCTION DESIGN

Szilárd Kanizsár

The design of tall buildings is a lesser-known field for engineers practicing in Hungary. The aim of this paper is to give a general overview from both geotechnical and structural design perspectives. After defining the characteristics of tall buildings, some code regulations, structural aspects and architectural proportions are discussed. Additionally, the more demanding strength characteristics for structural materials and the world-wide progress in using those materials are presented. Configurations for tall building systems are summarized with respect to function and practical design considerations. Features of the most commonly used technical solutions for foundations are illustrated from international projects similar in size and scope to Budapest. Special considerations for foundations in Budapest's soil conditions are also presented. Finally some conclusions about the most feasible design concepts for conditions in Budapest are given.