



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Geotechnikai Tanszék

PhD tézisek

Nyugalmi feszültségállapot meghatározása a túlkonzolidált kiscelli agyagban

Horváth-Kálmán Eszter
okl. építőmérnök

Tudományos vezető:
Dr. Farkas József
egyetemi tanár

Budapest
2012. május

1 Bevezetés, problémafelvetés

A földalatti terek kihasználásának szükségessége a nagyvárosok gyors ütemű fejlődésével együtt növekedett az elmúlt évszázadban és növekedésének üteme napjainkban egyre gyorsul. A földalatti terek beépítésével együtt kezelendő a talaj és közetrétegek egyre szélesebb körű feltárása, megismerése. Világszerte tárnak fel és kutatják a túlkonszolidált talajok viselkedését, a benne épült szerkezetekre gyakorolt hatásait. A probléma kutatását indokolta, hogy a túlkonszolidált talaj és közetrétegekben kialakult jelentős vízszintes feszültség aránytalanul nagy vízszintes irányú többletterhelést okozhat a szerkezetekre.

Budapest alatt nagy kiterjedésben **kiscelli agyag** található. A város folyamatos fejlődésével, jelentős műtárgyak ebben a rétegben épültek meg és feltehetőleg a jövőben is számos létesítmény kerül megépítésre ezen rétegben. A kiscelli agyag az egyik legjobban megkutatott talajréteg, geotechnikai tulajdonságai az egyik legjobban ismertek. A kiscelli agyag geotechnikai és közetfizikai tulajdonságainak meghatározást nem végeztem a kutatásom során.

A kiscelli agyag földtörténeti kialakulás, keletkezése majd geológiai története, továbbá a kutatások és építkezések során tapasztalt viselkedését tanulmányozva, az a kérdés merült fel, hogy lehetséges-e, hogy a kiscelli agyag túlkonszolidált, amelynek következményei lehetnek a tervezés és kivitelezés folyamatára, mivel merőben más „in-situ” feszültség állapotú kőzet környezetet jelent, mint ahogyan azt korábban feltételezték.

A nagyvárosok egyre bővülő földalatti vasúthálózatai és egyre nagyobb befogadóképességgel bíró mélygarázsai indokolták és indokolják a mai napig a mélyebben fekvő talaj/közetrétegek minél szélesebb körű megismerését.

A földalatti terek- legyen az mélygarázs, metró, közúti alagút, bevásárlóközpont vagy akár sportlétesítmény- hasznosításának biztonsági követelményei egyre szigorúbbak. A megépített szerkezetekkel szemben támasztott követelmények pedig a biztonsági követelmények szigorodásával együtt egyre magasabbak.

Az egyre magasabb követelmények közé tartoznak például a szerkezet teljes merevsége, vízzárósága. E követelmények napjainkban már alapvető előírások a földalatti létesítményekkel szemben.

Annak elérése céljából, hogy a szigorodó biztonsági követelményeket be lehessen tartani a kivitelezés során nélkülözhetlenné vált a leendő földalatti szerkezetet körülvevő talaj/közetréteg lehető legalaposabb megismerése, feltárása.

E folyamatnak köszönhetjük, hogy számos nagyvárosban fény derült arra a tényre, hogy a város alatt mélyebben elterülő talaj/közetréteg túlkonszolidált.

Az 1. táblázat mutatja világszerte feltárt túlkonszolidált talaj/közetrétegek közül néhányat a hozzájuk tartozó túlkonszolidáltsági együttható és nyugalmi földnyomás érték feltüntetésével.

1. táblázat: Túlkonsolidált kőzetek

| Talaj megnevezése | Belső súrlódási szög ϕ | Túlkonsolidáltság OCR | Normálisan konsolidált K_0 | Túlkonsolidált λ_0 | Referencia |
|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------------|----------------------------|---------------------|
| London Clay | 20 | 44 | 0,65 | 2,4 | Parry & Nadarajah |
| London Clay | 17,5 | 32 | 0,66 | 1,9 | Abdelhamid & Krizek |
| Weald Clay | 26,2 | 8,6 | 0,58 | 1,5 | Skempton & Sowa |
| Bearpaw Shale | 15,5 | 32 | 0,7 | 1,8 | Brooker & Ireland |
| Drammen Clay | 30,7 | 50 | 0,49 | 3,6 | Brown |
| New York Varved Clay | 20,9 | 20 | 0,67 | 2,0 | Leathers & Ladd |
| Hackensack Valley Varved Clay | 19 | 4,1 | 0,65 | 1,0 | Saxena |
| Seattle Clay | 28,8 | 8,4 | 0,65 | 1,8 | Sherif & Strazer |
| Hokkaido Clay | 36,2 | 10,7 | 0,45 | 1,8 | Mitachi & Kitago |
| Porthmouth Clay | 32 | 8 | 0,47 | 1,4 | Simon et al. |
| Boston Blue Clay | 26,8 | 8 | 0,54 | 1,4 | Kinner & Ladd |
| Chicago Clay | 26,3 | 32 | 0,46 | 2,1 | Brooker & Ireland |
| Bombay Clay | 24 | 24,4 | 0,63 | 2,3 | Kulkarni |
| Moose River Muskeg | 47,7 | 13,6 | 0,3 | 2,1 | Adams |
| Simple Clay | 23,1 | 24 | 0,61 | 2,1 | Ladd |
| New England Marine Clay | 32 | 16 | 0,5 | 2,2 | Ladd |
| Newfield Clay | 28,6 | 20 | 0,5 | 2,1 | Singh |

A Budapesti Műszaki Egyetemen végzett laboratóriumi vizsgálatok mutattak rá, 1999-ben először arra, hogy előfordulhat, hogy a kiscelli agyag túlkonsolidált. A laboratóriumi mérési eredmények (tixiális, kompressziós vizsgálatok) adatiból jól érzékelhetőek voltak a magmintákban „bennmaradó ősfeszültségek”, vagyis a geológiai időkben történt nagymértékű geológiai erózió lepusztulás miatt bekövetkező teher-mentesítődés. A lepusztulás után „bennmaradó ősfeszültségek” a világ számos helyén ismeretesek, a legkülönbözőbb geológiai formációkban, pl. a skandináv ősmasszívum gránit tömbjében, vagy Izland szigetén, ahol is a jégkorszaki nagy vastagságú jégtakaró terhelése majd elolvadás hagyott, okozott jelentős „bennmaradó ősfeszültséget”.

2 Az értekezés témája és célkitűzései

A túlkonszolidált talajok és kőzetek esetében a túlkonszolidáltság mértékének és a vízszintes feszültségek meghatározásának céljából végzett laboratóriumi kísérletek száma meglehetősen korlátozott. Valós eredményt csak speciális triaxiális és ödométeres vizsgálatok elvégzésével kaphatunk. Ennek oka pontosan a talaj túlkonszolidáltságából ered.

A túlkonszolidált rétegből vett minta a mintavételezés pillanatától kezdve expandál. Az expanziós folyamatot csökkenteni lehetséges, de teljes mértékben nem lehet kizárni. Ebből következik, hogy a túlkonszolidált rétegből vett mintákon elvégzett laboratóriumi vizsgálattal nem lehet kimérni sem a túlkonszolidáltság pontos mértékét sem pedig a vízszintes feszültség pontos értékét.

Kutatásom során a kiscelli agyag természetes, nyugalmi vízszintes és függőleges feszültségeinek meghatározását tűztem ki célul.

A vízszintes és a függőleges feszültségek meghatározására a helyszíni, „in-situ” mérések a legalkalmasabbak, mivel ezek a mérések zavarják meg a lehető legkevésbé a vizsgált talajréteg eredeti feszültségi állapotát.

Kutatás során áttekintettem a világ szakirodalmában a hasonló tulajdonságokkal bíró talajrétegekben végzett feszültségmérési vizsgálatok eredményeit, áttanulmányoztam az adott kőzetrétegek viselkedését az elvégzett vizsgálatok alapján. Majd kiválasztottam a kitűzött céloom, azaz a kiscelli agyag természetes, nyugalmi vízszintes és függőleges feszültségeinek meghatározására legalkalmasabb vizsgálatokat. Ennek ismeretében 3 különböző helyszíni vizsgálatot végeztem, *földnyomás mérő cellás feszültségmérés, Borehole cellás feszültségmérés, Selfboring Presszióméteres feszültségmérés*, melyek eredményeit feldolgoztam.

Az értekezésem célja a kiscelli agyag túlkonszolidáltságának vizsgálata, a túlkonszolidáltság mértékéből adódó vízszintes feszültség meghatározása. Az értekezésem során az alábbi kérdésekre kerestem a választ:

- I. A kiscelli agyag túlkonszolidáltságának mértéke.**
- II. A nyugalmi vízszintes feszültség meghatározása.**
- III. A vízszintes síkban mérhető feszültségek meghatározása.**
- IV. A talajréteg megzavarását követően mennyi idő szükséges az új stabil feszültségállapot kialakulásához.**
- V. A nyugalmi földnyomás szorzó értékének meghatározása.**

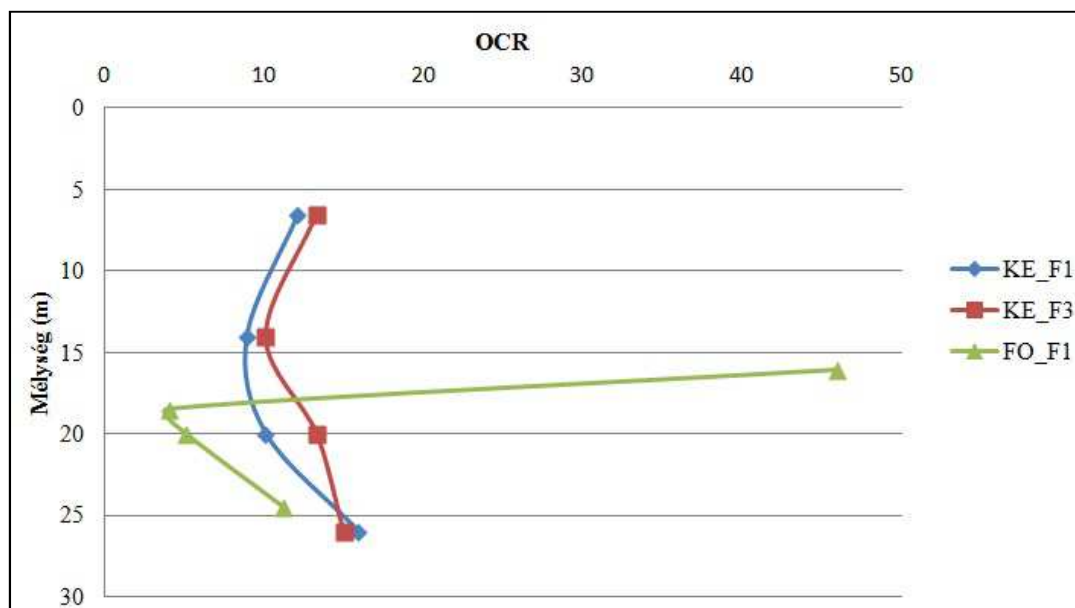
3 Kutatási eredmények összefoglalása

Kutatásom során több mint két éven keresztül végeztem helyszíni méréseket, hogy megállapítsam a kiscelli agyagban az előterhelés okozta túlkonzolidáltsági szintet és az ebből következő vízszintes feszültség értékét.

A méréseket három különböző technikával, helyszíni mérőeszközzel végeztem. A használt helyszíni mérőeszközöket a nyugalmi földnyomás meghatározása céljából, a lehető legminimálisabb megzavarás mellett helyeztem el. A mérési adatokat folyamatosan dolgoztam fel.

I. A kiscelli agyag túlkonzolidáltságának mértékének meghatározására folytatott méréseimmel megállapítottam, hogy a kiscelli agyag a leülepedését követően közel 400 méter vastag takaróréteg alatt konszolidálódott, fejlődött ki jelenleg ismert állapotára. A túlkonzolidáltság mértékének meghatározása céljából méréseket végeztem a borehole cella beépítésével több, mint két éven keresztül. Majd Selfboring Pressuremeter vizsgálatok eredményét feldolgozva további 3 helyszínen minden esetben 4 mélységben, melyel meghatároztam az OCR értékét.

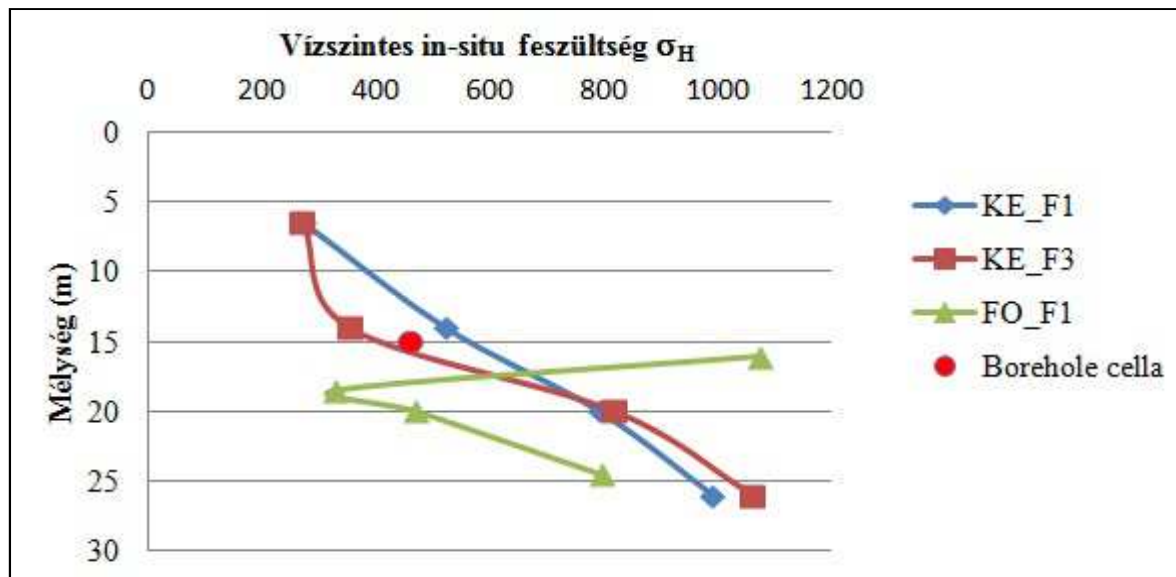
A kiscelli agyagmárga jelentősen túlkonzolidált, túlkonzolidáltságának mértéke 10 és 16 között változik a mélység függvényében. (1. ábra)



1. ábra OCR értéke a mélység függvényében

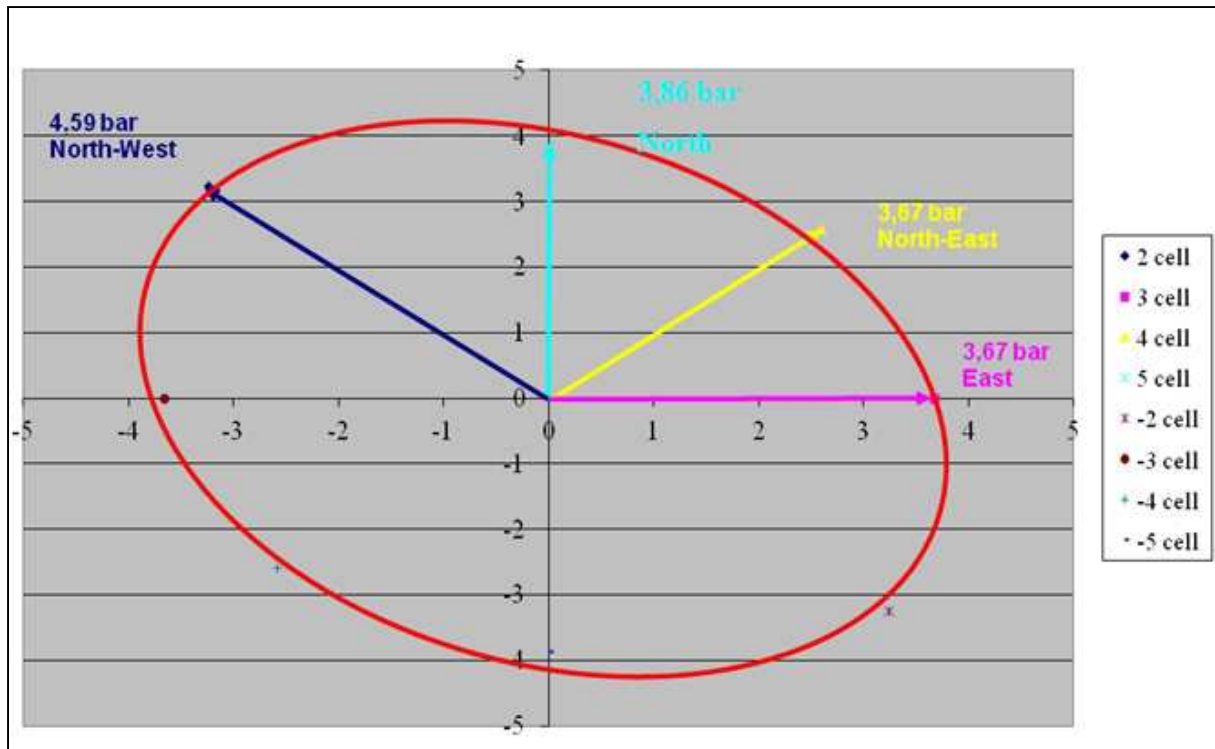
II. A nyugalmi vízszintes feszültség meghatározására a borehole cellával végzett több mint két éves mérésorozat és a Selfboring Pressuremeterrel végzett mérések eredményeit használtam fel. A borehole cella eredményeit idő-nyomás grafikonon ábrázoltam. Megállapítottam, hogy a nyugalmi vízszintes feszültség értékei ellipszis mentén változnak, a mértékadó feszültség a kiscelli agyag ép köztömegzónájában **4,62 bar**, azaz **462 kPa**.

A Selfboring Pressuremeterrel történt mérések eredményeként megállapítottam, hogy a nyugalmi vízszintes feszültség értéke **270 és 1100 kPa** között változik a mélység függvényében.



2. ábra Vízszintes feszültség értéke a mélység függvényében

III. Egy adott mélységben eltérő irányban mért feszültségértékek alakulása. Egy adott mélységhez tartozó vízszintes metszet 4 irányban történtek mérések a feszültség meghatározása céljából. Egy tetszőleges metszet/sík 4 különböző irányában mért feszültségértékeknek egy ellipszisen kell lenniük. A kutatásom során a térszín alatti 15 méteres mélységben végeztem méréseket 4 különböző irányban. A négy irányban elhelyezett mérőeszköz 45°-os eltérésekkel regisztrálta a feszültség értékét, égtájhoz rendelve: észak-dél, északkelet-délnyugat, kelet-nyugat és délkelet-északnyugat. A mérések alátámasztották, hogy egy metszet 4 eltérő irányában meghatározott feszültségek értékei egy ellipszisen helyezkednek el. Az általam mért vízszintes metszethez tartozó feszültségek értékei egy ellipszisen helyezkednek el, mely ellipszisnek a nagytengelye északnyugati irányítottágú. (8.3 ábra) Abban az esetben, ha a függőleges feszültségértéket is ábrázoljuk, feszültség-ellipsoidról beszélhetünk, melynek nagytengelye, azaz főiránya északnyugati. **A Selfboring Pressuremeterrel végzett vizsgálat sorozat mérési eredményei is hasonló eredményt hoztak, alátámasztva a megállapításomat.**

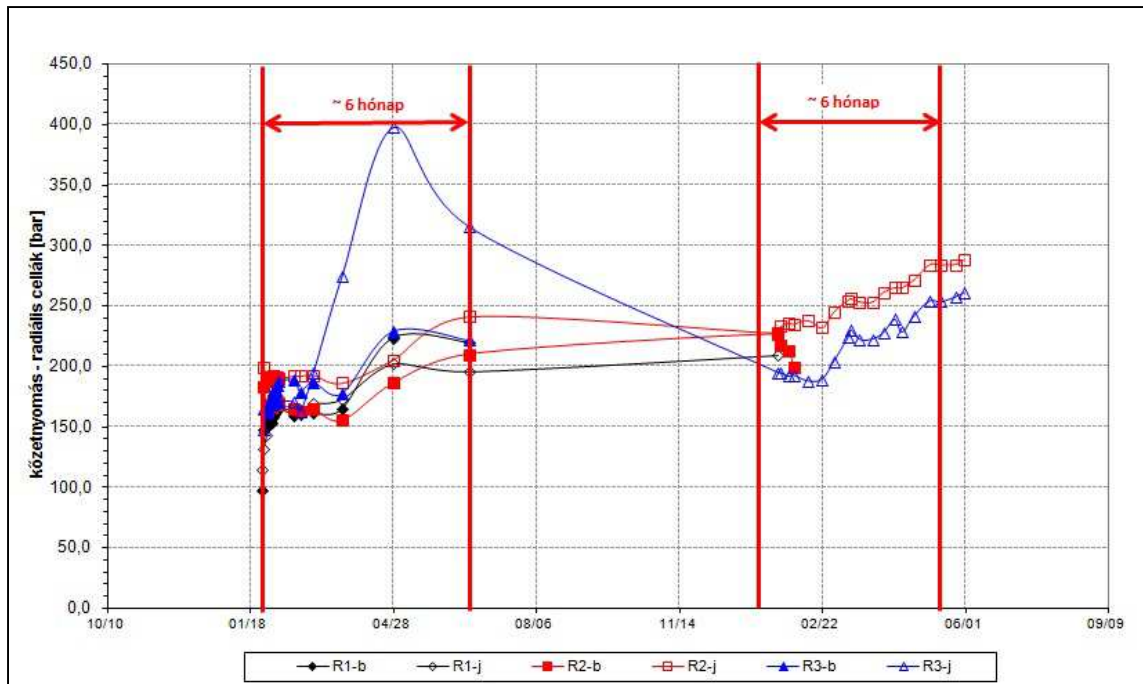


3. ábra Vízszintes irányú feszültség-ellipszis

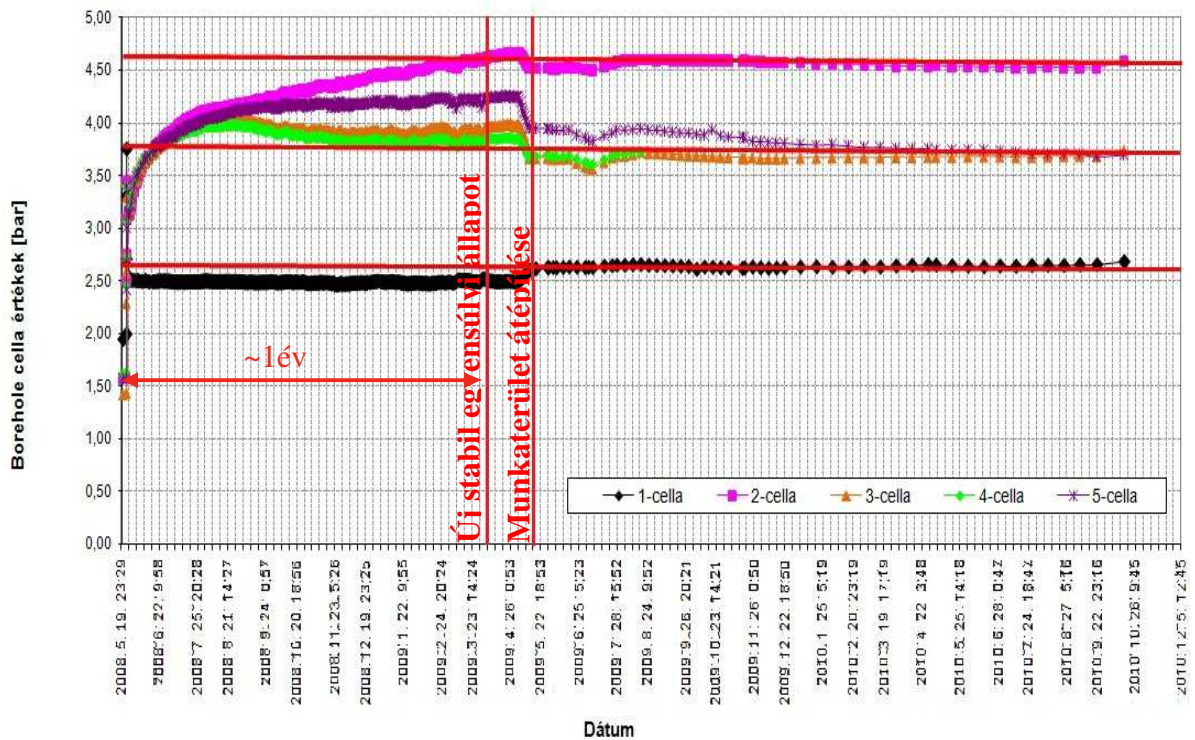
IV. Megvizsgáltam, hogy *a talajréteg megzavarását követően mennyi idő szükséges az új stabil feszültségállapot kialakulásához.* A vizsgálatot a földnyomás mérő cellák beépítésével végeztem, majd a Borehole cellával végzett hosszú távú mérési sorozatból kapott eredményeket is feldolgoztam.

Abban az esetben, ha a kőzetkörnyezet vízszintes elmozdulása megengedett, azaz nincsen meggátolva, akkor a kőzetkörnyezetben már nem beszélhetünk nyugalmi földnyomásról, feszültségről. Ez esetben a kőzetkörnyezetben a megzavarást- esetemben alagúti üregnyitást- követően terciér feszültségállapot, azaz új stabil feszültségállapot fog kialakulni. A földnyomás mérő cellák által mért eredményeket idő-nyomás grafikonon ábrázoltam, mely grafikonról megállapítottam, *hogy a kőzetkörnyezet az alagúti üregnyitást követően 6 hónappal érte el a terciér, az új stabil feszültségállapotot.* (4. ábra)

Abban az esetben, ha a kőzetkörnyezet mindenfajta vízszintes elmozdulása gátolva van, azaz nincs lehetősége a kőzetkörnyezetnek elmozdulni, a megzavarást követően a nyugalmi feszültségállapot és az abból származó vízszintes feszültség terheli a szerkezetet. A borehole cellával folytatott vizsgálatommal ezt az állapotot vizsgáltam. A vizsgálat eredményeit idő-nyomás grafikonon ábrázoltam. A mérés eredményeként megállapítom, hogy a vízszintes elmozdulással nem járó megzavarást követően 1 évre van szükség, hogy a kőzetkörnyezetben felépüljön újra a vízszintes nyugalmi feszültség értéke. *Azaz 1 évvel a megzavarást követően a szerkezetet a vízszintes nyugalmi feszültség terheli.* (5. ábra)



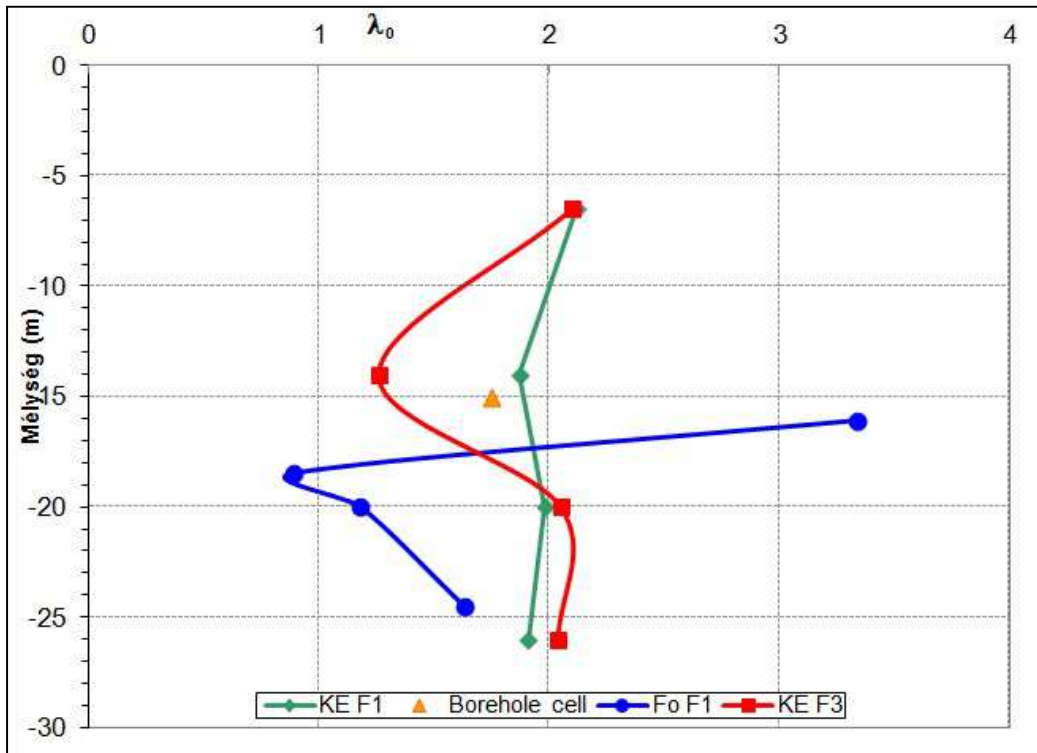
4. ábra Kőzetnyomás mérések- Radiális és tangenciális irányban



5. ábra Borehole cellából származó idő- nyomás grafikon

V. A nyugalmi földnyomás szorzó értékének meghatározásához a borehole cella által és a Selfboring Pressuremeter által mért eredményeket használtam fel. A vizsgálat során nem csak a nyugalmi földnyomás szorzó értékét határoztam meg, hanem a mélységbeli alakulását is vizsgáltam.

Megállapítottam, *hogy a kiscelli agyagban a nyugalmi földnyomás szorzó értéke 1,2 és 2,5 között a mélység függvényében változik.* (6.ábra)



6. ábra Nyugalmi földnyomás szorzó értéke a mélység függvényében

4 Új tudományos eredmények

A megfogalmazott új tudományos eredményeket 6 tézisben foglaltam össze. A megállapításaimat tartalmazó publikációimat [szögletes zárójelben] adom meg.

1. TÉZIS: TÚLKONZOLIDÁLTSAÉG MÉRTÉKE

Mérésekkel meghatároztam a túlkonzolidáltság mértékét a kiscelli agyagban, melynek értéke a mélységgel változik. A kiscelli agyagot közel 400 méter vastag takaróréteg fedte, mely az erózió hatásának következtében lepusztult. Megállapításom alapján, *a kiscelli agyagban mért túlkonzolidáltság foka, $10 < OCR < 16$, a mélység függvényében változik.* A kiscelli agyag erősen túlkonzolidált. [5][7]

2. TÉZIS: NYUGALMI VÍZSZINTES FESZÜLTSAÉG ÉRTÉKE

A kiscelli agyagban végzett kísérleteim alapján megállapítom, hogy a nyugalmi vízszintes földnyomás értéke 270 és 1100 kPa között változik a mélység függvényében. *A nyugalmi vízszintes feszültség értéke nem határozható meg klasszikus talajmechanikai számítási módszerekkel.* Értéke túlkonzolidált kőzetekre vonatkozó számítási eljárással is csak erősen közelítő eredményt ad. Meghatározásának megfelelő módja a helyszíni vizsgálat, mérés. [4][7][8]

3. TÉZIS: A NYUGALMI VÍZSZINTES FESZÜLTSAÉG IRÁNYÍTOTTSÁG

A kiscelli agyagban végzett méréseim alapján megállapítom, hogy egy metszet 4 eltérő irányában meghatározott feszültségek értékei egy ellipszisen helyezkednek el. Az általam mért vízszintes metszethez tartozó feszültségek értékei egy ellipszisen helyezkednek el, mely ellipszisnek a nagytengelye *északnyugati irányítottságú.* [5][6][8]

4. TÉZIS: A VÍZSZINTES FESZÜLTSAÉG ÉRTÉKE AZ IDŐ FÜGGVÉNYÉBEN

A vízszintes feszültség értékének változását vizsgáló mérési sorozataim során megállapítottam, hogy a kiscelli agyagban eltérő idő szükséges a vízszintes feszültségek értékének kialakulásához abban az esetben, ha a kőzetrétegben okozott megzavarás vízszintes mozgást lehetővé tesz vagy a vízszintes mozgás teljesen mértékben gátolva van.

4.1 ALTÉZIS: Amikor a kőzetréteg megzavarása *lehetővé teszi a vízszintes irányú elmozdulások kialakulását,* abban az esetben nem beszélhetünk nyugalmi vízszintes feszültség kialakulásáról, *tercier, azaz új stabil egyensúlyi állapot alakul ki.* A méréssel igazoltam, hogy a terciér feszültségállapot kialakulásához a kőzetréteg megzavarását követően mintegy, kb. 6 hónapra van szükség.[3][5]

4.2 ALTÉZIS: Amikor a kőzetréteg megzavarása *nem teszi lehetővé a vízszintes irányú elmozdulások kialakulását,* abban az esetben a *nyugalmi vízszintes feszültségek épülnek fel* és terhelik a megépített merev szerkezetet. A méréssel igazoltam, hogy a nyugalmi feszültségállapot visszaépüléséhez a kőzetréteg megzavarását követően mintegy, kb. 12 hónapra, azaz 1 évre van szükség.[4][6]

5. TÉZIS: NYUGALMI FÖLDNYOMÁSSZORZÓ ÉRTÉKE

A kutatásom során végzett mérések eredményeinek feldolgozását követően megállapítottam a kiscelli agyagban a vízszintes és a függőleges feszültségek értékét. Majd a vízszintes és függőleges feszültségek értékének helyszíni vizsgálatokkal, mérésekkel történő meghatározását követően meghatároztam *a kiscelli agyagban a nyugalmi földnyomásszorzó értéke, mely 1,2 és 2,5 között a mélység függvényében változik.*[6][7][8]

5 Eredmények alkalmazhatósága

Mérésekkel alátámasztott megállapításaim iránymutatást jelentenek a kiscelli agyagmárgába épített szerkezetek tervezéséhez és a kivitelezéshez. Felhívja a figyelmet a túlkonsolidált kőzetrétegek viselkedésére, a vízszintes feszültségek helyszíni mérésekkel történő meghatározására.

Kutatásom eredményeképpen kapott új tudományos eredmények lehetővé teszik a kiscelli agyagmárgában tervezett és kivitelezett szerkezetek biztonságos, gazdaságosabb megvalósítását.

6 Jövőbeli kutatási javaslat

Kutatási eredményeim alapján alábbi kutatási irányokat hozhatnak új tudományos eredményeket:

- túlkonsolidált kőzetekben épített alagutak falazatainak elmozdulásai, alakváltozása
- alagútfalazat méretezési elvének kidolgozása túlkonsolidált kőzetekben, különböző λ_0 értékek figyelembevételével
- túlkonsolidáltság hatása a résfalak elmozdulására, alakváltozására
- résfalak állékonyságának vizsgálata különböző λ_0 értékek feltételezésével

7 Hivatkozások

1. Balogh K. (1991): „*Szedimentológia I. kötet*”, Akadémiai kiadó, Budapest, Magyarország
2. Bubics I.- Dr Greschik Gy. (1978): „*A Budapesti metróépítés földtani eredményei*”, Mérnökgeológiai szemle 21., A Magyarhoni Földtani Társulat Mérnökgeológia-Építésföldtani Szakosztályának időszakos kiadványa, 1978.05., Magyarhoni Földtani Társulat, Budapest, Magyarország
3. Bubics I. (1974): „*A megkutatót és feltárt „METRÓ” nyomvonalak és általuk közrefogott terület földtani értékelése*”, Országos Földtani Kutató és Fúró Vállalat, Várpalota, Magyarország
4. Dr Wein Gy. (1977): „*A Budai-hegység tektonikája*”, Budapest, Magyarország
5. Terzaghi v. K. (1943): „*Theoretical Soil Mechanics*”, John Wiley and Sons, Inc., New York, USA
6. Dr Jáky J. (1935): „*A klasszikus földnyomáselmélet*”, Egyetemi Nyomda, Budapest, Magyarország
7. Dr Jáky J. (1944): „*Talajmechanika*”, Egyetemi Nyomda, Budapest, Magyarország
8. Dr Jáky J. (1948): „*New theory of earth pressure*”, Proceedings of the 2nd ICSMFE, Rotterdam, Hollandia
9. Dr Széchy K. (1961): „*Alagútépítéstan*”, Tankönyvkiadó, Budapest, Magyarország
10. Dr Szepesházy R. (2007): „*A talajok in-situ feszültségi állapota*”, Miskolc, Magyarország
11. Dr Müller M., Dr Petrasovits G. (1982): „*Mintafeladatok a PFMT program alkalmazására IV/B A kiscelli agyagbe épülő hajlékony alagútfalazatok számításához szükséges anyagállandók és azok laboratóriumi meghatározása*”, Budapest
12. R.L. Michalowski (2005): „*Coefficient of Earth Pressure at Rest*”, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE, November 2005
13. Brooker E.W. és Ireland H. O. (1965): „*Earth pressure at rest related to stress history*”, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 2, No. 1, pp 1-15
14. Schmidt B. (1966): „*Lateral stresses in uniaxial strain*”, Buletin, Danish Geotechnical Institute
15. Mayne P. W. és Kulhawy F. H. (1982): „*K₀-OCR Relationships in Soil*”, Journal of the Geotechnical Engineering Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, ASCE, Vol. 108, No. GT6, June 1982
16. Schnaid F. (2009): „*In Situ Testing in Geomechanics*”, Taylor & Francis Group, London, UK and New York, USA
17. Clarke B. G. (1995): „*Pressuremeters in Geotechnical Design*”, Department of Civil Engineering, University of Newcastle upon Tyne, Blackie Academic & Professional, an imprint of Chapman & Hall, Glasgow, UK
18. Geovil Kft & Cambridge Insitu Ltd (2008): Budapest Metro Line 4 Kelenföld Junction Station & Reversing Facility, Additional Site Investigation, Volume 1 and 2
19. Geovil Kft & Cambridge Insitu Ltd (2008): „*Budapest Metro Line 4 Fovam ter Station, Additional Site Investigation*”, Volume 1 and 2
20. Dr Horváth T., Geovil Kft (2005): „*Budapest 4. metróvonal, I. szakasz; Összefoglaló mérnökgeológiai, hidrogeológiai és geotechnikai szakvélemény 2005*”, Kelenföld állomás
21. Dr Horváth T., Geovil Kft (2005): „*Budapest 4. metróvonal, I. szakasz; Összefoglaló mérnökgeológiai, hidrogeológiai és geotechnikai szakvélemény 2005*”, Bocskai út állomás
22. Dr Horváth T., Geovil Kft (2005): „*Budapest 4. metróvonal, I. szakasz; Összefoglaló mérnökgeológiai, hidrogeológiai és geotechnikai szakvélemény 2005*”, Fővám tér állomás

23. Abdelhami M. S., & Krizek R. J. : „*At Rest Lateral Earth Pressures of a Consolidating Clay*”. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 102, No. GT7, July, 1976, pp 721-738
24. Adams J. I.: „*The Engineering Behavior of a Canadian Muskeg*”, Proceedings, 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 1., Montreal, Canada, 1954, pp. 3-7
25. Bellotti R., Formigoni G. and Jamiolkowski M.: „*Remarks on the Effects of Overconsolidation on K_0* ”, Proceedings, Istanbul Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 1, 1976, Istanbul, Turkey, pp. 17-25
26. Brooker E. W. and Ireland H. O.: „*Earth Pressures at Rest Related to Stress History*”, Canadian Geotechnical Journal, National Research Council, Ottawa, Ontario, Vol. 2, No. 1., Feb., 1965, pp. 1-15
27. Kinner E. and Ladd C. C., „*Undrained Bearing Capacity of Footing on Clay*”, Proceedings, 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 1. Moscow, U.S.S.R., 1973, pp. 209-215
28. Kulkarni R., „*Effect of Structure on Properties of Marine Clay*”, Proceedings, 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 1. Moscow, U.S.S.R., 1973, pp. 217-220
29. Ladd C. C., „*Stress-Strain Behavior of Saturated Clay and Basic Strength Principles*”, Rept. R64-17. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass., Apr., 1964
30. Ladd C. C., „*Laboratory Determination of Soil Parameters for Excavation and Shallow Foundations*”, ASCE Proceedings Specialty Conference, Field and Laboratory Determinations of Soil Parameters, National Capital Section, Washington D. C., 1976
31. Mitachi T., Kitago S., „*Change in Undrained Strength Characteristics of a Saturated Remolded Clay due to Swelling*”, Soils and Foundations, Vol. 16, No. 1, Mar., 1976, pp. 45-58
32. Leathers F. D. and Ladd C. C.: „*Behavior of an Embankment on New York Varved Clay*”, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 15, No. 2, May, 1978, pp. 250-268
33. Parry R. H. G. and Nadarajah V.: „*Observations of Laboratory Prepared Lightly-Overconsolidated Specimens of Kaolin*”, Geotechnique, Vol. 24, No. 3, 1973, pp- 345-358
34. Saxena S., Hedberg J. and Ladd C. C.: „*Geotechnical Properties of Hackensack Valley Varved Clays of N. J.*”, ASTM Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 1, No.3, Sept., 1978, pp 148-161
35. Sherif M. A. and Strazzer R. J.: „*Soil Parameters for Design of Mr Baker Bridge tunnel in Seattle*”, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 99, No. SMI, Jan., 1973, pp 111-122
36. Simon R. M., Christian J. T. and Ladd C. C.: „*Analysis of Undrained Behavior of Loads on Clays*”, ASCE Proceedings, Analysis and Design in Geotechnical Engineering, Vol. 2, University of Texas, Austin, Tex., June, 1974, pp. 51-84
37. Singh H.: „*The Behavior of Normally Consolidated and Heavily Overconsolidated Clays at Low Effective Stresses*”, thesis presented to Cornell University, at Ithaca, N. Y., in 1971, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy
38. Skempton A. W. and Sowa V. A.: „*The Behavior of Saturated Clays During Sampling and Testing*”, Geotechnique, Institute of Civil Engineers, London, England, Vol. 13, No. 4., 1963, pp. 269-290

Felhasznált elektronikus irodalom

1. www.en.wikipedia.org/wiki/Karl_von_Terzaghi
2. www.hu.wikipedia.org/wiki/Jáky_József
3. World Stress Map:
http://dc-app3-14.gfz-potsdam.de/pub/introduction/introduction_frame.html
4. www.mafi.hu

Az értekezés témájában írt publikációk

2007

[1] Kálmán E.: „*Mérési tapasztalatok a Budapest 4. metró Bocskai úti állomás szellőzőalagút építésénél*”, Józsa J. (szerk.): Doktori kutatások a BME Építőmérnöki Karán 2007, Budapest, pp

[2] Kálmán E.: „*Mérési tapasztalatok a Budapest 4. metró Bocskai úti állomás szellőző alagút építésénél*”, Mélyépítő Tükörkép Magazin, Vol. 5/2007, pp

[3] Kálmán E.: „*Geotechnical monitoring of the tunnel constructed in Kiscelli clay in Budapest*”, Proceedings of The 2nd Symposium of Underground Excavations for Transportation, pp. 509-516, 2007, Istanbul, Törökország

2008

[4] Kálmán E.: „*Determination of the earth pressure at rest in situ in overconsolidated clay*”, Proceedings of World Tunnel Congress pp. 391-397, 2008, Agra, India

2009

[5] Kálmán E.: „*Determination of the coefficient of the earth pressure at rest in overconsolidated clay*”, Proceedings of 9th International Conference on Tunnel Construction and Underground Structures pp. 99-104, 2009, Ljubliana, Szlovénia

2012

[6] Kalman E.: „*In-situ measurements in overconsolidated clay: Earth Pressure at rest*”, Periodica Polytechnica Civil Engineering, 2012

[7] Kalman E.: „*In-situ determination of the earth pressure at rest in overconsolidated clay*”, RMZ Materials and Geoenvironment journal, Vol. 59, No.1., 2012

[8] Kálmán E.: „*Helyszíni kőzetfeszültség mérési eredmények a túlkonzolidált Kiscelli Agyag Formációban*”, Magyar Földtani Közlöny, 2012, 142. évf. 1. szám

További publikációk

[a] Kálmán E.: „*Metro Line 4 Construction in Budapest*”, Tunnels & Tunnelling, 2009, Vol. 4 pp. 28-30

[b] Kálmán E.: „*New metro line construction in Budapest*”, Proceedings of 9th International Conference on Tunnel Construction and Underground Structures pp. 191-196, 2009, Ljubliana, Szlovénia