

## Helyszíni kőzetszűltés mérési eredmények a túlkonzolidált Kiscelli Agvag Formációban

KÁLMÁN Eszter

info@canterburyea.com

### *In situ measurements in the overconsolidated Kiscell Clay*

#### Abstract

This study presents a general genesis process with respect to overconsolidated soils, and also examines the effects of the overconsolidated ratio to structures. It demonstrates the possible methods for the determination of the values of the overconsolidated ratio and of earth pressure at rest. The final part of the study considers the processing of the measurement results used to determine the values of OCR (Overconsolidated ratio) and of  $\lambda_0$  (Earth pressure at rest) in the Kiscelli Clay Marl.

*Keywords: overconsolidated clay, overconsolidated ratio, earth pressure cell, borehole cell, SBP – self-boring pressuremeter*

#### Összefoglalás

A cikk bemutatja a túlkonzolidált képződmények keletkezését és a túlkonzolidáltság szerkezetekre gyakorolt hatásait. Összefoglalja a túlkonzolidáltsági és a nyugalmi földnyomásérték meghatározásának lehetséges módjait, nyomásmérő cellás mérést, a fűrólyukba helyezett nyomásmérő (borehole) cellás mérést és az önbefűró pressziométeres mérést. Ezen eredmények felhasználásával a Kiscelli Agvag Formációban a túlkonzolidáltsági viszonyszám, OCR (Overconsolidation ratio) és a nyugalmi földnyomási szorzó,  $\lambda_0$  (Earth pressure at rest) értékeinek meghatározását mutatja be a tanulmány.

*Tárgyszavak: túlkonzolidált agvag, OCR – túlkonzolidáltsági fok, nyomásmérő cella, fűrólyukba helyezett nyomásmérőcella-rendszer, önbefűró pressziométer*

#### Bevezetés

A föld alatti terek kihasználásának kényszerű szükségessége a nagyvárosok gyors ütemű fejlődésével együtt növekedett az elmúlt évszázadban, és növekedésének üteme napjainkban egyre gyorsul. A föld alatti terek beépítésével együtt jár a talaj- és kőzetrétegek egyre szélesebb körű feltárása, megismerése. A túlkonzolidált talaj-<sup>\*</sup> és kőzetrétegekben kialakult jelentős vízszintes feszűltés aránytalanul nagy vízszintes irányú többletterhelést jelent a szerkezetekre.

A nyugalmi feszűltégállapot, más kifejezéssel primer feszűltégállapot a kőzet- és talajmechanikában egyaránt az emberi beavatkozástól mentes feszűltégteret jelenti. (TERZAGHI 1943) Vannak egyszerűsítő feltételezések,

melyeket alkalmaz a talaj- és kőzetmechanika is a könnyebb kezelhetőség érdekében SZÉCHY (1961). Ilyen például az, hogy a kőzettömeg homogén, izotrop és rugalmas. A primer feszűltégállapotot a kőzetek, talajok önsúlyterhelése mellett a tektonikai, szeizmikus, geohidrológiai, kémiai folyamatok összessége hozza létre. A nyugalmi földnyomási szorzó meghatározása jelentős mértékben eltér a klasszikus talajmechanika (JÁKY 1944, 1948) és a klasszikus kőzetmechanika esetében, ezt tükrözi az 1. ábra.

A vízszintes és a függőleges feszűltégek meghatározására a helyszíni, in situ feszűltégmérések a legalkalmasabbak, mivel ezek a mérések zavarják meg a lehető legkevésbé a vizsgált talajréteg eredeti feszűltégi állapotát (MAYNE & KULHAWY 1982).

Világszerte vizsgálják és vizsgálták a túlkonzolidált talajokat, mely vizsgálatok eredményeinek reprezentatív részét az I. táblázat tartalmazza.

<sup>\*</sup>A geotechnikában talajnak neveznek minden a felszínen, vagy a felszínközvetlen telepűlő laza, üledékes kőzetet.



1. ábra. Nyugalmi földnyomási szorzó

Figure 1. Formula of the coefficient of the earth pressure at rest

I. táblázat. Túlkonzolidált kőzetek és talajok

Table I. Overconsolidated clays and rocks

Talaj megnevezése	Belső súrlódási szög $\phi$	Túlkonzolidáltság OCR	Normálisan konszolidált $K_0$ (számított érték)	Túlkonzolidált $\lambda_0$ (mért érték)	Referencia
London Clay	20	44	0,65	2,4	PARRY & NADARAJAH
London Clay	17,5	32	0,66	1,9	ABDELHAMID & KRIZEK
Wald Clay	26,2	8,6	0,58	1,5	SKLEMPTON & 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	LEATHIERS & 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 kutatás során 3 különböző helyszíni vizsgálatssorozatot végeztünk a túlkonzolidáltsági viszonyszám és a nyugalmi földnyomási szorzó meghatározására céljából; földnyomásmérő cellás mérés, fúrólukba helyezett nyomásmérő cellás mérés, önbefúró pressiometriás (SBP — selfboring pressuremeter) mérés (SCHNAID 2009).

### Geológiai környezet

Budapest budai oldalán jelentős területen felszín közeli elhelyezkedésű a Kiscelli Aggyag Formáció.

A kőzetréteg vastagsága általában 50–500 méter között változik, de van olyan terület ahol elérheti az 1000 méteres vastagságot is.

A Kiscelli Aggyag Formáció a paleogén középső-oligocén korszakában lerakódott tengeri üledékes kőzet. A Földközi-tenger ősenek számító Tethys tengerben rakódott le, normálsós vízi körülmények között.

### A Kiscelli Aggyag Formáció geotechnikai jellemzői

A Kiscelli Aggyag Formáció a rátelepülő negyedidőszaki képződmények hatására erősen konszolidálódott.

A Kiscelli Aggyag Formációra települt nagyvastagságú összletek később jelentős mértékben lepusztultak. Ennek a lepusztulásnak eredményeként a Kiscelli Aggyag Formáció függőleges irányban megszabadult a ránehezítő terhe-

II. táblázat. Kiscelli Aggyag Formáció talajfizikai tulajdonságai

Table II. Soil mechanics parameter of the Kiscelli Clay

Talajtípus MSz. 14043-2-1979 EuroCode 7	Térfogatsúly $\gamma$ , [t/m <sup>3</sup> ]	Belső súrlódási szög $\phi$ [°]	Kohézió c [kN/m <sup>2</sup> ]	Összenyomódási modulus E <sub>s</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	Konzisztencia index I <sub>c</sub> [-]	Hézagtényező [-]
Mállott zóna	2,1	20-23	50-100	7-10	>1	0,4-0,68
Repedezett zóna	2,2	25-28	420	15-20	>1,2	0,32-0,4
Expandációs határon túli, ép zóna	2,3	35-50	400-1000		>1,3	0,18-0,32

léstől, és felső rétegei fellazultak, feszültségmentesültek.

A Kiscelli Aggyag Formációt nem tekinthetjük — geotechnikai szempontból — homogén rétegnek, tervezés és kivitelezés során figyelembe kell venni, hogy függőleges irányban jellemzően három jól elkülöníthető zónára tagolható: (II. táblázat) (HORVÁTH 2005a–c)

Mállott zóna: E zónája a Kiscelli Aggyag Formációnak a tehermentesülés során teljesen elvesztette az átmeneti kőzetekre jellemző kőzetekéhez hasonló tulajdonságait, és plasztikus vagy ahhoz nagyon közeli állapotban van.

Repedezett zóna: A repedezett zóna tulajdonságai már az ép zóna tulajdonságaihoz hasonlítanak, már nem figyelhető meg plasztikus tulajdonság. A repedésekkel átszőtt kőzettestek épek, nagy szilárdságúak.

Ép kőzettömeg, expandációs határon túli zóna: A Kiscelli Aggyag Formáció mélyebb rétegében már nem érezhető az erózió hatása, a feszültségmentesülés, így e zóna konzerválta az aggyag eredeti talajfizikai jellemzőit. Természetesen az aggyagrétegre rakódott egykori legnagyobb terhelés, az abból származó maximális konszolidáció is konzerválódott e zónában. Ennek a valaha létezett legnagyobb terhelésnek a hatását nevezzük túlkonszolidáltságnak.

## Alkalmazott helyszíni vizsgálatok

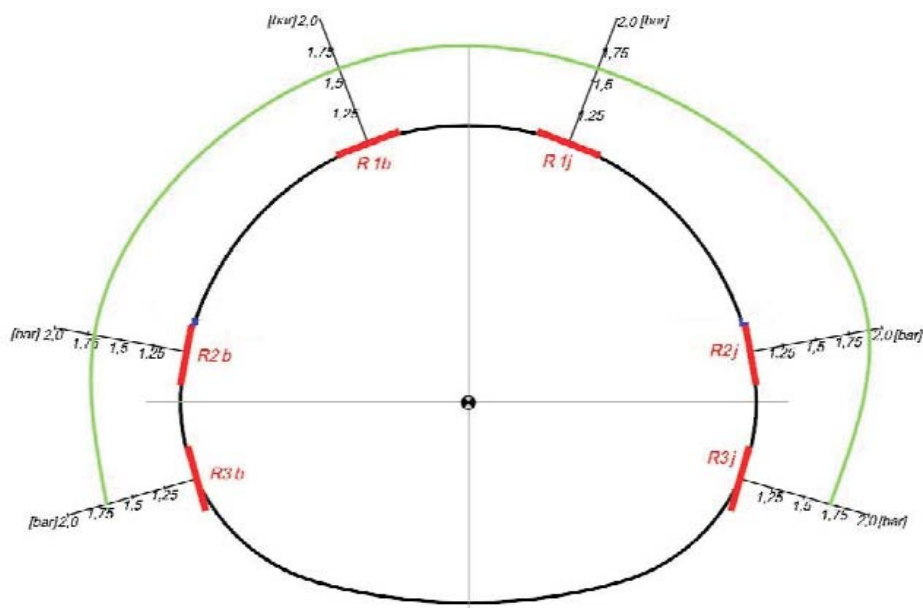
### Nyomásmérő cella

A Kiscelli Aggyagban épülő alagútra ható feszültségek meghatározása céljából földnyomásmérő cellákat építettünk be az épülő Bocskai úti metróállomás szellőző alagútja köré. A vizsgálat során a Glöztl cég által készített radiális cellákat használtunk. Ezen cellák segítségével meghatározhatóvá vált a kőzetkörnyezet által a lövelt-beton-falazatra kifejtett erő értéke. A radiális cellák által mért értékek feldolgozását követően kirajzolódott, hogy az elkészült alagút környezetében a vízszintes és a függőleges feszültségek értéke közel megegyezik (2. ábra). A radiális cellák által mért feszültségértékek az alagútépítést követően kialakuló feszültségátrendeződés miatt és a lövelt-beton-falazat merevsége által jelentős mértékben befolyásoltak, ezért ezen értékek csak közelítő, „gondolatébresztő” eredményeként lettek felhasználva.

### Fúrólukban elhelyezett

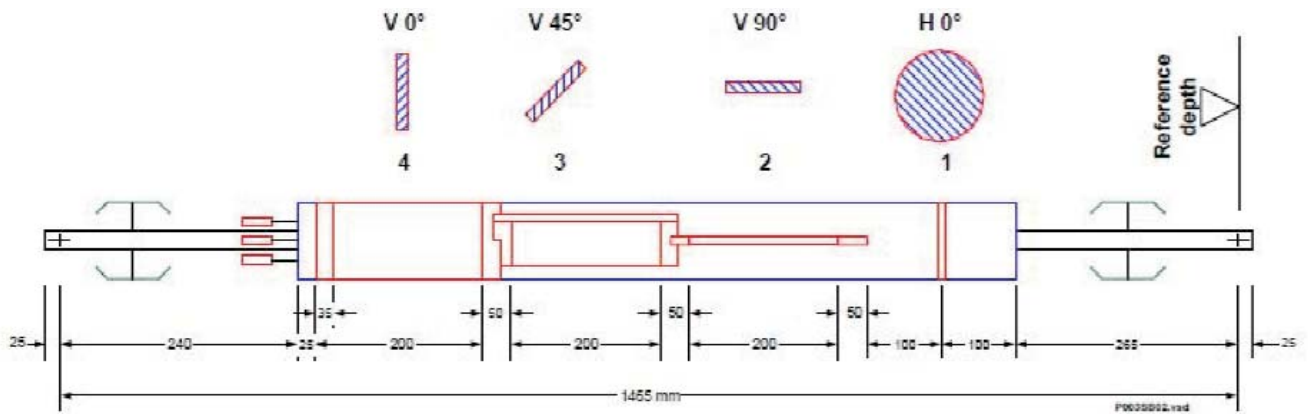
### nyomásmérő cellarendszer (borehole cell)

A kutatás során beépítésre került egy fúrólukba helyezett nyomásmérő cellarendszer, mely egy fúrólukba



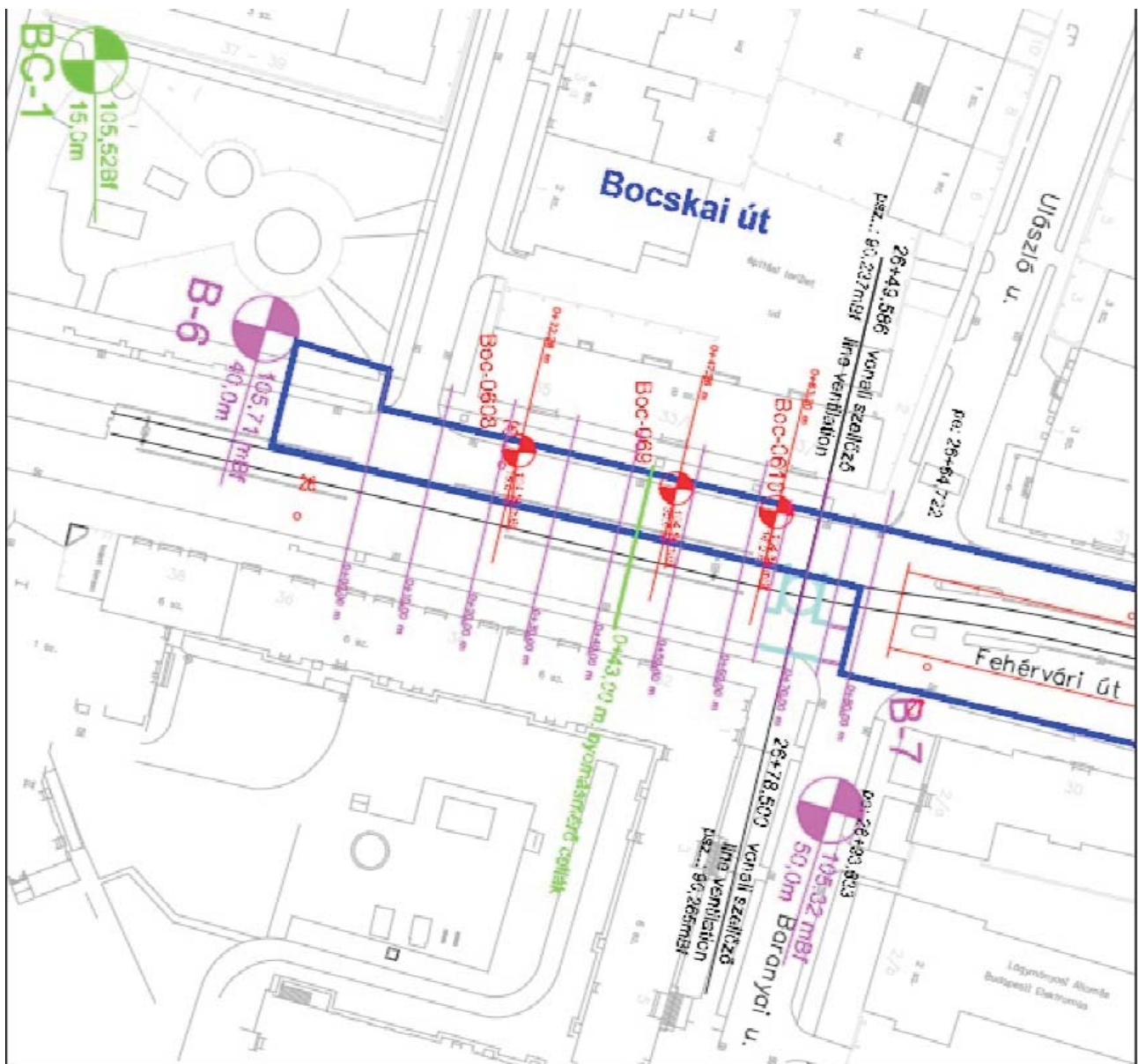
2. ábra. Földnyomás mérő cellák elhelyezési vázlata és a radiális cellák által mért értékek

Figure 2. Places of the earth pressure cells with the measurement results



3. ábra. A fűrlyukba helyezett nyomásmérő cella vázrajza

Figure 3. Borehole cell



4. ábra. A nyomásmérő cellák és a fűrlyukba helyezett nyomásmérő cella elhelyezésének helyszínrajza

Figure 4. The borehole cell and the cross-section of the earth pressure at rest on the siteplan

telepített földnyomásmérő cellarendszer. A fúrólukba helyezett nyomásmérő cella, hasonlóan, mint a nyomásmérő cellák, német gyártmányú, a Glötzl cég készítette (3. ábra).

A fúróluk (borehole) cella elnevezés a beépítésre utal: a cellarendszer fúrólukba kerül beépítésre. A fúrólukba helyezett nyomásmérő cellarendszer egyedi cellák rendszerét jelenti, így összeállításuk mindig az egyedi igényekhez alkalmazkodva történik. Jelen kutatás során használt rendszer egy 5 cellából áll.

A vizsgálat célja a túlkonzolidált Kiscelli Agyagban meghatározni a vízszintes és a függőleges feszültségek értékét. A fúrólukba helyezett nyomásmérő cellarendszer egy feszültségektől mentes területen lett elhelyezve 15 méteres mélységben, figyelve arra, hogy a mérőműszer átlagosnak számító budapesti környezetbe legyen telepítve. E feltételeket figyelembe véve a Bocskai úti metróállomás építésének munkaterületén telepítettük a mérőműszert, melyet BC-1 jellel láttunk el (4. ábra). A beépítés során figyelni kellett arra, hogy a műszer megfelelő távolságban legyen a részfalaktól, melyek nagymértékben befolyásolnák a mérési eredményeket. Előzetes feszültségektől mentesnek tekintettük azon kőzetkörnyezetet, mely egy átlagosnak számító budapesti terület, melynek közvetlen környezetében nincsen mélygarázs vagy bármilyen más feszültségeket módosító ember által alkotott szerkezet. A telepítési mélység az RQD-indexek (kőzettagoltsági index) figyelembevételével került kiválasztásra. A műszer az ép kőzetkörnyezetbe lett elhelyezve.

A fúrólukba helyezett nyomásmérő cellarendszer 2008. május 19-én került beépítésre és megfelelő átépítés és védelem mellett mai napig mér.

Az első 7 hónapban naponta két alkalommal olvastuk le a mérési eredményeket. Az első 7 hónapot követően napi egyre csökkent a leolvasások száma az első év végéig. A második évben tovább lehetett csökkenteni a leolvasások számát heti egy mérésre. A leolvasások gyakorisága a beépítést követő másfél évvel kéthetente egy leolvasásra csökkent.

### Önbefúró pressziométer (selfboring pressuremeter – SBP)

A budapesti önbefúró pressziométeres vizsgálatok a Kiscelli Agyag túlkonzolidáltságának meghatározására irányultak (HORVÁTH & Cambridge Institut Ltd 2008a, b).

Az önbefúró pressziométer esetén a fúróluk elkészítése után nincs lehetősége a kőzetkörnyezetnek az expandációra, mivel a furat folyamatosan meg van támasztva a mérés végéig. Ezzel az eszközzel minden esetben a valós in situ feszültségeket tudjuk meghatározni.

A SBP egy speciális szerkezet, mely ötvözi a fúráshoz megfelelő szerszámzatot és a pressziométert. A műszer 1,2 méter hosszú 83 mm átmérőjű eszköz, mely egy fúrókoronában végződik (5. ábra).

Maga a pressziométer 0,5 méter hosszú, poliuretán membrán, melyet rozsdamentes acélköpeny véd. A membrán belsejében 6 irányú elmozdulásmérő műszer van elhelyezve, melynek segítségével meg lehet határozni a

fúróluk falának elmozdulásait. A 6 irányú elmozdulásmérő teszi lehetővé, hogy a mérés során a mért feszültségeknek a nagyságán felül a vízszintes feszültség főirányát is meghatározzuk. A vízszintesfeszültség-mérő műszer segítségével a teljes vízszintes feszültséget tudjuk mérni, mely abban az esetben, ha talajvíz vagy rétegvíz van jelen, nem a rétegben felhalmozódott vízszintes feszültséget, hanem a réteg víz-



5. ábra. Önbefúró pressziométer

Figure 5. Selfboring pressuremeter

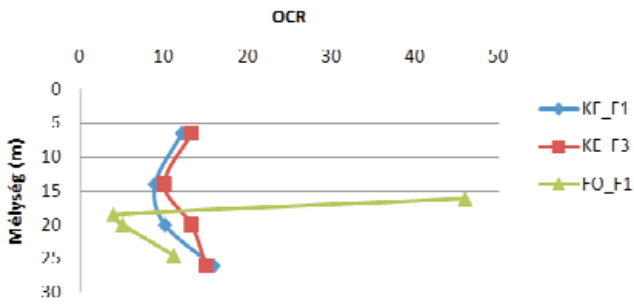
szintes feszültségét és a rétegben lévő víz feszültségét regisztrálja. Annak érdekében, hogy a talaj/kőzetréteg hatékony feszültségét meg lehessen állapítani, a membránon kívül 2 db pórusvíznyomás-mérő cella van elhelyezve, mely a rétegben lévő víznyomásból származó semleges feszültség értékét hivatott meghatározni. A teljes vízszintes nyomás, és a semleges feszültség ismeretében pedig a hatékony vízszintes feszültség meghatározható.

### Mérési eredmények értékelése

A kutatás során több mint két éven keresztül folytak a helyszíni méréseket, hogy megállapíthassuk a Kiscelli Agyagban az előterhelés okozta túlkonzolidáltság szintjét és az ebből következő vízszintes feszültség értékét.

A Kiscelli Agyag túlkonzolidáltsági mértékének meghatározására folytatott mérésekkel megállapítottuk, hogy a Kiscelli Agyag Formáció a leülepedését követően közel 400 méter vastag fedőréteg alatt konszolidálódott, alakult át a jelenleg ismert állapotára. A túlkonzolidáltság mértékének meghatározására a fúrólukba helyezett nyomásmérő cellarendszer szolgáltatta a mérési eredményeket több, mint két éven keresztül. Majd önbefúró pressziométeres vizsgálatok eredményét feldolgozva további 3 helyszínen minden esetben 4 mélységben került meghatározásra az OCR értéke (CLARK 1995).

A Kiscelli Agyag Formáció jelentős túlkonzolidáltságának mértéke, a mélység függvényében, 10 és 16 között változik (6. ábra).

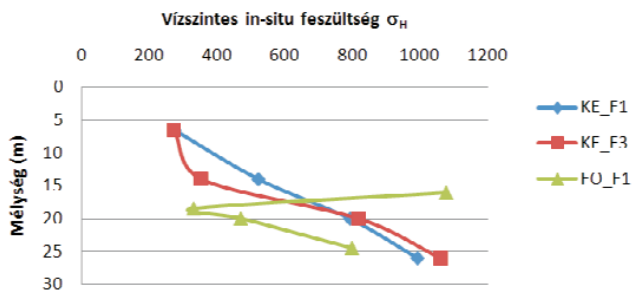


6. ábra. OCR értéke a mélység függvényében (KE\_F1 Kelenföld 1. vizsgálat; KE\_F3- Kelenföld 2. vizsgálat; FO\_F1 Fővám tér 1. vizsgálat)

Figure 6. Overconsolidated ratio (KE\_F1-Kelenföld station\_Borehole 1, KE\_F3-Kelenföld station\_Borehole 3; FO\_F1 Fővám square station\_Borehole 1)

A nyugalmi vízszintes feszültség meghatározása a fúrólukba helyezett nyomásmérő cellarendszerrel végzett mérésorozat és az önbefúró pressziométerrel végzett mérések eredményeinek felhasználásával történt. A mértékadó feszültség a Kiscelli Agyag ép közettömegzónájában 4,62 bar, azaz 462 kPa.

Az önbefúró pressziométeres mérések eredményeként megállapítható, hogy a nyugalmi vízszintes feszültség értéke 270 és 1100 kPa között változik a mélység függvényében (7. ábra).

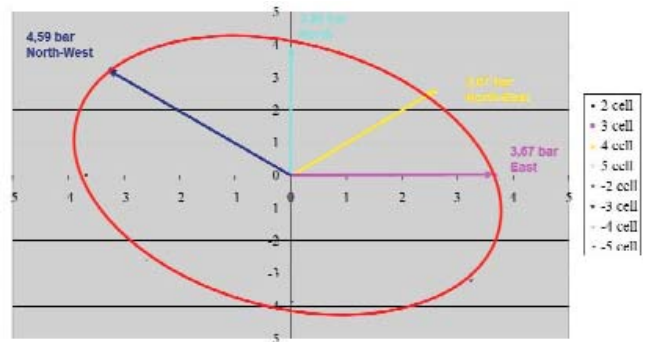


7. ábra. Vízszintes feszültség értéke a mélység függvényében (KE\_F1 Kelenföld 1. vizsgálat; KE\_F3 Kelenföld 2. vizsgálat; FO\_F1 Fővám tér 1. vizsgálat)

Figure 7. Horizontal earth pressure (KE\_F1 Kelenföld station\_Borehole 1, KE\_F3 Kelenföld station\_Borehole 3; FO\_F1 Fővám square station\_Borehole 1)

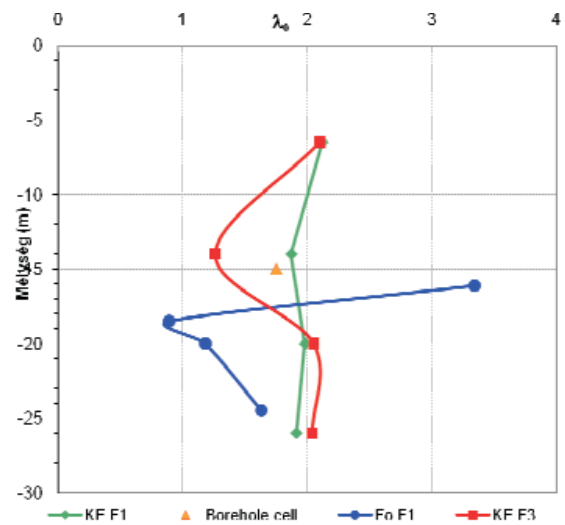
A vízszintes metszet/sík 4 irányában történtek mérések a feszültség értékének meghatározására. Elméletben a mért feszültségértékeknek egy ellipszisben kell elhelyezkedniük. A mérések igazolták, alátámasztották, a mért feszültségértékek egy ellipszisben helyezkednek el. A környezet egy pontjában fellépő feszültségek feszültségellipszoidon helyezkednek el.

A vízszintes metszetben mért értékek ellipszisének nagytengelye északnyugati irányú. E megállapítás igazolja, hogy a Kiscelli Agyag Formációban, a leülepedést követő időben, a kialakult feszültségek módosultak. Ebben a tektonikának és a rétegre rakódott, majd lepusztult rétegeknek volt a legjelentősebb hatása. A mérések a fúrólukba helyezett nyomásmérő cellarendszer segítségével 45°-os irányeltolódásokkal egy adott mélységben történtek. Az önbefúró pressziométerrel végzett vizsgálat sorozat mérési eredmé-



8. ábra Vízszintes síkhoz tartozó feszültség ellipszis

Figure 8. Results in different directions of the earth pressure of one point (15 m depth)



9. ábra. Nyugalmi földnyomás szorzó értéke a mélység függvényében (KE\_F1 Kelenföld 1. vizsgálat; KE\_F3 Kelenföld 2. vizsgálat; FO\_F1 Fővám tér 1. vizsgálat)

Figure 9. Coefficient of the earth pressure at rest in connection of the depth

nyei is hasonló eredményt hoztak, alátámasztva a megállapítást (8. ábra).

A nyugalmi földnyomási szorzóértékének meghatározásához a fúrólukba helyezett nyomásmérő cellarendszer által és az önbefúró pressziométer által mért eredményeket használtam fel. A vizsgálat során nemcsak a nyugalmi földnyomási szorzóértékét határoztuk meg, hanem annak mélységbeli alakulását is.

A vizsgálat alapján megállapítható, hogy a Kiscelli Agyagban a nyugalmi földnyomási szorzóértéke 1,2 és 2,5 között a mélység függvényében változik (9. ábra).

## Következtetések

A kutatás során megállapítást nyert, hogy a klasszikus talajmechanika és a klasszikus közetmechanika által alkalmazott nyugalmi földnyomási szorzóérték meghatározása nem alkalmazható a túlkonzolidált képződmények eseté-

ben. Abban az esetben, ha a túlkonzolidált talaj nyugalmi feszültségeit szükséges meghatározni, még közelítő számítás sem javasolt a klasszikus talajmechanika vagy a klasszikus kőzetmechanikai szabályainak alkalmazásával.

A primer feszültségek meghatározására a helyszíni vizsgálatok szolgáltatják a legpontosabb eredményeket. Ezek közül azon méréseket javasolt alkalmazni, melyek esetében a vizsgálandó kőzetkörnyezet nem képes expandálni.

A kutatás eredményeként kimutatható, hogy a Kiscelli

Agyag Formáció erősen túlkonzolidált, melynek következtében a vízszintes irányú feszültség értéke 1,5–2-szerese a függőleges irányú feszültség értékének.

Ezen eredmény nagyban befolyásolja a Kiscelli Agyag ép zónájában építendő szerkezetek statikai erőhatásait.

A vizsgálatok során nyert eredmények szerint a Kiscelli Agyag ép zónájában telepítendő szerkezetek tervezésekor figyelembe kell venni a vízszintes és függőleges feszültség-értékek jelentős eltérését.

## Irodalom — References

- CLARKE, B. G. 1995: *Pressuremeters in Geotechnical Design*. — Blackie Academic & Professional, an imprint of Chapman & Hall, Glasgow, UK, 364 p.
- HORVÁTH T. 2005a: Budapest 4. metróvonal, I. szakasz; Összefoglaló mérnökgeológiai, hidrogeológiai és geotechnikai szakvélemény 2005, Kelenföld állomás. — *Kézirat*, Geovil Kft., 253 p.
- HORVÁTH T. 2005b: Budapest 4. metróvonal, I. szakasz; Összefoglaló mérnökgeológiai, hidrogeológiai és geotechnikai szakvélemény 2005, Bocskai út állomás. — *Kézirat*, Geovil Kft., 253 p.
- HORVÁTH T. 2005c: Budapest 4. metróvonal, I. szakasz; Összefoglaló mérnökgeológiai, hidrogeológiai és geotechnikai szakvélemény 2005, Fővám tér állomás. — *Kézirat*, Geovil Kft., 39 p.
- HORVATH T. & Cambridge Insitut Ltd 2008a: Budapest Metro Line 4 Fővám tér állomás önbefúró pressziométeres vizsgálata. — *Kézirat*, Geovil Kft., 1. és 2. rész, 53 p.
- HORVATH T. & Cambridge Insitut Ltd 2008b: Budapest Metro Line 4 Kelenföld állomás önbefúró pressziométeres vizsgálata. — *Kézirat*, Geovil Kft., 44 p.
- JÁKY J. 1944: *Talajmechanika*. — Egyetemi Nyomda, Budapest, 15–40.
- JÁKY, J. 1948: New theory of earth pressure. — *Proceedings of the 2nd ICSMFE, Rotterdam, Hollandia*
- MAYNE, P. W. & KULHAWY, F. H. 1982: „K<sub>0</sub>-OCR Relationships in Soil”. — *Journal of the Geotechnical Engineering Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, ASCE, Vol. 108, No. GT6*.
- SCHNAID, F. 2009: In Situ Testing in Geomechanics. — Taylor & Francis Group, London, UK and New York, 329 p.
- SZÉCHY K. 1961: *Alagútépítéstan*. — Tankönyvkiadó, Budapest, 671 p.
- TERZAGHI, V. K. 1943: *Theoretical Soil Mechanics*. — John Wiley and Sons, Inc., New York, 510 p.
- Kézirat beérkezett: 2011. 03. 30.