



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

**A KÖZÉP-MAGYARORSZÁGI PANNON RÉTEG
ELŐKONSZOLIDÁLTSAGA**

**THE PRECONSOLIDATION OF THE
PANNONIAN LAYER OF CENTRAL-HUNGARY**

Oláh Petra

Dr. Nagy László

Dr. Nagy Gábor

2020. 10. 30.

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés	4
2. A kezdeti feszültség és a K_0 tényező az előterhelt talajokban.....	5
3. Az előterhelési feszültség	7
3.1. A p_c ' fogalma	7
3.2. A p_c ' meghatározása	7
3.2.1. A témával kapcsolatos korábbi munkák	8
3.2.2. Különböző grafikus módszerek ismertetése.....	8
Casagrande-módszer (1936).....	8
Janbu-módszer (1969,1989)	10
Pacheco-Silva-módszer (1970).....	11
Peck-módszer (1974).....	12
Sallfors-módszer (1975)	13
Nagaraj-módszer (1990).....	14
3.2.3. Egyéb módszerek.....	15
3.3. A dolgozatban alkalmazott grafikus módszerek	16
3.4. Tapasztalati összefüggések az előterhelési feszültség és az előterheltségi arány között	16
4. A vizsgált terület bemutatása.....	17
4.1 A pannon réteg kialakulása.....	17
4.2 A terület geológiája	17
4.3 A területen végzett feltárások	18
4.4 A területen feltárt rétegek jellemzése	18
5. Ödométeres vizsgálatok eredményeinek feldolgozása.....	21
6. OCR meghatározása CPT/CPTu vizsgálatból	27
6.1. A drénezetlen nyírószilárdságon (s_u) alapuló módszer	27
6.2. A CPTu profil alakján alapuló módszer.....	28
6.3. Közvetlenül a CPTu adatokon alapuló módszer	29
6.4. Túlkonzolidált talaj osztályozása a Robertson diagram segítségével	29
7. CPTu vizsgálatok eredményeinek feldolgozása	31
7.1. A CPTu vizsgálatok feldolgozása.....	31
7.2. Az eredmények összevetése a CPeT-IT szoftverrel	33
8. Összefoglalás.....	35
FORRÁSJEGYZÉK	37
MELLÉKLETEK	38

TÁBLÁZAT-ÉS ÁBRAJEGYZÉK

1. táblázat Túlkonzolidációs határok (Over Consolidation Margins (OCM)) tipikus tartománya.....	16
2. táblázat Feltárt talajrétegek tényleges és átlagos vastagsága	19
3. táblázat A számítások során alkalmazott térfogatsűrűségek és rétegvastagságok (FKP alapján)	20
4. táblázat III-6 jelű szonda agyagos rétegein kapott OCR értékek összehasonlítása	34
5. táblázat V-4 jelű szonda agyagos rétegein kapott OCR értékek összehasonlítása	34
6. táblázat Az ödométeres vizsgálatok eredményeinek összesített táblázata	39
7. táblázat Példa a CPTu adatsor feldolgozásra (III-6 jelű fúrás, 37,94 - 38,52 m)	40
1. ábra A p_c' számításának módszerei: Casagrande	9
2. ábra A p_c' számításának módszerei: Janbu	10
3. ábra A p_c' számításának módszerei: Pacheco-Silva.....	11
4. ábra Az előterhelési feszültség meghatározása Peck-módszerrel	12
5. ábra Az előterhelési feszültség meghatározása Sallfors módszerrel	13
6. ábra Nagaraj módszere az előterheltség meghatározására	14
7. ábra Pacheco-Silva módszerének felépítése a Mathcad nevű programban az I-2-C 40,0 m jelű mintán	22
8. ábra Az I-2-C-40,0 m jelű minta eredménye a Mathcad-ben (Pacheco-Silva).....	23
9. ábra Sallfors módszerének felépítése a Mathcad nevű programban az I-2-C 40,0 m jelű mintán....	23
10. ábra Az I-2-C-40,0 m jelű minta eredménye a Mathcad-ben (Sallfors).....	24
11. ábra Az I-2-C-40,0 m jelű minta eredménye a Autocad-ben (Casagrande)	24
12. ábra Előterheltség a mélység függvényében (ödométeres vizsgálatok feldolgozásának eredménye)	26
13. ábra Az s_u/σ'_{vo} , OCR és az I_p közötti összefüggés (Andersen et. al., 1979) és kapcsolatok Brooker és Ireland által (1965).....	27
14. ábra CPTu profil alakján alapuló módszer	28
15. ábra 10. képlet értelmezése.....	29
16. ábra Bővített talajtípus osztályozó Robertson-diagram CPTu adatokra.....	30
17. ábra A II-4 jelű adatsor agyagosnak jelölt réteg további rétegekre bontása Robertson diagramokon	31
18. ábra A III-6 jelű fúrás agyagos rétegének előkonszolidáltsága.....	32
19. ábra Az V-4 jelű fúrás agyagos rétegének előkonszolidáltsága	33

1. Bevezetés

A geotechnikában a talajban működő vízszintes és függőleges feszültségeket általában a lineáris rugalmasságtan alapján vagy egyszerűbb feszültség-eloszlási modellek alapján határozzuk meg. Ezen feszültségekből - többnyire lineáris alakváltozási állapotot feltételezve - állapítjuk meg az alakváltozásokat, majd az elmozdulásokat, pl. a függőleges feszültségekből az összenyomódási modulussal történő süllyedés számításánál, vagy a Winkler-féle modellel egy fal vízszintes elmozdulásának számításánál.

A gyakorlati számítások során a feladatoknál általában szétválasztjuk a teherbírási határállapotokat (talajtörés okozta állékonyságvesztést) és a használhatósági határállapotokat (a talaj alakváltozása miatti elmozdulások vizsgálatát). A rézsűállékonysági, földnyomási, alaptörési feladatokat az előbbi szerint oldjuk meg: a csúszóvonalak elméletére építve, a talajt merev-képlékeny közegnek tekintjük, a méretezési eljárások során állandó nyírószilárdsági paramétereket feltételezünk, majd az adott peremfeltételre érvényes egyensúlyi állapottal szemben méretezzük a szerkezeteket. A fenti feladatok hagyományos megoldásaiban a talajok kezdeti feszültségi állapotát nem szükséges ismerni, ugyanis az egyensúlyi határállapotot az nem befolyásolja. Kivételt képez azonban a sávalapok méretezése, ahol figyelembe vesszük az előterheltséget. A nem-lineáris modellekben már megjelenik ugyan a kezdeti feszültség, de pl. a lineáris alakváltozási állapot feltételezésén alapuló süllyedésszámítási modellekben is csak a kezdeti függőleges feszültséget szükséges ismerni, a vízszinteset nem.

Vannak azonban feladatok, melyeknél a kezdeti nyugalmi állapot mérlegeléséből indulunk ki, ilyen például a cölöpök palástellenállásának becslése. Továbbá, a vége-selemes programok napjainkra már képesek arra, hogy a talajok mechanikai viselkedését a valósághoz híven nem-lineáris anyagmodellel írják le. Ilyen esetben a talaj kezdeti feszültségállapotából indulnak ki, képesek kezelni a terhelések és a geometriai változások okozta állapotváltozásokat akkor is, ha a vizsgált talajzóna képlékeny állapotba jut. *(Szepesházi, 2007)*

Meg kell jegyezni, hogy a vége-selemes programokat minden esetben ésszel kell kezelni, ugyanis minden kimenő adat annyira megbízható, amennyire a bemeneti paraméterek.

Az előterheltség hatásának figyelembevétele olyan eseteknél jelentős, ahol a talaj korábban terhelésnek volt kitéve, így az már valamennyi süllyedést elszenvedett, melynek hatására az újbóli terhelés már nem okoz olyan nagy alakváltozást, mint amennyire a tervezés során számítunk, ezáltal gazdaságosabban tudunk tervezni. Az alakváltozási követelmények betartása elsődleges szempont, egy-egy mérnöki feladatnál azonban ezen alakváltozási követelmények teljesülése még szigorúbbak lehetnek. Ilyenek például az erőművek, hidak, munkagödörök, belvárosi foghíjtelkeket érintő épületek vagy a műtárgyak tervezésének kérdése.

2. A kezdeti feszültség és a K_0 tényező az előterhelt talajokban

Adott a térben a vizsgált talajzóna egy pontja, melynek természetes, valós („ott helyben” uralkodó) feszültségállapota van. Ez a feszültségállapot az „in situ” jelzővel történő megjelölése a térbeli értelmezésen kívül időbeli értelmet is ad. Az időbeliség azt jelenti, hogy ennek a vizsgált pontnak a talaj keletkezése és majd a geológiai hatások során, a mérnöki beavatkozás előtt milyen kialakult mechanikai állapota van. Ez az állapot a kezdeti vagy nyugalmi állapot, azaz legegyszerűbben a K_0 állapot.

A K_0 állapot mechanikai állapotjellemzőknek, mint a feszültségeknek, alakváltozásoknak, elmozdulásoknak egy speciális együttese. A manapság alkalmazott módszerek szerint bizonyos anyagjellemzőket, mint az alakváltozási modulus, is definiálhatunk hozzá. Az egyezményes definíció szerint a talaj egy pontja akkor van K_0 állapotban, ha ott vízszintes (horizontális) fajlagos alakváltozások és elmozdulások nem lépnek fel, azaz:

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = \varepsilon_h = 0 \quad (1)$$

$$u_x = u_y = u_h = 0 \quad (2)$$

Az 1. feltétel szerint tengelyszimmetrikus alakváltozási állapotban vizsgálódunk, azaz síkbeli alakváltozási állapotot feltételezve dolgozunk, ami az y irányú alakváltozásokat zérusnak tekinti, így az x irányú alakváltozások zérus voltát szokás kiemelni, az ehhez tartozó feszültség pedig a nyugalmi nyomás.

A 2. feltétel a vizsgált földtömeget megtámasztó fal elhanyagolhatóan kicsi vízszintes elmozdulását jelzi. Tetszőleges lehatárolású talajtömegek mechanikai állapotának vizsgálatakor azonban az 1. értelmezést használjuk, K_0 állapot teljesülésekor is ennek teljesülését értjük.

Az elmozdulási peremfeltételek és a geometriai egyenletek miatt mindkét feltevés valójában egyszerre teljesül.

A K_0 állapotot, azaz a kezdeti feszültségi állapotot egyetlen tényezővel, a K_0 tényezővel lehet definiálni, ami a vizsgált pont vízszintes σ'_{h0} és függőleges σ'_{v0} hatékony feszültségének hányadosaként értelmezett K_0 -tényező:

$$K_0 = \frac{\sigma'_{h0}}{\sigma'_{v0}} \quad (3)$$

Az indexben szereplő 0 a kezdeti vagy nyugalmi állapotra utal.

A K_0 -tényező számítására a normálisan konszolidált (NC–normally consolidated) talajok esetében ma szinte minden szakirodalom és számítógépes program a Jáky (1944) képletét javasolja:

$$K_0^{\text{NC}} = 1 - \sin\varphi' \quad (4)$$

A képletben a φ' a talaj hatékony belső súrlódási szöge. E képlet általában 0,5 körüli értéket ad, így a normálisan konszolidált talajokban a függőleges feszültség az első főfeszültség.

A talaj ülepedése (első terhelés) utáni tehermentesülésekor a vízszintes feszültségek nem csökkennek oly mértékben, mint a függőleges feszültségek. A talaj oldalirányban „befeszül”. Az előterhelt (OC-over consolidated) talajokban a K_0 tényező nagyobb értéket ad, erre a szakirodalom a következő képletet ajánlja:

$$K_0^{\text{OC}} = K_0^{\text{NC}} \cdot \sqrt{\text{OCR}} = (1 - \sin\varphi') \cdot (\text{OCR})^{0,5} \quad (5)$$

Ahol az előterheltségi viszonyszám:

$$\text{OCR} = \frac{\sigma'_{v\text{max}}}{\sigma'_{v0}} \quad (6)$$

Ahol a $\sigma'_{v\text{max}}$ a vizsgált pontban valaha működött legnagyobb hatékony függőleges normálfeszültség.

A 6. képletet el szokás fogadni mind a tehermentesülésre, mind pedig az újrateherlésre, s úgy tekintjük, hogy az újrateherlés során a σ'_v közelít a $\sigma'_{v\text{max}}$ értékéhez, így OCR 1,0-hez. (Szepesházi, 2007)

3. Az előterhelési feszültség

3.1. A p_c' fogalma

A talajok egydimenziós (1D) deformációinak és korábbi feszültségeinek megismeréséhez a hagyományos ödométeres vizsgálatok szolgálnak alapul. A vizsgálatok során a puha és összenyomható talaj általában bilineáris feszültség-elmozdulási viselkedést mutat, az adatokat egy fél-logaritmikus grafikonon ábrázolva. A függőleges hatékony folyási feszültség (σ'_{vy}) alatt az elmozdulások kicsik; e küszöbérték felett pedig a talaj deformálódik, ameddig el nem ér egy sokkal tömörebb állapotba. A σ'_{vy} az előterhelési feszültség néven is ismert (p_c'). A p_c' és az in-situ függőleges hatékony feszültség (σ'_v) aránya az előterhelési viszonyszám, azaz az OCR.

A látszólagos p_c' -t, mintegy folyási feszültséget értelmezzük, ami becsülhető ödométeres vizsgálatok eredményeiből olyan módszerrel, mint például a Casagrande (1936), Janbu (1969), Pacheco-Silva (1970), Butterfield (1979), Becker et al. (1987), Oikawa (1987), Burland (1990), Karlsrud (1991), Jacobsen (1992), Onitsuka et al. (1995) és Boone (2010). Közös alapja a módszereknek, hogy a talaj merevségének változását vizsgálják egy p_c' -hez közeli feszültségértékre adott válaszul, de a számítási eljárások ettől függetlenül jelentősen eltérőek tudnak lenni. (*P. Paniagua et al., 2016*)

3.2. A p_c' meghatározása

Az előterhelési feszültség (p_c') az a maximális hatékony feszültség, melynek a talaj a terhelés hatására ki van téve. A laboratóriumi tesztek végrehajtása előtt az előterhelési feszültség becsülésére a múltbéli terhek geológiai bizonyítékai használandók. Megállapítása a Casagrande módszerrel a konszolidációs vizsgálatból történik és a legnagyobb görbületi pont leolvasásán alapszik. Az előterhelési feszültség vagy más néven a maximális hatékony múltbéli nyomás, p_c' , ami az altalajon van, egy alapvető tényező a talajon álló szerkezet süllyedésének nagyságának meghatározására. A p_c' tehát az a maximális hatékony feszültség, amit a talaj a korábbi terhelés hatására elért; ez az újrateljesítés és az alapozáson alkalmazott eredeti konszolidációs feszültség közötti határvonal, ami meghaladja a maximális múltbéli nyomást és a talajban lényeges süllyedést okoz. (*C H Solanki, M D Desai, 2008*)

3.2.1. A témával kapcsolatos korábbi munkák

Casagrande (1936) javaslatot tett az előterhelési feszültség meghatározására szolgáló módszerre, később mások alternatív közelítéseket javasoltak, főként empirikus megfigyelésekre alapozva, az ödométeres vizsgálat során fellépő feszültség-alakváltozás minták alapján. Grozic et al. (2003, 2005), Clementino (2005) és Boone (2010) mutatták be ezen megközelítések részletes és grafikus összefoglalóját. Különösen Grozic és társai (2003, 2005) a p_c ' értelmezésének több módszerét vizsgálták az alacsony lágyságú agyagokban és arra a következtetésre jutottak, hogy a bizonytalanságok az összes módszerre vonatkoznak és egyesek alkalmazásukban nehezebbek és nem is egyértelműek. Amint azt Boone (2010) említi, a skálázás hatásai egyértelműen befolyásolják Casagrande módszerét. Azt is részletezi, hogy a Grozic et al. (2003) a Becker et al. (1987) és Onitsuka et al. (1995) módszerei - a Casagrande (1936) és Janbu (1989) módszereken túl - nehezen bizonyulhatnak a gyakorlatban, és nem adnak jobb eredményeket, figyelembe véve a bizonytalanság szintjét, amely ezen módszerek alkalmazásakor fennáll. (P. Paniagua et al., 2016)

3.2.2. Különböző grafikus módszerek ismertetése

A kutatók több grafikus megoldást találtak arra, hogy megbecsüljék az előterhelési feszültséget és ezen módszerek általában a kísérleti hézagtenyező (e) és a hatékony terhelési feszültség (p') kapcsolatán alapulnak.

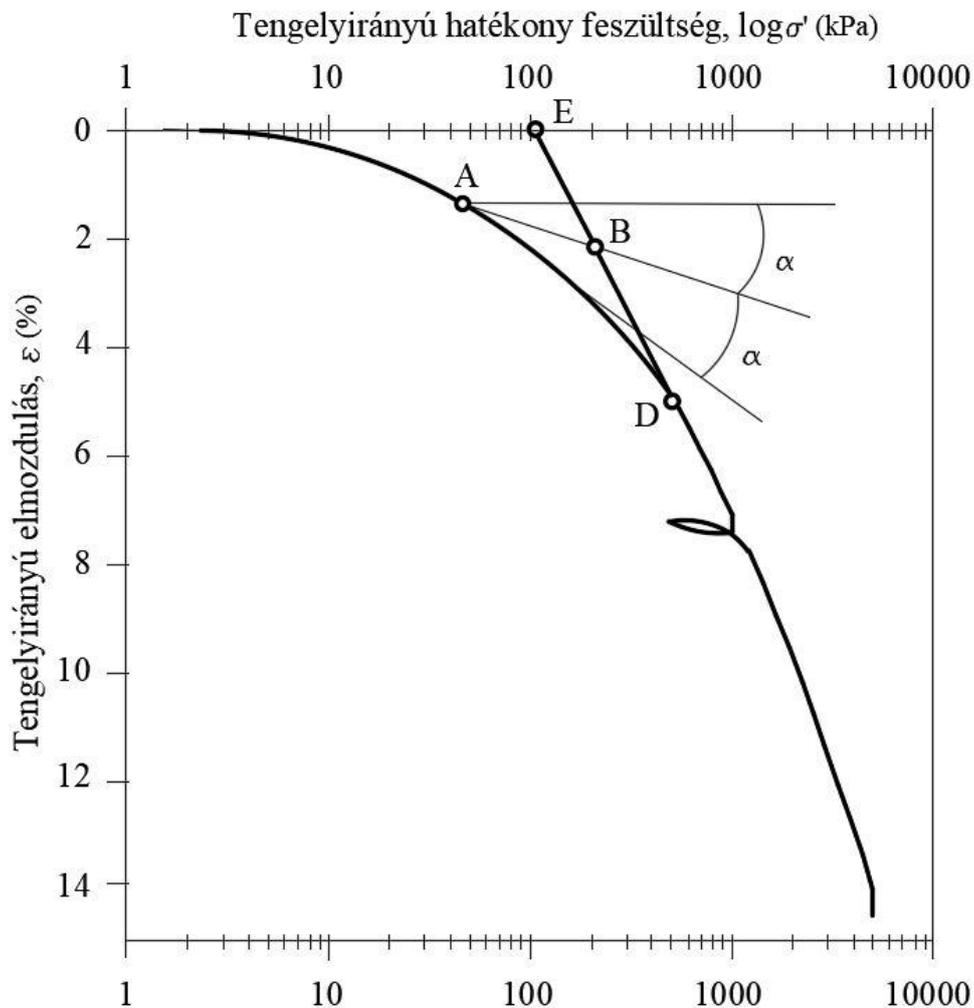
Minden ilyen módszer a használatától függ, mivel a logaritmusos skála pontos leolvasását, előtervezési készséget, és a pontok megfelelő módon történő kiválasztását követelik meg. (C H Solanki, M D Desai 2008)

Szerencsére ez a számítógépes alkalmazás elterjedésével kiszűrődött, mint hibaforrás, akár Excelben vagy MathCad-ben könnyen meg lehet már oldani.

Casagrande-módszer (1936)

A Casagrande-módszer, e - $\log p'$, (1936) az előterhelési feszültség meghatározásának a legrégebbi módszere. Ez a módszer egy általános megoldás maradt összevetve a többi módszerrel (Jose et al., 1989). Az IS 8009:1976 (1.rész) a Casagrande módszert javasolja a szemcsék közti nyomás meghatározására. Jó eredményt ad, feltéve, ha van egy jól definiált töréspont az e - $\log p'$ diagramon. Azon a feltételezésen alapszik, hogy a talaj a merevségét illetően változáson megy keresztül, merev reakciótól a rugalmas reakcióig, az előterhelési feszültségig bezárólag. (C H Solanki, M D Desai 2008)

Casagrande empirikus felépítést használ a hézagtényező, (e) és a függőleges hatékony feszültség, (σ_v') görbe logaritmusából. A p_c' meghatározásához a geometriai megközelítést ajánlja az 1. ábra alapján: (i.) szemmel válasszuk ki a konszolidációs görbe minimális sugár pontját (vagy maximális görbületét) (az 1. ábra A pontja), (ii.) húzzunk vízszintes vonalat az A pontból, (iii.) húzzunk egy vonalat a görbe érintőjével az A pontban (iv.) felezzük el a (ii.) és (iii.) lépésben kapott szöget, (v.) nyújtsuk ki a nyers kompressziós görbe egyenes vonalát, addig, amíg el nem éri a (iv.) lépésben kapott felezővonalat. E két vonal metszéspontja adja a legvalószínűbb előterhelési feszültségi pontot. (1. ábrán B pont). A maximális lehetséges előterhelési feszültséget a D pont jelzi, míg az E mutatja az előterhelési feszültség lehetséges legkisebb értékét. (P. Paniagua et al., 2016)

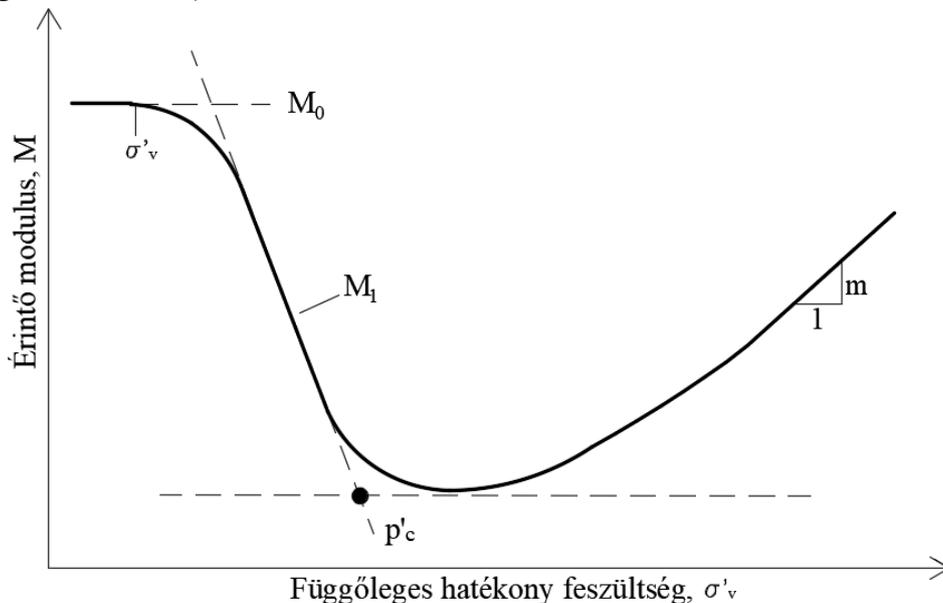


1. ábra A p_c' számításának módszerei: Casagrande (Holtz and Kovacs, 1981)
(forrás alapján újraserkesztve) (P. Paniagua et al., 2016)

Janbu-módszer (1969,1989)

A *Janbu módszer* (1969) azt javasolja, hogy a konszolidációs feszültséget az összenyomódási modulusból ($M=1/m_v$, ahol m_v a tömöríthetőségi együttható)¹ határozzák meg, a lineáris skálán a tengelyirányú feszültség függvényében. Janbu javaslata szerint a nagy érzékenységgel és alacsony OCR-rel bíró agyag talajok esetén, a p_c' gyakrabban határozottabban jelenik meg a feszültség-alakváltozás görbén, amelyet lineáris skálán ábrázoltak. (C H Solanki, M D Desai 2008)

Janbu módszere szerint a p_c' értékének meghatározása az összenyomódási modulus érintőjének és a σ_v' függvénye alapján történik. Ugyanakkor nem részletezte, hogyan kell elvégezni a p_c' meghatározását. Az eljárást a 2. ábra magyarázza. Janbu megközelítése az ellenállás fogalmát használja. Megállapította, hogy az M érintőmodulus (vagy összenyomódási modulus) a hatékony feszültség változásának ($\delta\sigma'$) és a feszültség változásának egy adott tehernövekedéshez ($\delta\varepsilon$) a hányadosa legyen, azaz $M = \delta\sigma' / \delta\varepsilon$. Az alacsony feszültség szinten, σ'_{v0} körül, az ellenállás az alakváltozással szemben (M_0) nagy. Ha a σ' növekszik, ez a magas ellenállás észlelhetően csökken a szemcseváz részleges összeomlása miatt. Az ellenállás a p_c' körül éri el a minimumot (M_n). Következésképpen, amikor σ' a p_c' -n túl emelkedik, az ellenállás a σ' növekedésével lineárisan nő. Az M_1 túlkonszolidált tartományában (az M_0 és M_n közötti átlagot) gyakran használják a tervezésben. A normál konszolidációs feszültségtartományban a viselkedés egy lineáris ödométeres modulussal közelíthető meg (M). (P. Paniagua et al., 2016)



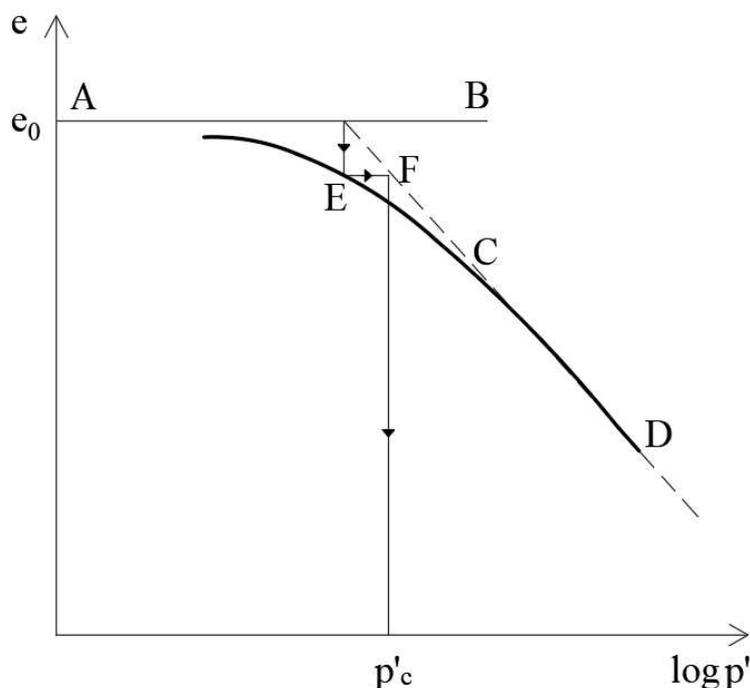
2. ábra A p_c' számításának módszerei: Janbu (Lunne et al. 2008) (forrás alapján újraserkesztve) (P. Paniagua et al., 2016)

¹ Az összenyomódási modulus Janbu jelölése alapján M , de elterjedtebben használt jelölés az E .

Pacheco-Silva-módszer (1970)

Pacheco-Silva módszere szerint az e - $\log p'$ (1970) megszerkesztése nagyon egyszerű és pontos eredményeket is ad. Gyors módszer és az eredmények nem igényelnek semmilyen szubjektív értelmezéseket, illetve nem skála-függő. E módszer könnyebben alkalmazható puha talajoknál, ahol az összenyomhatóság változása nem annyira egyértelmű. Pacheco-Silva az e - $\log p'$ görbe tapasztalati értelmezését használja, ahol az e a hézagtényező és a p' a hatékony feszültség. Az író ajánlása szerint a módszer gyors és könnyen meghatározható vele az előterhelési feszültség az ödométeres vizsgálatokból. (C H Solanki, M D Desai 2008)

Pacheco-Silva által a p'_c meghatározására javasolt módszert Brazíliában széles körben használják. A p'_c értékét a 3. ábra grafikusán meghatározza és az alábbi a magyarázata: (i.) húzzunk egy vízszintes vonalat (A-B), ami áthalad a minta kezdeti hézagtényezőjén (e_0), azaz a minta hézagtényezője mielőtt bármilyen terhelés kerülne rá; (ii.) nyújtsuk ki a nyers kompressziós görbére illesztett egyenes vonalát (C-D), amíg el nem metszi az A-B vonalat; (iii.) Az A-B és C-D vonalak metszéspontjából függőleges vonalat húzzunk lefelé, amíg el nem metszi az e - $\log p'$ görbét (E-pont); (iv.) az E pontból húzzunk egy vízszintes vonalat, amíg el nem éri a C-D vonalat (F pont) és akkor (v.) az F ponthoz kapcsolódó vízszintes tengely feszültségértéke p'_c . A Pacheco-Silva (1970) módszer független a skálától (Pinto, 1992). (P. Paniagua et al., 2016)



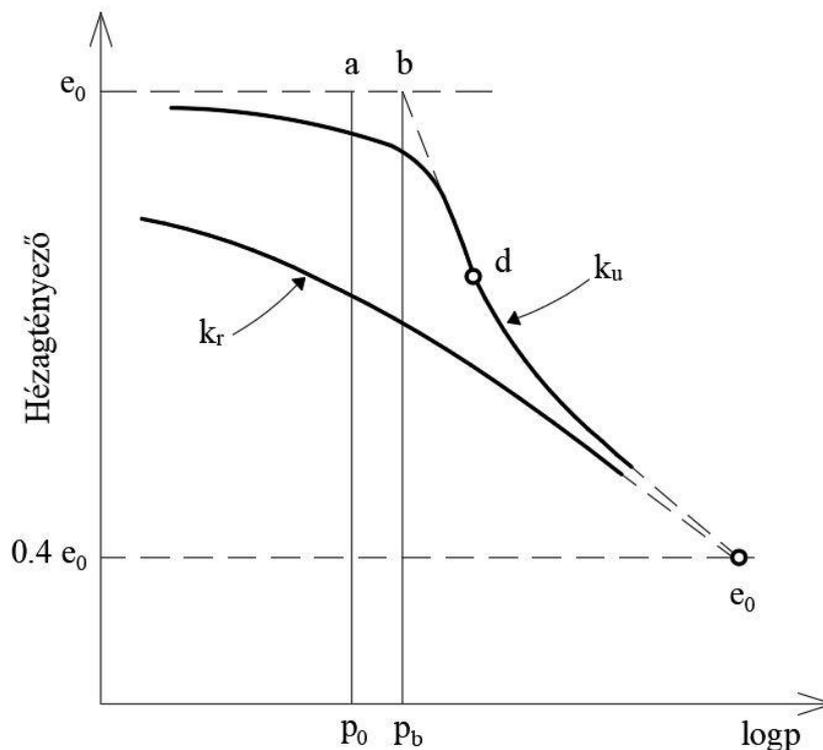
3. ábra A p'_c számításának módszerei: Pacheco-Silva (Grozic et al. 2003) (forrás alapján újraserkesztve) (P. Paniagua et al., 2016)

Peck-módszer (1974)

Ezt az eljárást Murthy javasolta érzékeny talajon történő alkalmazásra (Murthy, 2003). A módszer irodalomban található legkorábbi ismertetését Peck és társai nevéhez köthető (Peck, Hanson és Thornburn, 1974), bár nem nyilatkoztak a módszer eredetével kapcsolatban, így a módszert tehát Peck-módszernek nevezzük. A metódus a 4. ábrán bemutatott lépései a következők:

- 1) Határozzuk meg az e - $\log p$ görbe inflexiós pontját, azaz ahol a görbe csökkenni kezd.
- 2) Húzzunk egy vonalat, amely ezen a ponton illeszkedik a görbére és húzzuk felfelé addig, amíg nem keresztezi a kezdeti hízagtényező vonalát.
- 3) Keressük meg a két vonal metszéspontját.

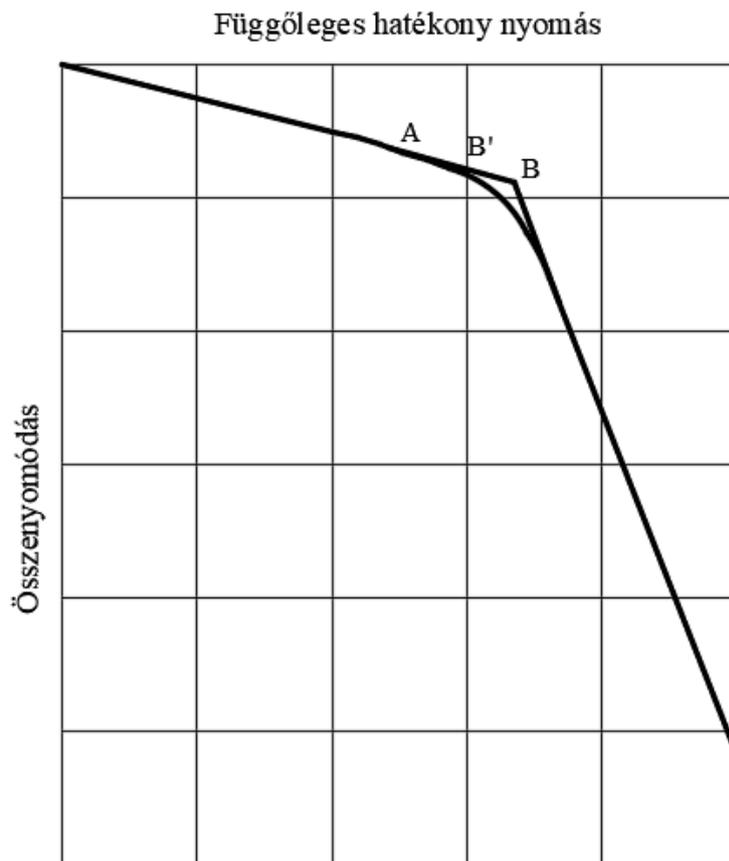
A b pont annak a nyomásnak felel meg, ahol a szerkezeti összeomlás történik. A legtöbb rendkívül érzékeny agyagban ez a pont az a ponttól jobbra található, mely a tényleges túlterhelési nyomás. A módszer azt javasolja, hogy az a és a b pont közötti nyomásnövekedés képviselje a talaj előterheltségi arányát, vagy ez szemléltetheti a talajrészecskék közötti fizikai-kémiai kötéseket. (Peck et al., 1974)



4. ábra Az előterhelési feszültség meghatározása Peck-módszerrel (Peck, Hanson és Thornburn, 1974) (forrás alapján újraserkesztve) (A. Kindres, 2017)

Salfors-módszer (1975)

Ennek a módszernek a végrehajtásakor mind a tengelyirányú feszültséget, mind a hatékony feszültséges lineáris skálán ábrázoljuk. A folyás előtti és utáni mezőket ezután egyenes vonalakkal meghosszabbítjuk és e két vonal metszéspontja kiadódik. Ezután egy egyenlő szárú háromszöget írunk bele úgy, hogy a hosszabb él érintse a görbét. Az 5. ábra szemlélteti ezt a módszert, ahol a B jelű pont az egyenesek metszéspontja, a B' pont pedig az előterhelő feszültséget adja meg. (Salfors, 1975)



5. ábra Az előterhelési feszültség meghatározása Salfors módszerrel (Salfors, 1975)

(forrás alapján újraserkesztve) (A. Kindres, 2017)

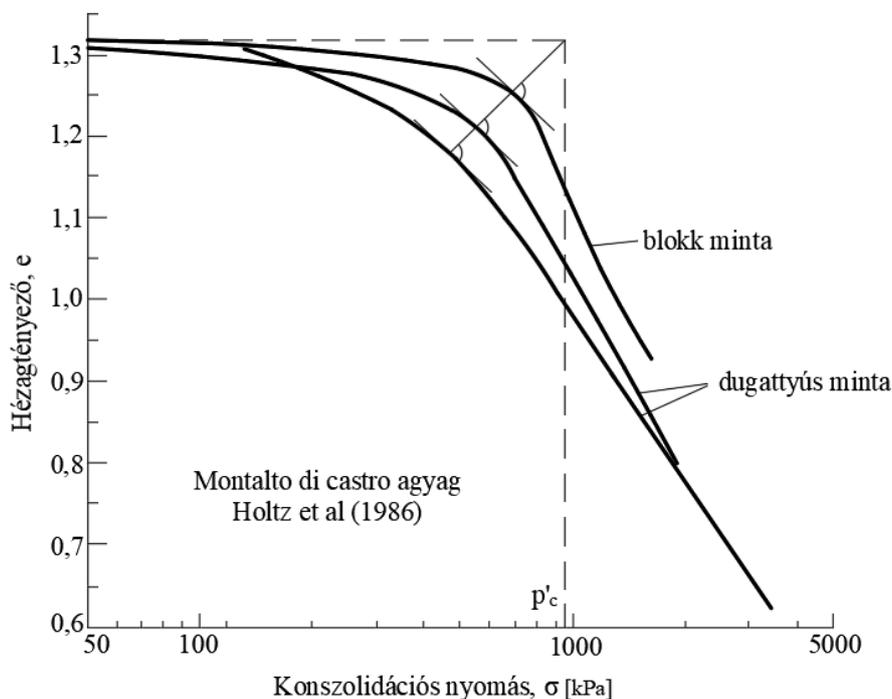
Salfors (1975) szerint az A pont az a pont, ahol a görbe először lehajlik, a minta első folyását képviseli; ezt a pontot azonban nem lehet reálisan felhasználni, mint folyáshatár, mert lehetetlen tökéletesen zavartalan mintát kinyerni a talajból. Ezen kívül azt állítja, hogy mind a Casagrande módszer, mind a 5. ábra B pontja „túl optimista” (vagyis túlbecsüli az előterhelő feszültséget). Mindezek miatt, javasolja a B' pont használatát, látszólagos kompromisszumként e többi megközelítés között. (A. Kindres, 2017)

Nagaraj-módszer (1990)

Ezt a módszert a talaj előterhelő feszültségének meghatározására fejlesztették ki a minta zavartságától függően. Az eljárás alkalmazása a következő:

- 1) Végezzünk el konszolidációs vizsgálatot ugyanazon a talajmintán zavartalan és zavart állapotban.
- 2) Ábrázoljuk mindkét teszt eredményét ugyanazon az e-logp diagramon
- 3) Mérjük meg a zavartalan mintához tartozó görbe maximális görbületét.
- 4) Rajzoljunk egy olyan vonalat, amely merőleges a zavart minta konszolidációs görbéjére és áthalad a zavartalan minta maximális görbületének pontján.
- 5) Húzzunk egy vízszintes vonalat a kezdeti hézagtényező értékéből.
- 6) Ahol a két vonal metszi egymást, az adja meg az előterhelő feszültséget.

A módszer két megfigyelésen alapul: az első az, hogy egy érzékeny talaj konszolidációs görbéje három zónából áll: nem szemcsés (képlékeny alakváltozás előtti); átmeneti (azaz képlékeny alakváltozás utáni vagy roskadás); és szemcsés. A második megfigyelés az, hogy a talajminta zavartságának növekedésével a konszolidációs görbe ellaposodik, és fokozatosan megközelíti a zavart mintát. Amint ez bekövetkezik, a maximális görbület pontja is csökken az hézagtényezővel és a feszültséggel egyaránt, és egyenes vonal húzható, amely összeköti a maximális görbület pontjait ugyanazon talaj eltérő zavartsági szintű mintáinál. Ez a vonal merőleges lesz az egyes konszolidációs görbékre, a maximális görbületi ponton. (Nagaraj, Murthy, Vatsala, & Joshi, 1990)



6. ábra Nagaraj módszere az előterheltség meghatározására (forrás alapján újraserkesztve) (A. Kindres, 2017)

3.2.3. Egyéb módszerek

A *Schemertmann módszer*, $e\text{-log}p'$ (1955) a laboratóriumi konszolidációs teszt eredményének kiegyenlítése, melyben megkísérli kompenzálni a minta zavaró hatását. Ez a módszer alapvetően puha talajoknál hatásos, kemény talajoknál nem használható. (C H Solanki, M D Desai 2008)

A *Butterfield módszer*, (1979) a minta térfogatának változása és hatékony feszültség közti variációk görbéjén alapszik. A Butterfield módszernek különféle variációi ismertek az irodalomban, mint a $\log(1+e)\text{-log}\sigma'$ $\ln(1+e)\text{-ln}\sigma'$ megközelítés. Az előterhelési feszültség két illeszkedő egyenes metszéspontjában adódik. (C H Solanki, M D Desai, 2008)

Tavena módszere (1979) lineáris kapcsolatot feltételez az alakváltozási energia és a hatékony feszültség között az újbóli összenyomódás szakaszára anélkül, hogy figyelembe venné a teszt újrateherelési szakaszát. A túlkonszolidált mintáknál a feszültség-alakváltozás energia görbe két részből áll. A görbe első része élesebben növekszik, mint a második része. A két illesztett vonal metszéspontja az előterhelési feszültségként van definiálva. (C H Solanki, M D Desai, 2008)

A *Jose módszer*, $\log e\text{-log}p'$ egy nagyon egyszerű közelítő módszer arra, hogy kiszámoljuk az előterhelési feszültséget. Ebben a módszerben a metszéspontot két különböző egyenes adja. Ez egy közvetlen módszer és mentes a mérési hibáktól a maximális görbületi pont helyzetében. (C H Solanki, M D Desai, 2008)

Chetia és Bora módszere (1998) elsősorban a terhelési történet hatásait veszi figyelembe, azok karakterisztikáját és értékelés szempontjából az előterheltségi arányukat (OCR). (C H Solanki, M D Desai, 2008)

Nagaraj és Murthy (1986) a következő általánosított kapcsolatot javasolta a túlkonszolidált, telített, nem cementált talajok előterhelési feszültség meghatározására: az alakváltozási energia – logaritmikus feszültség módszerét, ahol a $p'\Delta H/H - \log p'$ (2000) összefüggést javasolja a p_c' meghatározására. A Tavena módszeren alapszik és a Senol et al (2000) szerint ez a módszer adja a legmagasabb korrelációs együtthatót egy adott állapotban, összehasonlítva a többi grafikus módszerrel. (C H Solanki, M D Desai, 2008)

Senol (2005) próbálta azt a módszert meghatározni, amely kevésbé tér el a Casagrande, Tavena, Senol módszerrel kapott előterhelési feszültség átlagértékétől. Látható, hogy sokan foglalkoztak az előterhelési feszültség meghatározásával, számos oldalról megközelítve, mégis maga a számítás azóta sem teljesen egyértelmű, hogy melyik módszerrel a legpontosabb, vagy mely módszer közelíti legjobban a valóságot. (C H Solanki, M D Desai, 2008)

3.3. A dolgozatban alkalmazott grafikus módszerek

A talajminta előterhelési feszültsége meghatározható a kísérleti eredményekből közvetlenül vagy grafikus eljárásokkal. A fent felsorolt és bemutatott grafikus módszerek közül a Casagrande, Pacheco-Silva és Sallfors által megfogalmazott módszerek alapján határoztam meg a p_c' , előterhelési feszültséget a mintákon végzett vizsgálati eredményeken. Ezen módszerek bizonyultak elvégezhetőnek a rendelkezésemre bocsátott mérési adatsorokra. A Casagrande és Sallfors módszerhez elegendő ismerni a feszültség-alakváltozás értékeket, míg a Pacheco-Silva módszeréhez a feszültség-hézag tényező értékeket, melyekről mind volt információ. A Peck-módszer nagyban hasonlít a Pacheco-Silva módszerhez, így azt nem alkalmaztam, illetve a Nagaraj et al., által megfogalmazott módszer is egyszerűnek és gyorsan alkalmazhatónak tűnik, azonban ennek a módszernek alapvető feltétele, hogy ugyanazon mintának a zavartalan és zavart állapotában is végezzünk konszolidációs vizsgálatot, de ez esetünkben sajnos nem történt meg, így ezt a módszert ezért nem tudtam felhasználni.

3.4. Tapasztalati összefüggések az előterhelési feszültség és az előterheltségi arány között

A süllyedés számítását befolyásoló feszültség múltbéli és jelenlegi állapota az előterhelési feszültséget tükrözi. A Casagrande féle grafikus módszer széleskörűen használt a gyakorlatban az előterhelési feszültség meghatározására. Senol (1997) és társai, azt ajánlották, hogy az alakváltozási energia-log feszültség módon való ábrázolása összefüggés jobb eredményeket mutat, mint a magasabb korrelációs együtthatókkal rendelkező módszerek. Az OCR talajok alapján megkülönböztetünk normálisan konszolidált, túlkonszolidált és alulkonszolidált talajokat. A konszolidációs süllyedés számításának alapja a konszolidációs paraméterek helyes megválasztása, mint a kompressziós index (C_c), duzzadási index (C_r) vagy a térfogatváltozási együttható (m_v). Az előterhelési feszültség és az OCR eléréshez a kutatók is javasoltak korrelációkat, Kulhavy (1984), Nagaraj és Murthy (1985), Chieta és Bora (1998) stb. Az 1. táblázat a normáltól a nagyon túlkonszolidált talajok túlkonszolidáltságának tipikus tartományát mutatja. (C H Solanki, M D Desai, 2008)

1. táblázat Túlkonszolidációs határok (Over Consolidation Margins (OCM)) tipikus tartománya
(C H Solanki, M D Desai, 2008)

OCM (kPa)	Osztályozás
0	Normálisan konszolidált
0-100	Kissé túlkonszolidált
100-400	Közepesen túlkonszolidált
> 400	Nagyon túlkonszolidált

Érdekes, hogy minden olyan OCM érték, ami 0-tól eltér, már túlkonszolidáltak van besorolva, mely nem egészen megszokott.

4. A vizsgált terület bemutatása

4.1 A pannon réteg kialakulása

A Pannon-tenger fejlődésének közel 10 millió éve alatt valamennyi földtörténeti korszakunkat tekintve a legtömegesebb, helyenként 4-6 kilométer vastag üledék képződött. A Pannon korszakon, tágabb értelemben a szarmatától a pleisztocénig (jégkorszakig) eltelt időt, illetve az ezalatt lerakódott üledékeket értjük. Szűkebb értelemben a pannóniai csak a felső-miocén egyik korszaka.

A pannon üledékek a mai országterület jó háromnegyedét borítják. Olyan dombsági, középhegységi területeken is megtalálhatók, amelyek azóta kiemelkedtek. Alsó rétegösszleteik még meglehetősen finomszemcséjű mész- és agyagmárgából, ritkábban homokkőből állnak: ezek vagy a mélyebb vizeknek, vagy az emelkedő hegységkeretből kilépő folyók deltáinak egykori, messze a beltengerbe lerakott üledékei. *www1*

A Pannon korszak után Magyarország szárazul, emelkedik, az ország nagy részén 10-100 m mély, Pannon-tenger helyén vastag homok és agyag rétegek keletkeznek, (illetve ide tesszük a szénhidrogén keletkezését is) a térszín emelkedik.

A pleisztocénban (kb. 2 millió éve) Magyarország területét külső erők alakítják, mint a víz, a szél, a talajmozgások, suvadások, mely erők a Pannon rétegre telepedett talajt lekoptatják. A holocén korban (kb. 10 ezer éve) kavics, homok, folyóvízi lerakódások, folyóteraszok kialakulása alakította ki Magyarország mai területét. (*Rozgonyi-B. N., 2020*)

4.2 A terület geológiája

A dolgozatomban vizsgált terület a közép-magyarországi régió belül a dél-mezőföldi kistáj részén található. A kistáj 90 és 213 m közötti tengerszint feletti magasságú, futóhomokkal, illetve lösszel fedett hordalékkúpsíkság. A kistáj területén két jellemző orográfiai² szint különíthető el: az első 180-200 m közötti átlagmagasságú, közepes magasságú tagolt síkság. (Ilyen az ÉÉNy-DDK-i irányú szerkezeti lépcsőkkel határolt Györkönyihát, amely eróziós-deráziós völgyekkel tagolt, és a lösz sajátos lepusztulás formái jellemzik.) Ezt gyűrűszerűen öleli körül a 150-160 m átlagmagasságú, enyhén tagolt síkság futóhomokfelszíne. A felszín a félig kötött futóhomokformák (szélbarázda, garmada, maradékgerinc, homoklepel) fedik. A medencealjzatot triász-jura képződmények alkotják, amire Paks térségében miocén riolitos-dácitos sorozat is települt. A kistáj felszíne a felső-pleisztocénig süllyedt, ezért a pannóniai rétegek vastag folyóvízi üledékekkel takartak. Ez az üledéksor lényegében a felsőpleisztocénig kifejlődött Ős-Sárvíz főként homokból álló hordalékkúpja. A felső-

² Hegyrajz: a földrajznak a föld felszíni formáit leíró ága. *www2*

pleisztocéntól kezdve a kistáj középső része (Györkönyi-hát) gyengén emelkedett, rajta többnyire eolikus jellegű, 10-20 m vastag lösz képződött. A pleisztocén végén és a holocénban a hordalékkúpon jelentős kiterjedésű futóhomokfelszín alakult ki. (*Magyarország Kistájainak Katasztere*)

4.3 A területen végzett feltárások

Paks II telephelyén számos talajfeltárást, helyszíni vizsgálatot végeztek többek között fúrási tevékenységeket, in situ vizsgálatokat, mint például a folyamatos magfúrás. Végeztek szondázásokat (CPTu, SCPT, SPT(C), GCPT, disszipáció mérés, Menard pressziométeres (MPM) mérés, önbefúró pressziométeres (SBP) mérés), továbbá elkészült számos geofizikai mérés, szeizmikus mérés, hidrorepesztés, crosshole mérés, illetve vizsgálták a terület hidrológiai-hidrogeológiai viszonyait is. Ezeket követték a földtani fúrások laboratóriumi vizsgálatai, talajmechanikai és kőzetmechanikai vizsgálatok, majd az eredmények feldolgozásával és további monitoring tevékenységeket követően elkészült a terület földtani és geomorfológiai térképezése, melyből alapos és részletes kép rajzolódott ki a helyszín felszín alatti viszonyairól.

4.4 A területen feltárt rétegek jellemzése

A geotechnikai vizsgálati eredmények alapján a telephelyi területre a 2. táblázatban feltüntetett jellemző rétegsor adható meg.

A telephelyen átlagosan kb. 6,5-7,0 m vastag holocén fedőréteg található, mely alatt 20,0-21,0 m vastagságú pleisztocén üledék (futóhomok, öntéshomok, kavicssterasz) települt. A pleisztocén rétegek alatt változatos pannon rétegsor (agyagos-homokos rétegek) található legalább 130 m mélységig, melyeket G-O betűk jelölnek.

A homokos-agyagos üledékek váltakozásából felépülő pannon rétegsor jól korrelálható. A pannon rétegek a terület É-i részén közel vízszintesek, azonban ÉNy felől DK felé haladva, egy bizonyos ponton túl ugyanazok a rétegek fokozatosan egyre mélyebben találhatóak.

A pleisztocén rétegek alatt, jellemzően 67-74 mBf szint között (illetve 70-72 mBf között) jelenik meg a pannon üledékes összlet, mely a feltárások talpáig (130 m) van jelen.

A pannon rétegsorban agyag-iszap és homok-iszapos homok rétegek egymásra települve váltogatják egymást. A rétegsorban nagyobb vastagságú homogén réteget nem lehetett azonosítani, gyakoriak a betelepülések, illetve a keresztarégteltség.

A pleisztocén kavicsréteg alatt többnyire szemcsés rétegek találhatóak. A szemcsés rétegek a pannon összlet meghatározó rétegei a feltárás alsó határáig, viszont csak kevés helyen lehetett nagyobb vastagságú homogén réteget azonosítani, a gyakori betelepülések miatt. A

pannon formációra jellemző a keskeny közbetelepült rétegek halmozódása, amit geotechnikai szempontból csak átlagosítással, illetve statisztikai elemzéssel lehetett kezelni.

A homokba, iszapos homokba a 130 méteres feltáró fúrás alsó határáig 3 olyan iszap-agyag réteg települt, melyek vastagsága eléri a 2 métert.

A pannon réteg előterhelt, ezt bizonyítják a helyszíni presszióméteres vizsgálatok, valamint a CPTu szondázások eredményei is. A mérési eredmények szórása azonban nagy, így az előterhelő feszültség nagyságára jó közelítéssel 1000-3500 kPa közötti becslés adható. (Földtani Kutatási Program zárójelentése (1.3.25) MÁ/PA2-16-FT-14 VI)

Dolgozatomban ezt az előterheltséget kísérlem meg részletesebben vizsgálni, melynek léte földtörténeti időkhöz nyúlik vissza és hatása a jelenben is érződik.

2. táblázat Feltárt talajrétegek tényleges és átlagos vastagsága
(Földtani Kutatási Program zárójelentése (1.3.25) MÁ/PA2-16-FT-14 VI 3.2 Geotechnikai értékelés)

Talajréteg jele	Talaj megnevezése	Talajtípus	Vastagság [m] (min-max)	Vastagság [m] (átlag)
„A” réteg	Mesterséges feltöltés	homokos agyagos iszap; iszapos finomhomok	1,5-7,8	5,2
„B” réteg	Szervesnyomos, szerves, humuszos „fedőréteg”	szervesnyomos, szerves agyagos iszap; iszapos agyag	0-0,95	0,7
„C” réteg	Holocén szürke agyag	változó plaszticitású agyag	0-1,8	0,9
„D” réteg	Futóhomok	finomhomok; (agyagos) iszapos homok	0-12,8	5,0
„E” réteg	Öntéshomok	homok, kavicsos homok	0-9,7	5,4
„F” réteg	Kavicsterasz	kavicsos homok, homokos kavics	7,7-12,9	10,0
„G” réteg	Pannon „G”	finomhomok, iszapos homok, homokos iszap	4,2-31,0	13,7
„H” réteg	Pannon „H”	homokos iszap, agyag összlet	4,4-26,0	16,2
„I” réteg	Pannon „I”	homok, iszapos homok	3,5-24,7	14,0
„J” réteg	Pannon „J”	agyag (homok betelepülésekkel)	2,1-7,6	4,0
„K” réteg	Pannon „K”	homok	10,8-16,0	14,4
„L” réteg	Pannon „L”	agyag	1,5-4,1	2,9
„M” réteg	Pannon „M”	homok (homokos iszap betelepülésekkel)	4,7-30,9	25,2
„N” réteg	Pannon „N”	agyag (finomhomok, homokos iszap betelepüléssel)	7,4-8,5	7,9
„O” réteg	Pannon „O”	homok	4,0-11,2	8,3

3. táblázat A számítások során alkalmazott térfogatsűrűségek és rétegvastagságok (FKP alapján)

Feltárt talajrétegek geotechnikai paramétere				
Réteg jele	Réteg alsó határa [m]	Réteg átlagos vastagsága [m]	Nedves térfogatsűrűség [g/cm³]	Telített térfogatsűrűség [g/cm³]
"A"	5,2	5,20	1,70	1,90
"B"	5,9	0,70	1,50	1,70
"C"	6,8	0,90	1,85	2,05
"D"	11,8	5,00	1,75	1,85
"E"	17,2	5,40	1,92	1,98
"F"	27,2	10,00	1,92	2,08
"G"	40,9	13,70	1,90	2,20
"H"	57,1	16,20	1,90	2,20
"I"	71,1	14,00	1,90	2,20
"J"	75,1	4,00	1,90	2,20
"K"	89,5	14,40	1,90	2,20
"L"	92,4	2,90	1,90	2,20
"M"	117,6	25,20	1,90	2,20
"N"	125,5	7,90	1,90	2,20
"O"	133,8	8,30	1,90	2,20

5. Ödométeres vizsgálatok eredményeinek feldolgozása

A vizsgált területen végzett feltárások elhelyezkedése az 1. mellékleten láthatók. Az I-V.-ig terjedő, római számmal jelzett szelvényeken belül megkülönböztetünk további, szelvényenként 8 db, 1-8-ig terjedő, arab számmal jelzett fúrásokat, továbbá minden fúrás azonosítójához tartozik még egy betű az A, B, C vagy D, melyek rendre 15-25-50 és 130 méteres mélységű fúrásra utalnak. A mintákon elvégzett ödométeres vizsgálatok lépcsőzetes terheléssel, a ISO/TS 17892-5:2004 szabvány szerint lettek elvégezve. A kompressziós vizsgálatok öt terhelési lépcsőn lettek kivitelezve, 200 kPa-os terhelési különbséggel. A vizsgálat eredménye megadta az egyes terhelések hatására fellépő összenyomódást, melyből közvetlenül számítható az alakváltozás (ϵ). A kezdeti hízagtényezőből és az alakváltozási értékekből számítható minden terhelés utáni hízagtényező a következő képlettel:

$$e_n = e_{n-1} - \frac{\epsilon_n - \epsilon_{n-1}}{100} \times (1 + e_{n-1}) \quad (7)$$

Így minden talajmintához tartozó alakváltozási értékek és hízagtényezők adottak, melyek a p_c meghatározásához szükségesek. A 3. fejezetben részletezett módszerek közül a Pacheco-Silva módszeréhez a σ - e görbe használata szükséges, míg a Sallfors és a Casagrande módszer a σ - ϵ görbe leolvasásán alapszik, így ezen módszerek szerint határoztam meg az előterhelési feszültséget, abból pedig az OCR-t. Utóbbihoz a (6) képletet alkalmaztam. Az előterheltséget a pannon rétegekben vizsgáltam, így minden 25-50 m mélységből származó talajmintán elvégzett vizsgálatokkal foglalkoztam. A dolgozatomban vizsgált fúrások száma 33 db, ez 1732 méter, melyből 22 db, összesen 849,35 méter volt releváns az előterheltséget tekintve (25-50 méter mélység közötti fúrások). Egy mintán nem tudtam elvégezni a grafikus módszereket (IV-4-C 29,50 m), mert itt jelentősen eltérő terhelési lépcsőket alkalmaztak. Így a 32 mintán elvégzett ödométeres vizsgálatból elkészített grafikonon mindösszesen 96 db p_c meghatározást végeztem el grafikus úton, a három különböző módszerrel. A Pacheco-Silva és Sallfors módszerrel történő p_c meghatározást a PTC Mathcad Prime 6.0.0.0 nevű szoftverrel végeztem, míg a Casagrande módszer több szerkesztési igénye miatt, Autocadben szerkesztettem meg.

A 7. ábra az I-2-C jelű fúrás 40,0 m mélységéből vett mintán elvégzett feldolgozását mutatja a Pacheco-Silva módszere szerint. Először megadtam egy vektorként a terhelési lépcsőket (T , [kPa]), majd ezekhez rendre hízagtényező értékeket rendeltem (e , [-]). Ez minden mintánál kétszer 5 db értéket jelentett, melyre negyedfokú függvényt illesztettem a beépített „polyfit” függvénnyel. A nyers kompressziós görbe kezdeti értékeire egyenest illesztettem,

amely megadta a függvény meredekségét, amely a módszer első lépése. Mivel ez egy szemi-logaritmikus grafikon (azon belül log-lineáris, amikor az x-tengely logaritmikus skálával, az y-tengely lineáris skálával rendelkezik), az egyenes ilyen esetben nem lineáris egyenes, ezért az „lnfit” függvénnyel transzformálnom, linealizálnom kellett. Ezután vízszintes vonalat húztam a hézagtenyező értékéből, majd, ahol e két egyenes metszette egymást, függőleges és vízszintes, úgynevezett „markerekkel” pontos leolvasást tudtam végezni az előterhelési feszültséget illetően.

Minta megnevezése: I-2-C 40.0 m
agyag

Pacheco-Silva módszere az előterhelési feszültség meghatározására:

Mérési eredmények a kompressziós vizsgálatból:

$$\text{Terhelés: } T := \begin{bmatrix} 200 \\ 400 \\ 600 \\ 800 \\ 1000 \end{bmatrix} \text{ [kPa]} \quad \text{Hézagtenyező: } e := \begin{bmatrix} 0.91 \\ 0.90 \\ 0.89 \\ 0.88 \\ 0.81 \end{bmatrix}$$

Negyedfokú polinom illesztése a terhelés-hézagtenyező értékekre:

$$f := \text{polyfit}(T, e, 4) \\ x := 200 .. 1000$$

Nyers kompressziós görbére illesztett egyenes pontjai (Pacheco-Silva)

$$A := \begin{bmatrix} 980 & f(980) \\ 985 & f(985) \\ 990 & f(990) \\ 995 & f(995) \\ 1000 & f(1000) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 980 & 0.823 \\ 985 & 0.82 \\ 990 & 0.817 \\ 995 & 0.813 \\ 1000 & 0.81 \end{bmatrix}$$

$$\text{kezdeti hézagtenyező egyenlete: } h(x) := 0.95$$

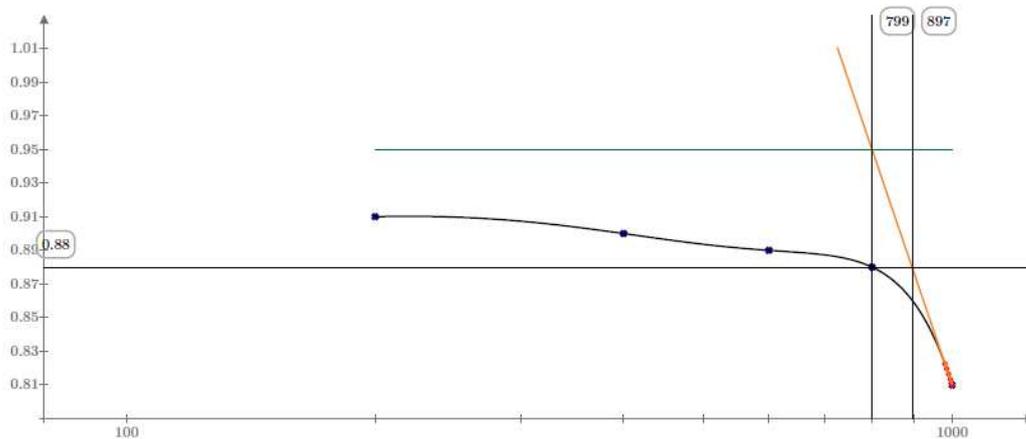
Egyenes egyenlete log-lineáris koordináta tengelyre felírva (x-logaritmikus, y-lineáris)

$$y(x, m, b) := m \cdot \ln(x) + b$$

$$\begin{bmatrix} m \\ b \end{bmatrix} := \text{lnfit}(A^{(1)}, A^{(2)}) = \begin{bmatrix} -0.63 \\ 5.13 \end{bmatrix}$$

7. ábra Pacheco-Silva módszerének felépítése a Mathcad nevű programban az I-2-C 40,0 m jelű mintán

A 8. ábra pedig a szerkesztés eredményét mutatja. Jól látható, hogy ennél a mintánál feltehetően elegendő volt a laboratóriumi terhelés, hogy elérjünk egy reális értéket a múltbéli legnagyobb terhelésnek. A zöld egyenes a kezdeti hézagtenyezőt mutatja, a narancssárga pedig a nyers kompressziós görbére illesztett egyenest.



8. ábra Az I-2-C-40,0 m jelű minta eredménye a Mathcad-ben (Pacheco-Silva)

Hasonló elven végeztem a Sallfors módszerrel történő előterhelési feszültség meghatározást is. Itt is negyedfokú polinomot illesztettem a mérési eredmények által kirajzolt pontokra és -ahogy a módszer írja- a görbe legnagyobb görbületi pontja köré kettő érintőt illesztettem, szintén a beépített „slope” és „intercept” függvényekkel. A módszer hátránya, hogy nehezen automatizálható, mert minden mintán elvégzett vizsgálat eltérő görbét eredményezett és minden minta egyéni érintők illesztését igényelte, ami sok és aprólékos munkát igényel.

Sallfors módszere az előterhelési feszültség meghatározására:

Mérési eredmények a kompressziós vizsgálatból:

$$\text{Terhelés: } T := \begin{bmatrix} 200 \\ 400 \\ 600 \\ 800 \\ 1000 \end{bmatrix} \text{ [kPa]} \quad \text{Alakváltozás: } \varepsilon := \begin{bmatrix} 1.9 \\ 2.7 \\ 3.3 \\ 3.7 \\ 7.1 \end{bmatrix} \text{ [“\%”]}$$

Negyedfokú polinom illesztése a terhelés-összenyomódás értékekre:

$$g := \text{polyfit}(T, \varepsilon, 4) \\ x := 600 \dots 1000$$

Nyers kompressziós görbére illesztett egyenes pontjai (Sallfors)

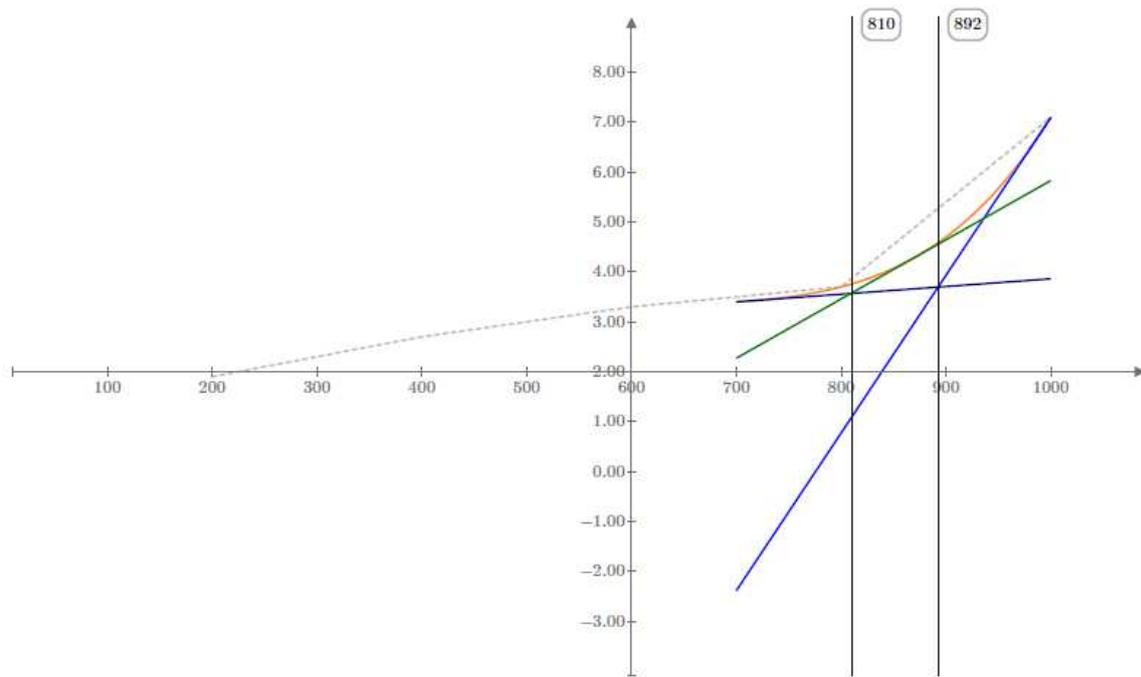
$$A := \begin{bmatrix} 980 & g(980) \\ 985 & g(985) \\ 990 & g(990) \\ 995 & g(995) \\ 1000 & g(1000) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 980 & 6.468 \\ 985 & 6.618 \\ 990 & 6.773 \\ 995 & 6.934 \\ 1000 & 7.1 \end{bmatrix} \quad B := \begin{bmatrix} 700 & g(700) \\ 705 & g(705) \\ 710 & g(710) \\ 715 & g(715) \\ 720 & g(720) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 700 & 3.4 \\ 705 & 3.41 \\ 710 & 3.41 \\ 715 & 3.42 \\ 720 & 3.43 \end{bmatrix}$$

Egyenes egyenlete log-lineáris koordináta tengelyre felírva (x-logaritmikus, y-lineáris)

$$\begin{aligned} y(x, m, b) &:= m \cdot x + b & z(x, m, b) &:= m \cdot x + b \\ m_a &:= \text{slope}(A^{(1)}, A^{(2)}) & m_b &:= \text{slope}(B^{(1)}, B^{(2)}) \\ b_a &:= \text{intercept}(A^{(1)}, A^{(2)}) & b_b &:= \text{intercept}(B^{(1)}, B^{(2)}) \\ f_{\text{trend}}(x) &:= m_a \cdot x + b_a & g_{\text{trend}}(x) &:= m_b \cdot x + b_b \end{aligned} \quad x := 700 \dots 1000$$

$$\begin{aligned} \text{legnagyobb görbületi pont helye:} & \quad x_0 := 870 \\ \text{érintő egyenlete:} & \quad e(x) := g'(x_0) \cdot (x - x_0) + g(x_0) \end{aligned}$$

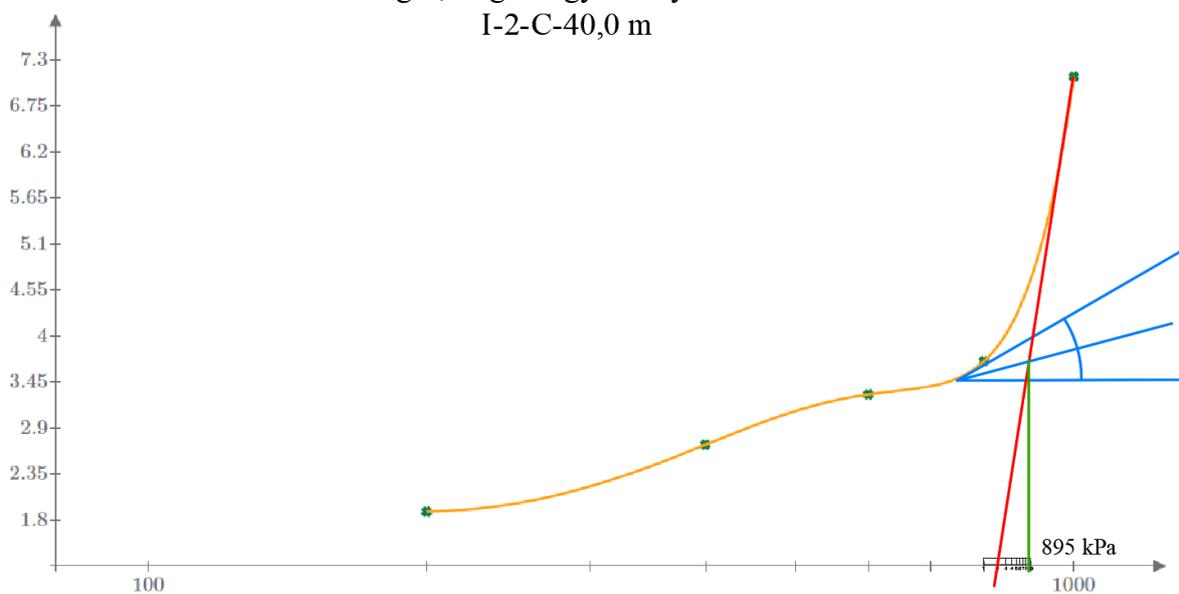
9. ábra Sallfors módszerének felépítése a Mathcad nevű programban az I-2-C 40,0 m jelű mintán



10. ábra Az I-2-C-40,0 m jelű minta eredménye a Mathcad-ben (Sallfors)

A módszer szerint ott van a maximális előterhelési feszültség értéke, ahol ez a két érintő metszi egymást, azaz 892 kPa-nál, de a valós előterheltség a B pontban (3. fejezet) adódik, ami jelen esetben 810 kPa. Ezek átlaga tízesre kerekítve 850 kPa, mely ennél a módszernél a mérvadó előterhelési érték.

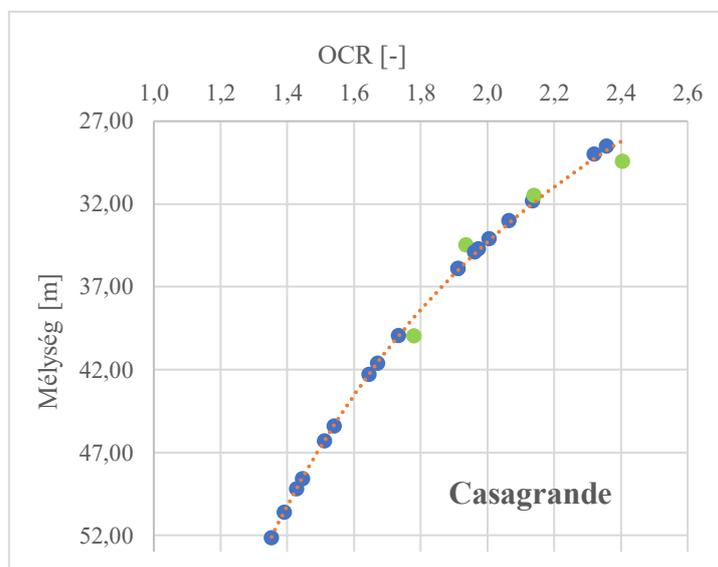
A Casagrande módszert Autocad-ben végeztem el, melyet a 11. ábrán mutatok be, szintén az I-2-C mintán. A szerkesztés hátránya a Mathcad-es megoldással szemben, hogy csak a százás helyiérték metszete olvasható le pontosan, a tízes helyiértékhez a logaritmikus skála 10-ed részének illesztése szükséges, míg az egyes helyiértéket 0-5 értékekre becsültem.

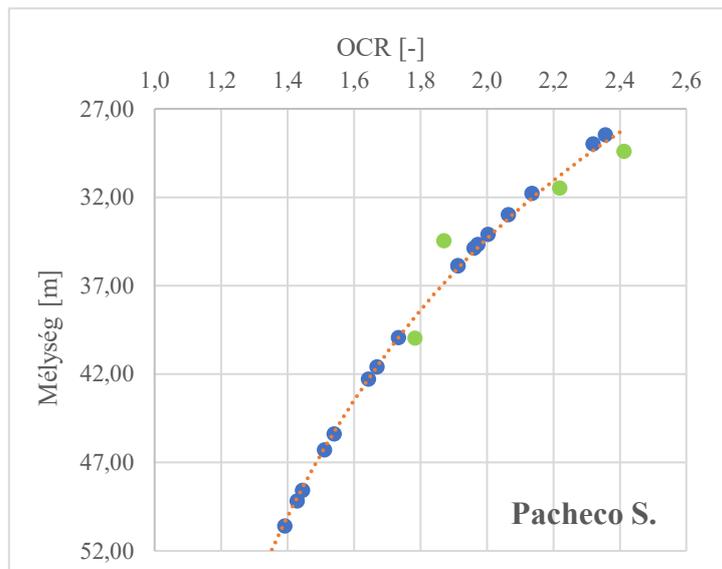
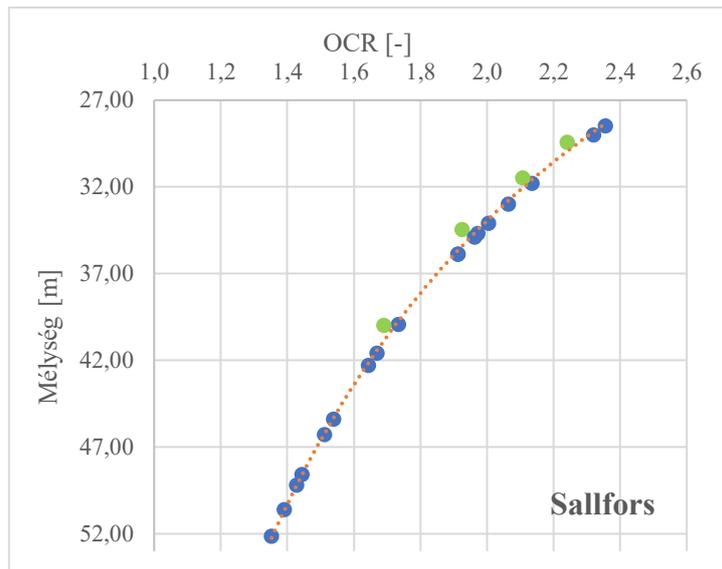


11. ábra Az I-2-C-40,0 m jelű minta eredménye a Autocad-ben (Casagrande)

Mindösszesen négy talajminta esetén (I-2-C-29,45 m; I-2-C-34,50 m; I-2-C-40,00 m; II-2-D-31,50 m) rajzolódott ki a kompressziós görbe úgy, hogy abból meg lehessen állapítani az előterhelési feszültséget. A fennmaradó 28 mintánál a számításaim alapján a laboratóriumi terhelés nem bizonyult elegendőnek ahhoz, hogy elérjük a talaj múltbéli terhelését. Ezért ezeknél a mintáknál iterációval határoztam meg a $p_c'=870$ kPa értéket, így a lenti ábra rajzolódott ki. A zölddel jelölt OCR-mélység értékek jelentik azt a négy mintát, melyre a p_c' meghatározó módszert lehetett alkalmazni. A görbe kiadja az OCR-mélység szakirodalom szerinti alakját, a négy minta pedig jól illeszkedik erre a görbére. Ezen eredményeket a 12. ábrán mutatom be a három különböző számítási módszerrel kapott értékeken.

Az eredményeket a Mellékletekben a 6. táblázatomban összegzem. Összeségében elmondható, hogy ezen módszerek csak abban az esetben alkalmazhatók, hogy ha vannak olyan laboratóriumi körülmények, amelyekkel el tudjuk érni a feltételezett múltbéli terhelést. Továbbá a Pacheco-Silva módszer a legegyszerűbben másolható, míg a Sallfors és a Casagrande igényli a legtöbb beavatkozást a felhasználó részéről. A fent bemutatott I-2-C 40,0 m nevű mintán kapott értékek korrelálnak egymással, ezért arra a feltételezésre jutottam, hogy a módszerek megbízhatók, jelen esetben az előterheltség nagyjából 900 kPa körüli lehetett. A jelenlegi függőleges hatékony feszültség értéke a feltárt rétegsor térfogatsúlyaiból és vastagságukból számolva 500 kPa körüli, s ezek aránya nagyjából 1,8, amely az előterheltségi arány. Jelen esetben tehát az $OCR=1,8$, amely fizikailag azt jelenti, hogy a valaha volt legnagyobb terhelés 1,8-szor akkora, mint amilyen terhelés most erre a pontra rakódik. Ez azt bizonyítja, hogy valóban erodált ez a terület, mely igazolja a kezdeti feltételezemet, miszerint a talaj emlékezetében megmaradt a korábbi függőleges feszültség értéke.





12. ábra Előterheltség a mélység függvényében (ödométeres vizsgálatok feldolgozásának eredménye)

6. OCR meghatározása CPT/CPTu vizsgálatból

A geotechnika tudástára körülbelül 1978 óta gazdagodott különféle CPT és CPTu adatból meghatározható OCR módszerrel. Az OCR meghatározása CPT/CPTu adatsorból három fő kategóriába esik:

6.1. A drénezetlen nyírószilárdságon (s_u) alapuló módszer

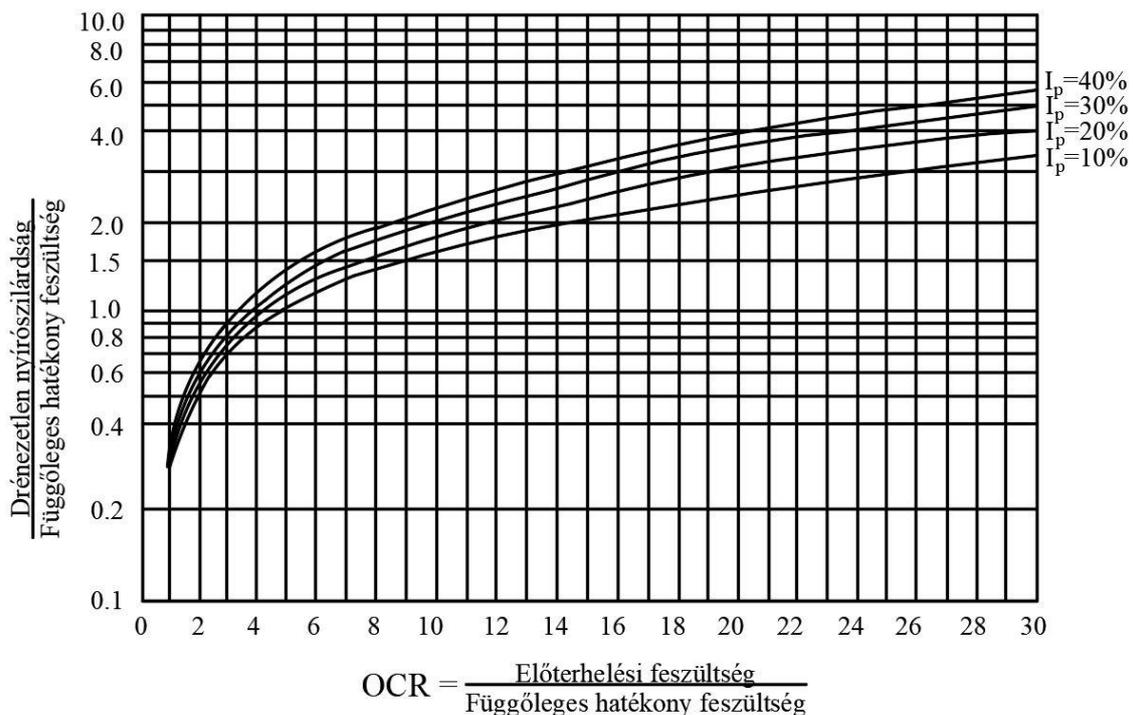
A következő módszer Schmertmann (1974, 1975) nevéhez fűződik:

- 1) Becsüljük meg az s_u -t a CPT/CPTu adatsorból az alábbi képlettel:

$$s_u = \frac{q_c - \sigma_{v0}}{N_k} \quad (8)$$

ahol	s_u	drénezetlen nyírószilárdság
	q_c	csúcsellenállás
	σ_{v0}	függőleges kezdeti feszültség
	N_k	empirikus csúcsellenállási tényező

- 2) Becsüljük meg a hatékony függőleges feszültséget, σ'_{v0} , a talajprofilból (a laborban mért sűrűség értékeket használva, ha lehetséges) és számoljuk ki a s_u/σ'_{v0} értékét
- 3) Becsüljük meg a megfelelő normálisan konszolidált (NC) s_u/σ'_{v0} értékét (például Ladd et al., 1977) a mért vagy becsült plasztikus indexből (I_p)
- 4) Becsüljük meg az OCR értékét a 13. ábrán látható összefüggés alapján (Andersen et al., 1979) vagy hasonló összefüggésekből (például Ladd et al., 1977)



13. ábra Az s_u/σ'_{v0} , OCR és az I_p közötti összefüggés (Andersen et. al., 1979) és kapcsolatok Brooker és Ireland által (1965) (forrás alapján újraserkesztve) (T. Lunne, P.K. Robertson, J.J.M. Powell)

Ha a plasztikus index nem ismert, használjuk az $s_u/\sigma'_{v0}=3$ átlagos értékét az NC értékhez.

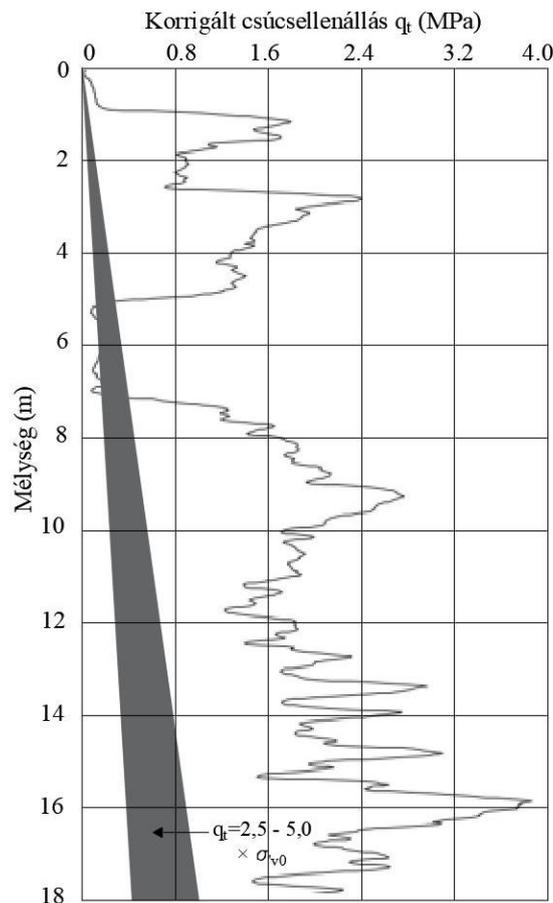
6.2. A CPTu profil alakján alapuló módszer

A kúp ellenállás profiljának alakja becslést adhat az előterhelési feszültségre, ennél fogva az OCR értékére is. Normálisan konszolidált agyag esetén a következő tartományban normalizálódó kúp ellenállás értékre számíthatunk:

$$Q_t = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} = 2,5 \text{ to } 5,0 \text{ az } I_p \text{ értékétől függően} \quad (9)$$

- ahol Q_t normalizált csúcsellenállás
 q_t korrigált csúcsellenállás = $(q_c + (1-a) \times u_2)$
 a szondacsúcs keresztmetszeti területe
 σ_{v0} függőleges kezdeti feszültség
 σ'_{v0} függőleges hatékony kezdeti feszültség

A megközelítés szerint, az OCR egyszerű értékelését elvégezhetjük, ha egy elméleti sávot ($2,5 \times \sigma'_{v0} - 5,0 \times \sigma'_{v0}$) a korrigált csúcsellenállás (q_t) - mélység diagramra, amely a fenti összefüggést ábrázolja. Ha a q_t vonala közel esik az elméleti sávhoz, az agyag valószínűleg normálisan konszolidált. Ha a q_t jelentősen nagyobb, az agyag túlkonszolidált. Ennek megfelelően, hogyha a q_t az elméleti vonal alatt van, a talaj alulkonszolidált.



14. ábra CPTu profil alakján alapuló módszer (forrás alapján újraserkesztve) (T. Lunne, P.K. Robertson, J.J.M. Powell)

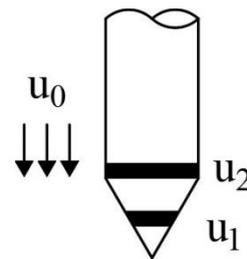
6.3. Közvetlenül a CPTu adatokon alapuló módszer

Baligh és társai (1980) rámutattak arra, hogy a drénezetlen kúp behatolása során mért pórusvíznyomás tükrözi a kohéziós talaj feszültségelőzményeit. CPTu teszteknel, ahol a pórusvíznyomást mind a kúp felületén, mind pedig a kúp mögött mérik, Sully et al. (1988) szerint a normalizált pórusvíznyomás-különbség (pore pressure difference, PPD) összefüggésbe hozható az OCR-rel.

A pórusvíznyomás különbség a következő:

$$PPD = \frac{u_1 - u_2}{u_0} \quad (10)$$

ahol	PPD	pórusvíznyomás-különbség
	u_0	hidrosztatikus pórusvíznyomás
	u_1	pórusvíznyomás a csúcson
	u_2	pórusvíznyomás a csúcs mögött



OCR < 10 esetén az alábbi korreláció érvényes:

$$OCR = 0,66 + 1,43 (PPD)$$

15. ábra 10. képlet értelmezése
(T. Lunne, P.K. Robertson, J.J.M. Powell)

A fenti összefüggés azon CPTu adatokra alkalmazható, ahol a pórusvíznyomást a kúp mögött mérik (u_2).

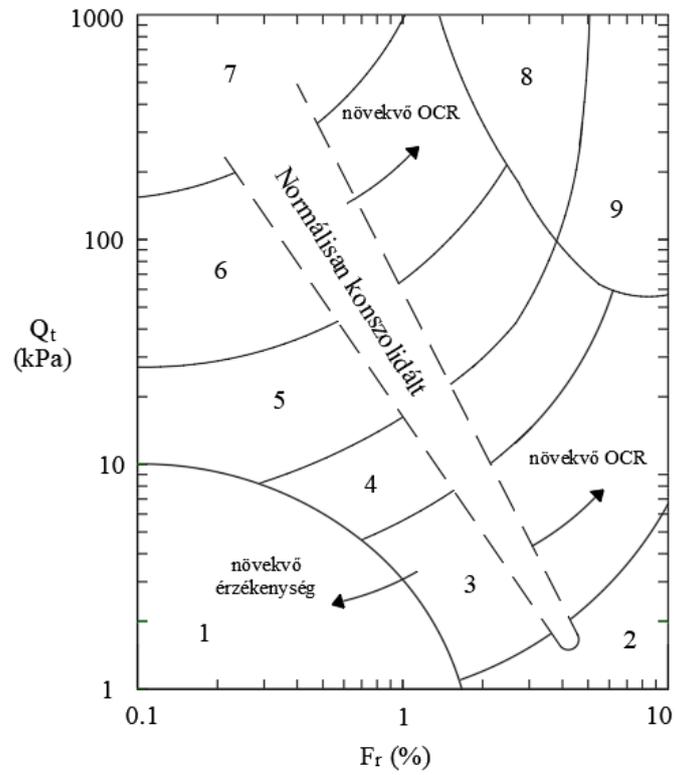
6.4. Túlkonzolidált talaj osztályozása a Robertson diagram segítségével

Robertson (1990) azt javasolta, hogy a 16. ábra diagramjai mindig globális természetűek legyenek, és útmutatásként kell őket használni a talaj viselkedési típusának meghatározásához a CPT és a CPTu adatai alapján. Az olyan tényezők, mint a feszültség előzmények változása, az in-situ feszültség, az érzékenység, a merevség, az ásványi összetétel és az hézag tényező szintén befolyásolják a besorolást. Alkalmanként a talajok az egyes diagramok különböző zónáiba esnek; ezekben az esetekben külön megítélésre van szükség a talaj típusának helyes osztályozásához. (T. Lunne, P.K. Robertson, J.J.M. Powell)

A bővített Robertson-diagram - a hagyományostól eltérően - a függőleges tengelyre a Q_t -t, azaz a normalizált csúcsellenállást határozza meg, míg a vízszintes tengelyen F_r , vagyis a normalizált súrlódási arányszám szerepel. Ezek kiszámítása az alábbi képletekkel történik:

$$Q_t = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \quad (11)$$

$$F_r = \frac{f_s}{q_t - \sigma_{v0}} \quad (12)$$

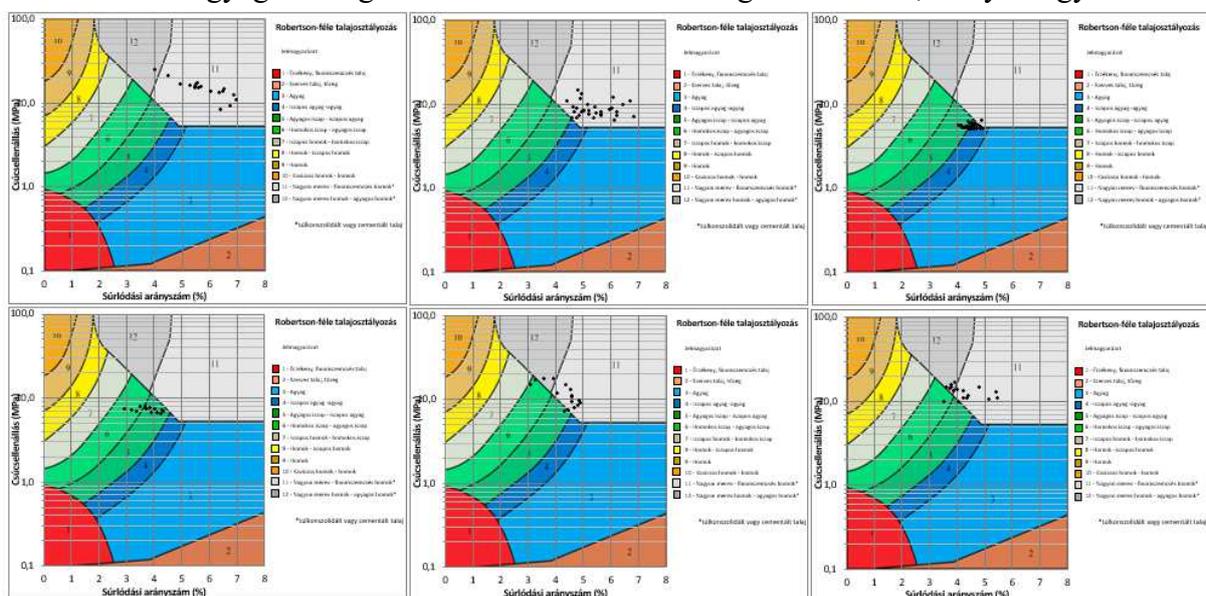


16. ábra Bővített talajtípus osztályozó Robertson-diagram CPTu adatokra (Jefferies és Davies, 1991) (forrás alapján újraserkesztve) (T. Lunne, P.K. Robertson, J.J.M. Powell)

7. CPTu vizsgálatok eredményeinek feldolgozása

7.1. A CPTu vizsgálatok feldolgozása

A 6. fejezetben részletezett módszerek közül az 6.1 és az 6.4 jelű módszerek szerint dolgoztam fel a rendelkezésemre bocsátott CPTu adatsorokat. Az 6.2 módszert egyszerű használni, de hátránya, hogy pontos OCR értékek nem számíthatók vele, azonban egy jó képet ad a CPTu vizsgálat alapján arról, hogy a mélység függvényében milyen a talaj (túl)konszolidáltsága, illetve a 6.3. módszerhez szükséges adatokkal nem rendelkezünk. A rendelkezésemre bocsátott 31 db CPTu szondázási adatsorból mindösszesen 7 db volt felhasználható számomra, ugyanis itt is a 25-35 méter mélység közötti szondázásokkal és az ödométeres vizsgálatokkal megegyező fúrási helyeken végzett CPTu vizsgálatokkal foglalkoztam, ez az I-2, II-2, II-4, II-6, III-4, III-6 és V-4 jelű szondázási helyeket jelenti. Ezek összes hossza közel 81,28 méter. Ezt a 7 CPTu szondázási adatsort további 54 kisebb rétegekre bontottam a Q_t és R_f értékek alapján, és mind az 54 kisebb réteghez rendeltem 54 Robertson diagramot. Azon rétegeket, ahol túlnyomórészt agyagos talaj volt jelen, további rétegekre bontottam, immár a Q_t és az R_f értékek szerint, ugyanis a fúrásszelvényben feltehetően nagyvonalúbb lehatárolás volt fellelhető az egyes rétegeket illetően, mint ahogy az a valóságban jelen van. Így az I-2 jelű fúrást további 2 db, a II-2-est 6 db, a II-4-est 7 db, a II-6-ost 12 db, a III-4 jelűt szintén 12 db, a III-6 jelűt 5 db és a V-4 jelűt további 7 db rétegre tudtam csoportosítani. Az agyagos rétegeket tovább bontottam, mivel nem egyértelműen azonos tartományba estek a Robertson-diagramon: az I-2 fúrásban nem volt agyagos réteg, a II-2 fúrásban lévő agyagos rétegeket további 11 kisebb rétegre osztottam, melyek egyértelműen



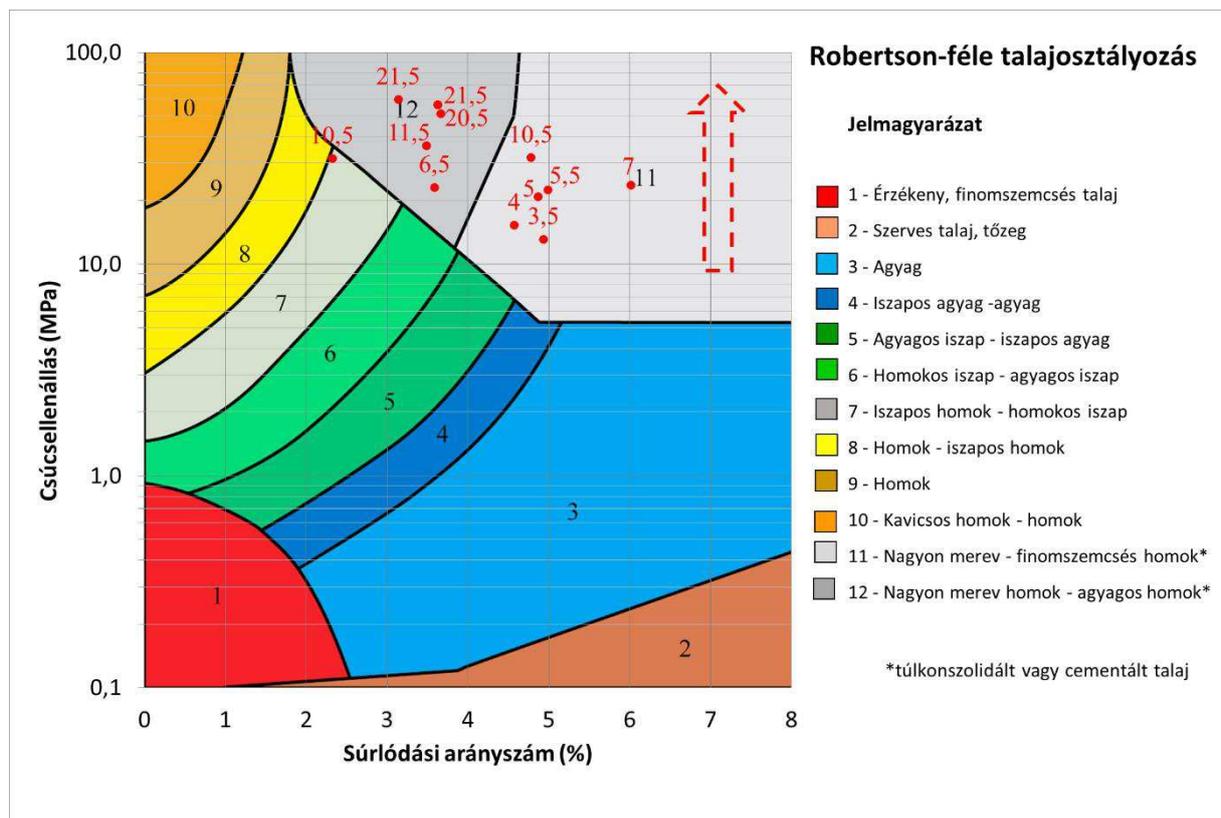
17. ábra A II-4 jelű adatsor agyagosnak jelölt réteg további rétegekre bontása Robertson diagramokon

azonos tartományba estek, a II-4-eset 6 db-ra, a II-6-osat 11 darabra, a III-4-eset 10 darabra, a III-6-osat 12 darabra, végül az V-4-eset további 7 db rétegre tudtam felbontani.

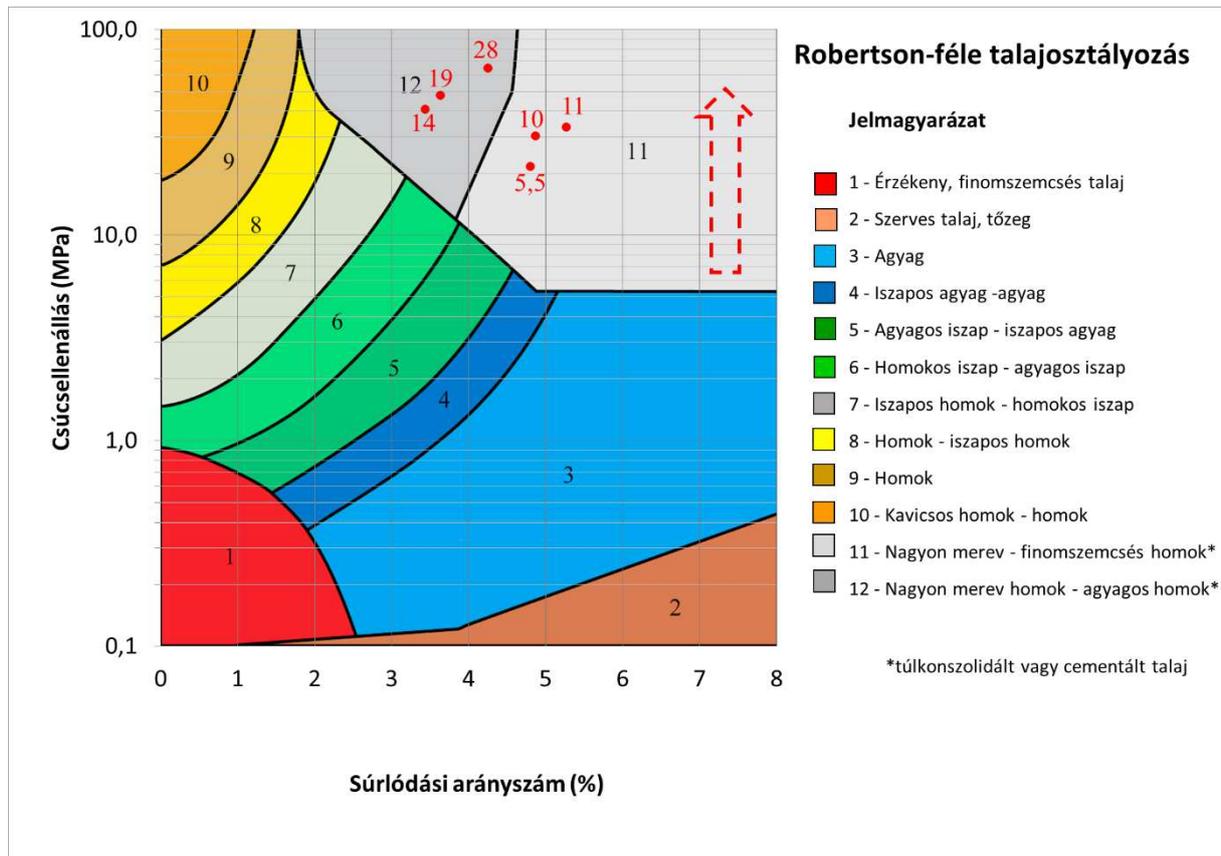
Ez összesen 57 újabb réteget jelent és 57 Robertson diagramon azonosítottam az adatsorra jellemző talajtípust. Az eredmény pedig az volt, hogy tisztán a Robertson-diagram 11-12. tartományába (ez jelenti a túlkonzolidált talajokat) eső kisebb rétegek leginkább a III-6-os és a V-4-es fúrási helyen voltak fellelhetők. Ezért ezeken a méréseken tovább dolgoztam.

A túlkonzolidált tartományba eső pontoknak meghatároztam a súlypontját oly módon, hogy az egyes kisebb rétegekhez tartozó Q_t és R_f értékekből számtani közepet számoltam. A III-6 agyag rétegeiben súlypontokat egy közös Robertson diagramon ábrázoltam. (18. ábra) Ugyanezt az V-4 réteg CPTu adatain is elvégeztem és az 6.1. módszer szerint minden súlyponthoz kiszámoltam az OCR értékeket. (19. ábra)

Összességében kijelenthető, hogy az OCR értékek a Robertson diagramon egyértelműen egy irányba növekednek. Megfigyelhető továbbá, hogy a réteg viszonylag kicsi vastagságához képest eléggé széles skálán kaptam OCR értékeket. Úgy véljük, hogy ennek oka a területen lezajló tektonikus mozgásokban, vetők kialakulásában, a rétegek nagymértékű eltolódásában keresendő.



18. ábra A III-6 jelű fúrás agyagos rétegeinek előkonszolidáltsága



19. ábra Az V-4 jelű fúrás agyagos rétegének előkonszolidáltsága

7.2. Az eredmények összevetése a CPeT-IT szoftverrel

A fenti rétegek adatsorait lefuttattam a CPeT-IT nevű szoftverben is, amely többek között OCR értékeket is számol CPT szondázási eredményekből.

A CPeT-IT egy könnyen használható, mégis részletes szoftvercsomag a statikus nyomószondás (CPTu) adatok értelmezéséhez. A CPeT-IT a Gregg Drilling Inc.-rel, a geotechnikai helyszíni vizsgálatok és a kúp penetrációs tesztek (CPT) vezető vállalatával és Peter Robertson professzorral, a CPT átfogó tankönyvének társszerzőjével való együttműködés eredménye. A CPeT-IT átveszi a CPTu nyers adatait, és alapvető értelmezéseket végez a talaj viselkedési típusa és különféle egyéb geotechnikai paraméterek tekintetében, a Lunne, Robertson és Powell (1997) átfogó áttekintése alapján a jelenlegi közzétett összefüggések felhasználásával, valamint Robertson professzor legújabb frissítései alapján. www3

A 4-5. táblázat mutatja az általam számolt (7.1. fejezetben részletesen bemutatott) OCR értékek és a CPeT-IT program által számolt OCR értékeket. Összességében az mondható, hogy a szoftver nagyobb értékeket hozott eredményül, mint a kézi számítás, de az eredmények viszonylag közel állnak egymáshoz. A számítógépes szoftver nagyon gyorsan, minden 2,0 cm-re számol OCR-t, míg én csak a lehatárolt kisebb rétegekre számoltam egy átlagos értéket, így

annak érdekében, hogy összehasonlítható legyen a kétféle számítással kapott eredmény, ugyanazon rétegekre, a program által számolt OCR értékekből átlagot vontam, így alkottam meg a 4-5. táblázatok utolsó oszlopait.

4. táblázat III-6 jelű szonda agyagos rétegein kapott OCR értékek összehasonlítása

III-6			
Talajtípus	Réteg határai [m]	Számolt OCR	CPeT-IT
közepes agyag	37,94-38,00	20,5	22,92
	38,00-38,12	7,0	11,38
	38,12-38,20	11,5	16,70
	38,20-38,52	10,5	14,72
	38,52-38,66	22,5	24,53
	38,66-39,02	5,0	9,66
	39,02-39,08	6,5	10,14
	39,08-39,34	4,0	7,12
	39,34-39,60	5,5	10,43
	39,60-39,66	10,5	12,67
	39,66-39,84	3,5	6,34
	39,84-40,08	21,5	23,49

5. táblázat V-4 jelű szonda agyagos rétegein kapott OCR értékek összehasonlítása

V-4			
Talajtípus	Réteg határai [m]	Számolt OCR	CPeT-IT
közepes agyag	32,62-32,74	10,0	14,51
	32,74-32,80	14,0	18,41
	32,80-32,98	-	-
	32,98-33,04	28,0	30,7
	33,04-33,16	11,0	16,07
	33,16-33,28	5,50	10,32
	33,28-33,40	19,0	20,24

Az V-4 jelű szondánál sem a kézi számítás, sem pedig a CPeT-IT nem hozott értelmezhető eredményt a 32,80-32,98 m között. Előbbinél a drénezetlen nyírószilárdság és a függőleges hatékony feszültség aránya (5,82) a grafikonra vetítve nem metszette az I_p görbét, ezért ott nem tudtam OCR értéket meghatározni, míg utóbbi egyszerűen 0 eredményt hozott erre a tartományra.

8. Összefoglalás

Végezetül, a számításaim szerint kijelenthető, hogy a közép-magyarországi pannon réteg általam vizsgált agyagos rétege túlkonzolidált, tehát a feltételezéseink helyesek voltak, miszerint a múltban lezajló tektonikus mozgások, a szél, a víz, a fagy erodáló erejéből származó felszínváltozások hatásait a talaj emlékezete őrzi magában.

Az 2. mellékleten lévő talajszelvényen is jól látható, hogy a rétegekben lévő törés miatt a bal oldalon lejjebb csúsztak a rétegek a jobb oldalhoz képest, ezért azonos rétegben a függőleges hatékony in situ feszültség eltérő (a bal oldalon nagyobb), így adott rétegben az OCR értékek is különbözők lesznek.

A talajszelvény bal oldala mutatja, hogy milyen rétegek pusztultak le a jobb oldali rész felől, azaz ezek szerint legalább 100 méter leerosdált, ami azt jelenti, hogy az előterheltség nagyjából 1800 kPa, vagy ennél is nagyobb volt. (*Dr. Nagy László, 2020*)

Az ödométeres vizsgálatok eredményein alkalmazott, az előterhelési feszültséget meghatározó módszerek szerint az OCR=1-3 érték körül mozog. A CPTu vizsgálati eredményeken végzett OCR-t meghatározó módszer szerint pedig akár 3,5-28 értéket is felvehet.

Az eltérések oka több helyről származhat: az ödométeres vizsgálatokon alkalmazott módszerek lehetséges, hogy kissé elavultak, pontatlanok, illetve a 870 kPa-os érték is iteráció volt, amit a mérnöki szemlélet alapján és a rendelkezésre álló irodalmi adatokból felvett trendek alapján állapítottam meg. Így ezen értékek illeszkedtek azon 4 mérési eredmény által kifizített görbére, melyek kompressziós vizsgálata végig lezajlott, jól illeszkedjenek a pontok és közelítse azt a szakirodalmi görbét, melyet az OCR-mélység függvényében értünk, azaz, hogy az OCR értéke a mélység függvényében csökkenjen és közelítse az 1,0-t.

A CPTu vizsgálatból történő OCR érték meghatározása nagyon érzékeny: pontosan kell megállapítani a drénezetlen nyírószilárdságot, mely képletében az N_k képletnek nagy súlya van. Ezt az N_k értéket átlagosan vettem fel minden értékre 15,5 értékre (magyarországi agyag talajokra alkalmazott érték (*Rémai Zs., 2012*)), azonban nem lehetett pontosan tudni, hogy jelen esetben is minden réteg esetén releváns. Egyrészt mert ez az érték OCR=1 talajokra vonatkozik, másrészt pedig ez az érték is eltérő lehet, de ezt a számítások elején ezt nem tudhattuk. Egyes becslések szerint akár 11-19 között változhat az értéke, de mások ennél magasabb számot rendelnek hozzá. A számítási modellen úgy lehetne pontosítani, hogyha a grafikon automatikusan leolvashatná az OCR értéket, majd ahhoz rendelne egy közelebbi empirikus csúcscellenállási tényező értéket, amelyből egy újabb drénezetlen nyírószilárdság értéket számolna, melyet megint felvetítene a diagramra, és a valós OCR nagyjából az lenne, amelynél

ez az iterációs folyamat befejeződik, azaz, ahol a kapott OCR megfelel annak az empirikus csúcscellenállási tényező értéknek, amelyből ez az OCR érték leolvasása történt. A CPeT-IT szoftver szerint azonban viszonylag jól közelíti a valós OCR értéket a diagram kézzel történő leolvasását igénylő módszerrel kapott előterheltségi arányszám.

Továbbá a plasztikus index pontos ismeretére is szükség van, de sajnos erről sem volt mindenhol információ, ezért a vizsgált réteghez legközelebb megállapított I_p értéket használtam. A kapott OCR értékek azonban arra engednek következtetni, hogy a becslésünk közel áll a valósághoz, ugyanis szépen kirajzolódik egyfajta tendencia a módosított Robertson diagramon, ami a súlypontokhoz rendelt OCR értékeket illeti. Azt feltételezzük, hogy a túlkonzolidált talaj osztályozása elvégezhető oly módon, hogy a Robertson által megállapított talajtípusokhoz rendelt határvonalak 11-12-es tartományban meghosszabbíthatók, és a tartományokon belül az OCR növekedése is irányhoz köthető. Ez csupán spekuláció, ugyanis mindeddig -ismereteink szerint- ezzel a problémával a geotechnika tudományában nem foglalkoztak.

FORRÁSJEGYZÉK

ANDRIES KIRSTEIN (2017) *Evaluation of different methods to indentify preconsolidation pressure of Champlain sea clay from CRS tests*, Toronto, Ontario, Canada

C H SOLANKI, M D DESAI (2008) *Preconsolidation Pressure from Soil Index and Plasticity Properties*, The 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG), Goa, India

DÖVÉNYI Z. et al., (2010) *Magyarország Kistájainak Katasztere* MTA Földrajztudományi Kutatóintézet Budapest

FÖLDTANI KUTATÁSI PROGRAM ZÁRÓJELENTÉSE (1.3.25) MÁ/PA2-16-FT-14 V1 3.2
Geotechnikai értékelés

P. PANIAGUA, J.-S. L'HEUREUX, S.Y. YANG, T.L. LUNNE (2016) *Study on the practices for preconsolidation stress evaluation from oedometer tests* NGM 2016 Reykjavik Proceedings of the 17th Nordic Geotechnical Meeting

RÉMAI ZS., (2012) *Correlation of undrained shear strength and CPT resistance* Periodica Polytechnica

ROZGONYI-B. N., (2020) *Magyarország műszaki földtana* c. tárgy 1. előadás, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2020

SZEPESHÁZI R. (2007) *A talajok in situ feszültségi állapota* 2-4.o. Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar, PhD kutatószeminárium, Miskolc

T. LUNNE, P.K. ROBERTSON, J.J.M. POWELL, *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice* p. 53-65. E&FN SPON An Imprint of Roufledge, Blackie academic & professional An imprint of Chapman & Hall

Pannon réteg keletkezése

www1 <https://www.arcanum.hu/hu/online-kiadvanyok/pannon-pannon-enciklopedia-1/a-magyarsag-kezikonyve-2/magyarorszag-foldje-1A/a-pannon-belto-a-jegkor-es-a-jelenkor-osfoldrajza-68/vastag-pannon-uledekek-a-medenceben-6C/>

Weboldal felkeresve: 2020.09.

Orográfia jelentése

www2 <https://idegen-szavak.hu/orogr%C3%A1fia>

Weboldal felkeresve: 2020.10.

CPeT-IT szoftver leírása

www3 <https://geotechpedia.com/Software/Show/824/CPeT-IT-v-2-0-CPT-interpretation-software>

Weboldal felkeresve: 2020.10.

MELLÉKLETEK

6. táblázat Az ödométeres vizsgálatok eredményeinek összesített táblázata

7. táblázat Példa a CPTu adatsor feldolgozásra (III-6 jelű fúrás, 37,94 - 38,52 m)

1. FKP fúrások és szondázások - Geotechnikai fúrások a telephelyen belül $M=1:5000$

2. V3 jelű geológiai szelvény - Licensing documentation for soil excavation. Soil excavation on geological sections, $M_H=1:500, M_V=1:200$

6. táblázat Az ödométeres vizsgálatok eredményeinek összesített táblázata

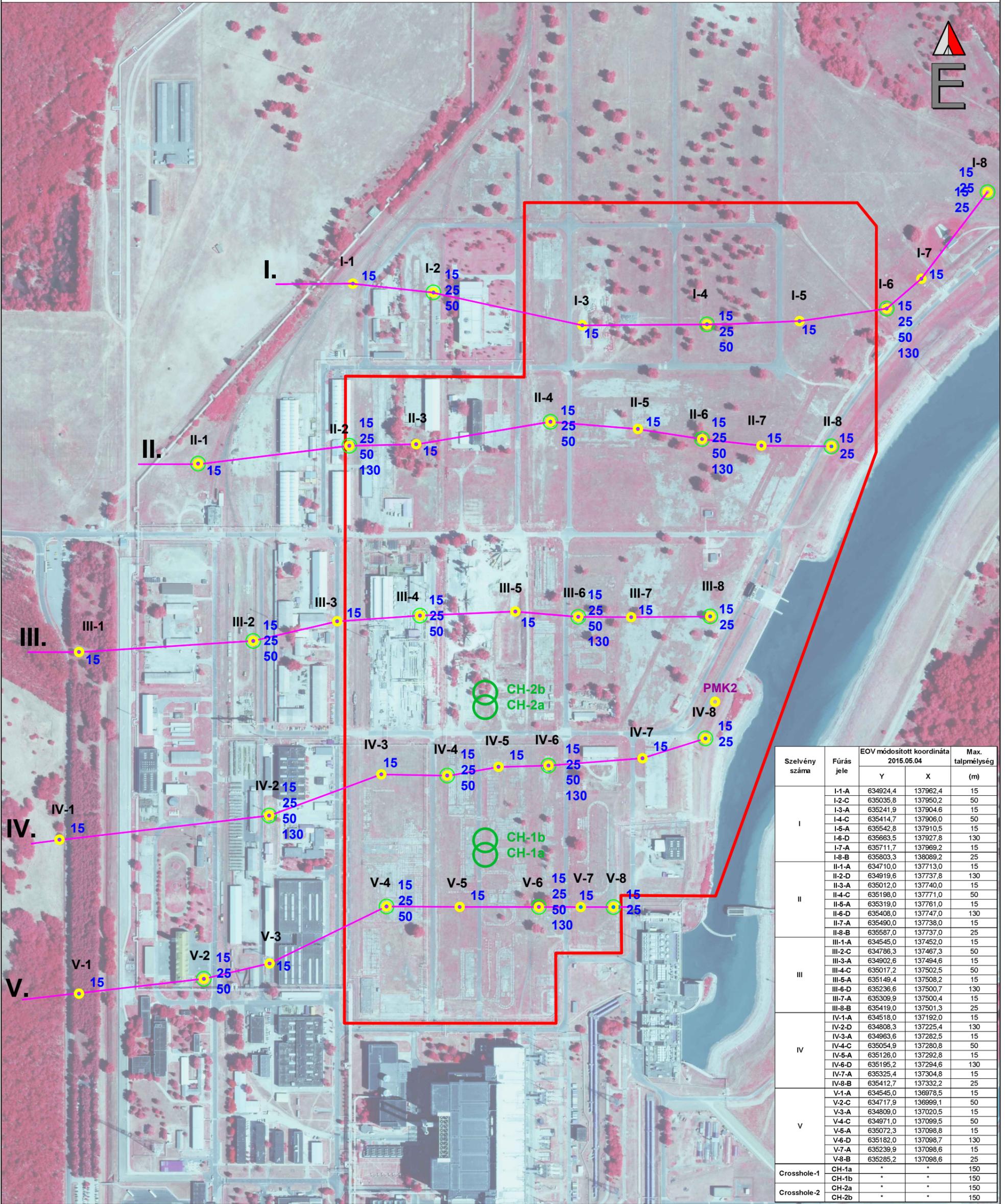
Sorszám	Vizsgálat	Minta megnevezése	Mélység [m]	Réteg megnevezése	Talaj típusa	Függőleges hatékony in-situ feszültség [kPa]	ELŐTERHELÉSI FESZÜLTSEGEK					Előterhelési feszültségek/ Függőleges hatékony in-situ			
							Módszer megnevezése					Javítás	OCR		
							Pacheco Silva [kPa]	Salfőrs			Casagrande [kPa]		Pacheco S.	Salfőrs (átlag)	Casagrande
								Tartomány (B'-B)	Átlag [kPa]	Maximum [kPa]					
1		I-2-C-29,45 m	29,45	Pannon "G"	iszapos finomhomok	380,2	918	820-885	852,5	885	915		2,415	2,242	2,407
2		I-2-C-34,50 m	34,50	Pannon "H"	kövér agyag	438,7	821	805-885	845	885	850		1,872	1,926	1,938
3		I-2-C-34,90 m	34,90	Pannon "H"	kövér agyag	443,3	222	212-281	246,5	281	218	870	1,963	1,963	1,963
4		I-2-C-40,00 m	40,00	Pannon "H"	agyag	502,4	897	810-890	850	890	895		1,786	1,692	1,782
5		II-2-D-31,50 m	31,50	Pannon "H"	közepes agyag	403,9	897	806-897	851,5	897	865		2,221	2,108	2,141
6		II-2-D-34,10 m	34,10	Pannon "H"	finomhomokos iszap	434,0	345	334-430	382	430	375	870	2,004	2,004	2,004
7		II-2-D-34,70 m	34,70	Pannon "H"	iszap	441,0	207	200-290	245	290	265	870	1,973	1,973	1,973
8	X	II-2-D-37,60 m	37,60	Pannon "H"	agyag	474,6	293	270-300	285	300	428	X			
9	X	II-2-D-96,70 m	96,70	Pannon "M"	homok	1159,1	667	401-555	478	555	415	X			
10	X	II-2-D-98,70 m	98,70	Pannon "O"	homokos agyagos iszap	1182,2	400	302-418	360	418	325	X			
11	X	II-2-D-122,80 m	122,80	Pannon "M"	finomhomok	1461,4	148	420-480	450	480	315	X			
12		II-4-D-35,90 m	35,90	Pannon "H"	finomhomokos iszap agyagsávokkal	454,9	454	325-395	360	395	345	870	1,913	1,913	1,913
13		II-6-D-28,50 m	28,50	Pannon "G"	finomhomokos iszap	369,2	330	375-430	402,5	430	327	870	2,357	2,357	2,357
14		II-6-D-31,80 m	31,80	Pannon "H"	iszap	407,4	255	245-275	260	275	310	870	2,135	2,135	2,135
15		II-6-D-45,40 m	45,40	Pannon "H"	finomhomok	564,9	225	275-345	310	345	265	870	1,540	1,540	1,540
16		II-6-D-50,60 m	50,60	Pannon "I"	finomhomok	625,1	402	310-410	360	410	418	870	1,392	1,392	1,392
17	X	II-6-D-59,40 m	59,40	Pannon "I"	enyhén iszapos finomhomok	727,1	252	500-580	540	580	292	X			
18	X	II-6-D-88,00 m	88,00	Pannon "M"	finomhomok	1058,3	690	330-415	372,5	415	830	X			
19		III-2-C-39,95 m	39,95	Pannon "H"	agyag	501,8	255	345-430	387,5	430	248	870	1,734	1,734	1,734
20		III-4-C-35,90 m	35,90	Pannon "H"	iszap	454,9	304	270-310	290	310	623	870	1,913	1,913	1,913
21		III-6-D-33,00 m	33,00	Pannon "H"	homok	421,3	575	255-305	280	305	608	870	2,065	2,065	2,065
22		III-6-D-41,60 m	41,60	Pannon "H"	iszap	520,9	210	380-460	420	460	435	870	1,670	1,670	1,670
23		III-6-D-46,30 m	46,30	Pannon "H"	kövér agyag	575,3	365	250-300	275	300	610	870	1,512	1,512	1,512
24		III-6-D-48,60 m	48,60	Pannon "I"	homok	602,0	255	235-265	250	265	620	870	1,445	1,445	1,445
25		III-6-D-49,20 m	49,20	Pannon "I"	homok	608,9	673	265-310	287,5	310	615	870	1,429	1,429	1,429
26		III-6-D-52,15 m	52,15	Pannon "I"	homok	643,1	310	265-335	300	335	320	870	1,353	1,353	1,353
27	X	III-6-D-58,10 m	58,10	Pannon "I"	homok	519,9	415	275-350	312,5	350	970	X			
28	X	III-6-D-65,20 m	65,20	Pannon "I"	homok	448,9	205	290-375	332,5	375	245	X			
29	X	IV-4-C-29,50 m	29,50	Pannon "G"	finomhomok	380,8						X			
30		V-4-C-29,00 m	29,00	Pannon "G"	iszapos homok	375,0	455	165-220	192,5	220	530	870	2,320	2,320	2,320
31		V-4-C-42,30 m	42,30	Pannon "H"	homokos iszap	529,0	440	485-505	495	505	435	870	1,645	1,645	1,645
32	X	V-6-D-104,40 m	104,40	Pannon "N"	finomhomok	1248,3	440	260-315	287,5	315	640	X			
33	X	V-6-D-122,30 m	122,30	Pannon "O"	finomhomok	1455,6	850	460-500	480	500	880	X			

7. táblázat Példa a CPTu adatsor feldolgozásra (III-6 jelű fúrás, 37,94 - 38,52 m)

Mélység	Csúcs- ellenállás	Palást- súrlódás	Pórusvíz- nyomás	Rf	Függőleges feszültség σ_{vo}	Függőleges hatékony feszültség, σ_{vo}'	σ_{vo}' átlag	Drénezetlen nyírószilárdság $s_u=(q_c-\sigma_{vo}')/N_k$	s_u átlag	s_u/σ_{vo}'	s_u/σ_{vo}'	I_p	OCR
(m)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(%)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	[-]		(%)	(-)
37,94	27510,00	823,70	-21,00	3,16	744,82	483,62	483,97	1726,79	1602,26	3,57	3,31	24	20,50
37,96	26988,00	905,06	-23,00	3,31	745,26	483,86		1693,08		3,50			
37,98	25276,00	943,75	-24,00	3,65	745,69	484,09		1582,60		3,27			
38,00	22548,00	933,82	-23,00	4,12	746,12	484,32		1406,57		2,90			
38,02	19262,00	900,71	-23,00	4,61	746,55	484,55	485,13	1194,55	743,97	2,47	1,53	24	7,00
38,04	15735,00	855,03	-23,00	5,04	746,98	484,78		966,97		1,99			
38,06	11885,00	769,97	-22,00	6,22	747,41	485,01		718,55		1,48			
38,08	9113,00	566,43	-23,00	5,90	747,85	485,25		539,69		1,11			
38,10	8212,00	458,24	-21,00	5,45	748,28	485,48		481,53		0,99			
38,12	9468,00	487,02	-18,00	5,92	748,71	485,71		562,53		1,16			
38,14	15417,00	552,82	-16,00	4,12	749,14	485,94	486,29	946,31	1139,47	1,95	2,34	24	11,50
38,16	19817,00	584,70	-9,00	2,97	749,57	486,17		1230,16		2,53			
38,18	19581,00	606,27	-13,00	3,05	750,00	486,40		1214,90		2,50			
38,20	18831,00	703,58	-19,00	3,70	750,44	486,64		1166,49		2,40			
38,22	18725,00	804,47	-18,00	4,28	750,87	486,87	488,60	1159,62	1004,92	2,38	2,06	24	10,50
38,24	19192,00	888,23	-11,00	4,75	751,30	487,10		1189,72		2,44			
38,26	20372,00	980,21	-8,00	4,88	751,73	487,33		1265,82		2,60			
38,28	21584,00	1076,80	-13,00	5,02	752,16	487,56		1343,99		2,76			
38,30	21716,00	957,96	-16,00	4,51	752,59	487,79		1352,48		2,77			
38,32	20448,00	835,72	-17,00	3,98	753,03	488,03		1270,64		2,60			
38,34	18310,00	834,49	-15,00	4,49	753,46	488,26		1132,68		2,32			
38,36	17205,00	796,58	-15,00	4,57	753,89	488,49		1061,36		2,17			
38,38	15165,00	688,17	-10,00	4,22	754,32	488,72		929,72		1,90			
38,40	12314,00	594,28	-11,00	5,60	754,75	488,95		745,76		1,53			
38,42	12113,00	503,84	-13,00	4,74	755,18	489,18		732,76		1,50			
38,44	11544,00	465,53	-10,00	3,95	755,62	489,42		696,02		1,42			
38,46	11107,00	492,51	-6,00	4,41	756,05	489,65		667,80		1,36			
38,48	11905,00	573,72	-7,00	5,01	756,48	489,88		719,26		1,47			
38,50	13345,00	667,13	-5,00	5,14	756,91	490,11		812,13		1,66			
38,52	16241,00	729,38	-5,00	4,69	757,34	490,34		998,95		2,04			

Geotechnikai fúrások a telephelyen belül

1:5000



Szelvény száma	Fúrás jele	EOV módosított koordináta 2015.05.04		Max. talpmélység (m)
		Y	X	
I	I-1-A	634924,4	137962,4	15
	I-2-C	635035,8	137950,2	50
	I-3-A	635241,9	137904,6	15
	I-4-C	635414,7	137906,0	50
	I-5-A	635542,8	137910,5	15
	I-6-D	635663,5	137927,8	130
	I-7-A	635711,7	137969,2	15
	I-8-B	635803,3	138089,2	25
II	II-1-A	634710,0	137713,0	15
	II-2-D	634919,6	137737,8	130
	II-3-A	635012,0	137740,0	15
	II-4-C	635198,0	137771,0	50
	II-5-A	635319,0	137761,0	15
	II-6-D	635408,0	137747,0	130
	II-7-A	635490,0	137738,0	15
	II-8-B	635587,0	137737,0	25
III	III-1-A	634545,0	137452,0	15
	III-2-C	634786,3	137467,3	50
	III-3-A	634902,6	137494,6	15
	III-4-C	635017,2	137502,5	50
	III-5-A	635149,4	137508,2	15
	III-6-D	635236,6	137500,7	130
	III-7-A	635309,9	137500,4	15
	III-8-B	635419,0	137501,3	25
IV	IV-1-A	634518,0	137192,0	15
	IV-2-D	634808,3	137225,4	130
	IV-3-A	634963,6	137282,5	15
	IV-4-C	635054,9	137280,8	50
	IV-5-A	635126,0	137292,8	15
	IV-6-D	635195,2	137294,6	130
	IV-7-A	635325,4	137304,8	15
	IV-8-B	635412,7	137332,2	25
V	V-1-A	634545,0	136978,5	15
	V-2-C	634717,9	136999,1	50
	V-3-A	634809,0	137020,5	15
	V-4-C	634971,0	137099,5	50
	V-5-A	635072,3	137098,8	15
	V-6-D	635182,0	137098,7	130
	V-7-A	635239,9	137098,6	15
	V-8-B	635285,2	137098,6	25
Crosshole-1	CH-1a	*	*	150
	CH-1b	*	*	150
Crosshole-2	CH-2a	*	*	150
	CH-2b	*	*	150

- IV-4 Fúrás csoport jele
- II. Feltárási szelvény
- Fúrás csoport helye (2015.05.05-i állapot szerint)
- 15
25
50 Fúrás csoportban szereplő kutak mélysége
- Crosshole mérés (előzetes hely)
- Telephely határvonala

