



**BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR**

MŰANYAGHABOK GEOTECHNIKAI VIZSGÁLATA

OTDK-DOLGOZAT

MŰSZAKI TUDOMÁNYI SZEKCIÓ

KÉSZÍTETTE

Balázs Dóra
építőmérnök-hallgató
(MSc. III. évf.)

TÉMAVEZETŐ

Czap Zoltán
Mestertanár

BUDAPEST, 2012

ÖSSZEFOGLALÁS

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem 2012. évi Tudományos Diákköri Konferenciájára a címben szereplő témát dolgoztam fel. A geohabok a világ több pontján is már szerves részét képezik a geotechnikai problémák megoldásainak. Tanulmányom lényege, hogy bemutassam a műanyaghabok alkalmazásának előnyeit, felhasználásában rejlő további lehetőségeket.

Az anyagok tulajdonságainak, viselkedésének elemzéséhez különböző vizsgálatokra van szükség, ezért a geohabot – mivel a mélyépítésben leginkább talajhelyettesítésre alkalmazzák - mint talajanyagot szemléltük, a Geotechnikai Tanszék Talajmechanikai Laboratóriumában kísérleteztünk az elkészített mintákkal. Az ebből nyert eredményeket kiértékeltem, összehasonlítottam a talajok viselkedésével, így felszínre kerültek előnyös tulajdonságai. A kísérletek az anyagi viselkedés megismerése révén segítségünkre vannak a vizsgált elem anyagmodelljének megalkotásában is. A leginkább megfelelő anyagmodell alkalmazása numerikus modellekben a valósághoz nagyon közeli eredményeket ad, így jutunk el a legkülönbözőbb problémák élethű szimulálásához, tervezési paraméterek pontosításához.

A geohabbal kapcsolatos laboratóriumi vizsgálatok kiterjedtek az anyag fizikai jellemzőin túl teherbírási, anyagszerkezeti tulajdonságaira is. A dolgozatomban elsődlegesen a geohab különböző terhelés alatti viselkedését, fizikai jellemzőit figyeltük meg. Számos kutató foglalkozott már a sűrűség az anyag mechanikai tulajdonságaira való hatásával, ezért a mostani tesztsorozat alatt azonos sűrűségű anyaggal dolgoztunk. A kísérleteket Nikecell EPS 200-as műanyaghabbal végeztük el, ennek megfelelő nagyságú a sűrűsége, nyomófeszültsége, ezt célszerű alkalmazni a legtöbb mélyépítési probléma megoldásánál. A végrehajtott kísérletek: triaxiális vizsgálat – nyírási tulajdonság elemzésére, dinamikus triaxiális vizsgálat – ciklikus terhelés alatti anyagi viselkedés megismerésére, nyírási vizsgálat különböző kialakításokkal – anyagon belüli elnyíródás illetve a beépítésnél a táblák közötti kapcsolatok szimulálására, összenyomódás-vizsgálatok – kompressziós és konszolidációs mérések. Térfogatváltozó talaj esetén a talaj és a szerkezet közé kedvezőbb lehet alacsonyabb sűrűségű habot beépíteni. Ezen egyedi eset vizsgálatára a kompressziós kísérletet a legalacsonyabb sűrűségű és nyomófeszültségű, Nikecell EPS 30-as típusú geohabbal is elvégeztük.

A kiértékelések alapján arra jutottam, hogy a geohabok mechanikai tulajdonságai, feszültség-alakváltozás viselkedése elég jelentősen eltér a talajokétól. Sokan próbálkoztak már a műanyaghabok viselkedését jól bemutató képletek, összefüggések előállítására, ezekhez a már ismert talajmodellek jó alapot nyújtottak. A dolgozatomban zárásaként a felkeményedő anyagmodellről és a hiperbolikus anyagmodell kialakulásáról is lesz pár szó, illetve a saját eredményeimet is összevetem a modellekével.

SUMMARY

For the 2012th Annual Student Research Conference of The Budapest University of Technology and Economics I worked out the theme in the title. Nowadays, geofoams are integral parts of the solution for deep foundational problems. The object of my work was to present the usefulness of plastic foams and how their behaviour is different from that of soils.

As plastic foams are used as a substitute for soils while building deep foundations, it is essential to recognize their soil mechanical properties. To analyse their behaviour, we need to make several tests, approaching geofoam as a soil material while performing experiments with the samples prepared in the Soil Mechanics Laboratory of the Department of Geotechnics. In the course of the laboratory tests with geofoams we examined, beyond its physical properties, the load capacity and the textural properties of the material.

During my work I focused primarily on the behaviour and physical properties of geofoam under load. Many researchers have already examined the effect of density on mechanical properties of the material, thus, we have now worked with material of the same density. We made the tests using Nikecell EPS 200 plastic foam, since this one has the highest density and compressive stress. The experiments performed were: triaxial test for analyzing shear characteristics, dynamic triaxial test for analysing material behaviour under cyclic stress, shear test with different forms for simulating shear inside materials and the connection between tables while building in, and pressure tests i. e. compression and consolidation tests.

Many have tried to produce formulas and correlations that present accurately the behaviour of plastic foams, and the soil models already known were a good starting point for that. After the experiments, I write about the hardening model material and the formation of hyperbolic model material, and I compare my results with the model results.

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS	4
GEOHABOK VIZSGÁLATA	5
LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATOK	7
<i>Triaxiális vizsgálat</i>	8
<i>Dinamikus nyomóvizsgálat.....</i>	13
<i>Nyírási vizsgálat.....</i>	24
<i>Összenyomódás-vizsgálat.....</i>	35
<i>EPS geohab vizsgálata térfogatváltozó talajok esetén</i>	40
<i>Vízáteresztő-képesség vizsgálata</i>	42
BEÉPÍTETT EPS ELLENŐRZÉSE.....	44
GEOHABOK ANYAGMODELLJEI.....	47
FELKEMÉNYEDŐ ANYAGMODELL.....	48
HIPERBOLIKUS ANYAGMODELL	50
ÖSSZEGZÉS	54

BEVEZETÉS

Mostani tanulmányom alapgondolatát a 2011-es évben elkészített TDK-dolgozatom szolgáltatta. Ebben a pár oldalban foglalom össze az elmúlt hónapok alatt végrehajtott kísérletek eredményeit, ebből levont következtetéseket. A bevezetésben röviden ismertetném a vizsgált anyagot.

A geohabok egyik egyszerűbb definíciója: habképző anyaggal félig folyós állapotban kialakított, könnyűsúlyú, magas hézagtartalmú polimer, melyet talaj, kőzet és/vagy más geotechnikai anyagokhoz kapcsolva mérnöki szerkezetekben használnak. Nagyon sok zárt, gázzal telített cellát tartalmaz, ezeknek a falai tömörek mégis áthatolhatók a gázok számára. Három fő kategóriát különböztethetünk meg: műanyagok, cementált anyagok és habüvegek. Gyártás és kémiai összetétel szerint a műanyag típusúakat tovább bonthatjuk: expandált vagy extrudált polisztrén, polietilén, polisztrén és polietilén keveréke vagy poliuretán. Nagy blokkokban gyártják. A tömbök mérete változhat, de általában 2 m x 0,75 m x 0,75 m-esek, elektromosan fűtött fémszállal vágják megfelelő formára őket. [1][2]

A műanyaghabokat eredetileg a magasépítés területén belül, legfőképp szigetelőanyagként alkalmazták. Az első geotechnikai szempontból fontos, dokumentált felhasználása 1972-ben Norvégiában történt, amikor is ezt az anyagot választották töltésanyagnak a Flom híd alatti fagyszint felemelésének céljából. Az eddigi legnagyobb, EPS geohab felhasználásával kapcsolatos vállalkozás 2001-ben valósult meg Salt Lake Cityben I-15 projekt néven. Az elmúlt pár évtizedben egyre nőtt az érdeklődés a geohabok geotechnikai alkalmazása iránt, egyre több, különböző mélyépítési feladat megoldásában játszott fontos szerepet.

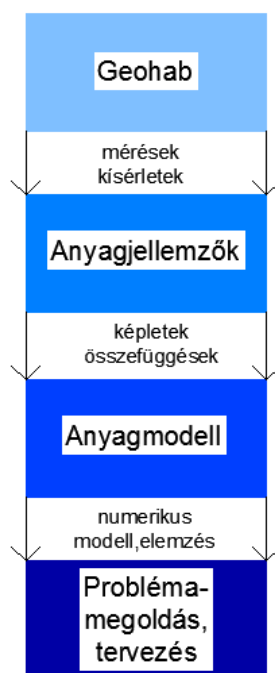
Népszerűségének titka anyagjellemzőiben keresendő. A következő öt tulajdonság tekinthető a leghasznosabbnak: sűrűség (kis súly), nyomószilárdság, hőszigetelés, rezgéscsillapítás és önfenntartó jelleg. Zárt cellás, műanyag hab legfontosabb tulajdonsága kis súlya, körülbelül 100-szor könnyebb, mint a legtöbb talaj, és legalább 20-30-szor könnyebb, mint a többi más ismert töltésalternatíva. Ez a tömegében mutatott más anyagoktól való különleges eltérés teszi az EPS geohabot vonzó töltésanyaggá. Mára már sikeresen hasznosítják számos országban szerte a világon. Ezen országok például Norvégia, Hollandia, az Egyesült Államok, Japán, Németország és Malajzia. A fent említett anyagjellemzők sok mérnöki problémát képesek megoldani. Az elsődleges funkciója autópálya, hídpillér, parkolóterületek alatti könnyű töltéstest feladatának betöltése. Szélesebb körben is használják: zöldtető, hőszigetelés, járdák alatt, repülőtereknél és vízelvezetés, csatornázás, rezgés-, hangszigetelés területén.

Geohab használata pénzügyi haszonnal is jár, mivel az építkezés időtartamát csökkenti és alacsonyabb teljes költséget eredményez. Költségredukáló hatása abból is következik, hogy egyszerű a beépítése, általában nem igényel semmiféle speciális eszközt, nincs kötve időjárási feltételekhez. Könnyen vágható, formázható a megkívánt méretre, alakra. Nagy választékban kapható, kiválasztható az adott alkalmazásnak megfelelő tulajdonságú műanyaghab. [2]

GEOHABOK VIZSGÁLATA

Különböző anyagok (acél, beton, üveg, talajok) tulajdonságainak, viselkedésének elemzéséhez különböző vizsgálatokra van szükség, ez a geohabok esetén sincs másképp. Az elvégzett kísérletekből nyert eredmények segítségével jobban megismerjük az adott anyagot, felszínre kerülnek előnyös illetve kevésbé előnyös tulajdonságai, így megállapíthatjuk, mely felhasználási körökben tudjuk hasznosítani leginkább.

A kísérletek az anyagi viselkedés megismerése, megértése révén segítségünkre vannak a vizsgált elem anyagmodelljének megalkotásában is. A leginkább megfelelő anyagmodell alkalmazása numerikus modellekben a valósághoz nagyon közeli eredményeket ad, így jutunk el a legkülönbözőbb problémák élethű szimulálásához, tervezési paraméterek pontosításához.



1. ábra: kísérletek szerepe a tervezésnél

Többféle teszt szolgál az anyagminősítések elvégzésére, ezekkel a minta megfelelőségét is igazolhatjuk. A beépítés előtti, minősítő vizsgálatok laboratóriumi körülmények között zajlanak. A már üzembe helyezett geohabok ellenőrzését helyszíni mérésekkel, illetve a kiásott minták laboratóriumi elemzésével végzik el.

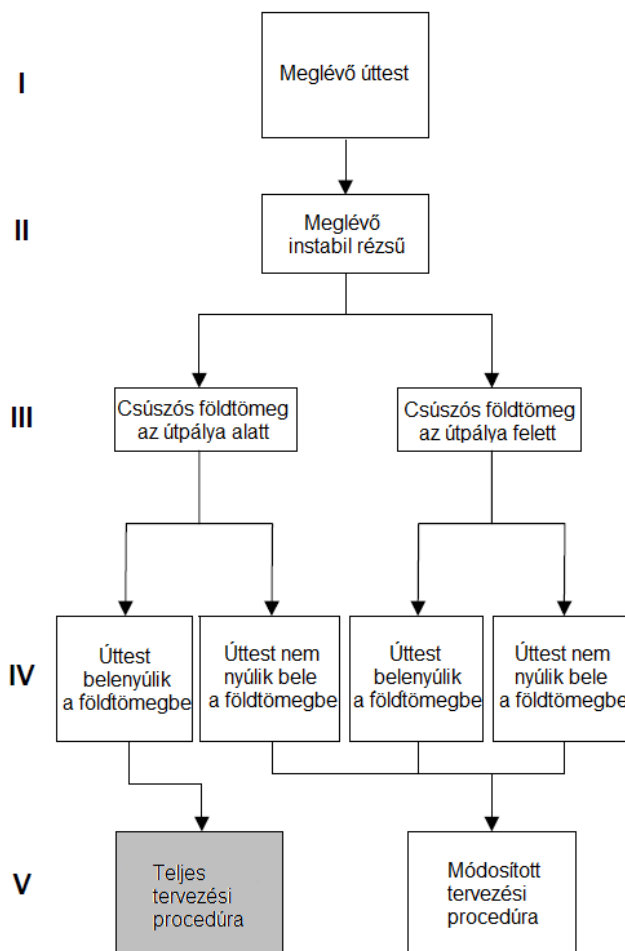
Az Amerikai Egyesült Államokban a merev műanyaghab tulajdonságaira vonatkozó szabványokat az ASTM („The American Standards and Testing Materials”) tartalmazza. Négy bizottság irányította, befolyásolta ezen előírások létrejöttét: C-16 Bizottság (Hőszigetelés), D-20 Bizottság (Műanyagok), E-5 Bizottság (Tűzszabványok), F-7 Bizottság (Repülőgépipari módszerek). Több geohabszabványon dolgoztak a 2000-es évek

elején, ezekkel az ASTM D-35 Bizottságán belül újonnan alakult “Geofoam Task Group” foglalkozik.

Az EPS fizikai tulajdonságaira és méreteire vonatkozó szabvány: *ASTM D6817-06* „Standard Specification for Rigid Cellular Polystyrene Geofoam”.

Geotechnikai projekteknél alkalmazott EPS beépítésének tervezési szempontjait tartalmazó szabvány: *ASTM D7180-05* „Standard Guide for Use of Expanded Polystyrene (EPS) Geofoam in Geotechnical Projects” [1][2]

Más országokban (pl. Németország, Japán) is jelentek meg tervezésben segítséget nyújtó kézikönyvek ezzel kapcsolatban. Ehhez hasonlóan néhány EPS geohab termék/termékcsalád is rendelkezik saját tervezési és elemzési útmutatóval. Egy ilyen útmutató részletét ábrázolja a 2. ábra.



2. ábra: rézsűstabilizáció céljából alkalmazott EPS-blokkok beépítésének útmutatójából egy részlet [3]

LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATOK

A geohabbal kapcsolatos laboratóriumi vizsgálatok kiterjednek az anyag fizikai jellemzőin túl teherbírására, anyagszerkezeti tulajdonságaira is. A dolgozatom során elsődlegesen az anyag különböző terhelés alatti viselkedését, fizikai jellemzőit mértük. Sok kutató már kimutatta a sűrűség hatását a mechanikai tulajdonságaira, ezért a mostani teszt sorozat ezzel nem foglalkozik, nem hasonlítom össze a különböző sűrűségű geohabokat. A kísérletek nagyrésze alatt Nikecell EPS 200-as műanyaghabot használtunk. Választásunk azért esett erre a fajtára, mivel ennek megfelelő nagyságú a sűrűsége, nyomófeszültsége, ennek a beépítését célszerű alkalmazni a legtöbb mélyépítési probléma megoldásánál. Emellett a Nikecell EPS 30-as műanyaghab is előkerült. Ez a legkisebb sűrűségű hab, melyet térfogatváltozó talajok esetén célszerű beépíteni az összenyomódások felvételére. A kiválasztott termékek a gyártó által megadott fontosabb jellemzőit a lenti táblázat tartalmazza, mellékletben pedig megtalálható az ezekhez tartozó katalóguslap.

A műanyag tábla eredeti mérete: 0,5 m x 1,0 m-es felületű és 10 cm-es vastagságú. Ebből a téglalaphból fűrészlap és kiélezett aljú fémhengerek segítségével sikerült a kísérletnek megfelelő mintákat fabrikálni. Fontos volt, hogy a próbatest kialakítása során ne törjük az anyagot, hanem a geohabot alkotó gyöngyöket vágjuk át, majd egyenes felületet képezzünk. A megfelelő felület létrehozásához csiszolópapírokat is alkalmaztunk.

MŰSZAKI ADATOK	EPS 200	EPS 30
Nyomófeszültség 10%-os összenyomódáskor	200 kPa	30 kPa
Nyomófeszültség 2%-os összenyomódáskor	100 kPa	15 kPa
Sűrűség	27 kg/m ³	10 kg/m ³

1. táblázat: EPS 200-as és az EPS 30-as geohabok fontosabb jellemzői [melléklet]

Mivel a műanyaghabokat a mélyépítésben különböző talajok helyettesítésére alkalmazzuk, ezért a vizsgálatok a talajokkal kapcsolatos geotechnikai kísérletekre terjedtek ki. Ezeket a méréseket a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Geotechnika Tanszékének laboratóriumában végeztük el Némethy Ferencsel.

A következő vizsgálatokat hajtottuk végre:

- triaxiális vizsgálat
- dinamikus vizsgálat: egyirányú és triaxiális
- nyírási vizsgálat különböző kialakításokkal
- kompressziós vizsgálat
- konszolidációs vizsgálat

Az általunk elvégzett vizsgálatokon túl még bemutatnék két kísérletet, az egyik az összenyomódás felvételére vonatkozik, a második meg az anyag vízáteresztő-képességére

Triaxiális vizsgálat

A háromtengelyű nyomóvizsgálat a talajok nyírószilárdságának kísérleti úton történő meghatározásának egyik jól használt módszere. A lényege, hogy előállítunk egy mérhető feszültség-alakváltozási állapotot, és talajban törést idézünk elő. Az ehhez tartozó főfeszültségköröket Mohr-féle koordináta-rendszerben ábrázoljuk, az így kapott körök burkoló egyenese megadja a Coulomb-féle egyenest ($\tau = \bar{\sigma} \cdot \tan \varphi + c$) a hozzá tartozó nyírási paraméterekkel (belső súrlódási szög – φ , kohézió – c) együtt.

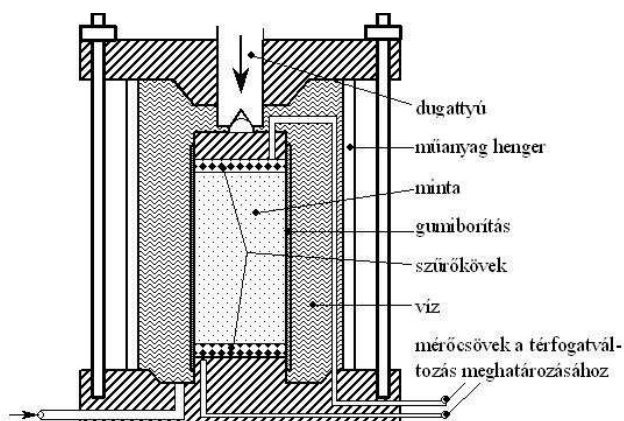
A triaxiális vizsgálat során az anyagot törésig terhelik. A törési kritériumot a következő két feltétel alapján lehet meghatározni, a kettő közül a kedvezőtlenebbet vesszük számításba:

- deviátorfeszültség maximális,
- hatékony főfeszültségek aránya maximális.

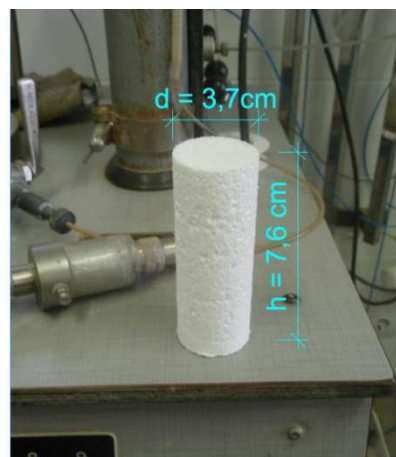
A mostani kísérletek során a műanyaghabokat 20%-os alakváltozásig terheltük, és az ez alatt bekövetkező legnagyobb deviátoros feszültséghez tartozó főfeszültségeket ábrázoltuk. [2][4]

Kísérlet folyamata

A vizsgálat során alkalmazott berendezés felépítését a 3. ábra mutatja. A kifaragott műanyaghabot (4. ábra) a talajokhoz hasonlóan először egy vékony gumihártyával vesszük körül, a cellát vízzel töltjük fel, a cellában hidrosztatikus feszültségállapotot állítunk elő ($\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$). A mintákat az alakváltozásoknak megfelelően fokozatosan növekvő, függőleges nyomóerőkkel terheltük 20 %-os alakváltozásig, és a vizsgálat bevezetőjében említett módon határoztuk meg a nyírási paramétereket. Az alkalmazott hidrosztatikus feszültségek 0-tól 150 kPa-ig terjedt, az eredmények értékelését a következő pont tartalmazza. [2][4]



3. ábra: triaxiális berendezés [1]

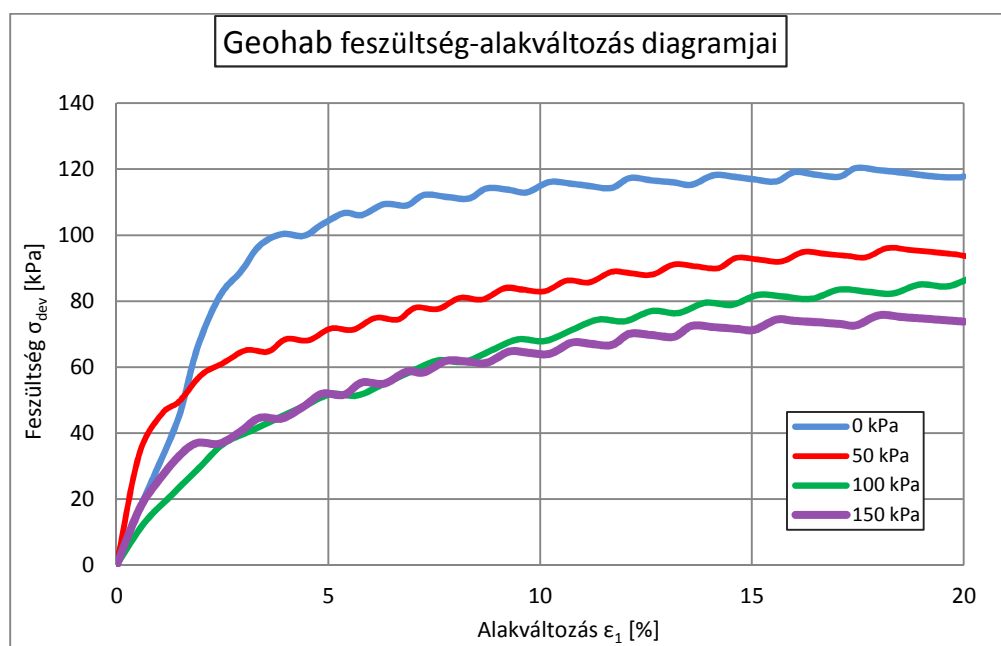


4. ábra: vizsgált minta

A kísérlet során alkalmazott mintafúróval készítettük. A henger alakú próbatest méretei (4. ábra): $d = 3,7$ cm; $h = 7,6$ cm

Eredmények

A triaxiális berendezés által mért adatokat számítógép rögzíti. Egy vizsgálat során 24 különböző alakváltozási értékhez adja meg a deviátoros feszültséget. Ezekből az adatokból felvázolhatjuk az anyag feszültség-alakváltozás diagramját.



5. ábra: σ - ϵ diagram

A görbék hullámosak, lépcsőzetesen haladtak. Ez a jelenség valószínűleg a geohab jellegzetes felépítése miatt mutatkozik, mivel kisebb műanyag gyöngyök alkotják. A mérés utáni mintákon is észrevehető rétegződés, valószínűleg ezek egy-egy grafikonlépcsőnek felelhetnek meg.

A műanyagok nemlineáris tulajdonságot mutatnak, vagyis a rugalmassági modulusuk a terhelés nagyságától is függ, nemcsak az anyagi minőségtől. A feszültség-alakváltozás görbék kezdeti szakasza közel lineáris, ennek a résznek a meredeksége határozza meg az E kezdeti rugalmassági modulus értékét. Ezután a meredekség csökken, és gyorsan a képlékenységi modulushoz fog közelíteni a görbe (E_p). A fenti feszültség-alakváltozás diagramról nem tudunk megállapítani semmiféle összefüggést a rugalmassági modulusok és a hidrosztatikus feszültségek között, mivel ugrál E_s értéke, ezt jól mutatja az alábbi 2. táblázat is.

hidrosztatikus feszültség σ_3 [kPa]	rugalmassági modulus E_s [mPa]
0	3,85
50	6,30
100	1,95
150	3,15

2. táblázat: rugalmassági modulusok

Ez az ingadozás a szemcsés talajoknál is megfigyelhető, a CPT-szondázásból nyert adatok ugrálnak ennyire. Statisztikai mennyiségű kísérletek elvégzése esetén lehetne messze menőbb következtetéseket levonni, átlag- illetve karakterisztikus értéket meghatározni, erre a mi mérés számunk nem elegendő.

A következő 3. táblázat a hidrosztatikus feszültségekhez kapott σ_{dev} és σ_1 főfeszültséget foglalja össze. Utóbbi értékét úgy kaptuk meg, hogy az alkalmazott hidrosztatikus feszültséghez (σ_3) hozzáadtuk a legnagyobb nyomófeszültséget (σ_{dev}). $\sigma_1 = \sigma_3 + \max(\sigma_{dev})$

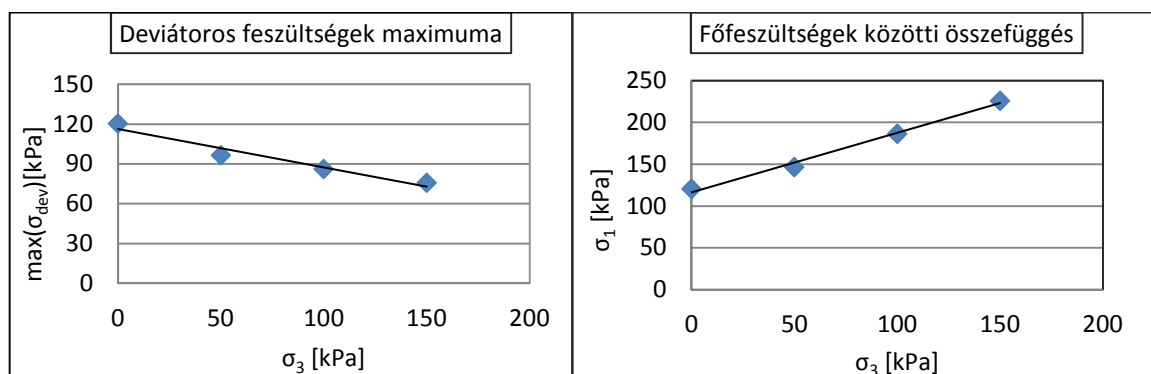
A méréseket csak 150 kPa nagyságig végeztük el, mivel ennél az értéknél már a hidrosztatikus nyomás hatására - még a függőleges terhelés ráhelyezése előtt - is olyan mértékben összenyomódott az anyag, hogy percekbe tellett, mire az ebből adódó alakváltozások megállapodtak. A lenti 6. ábra is jól mutatja, hogy a 150 kPa kezdeti feszültséggel terhelt próbatest jobban deformálódott, jobban kitért oldalsó irányba a kísérlet végére az 50 kPa-oshoz képest.



6. ábra: 50 és 150 kPa-os hidrosztatikus nyomással terhelt minták a vizsgálat után

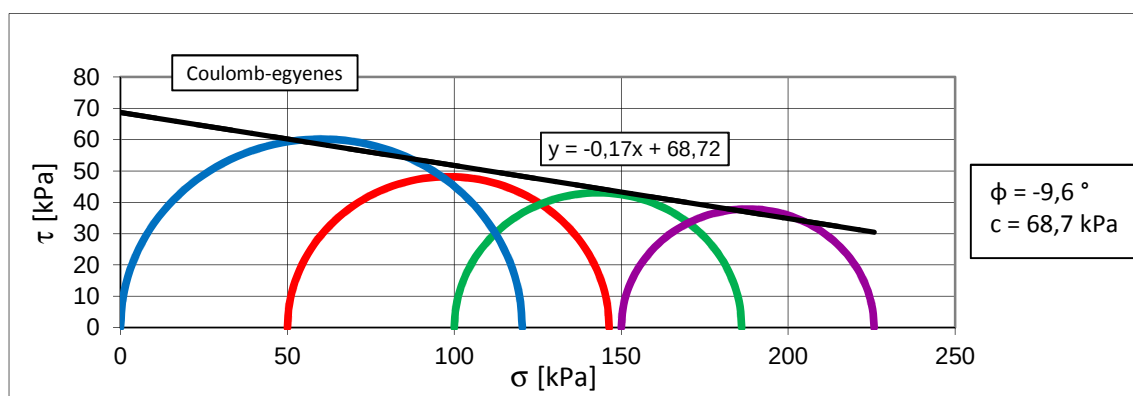
σ_3 [kPa]	$\max(\sigma_{dev})$ [kPa]	$\max(\sigma_{dev}) + \sigma_3$ [kPa]
0	120,4	120,4
50	96,4	146,4
100	86,1	186,1
150	75,7	225,7

3. táblázat: feszültségértékek



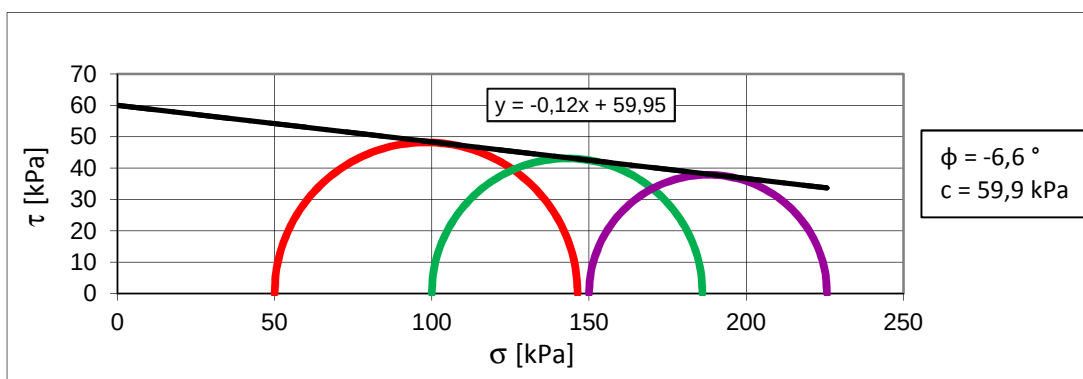
7. ábra: triaxiális vizsgálatból nyert adatok

Mind a táblázatból, mind a grafikonról jól leolvasható, hogy a hidrosztatikus feszültség növekedésével egyre kisebb a deviátoros feszültség maximuma. Ez ellent mond a legtöbb talaj viselkedésének, épp ennek a fordítottját kaptuk. Ez a „rendellenes” viselkedés talán még szembetűnőbb, ha az egyes Mohr-köröket is ábrázoljuk.



8. ábra: egyre kisebb Mohr-körök

A fenti kép (8. ábra) jól mutatja az említett furcsaságot. A körökhöz húzott burkoló Coulomb-egyenest megadja a keresett paramétereket. Az általunk vizsgált geohabminta kohéziójára 68,7 kPa érték jött ki, míg a súrlódási szög negatív lett, -10° körüli, $-9,6^\circ$. Ez mélységgel csökkenő teherbírást utal. Egyes talajoknál is előfordulhat ez a teherbírástípus. A fenti illusztrációt nézve úgy tűnik, hogy a 0 kPa hidrosztatikus feszültségi kör kilóg a sorból. A másik három értékpárt külön is megjelenítettem a következő ábrán. (9. ábra) A hozzájuk tartozó egyenes szinte tökéletesen illeszkedik a görbékre, ebből kapott nyírószilárdsági jellemzők már kisebbek, kohézióra 60 kPa, súrlódási szög $-6,6^\circ$ adódott. Az 50 kPa, mint viselkedési határ a későbbiekben, a normál nyírásnál is megjelenik.



9. ábra: 50, 100 és 150 kPa-hoz tartozó Mohr-körök



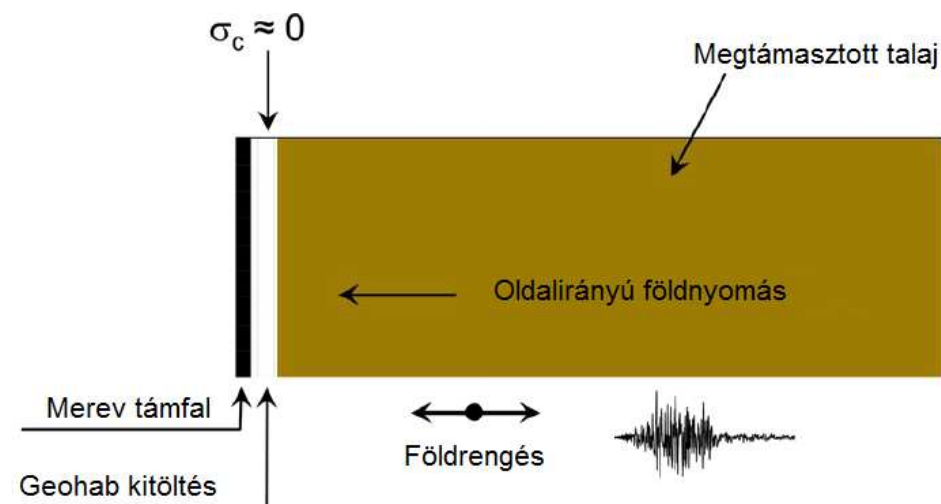
10. ábra: a kísérlet egyes állomásai

Dinamikus nyomóvizsgálat

Autópályák, vasúti töltések esetén a járműforgalomból adódó ciklikus teher is jelentős hatással van a földműre. Így a pályák alépítményére jutó terhelés meghatározásánál a fedőrétegek önsúlyából (statikus teher) és a közlekedésből származó dinamikus hatást is figyelembe kell venni. A geohabot használhatják hatékony összenyomható bélésnek a szeizmikus földnyomás csökkentésére, merev, nem túl rugalmas támfalakkal (pl. kisebb minőségű épületfalak, hídfeljáróknál) szemben. Függőleges, viszonylag vékony EPS-táblákat építenek be ilyen szerkezetek közvetlen közelébe, így a földrengés alatt szeizmikus pufferként működhetnek a fal dinamikus tolóerejét enyhítve. Általában a geohabot mint szeizmikus puffert rugalmas anyagként modellezik a numerikus földrengés-válaszanalízisekben, ezért szükséges a megfelelő dinamikus, rugalmas tulajdonságainak meghatározása laboratóriumi vizsgálatok segítségével.

Az anyagtulajdonságok megismerésére nemcsak dinamikus triaxiális, hanem dinamikus egytengelyű nyomóvizsgálatokat is végeztünk.

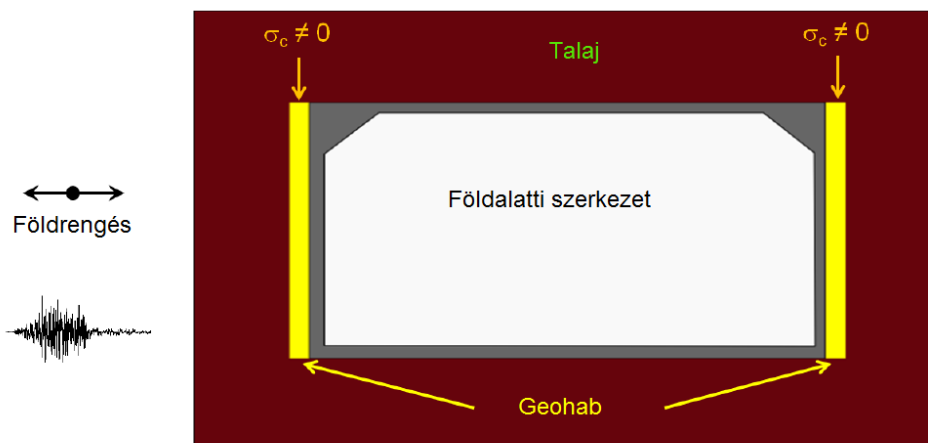
Az egytengelyű vizsgálat esetén 0 oldalirányú feszültséget alkalmaztunk ($\sigma_c = 0$). Először a kezdeti statikus deviátoros feszültséget (σ_{ds}) az anyag kúszásának befejezéséig működtettük. Így a főfeszültségek alakulása: $\sigma_{3s} = \sigma_c = 0$ és $\sigma_{1s} = \sigma_{ds}$. A következő ábra (11. ábra) koncepcionális modelljén a geohab kitöltés szeizmikus pufferként viselkedik. A ciklikus egytengelyű összenyomódás-vizsgálatnál alkalmazott geohabmintát tekinthetjük a merev támfal és a megtámasztott föld közötti kis műanyaghabelemnek.



11. ábra: szeizmikus pufferek hatásának modellje [5]

Egytengelyű vizsgálatoknál figyelni kellett a tengelyirányú, fajlagos alakváltozás maximális értékének korlátozására, mely nem lehet nagyobb 1 %-nál, amely az EPS geohab rugalmassági határértéke. (Stark, 2004) [6]

A dinamikus triaxiális vizsgálatnál már hat oldalirányú feszültség is a próbatestre. Az ezen alkalmazott kezdeti, statikus, izotróp feszültségállapot egyenértékű az oldalnyomás értékével. Ezeket a már ciklikus terhelést megelőzően működtetni kell a próbatesten. Így a statikus főfeszültségek alakulása: $\sigma_{3s} = \sigma_c = \sigma_{1s}$. Ebben az esetben az 12. ábra szemlélteti a szeizmikus puffer fogalmát egy földalatti szerkezetnél. A geohab kitöltés a szerkezet és a környező talaj között található. A körülvevő talaj miatt az anyagra jutó oldalirányú feszültség jóval nagyobb 0-nál. Ennek hatását háromtengelyű dinamikus nyomóvizsgálattal szimuláltuk. [5]

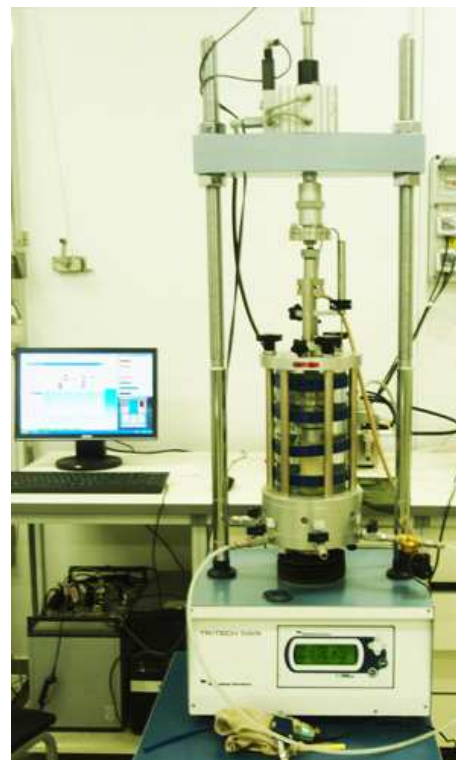


12. ábra: szeizmikus puffer fogalma földalatti szerkezet merev falainál [5]

Az EPS geohab mintákat teljesen automatikus, mikroprocesszor-vezérelt ciklikus triaxiális berendezéssel teszteltük, melyet a Wykeham Farrance gyártott. A jobb oldalon (13. ábra) látható triaxiális berendezést szintén a BME Geotechnikai Tanszék Laborja biztosította. A kísérleti adatok, eredmények tárolására az UTS szoftvert használtuk.

A dinamikus terhelés paramétereit: a ciklikus terhelési frekvencia, a ciklikus deviátoros feszültség amplitúdója, terhelési ciklusszám; ezeket mind külön kellett bevinni a programba. A vizsgálatok során ezen kiindulási feltételeket változtattuk, s megfigyeltük, miként módosul a geohab kísérletre adott válasza. Az eredményeket összehasonlítva szűrtük le egyes tényezők a műanyaghab viselkedésére gyakorolt hatását.

Egyirányú vizsgálatnál alkalmazott frekvenciák: 1 és 5 Hz, a triaxiálisnál pedig 5 és 10 Hz.



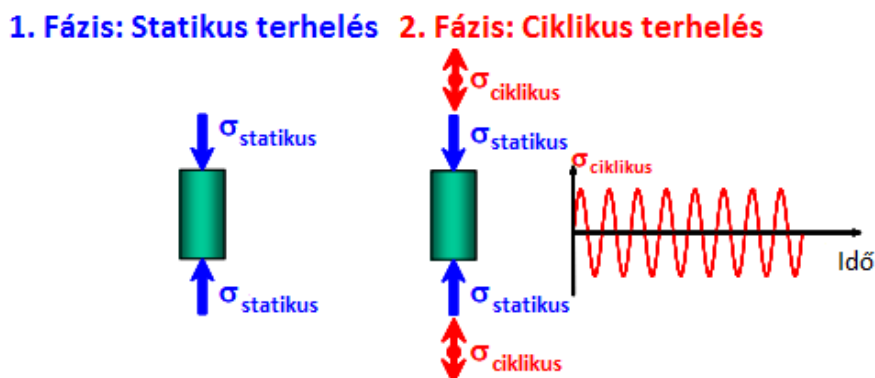
13. ábra: Wykeham Farrance laborban található készüléke

Ciklikus egyirányú nyomóvizsgálat

A dinamikus egyirányú vizsgálataimat egy 2011-es utahi tanulmányra alapoztam. (Erickson: Experimental study on the dynamic stress–strain behavior of expanded polystyrene geofoam using cyclic triaxial tests) [5] Az abban összefoglalt kísérletek a geohab dinamikus viselkedésének pontosabb megértésére szolgálnak. A tanulmány célja, hogy megvizsgálja a különböző kiindulási feltételek mellett az anyag dinamikus választ. Az anyag viszkoelasztikus és a viszko-elasztó-plasztikus reakcióját hasonlították össze a ciklikus vizsgálat révén. Jelentős viselkedéskülönbségek figyelhetők meg a frekvencia, kezdeti feszültség eltérő értékeinél.

A ciklikus egyirányú, feszültségvezérelt nyomóvizsgálat esetén kezdeti, statikus, deviátoros feszültséget alkalmaztunk a mintán még a ciklikus terhelést megelőzően. A dinamikus terhelést az anyag statikus terhelésének hatására bekövetkező kúszásának befejeződése után működtettük. A statikus és dinamikus terheléseket tünteti fel a lenti 14. ábra. A teljes statikus feszültséget fokozatosan, 1 perc alatt adtuk rá, majd további 5 percre vártunk a kúszás lezajlására. Még volt egy fontos kiemelnivaló, hogy kétféle statikus feszültséggel is kísérleteztünk, de a statikus feszültség mindig nagyobb volt az alkalmazott ciklikus feszültségeltérésnél ($\sigma_{ds} > \Delta\sigma_{dc}$). Ez azért volt fontos, mert a dinamikus terhelésnél húzás és nyomás is volt, így negatív értéket is felvett. A frekvenciahatások tanulmányozása érdekében kétféle frekvencián 1 és 5 Hz-en is végrehajtottuk a méréseket, ahol lehetett, ahol a tengelyirányú alakváltozási határ nem akadályozta meg a vizsgálat lezajlását.

A forrástanulmány az anyag viszkoelasztikus és viszko-elasztó-plasztikus válasza alapján határozta meg az alkalmazott ciklusszámtartományokat. A kisebb ciklusszám ($N=30$) a viszkoelasztikus viselkedéshez tartozik, nagyobb ciklusszám ($N=100-300$) már a viszko-elasztó-plasztikushoz. A saját méréseimnél a 30-as ciklusszámot alkalmaztam, de amint majd a következőkben bemutatom, már ennél is megjelenik a viszko-elasztó-plasztikus viselkedés. A 4. táblázat tartalmazza a kísérletsorozat során használt különböző kiindulási feltételeket, az egyes cellákban pedig szerepel az anyag egyes esetekre való válaszai.



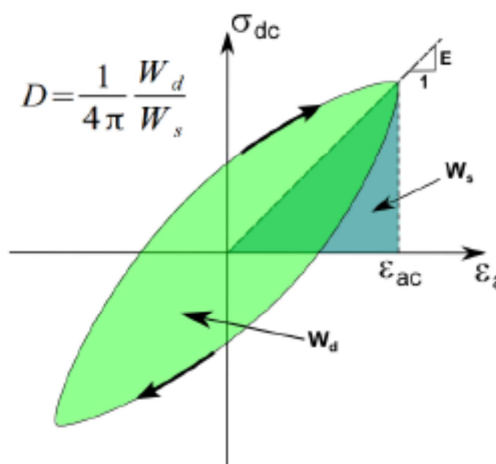
14. ábra: statikus és dinamikus terhek [5]

Statikus, deviátoros feszültség [kPa]	Frekvencia [Hz]	Ciklikus, deviátoros feszültségeltérés [kPa]							
		5	10	15	19	20	25	30	39
20	1	v-e	v-e	v-e-p	v-e-p	-	-	-	-
	5	v-e	v-e-p	v-e-p	v-e-p	-	-	-	-
40	1	v-e	v-e	v-e-p	-	v-e-p	v-e-p	$\varepsilon_a > 1\%$	$\varepsilon_a > 1\%$
	5	v-e	v-e	v-e-p	-	v-e-p	$\varepsilon_a > 1\%$	$\varepsilon_a > 1\%$	$\varepsilon_a > 1\%$

4. táblázat: alkalmazott kiindulási feltételek összefoglalása

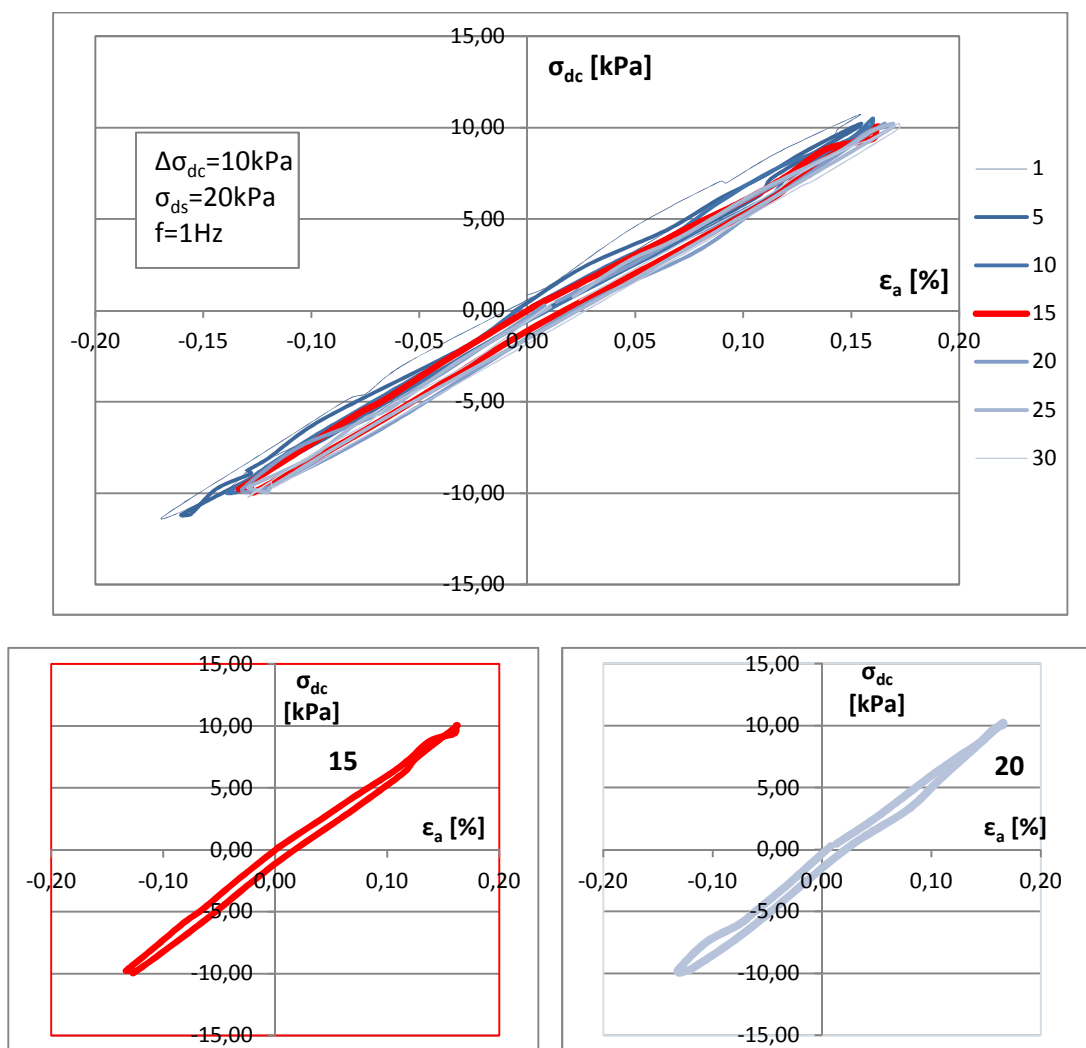
A műanyaghab viszkolelasztikus válaszából lehet következtetni a Young-modulus (E) és a csillapítási tényező (D) anyagra jellemző értékre. A dinamikus vizsgálatokból nyert feszültség-fajlagos alakváltozás görbék hiszterézis hurkot adnak. Egy idealizált hiszterézis hurkot mutat a következő 15. ábra. Az x tengely mutatja a tengelyirányú fajlagos alakváltozást (ε_a), míg az y tengelyen a ciklikus, deviátoros feszültség szerepel (σ_{dc}). W_s és W_d olyan energiaértékek, melyek a csillapítási tényező számításához szükségesek. Az eredményül kapott csillapítási tényező egy teljes hiszterézis hurokra érvényes. A csillapítási tényező az anyag azon képessége, mely eloszlatja az energiát a viszkózus mechanizmusok révén. Az elnyelt energia egy hiszterézis hurok nagysága térfogategységben kifejezve (W_d).

Az origó és a terhelés-visszaforrás kezdő pontján átmenő vonal meredeksége által határozza meg a Young-modulus értékét (E). A tartalék (tárolt) energia (W_s) ugyanaz, mintha ugyanolyan E értékű, rugalmas anyagból származna.



15. ábra: viszkoelasztikus anyaghoz tartozó hiszterézis hurok [5]

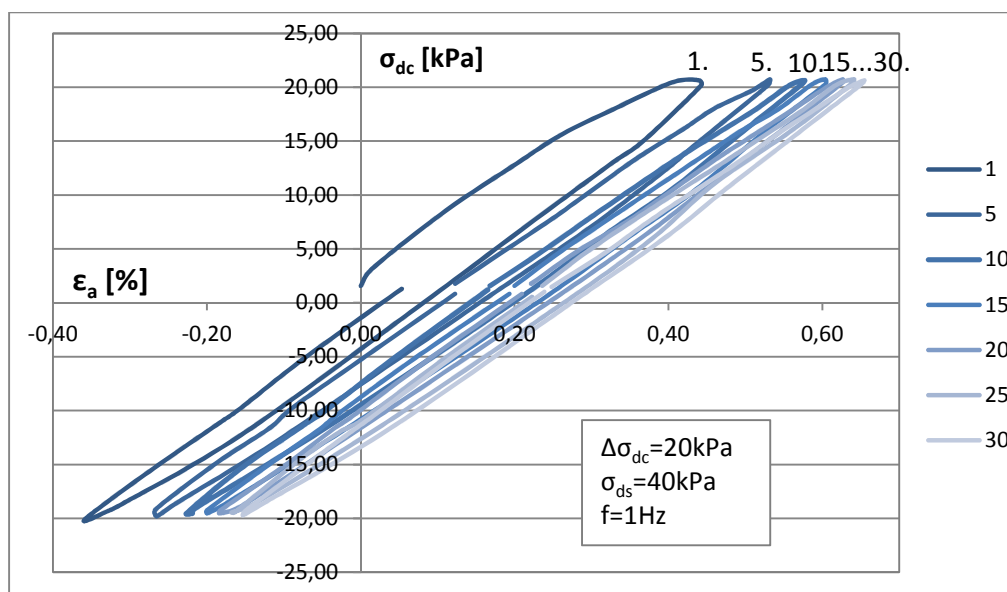
A saját eredményeim feldolgozása jól mutatja, hogy a valós hiszterézis hurkok alakja nem ennyire tökéletes, kisebb ciklikus feszültségeltérés esetén (5, 10 kPa) megjelenhetnek törések a vonalon. A következő oldalon lévő diagramok (16. ábra) a 20 kPa-os statikus és a 10 kPa-s ciklikus, deviátoros feszültségekhez tartozó hiszterézis hurkokat szemlélteti külön kiemelve a 15. (piros) és a 20.(világos kék) ciklusszámhoz tartozót.



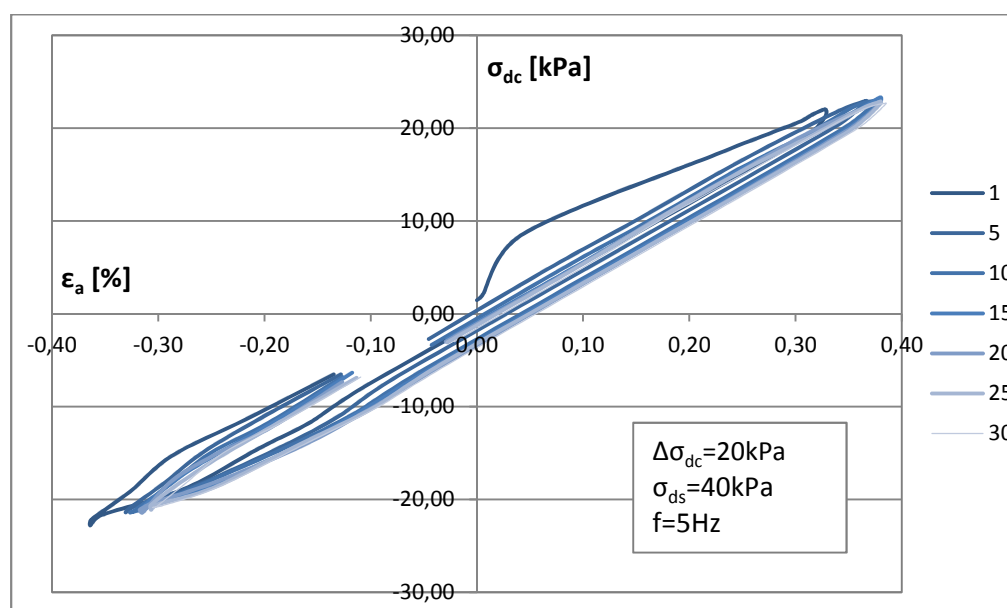
16. ábra: 20 kPa-os statikus, deviátoros feszültséghez és 10 kPa-os ciklikus, deviátoros feszültségeltéréshez tartozó hiszterézis görbék 1 Hz-nél

A geohabbal kapcsolatos vizsgálatok viszko-elasztó-plasztikus válaszából hasonló hiszterézis hurok kapható, mint a viszkoelasztikus viselkedésnél megfigyelhető, azonban itt nem zárt a hurok, a képlékeny tengelyirányú alakváltozás (ϵ_{ap}) minden ciklusnál tovább gyűlik. Ezt a jelenséget a 17. ábra kiválóan szemlélteti, ahol is 40 kPa-os statikus, deviátoros feszültséget és 20 kPa-s dinamikus, deviátoros feszültségeltérést alkalmaztunk a kísérlet során a próbatesten 1 Hz-es frekvencia mellett. Itt már a vonalak nem záródnak önmagukban, és a magasabb ciklusszám felé haladva egyre inkább jobbra tolódik az adott hurok. A 18. ábra az előzővel megegyező feszültségadatokkal bír csak 5 Hz-es frekvencia esetén. Itt nem jelentkezik erőteljesen az eltolódás, de a nyílt hurok annál inkább feltűnő.

A kísérleteket nem minden esetben tudtuk végig csinálni, a 40 kPa-os statikus feszültséghez tartozó magasabb dinamikus terhelésénél (30 és 39 kPa) a minták fajlagos alakváltozás nagysága túlhaladta a határként megadott 1%-os értéket. Ilyenkor csak az első ciklust futtatta le a készülék 30 darab helyett.

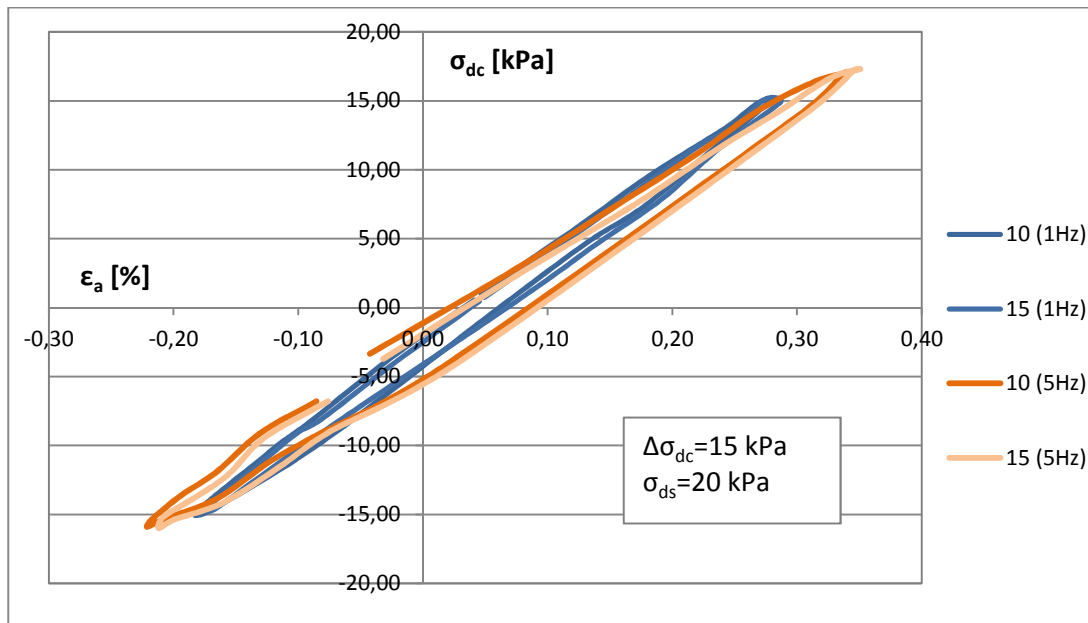


17. ábra: 40 kPa-os statikus, deviátoros feszültséghez és 20 kPa-os ciklikus, deviátoros feszültségeltéréshez tartozó histerézis görbék eltolódása 1 Hz-nél



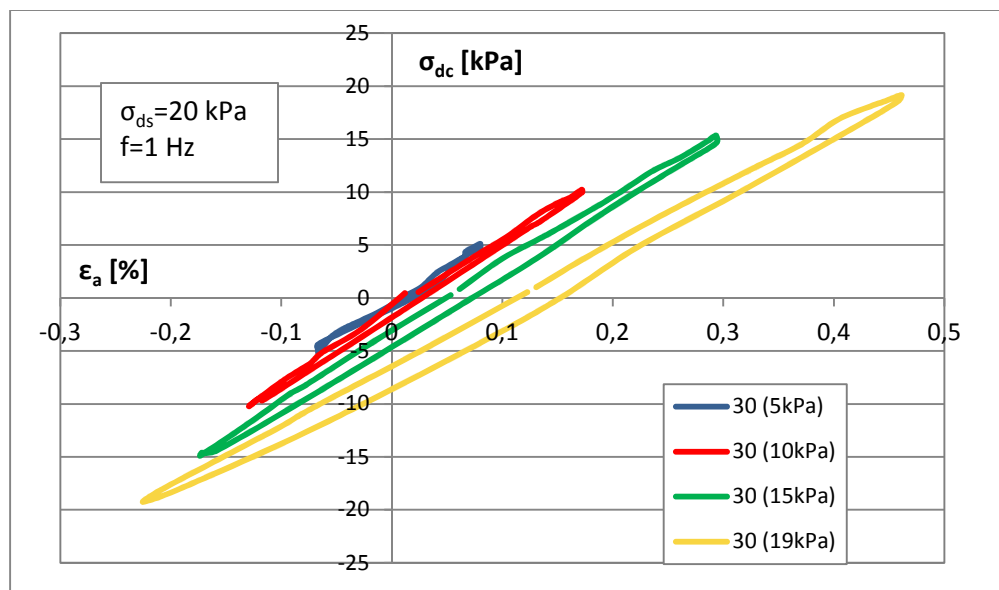
18. ábra: 40 kPa-os statikus, deviátoros feszültséghez és 20 kPa-os ciklikus, deviátoros feszültségeltéréshez tartozó histerézis görbék szakadása 5 Hz-nél

A frekvencia hatása a 17. és 18. ábra rövid bemutatásánál már jól érezhető volt. A következőkben a 19. ábra egy diagramon is feltünteteti az azonos terhelést kapott mintákat 1 és 5 Hz-es frekvenciáknál. 2-2 ciklust emeltem ki mindkettőből, hogy látható legyen, hogy a többi hurok is követi a bemutatottak alakját és helyzetét. Az összesített képen is megfigyelhető, hogy a nagyobb frekvenciához nyitottabb hurok tartozik, ennek szélessége is nagyobb. Ellenben kisebb frekvenciához meg valamivel nagyobb meredekség adódik, így nagyobb alakváltozások jönnek létre nagyobb terhelési frekvenciánál.



19. ábra: frekvenciaváltozás hatásának bemutatás azonos terhelés mellett

Nyilvánvaló, hogy a nagyobb ciklikus, deviátoros feszültségeltéréshez nagyobb képlékeny tengelyirányú alakváltozás tartozik ugyanakkora alkalmazott terhelési ciklusszám esetében. Az előbb megfogalmazottak a lenti képen (20. ábra) is láthatóak, ahol is mindegyiknél az utolsó, 30. ciklushoz tartozó görbét emeltem ki. Ezek közel párhuzamosak, az utolsó tér ki talán a sorból valamelyest, de ez a mérés beállításainak kisebb pontatlanságából is adódhatott. A másik három esetben (20 kPa – 5 Hz, 40 kPa – 1 Hz, 40 kPa – 5 Hz) is a fentihez hasonló ábrát kaptam.



20. ábra: 20 kPa-os statikus, deviátoros feszültséghez tartozó növekvő ciklikus terhelés hatására bekövetkező huroknövekedések

Ciklikus triaxiális vizsgálat

A dinamikus triaxiális vizsgálatok során már oldalirányú feszültség is hat a mintára, ezért azt vízzel leptük el az üveg hengeren belül. Az ezen alkalmazott kezdeti, statikus terhelés egyenértékű az oldalnyomással, továbbá ezzel az értékkel tettem egyenlővé a dinamikus feszültség nagyságát is. ($\sigma_{3s} = \sigma_c = \sigma_{1s} = \sigma_{dc}$) Itt a triaxiális vizsgálatoknál a ciklikus teher csak nyomásként jelentkezik. Mint ahogy a részfejezet elején is említettem, még a dinamikus feszültségeket megelőzően kell működtetni a statikus terheket a próbatesten. A triaxiális vizsgálatok eredményei megerősítik a tengelyirányú kompressziós teszteknek alávetett geohabok reakcióját.

Több mélyépítési munka is ciklikus terhelést okoz. Dowding 1996-ban a következő táblázatban foglalta össze különböző rezgésforrás esetén a frekvenciatartományokat.

REZGÉSFORRÁS	Domináns frekvencia [Hz]
Cölöpverés	10-30
Dinamikus tömörítés	6-20
Vésőejtés	18-32
Útburkolatbontás	20-33
Vibrohenger	22-30
Vibroflotáció	26-33
Tehergépkocsi-forgalom	15-25
Normál forgalom	10-20
Vasúti közlekedés	20-40
Robbantás	>40

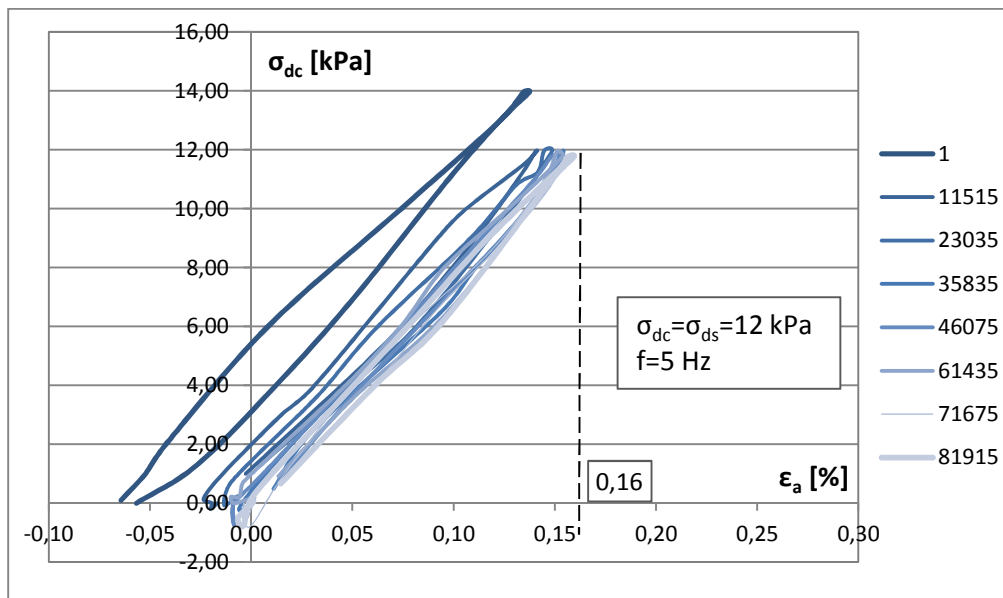
5. táblázat: rezgésforrások és frekvenciatartományuk [7]

A laborban elvégzett kísérletünk során mi egy kisebb és egy nagyobb frekvenciát választottunk, és a geohab ezekhez az értékekhez tartozó viselkedését vizsgáltuk. Kisebb frekvenciát 5 Hz-nek vettük fel, ez megegyezik egy magyarországi átlagos forgalom okozta hatásnak, a nagyobbbat 10 Hz-nek, ezzel pedig egy kisebb gépi munka által keltett rezgést szerettük volna szimulálni (pl. cölöpverés). Sajnos az általunk választott beállításokkal a berendezés nem tudott 10 Hz-nél nagyobb frekvenciát végig vinni. A kísérlet során hosszabb ideig tartó terhelést vettünk alapul, így a 90.000 ciklusszám mellett döntöttünk. Így egy-egy vizsgálati időtartam a konszolidációval együtt, a frekvenciától függően 3-6 óra volt.

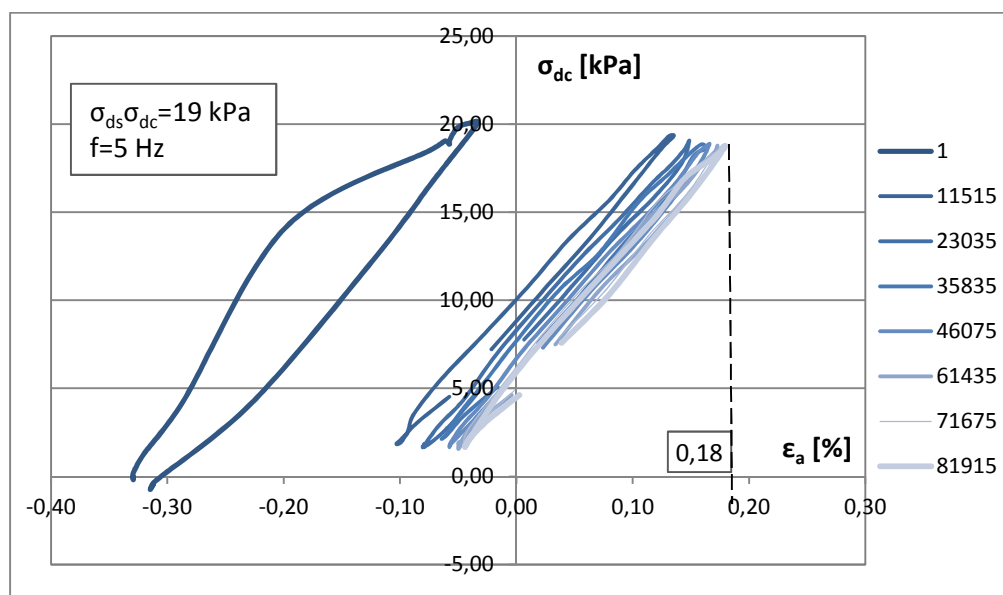
A kísérletekből nyert adatokat itt is elsősorban feszültség-fajlagos alakváltozás dimenziójú koordináta-rendszerekben jelenítettem meg. A kapott görbék is ciklusonkénti hiszterézis hurkokat ábrázolnak, ám 90 000-es periódusszámnál szó sincs már zárt hurkokról. A terhelésváltozás hatásának megfigyelése céljából 5 Hz-en három különböző feszültséggel (12, 19, 44 kPa) végeztük el a kísérletet. Majd ebben a részben is megnéztük, hogy a

frekvencia mennyire befolyásolja a görbék alakulását, ezért a 19 kPa-os terheléses vizsgálatot 10 Hz-en is végrehajtottuk. Ez a 10-20 kPa-os feszültség a reális ezeknél a számításoknál, hiszen a geohabnak csak pár méter mély földtakaró súlyát kell elviselnie. Nagyobb terhelésbe a járművek, nehéz gépek tömege tartozhat bele.

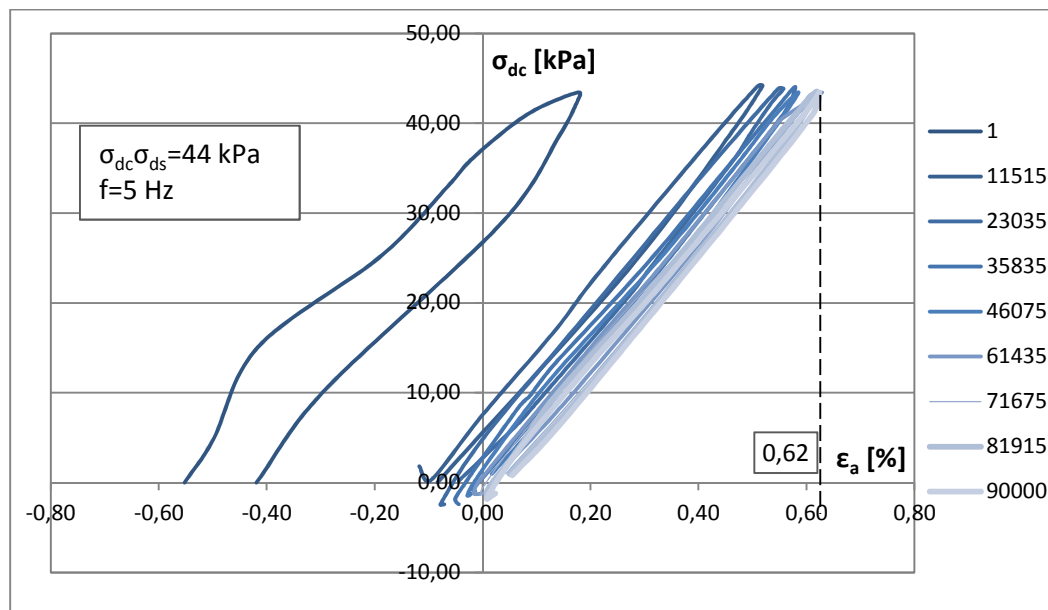
A következőkben az összes említett esethez tartozó dinamikus feszültség-fajlagos alakváltozás diagramot csatolom feltüntetve a maximális elmozdulás százalékos értékét.



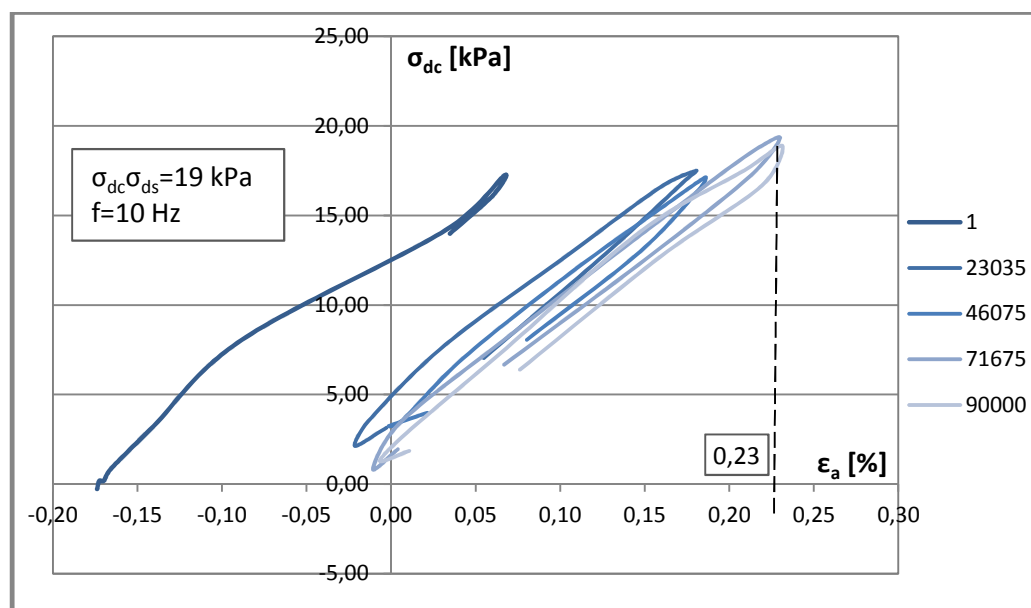
21. ábra: 12 kPa-os feszültséghez tartozó görbék



22. ábra: 20 kPa-os terheléshez tartozó hiszterézis hurkok (5 Hz)



23. ábra: hiszterézis hurkok felhalmozódása 44 kPa-os feszültségnél

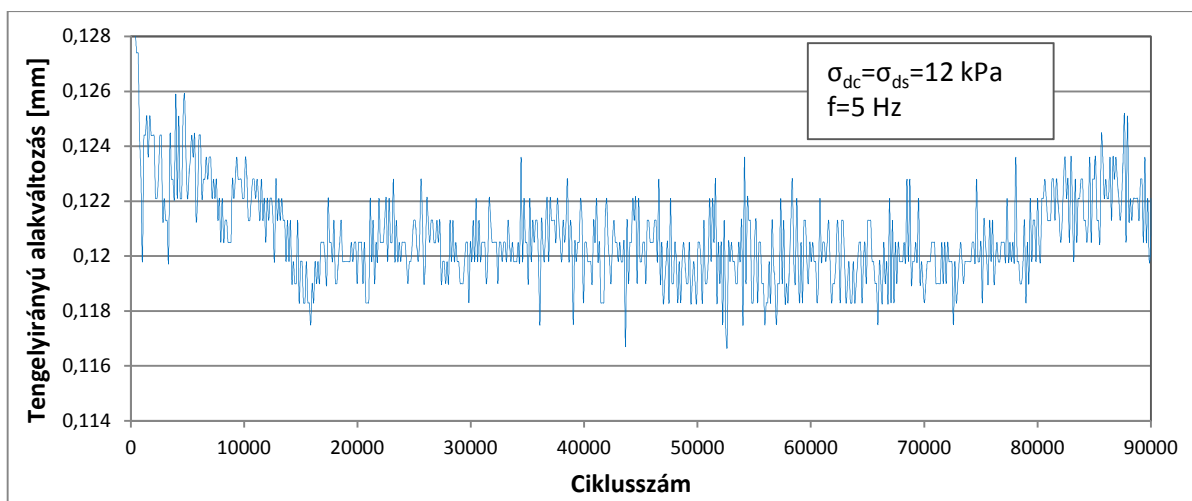


24. ábra: a 10 Hz frekvenciájú kísérlet eredménye

Mint ahogy várható volt, az elmozdulások nagyságai a terhelések növekedésével emelkedtek, de nem arányosan. A 22. ábra és 23. ábra összehasonlítása alapján a 19 kPa-nál lévő 0,18 %-os érték jelentősen megugrott már a legnagyobb terhelés esetén, több mint háromszorosára (0,62%, ami közel 0,5 mm-t jelent jelen esetben), ez annak köszönhető, hogy nemcsak a dinamikus feszültségek, hanem a statikus főfeszültségek is változtak. A hiszterézis hurkok szélessége egy adott frekvencián belül nem nagyon különböznek.

A frekvenciák közötti különbséget a 22. ábra és 24. ábra összehasonlítása mutatja. Az kísérletből azt kaptuk, hogy valamivel nagyobb maximális fajlagos alakváltozás tartozik a 10 Hz-es vizsgálathoz, ám ez az 0,05%-os eltérés mindössze néhány század millimétert jelent. Kisebb eltérés az előző, *Ciklikus egyirányú nyomóvizsgálatok*nál is megjelent. A hurokszélesség tanulmányozása alapján megállapíthatjuk, hogy magasabb frekvenciához valamivel szélesebb hurok tartozik, csakúgy, mint az egyirányú eredményeknél.

Végül a 25. ábra szemlélteti, hogy a dinamikus vizsgálatok ideje alatt miként alakulnak az alakváltozások.

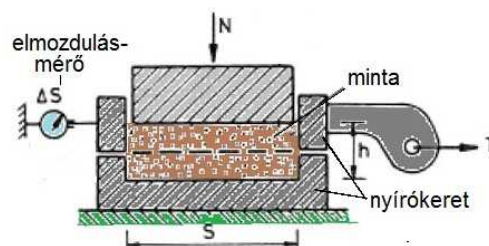


25. ábra: alakváltozások alakulása növekvő ciklusszám függvényében

Nyírási vizsgálat

A nyírószilárdság megállapítására szolgáló legegyszerűbb eljárások egyike a közvetlen nyírókísérlet. A mintát először anizotróp kompressziós feszültségállapotba helyezzük, a függőleges feszültséget állandó értéken tartjuk, és a minta oldalkitérését meggátolva egy vízszintes sík mentén növekvő erő működtetésével elnyírjuk. Törés során az egymáson levő nyírt felületek nagysága nem lesz állandó, hanem csökken. [2][4]

Eszköze a nyíródoboz, mely egy alsó és egy felső egymásra helyezett és egymáshoz képest vízszintesen elmozdítható keretből áll (ld. 26. ábra). A kísérlet során alkalmazott mintát két fogazott szűrőkö vagy fésűs fémbetét közé helyeztük. A függőleges irányú nyomóerőt a felső keretbe helyezett nyomótest segítségével, a vízszintes csúsztatóerőt áttétel útján gyakoroljuk. A mérések 7 mm-es maximum elmozdulásig zajlottak le.



26. ábra: nyíródoboz vázlata [4]

Ezt a vizsgálatot négy különböző kialakításban hajtottuk végre:

- normál nyírás
- lapmenti nyírás
- lapmenti nyírás acél lemezzel
- lapmenti nyírás tüskézett acél lemezzel

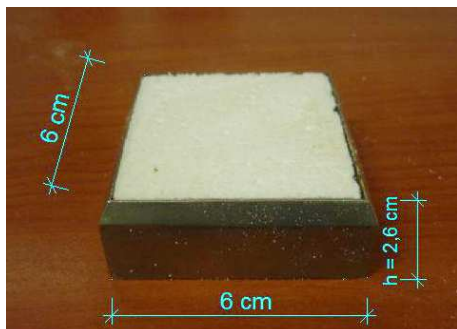
Így nem csak az anyagon belüli elnyíródást vizsgáltuk, hanem a felületek közötti kölcsönhatást is.



27. ábra: nyíráshoz alkalmazott berendezés

Normál nyírás

A normál esetben a minta egy darabból állt és a belsejében jött létre egy nyírási sík. A kísérletnél vizsgált téglatest alakú mintát egy erre a célra kialakított keret és egy fűrészlap segítségével alakítottuk a megfelelő méretre.



A bal oldali kép (28. ábra) illusztrálja az alkalmazott próbatestet a formázásra használt keretben

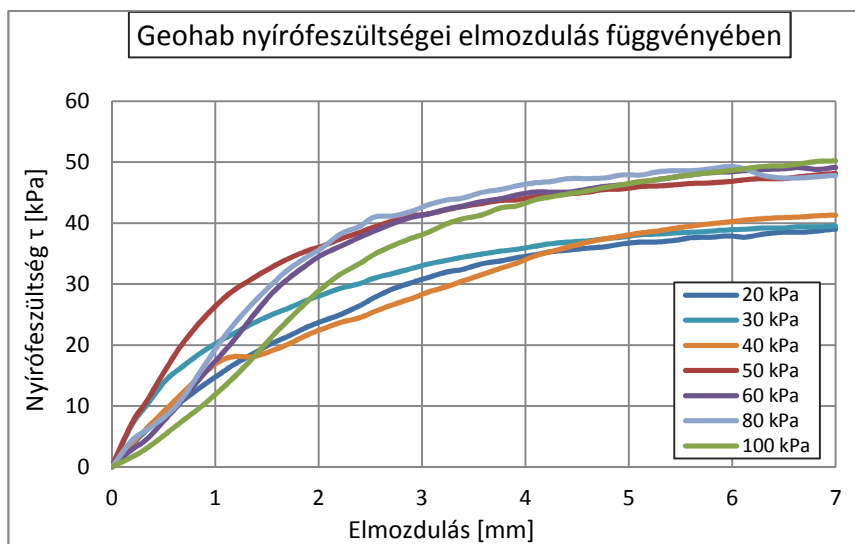
Az ábráról is jól kivehető méretei:

magassága: 2,6 cm

alapterülete: 6 x 6 cm

28. ábra: az egy darabból álló minta méretei

A testre ható terhelés 20-tól 100 kPa-ig terjedt. Pontos értékek: 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100 kPa. Mindegyik esetben 7 mm-es elmozdulásig végeztük a méréseket, az elmozdulásokhoz nyírófeszültségeket kaptunk. Ezeket az értékpárokat a következő diagram mutatja be.



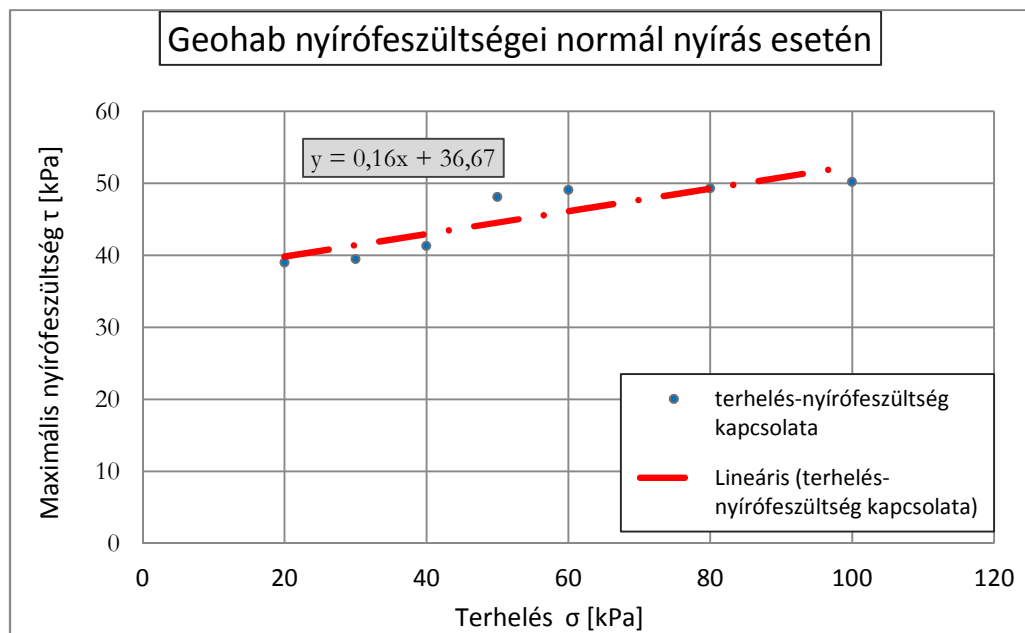
29. ábra: különböző normálfeszültségekhez tartozó nyírófeszültség-elmozdulás grafikon

A 29. ábra görbéi nagyjából a jól ismert feszültség-alakváltozás összefüggést követik. Nem teljesen szabályosak, „gabalyodások” figyelhetők meg a vonalak menetében, mivel néhol a kisebb terhelésű vonal a nagyobb felett halad, de a vizsgálat során mért nyírófeszültségek maximumát nézve már a várt eredményeket kaptuk. Ennek összefoglalását a következő, 6. táblázat tartalmazza.

σ [kPa]	$\max(\tau)$ [kPa]
20	39,0
30	39,5
40	41,3
50	48,1
60	49,1
80	49,3
100	50,2

6. táblázat: terhelésekhez tartozó maximális nyírófeszültségek

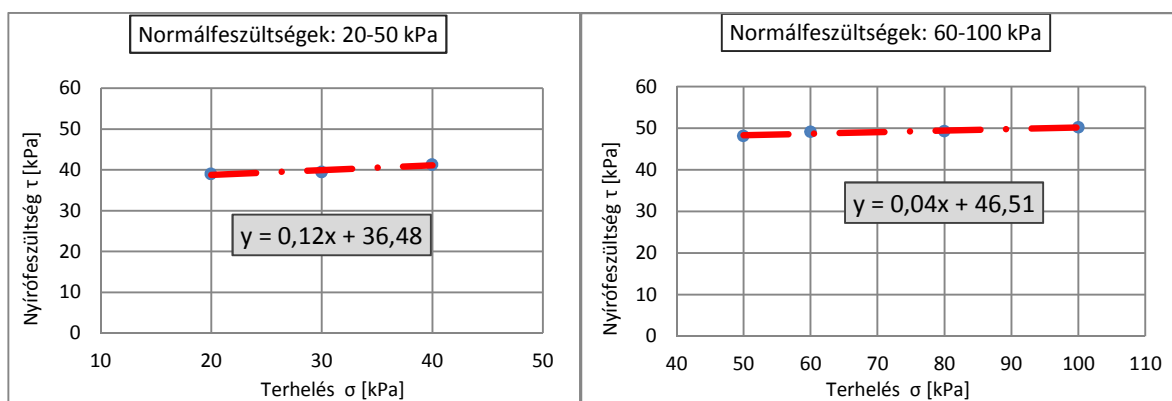
A maximális nyírófeszültségi értékek a terhelés, nyomófeszültség növekedésével egyre emelkedtek. Ezeket a feszültségpárokat külön diagramon is ábrázoltam, hogy vizsgálhassam, milyen összefüggés van ezen pontok között.



30. ábra: nyírószilárdsági értékek közelítése

A 30. ábra jól mutatja, hogy a felrajzolt pontokra egyenes illeszthető, ennek egyenletéből lehet következtetni a vizsgált anyag nyírószilárdsági jellemzőire. A 0,16-os meredekséghez 9,1°-os súrlódási szög tartozik, a kohéziója pedig 36,7 kPa-ra jött ki. Ám ezt a grafikont kétfelé szedve pontosabb illesztést is el tudunk végezni. A szétválasztás határa a grafikonról jól leolvasható, ismételten az 50 kPa-os terheléshez tartozó értékpár lett. A két csoportba tartozó mérések elkülönülését a 29. ábra is jól szemlélteti, a görbék két irányba tartanak.

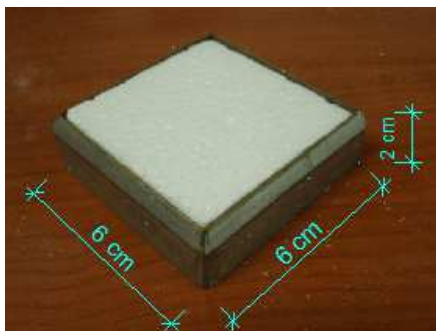
Az újonnan kapott egyenesek jól követik a mérés eredményeit. Az ezekhez tartozó meredekség, így a súrlódási szög is kisebbre adódott az összesítettéhez képest, bár negatív értéket ez a vizsgálati elemzés nem mutatott. ($\varphi_{20-40}=6,6^\circ$, $\varphi_{50-100}=2,1^\circ$) Mindkét esetben nagyobb kohézió jelentkezett az eredetihez képest, ez a kisebb súrlódási szögek miatt várható is volt. ($c_{20-40} = 36,5\text{kPa}$, $c_{50-100} = 46,5\text{kPa}$)



31. ábra: kettéválasztott mérés diagramjai

Lapmenti nyírás

A lapmenti nyírás vizsgálatánál az alsó és a felső keretbe is tettünk egy-egy mintát, melyeknek az érintkező felülete jelentette a nyírási síkot. Ügyeltünk arra, hogy az egymáson elmozduló felületek az eredeti tábla külső oldalából legyenek, amit még maga a gyártó képzett, mivel a beépítéseknél is ezek érintkeznek egymással.



32. ábra: lapmenti nyírás mintája

Itt nagyon fontos volt, hogy a két felszín pontosan illeszkedjen, illetve, hogy a keretek egymáson akadálymentesen el tudjanak csúszni, ne zavarják meg a mérést. Ennek érdekében henger alakú kis görgőket helyeztünk el a két keret közé, ezt mutatja a jobb oldali kép is.

A mérés során két darab ekkora próbatestet helyezünk egymásra.

A bal képről is jól kivehető méretek:

magassága: 2 cm

alapterülete: 6 x 6 cm



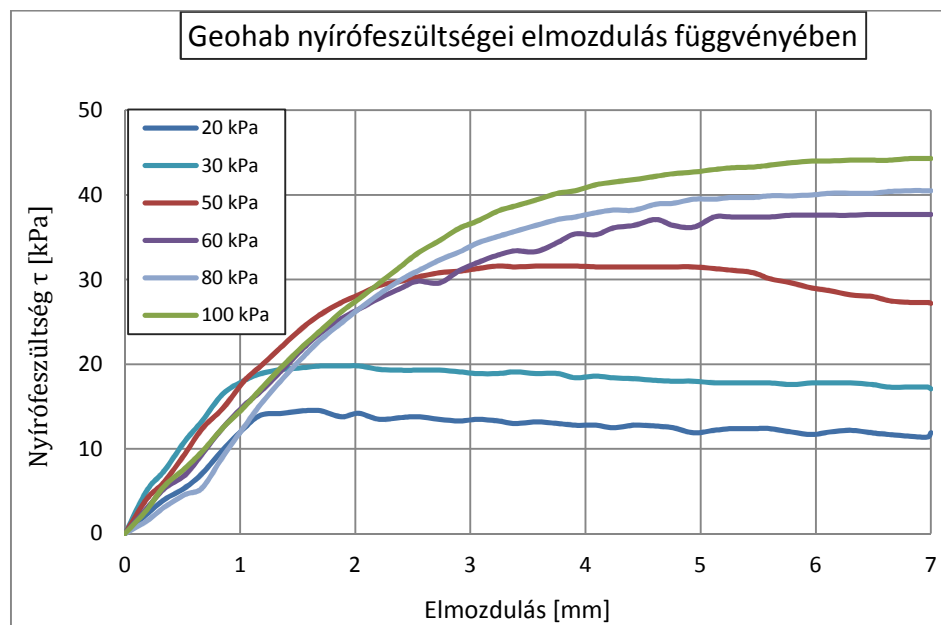
33. ábra: görgők elhelyezése

A normál nyíráshoz hasonlóan zajlott le a mérés, a terheléstartomány is ugyanaz volt. Ezen az oldalon egy képsorozat mutatja be a szerkezeti kialakítástól kezdve a kísérlet menetét.



34. ábra: lapmenti nyírás lépései

A következőkben a normál nyíráshoz hasonlóan grafikonnal és táblázattal szemléltetem a műanyaghab nyomófeszültség hatására kapott nyírófeszültségeit.



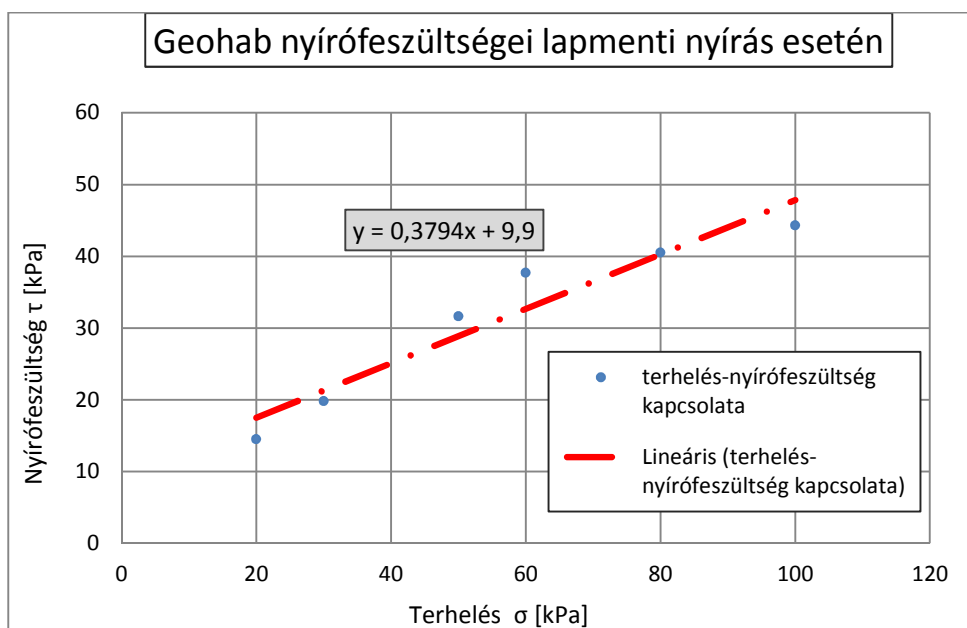
35. ábra: nyírófeszültség-elmozdulás görbék

A grafikonok a kisebb elmozdulásoknál itt is kuszán haladnak, majd közelítőleg a felétől már beáll a helyes sorrend. Az alacsonyabb normálfeszültségeknél (20, 30 kPa) viszonylag hamar eléri a nyírófeszültség maximumát, gyorsabban legyőzték a két minta találkozásánál lévő súrlódási erőt, utána „szabadon” elmozdultak egymáson. Magasabb terhelések esetén (50 kPa felett) a próbatestek jobban egymáshoz tapadtak, nehezebben mozdultak.

σ [kPa]	$\max(\tau)$ [kPa]
20	14,5
30	19,8
50	31,6
60	37,7
80	40,5
100	44,3

7. táblázat: maximális nyírófeszültségek összefoglalása

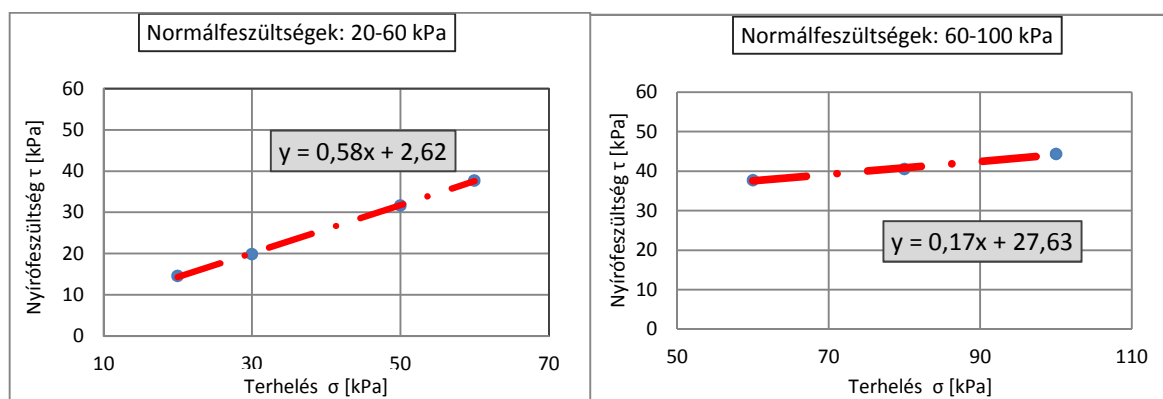
A 7. táblázatban szereplő nyírófeszültségi adatok kisebbek a normál nyírás esetében kapottaknál. Ez érthető is, hiszen már kevesebb nyíróerő hatására is elmozdul két különálló test, mint az önmagában nyíródó. A feszültségpárokból diagramot készítettem, majd meghatároztam itt is a nyírószilárdsági jellemzőket.



36. ábra: nyírószilárdsági paraméterek a lapmenti vizsgálatnál

A fenti ábrából (36. ábra) nyert jellemzők: $22,3^\circ$ -os súrlódási szög, mely nagyobb meredekséget ad a közelítő egyenesnek a normál nyíráshoz képest, és 9,9 kPa-os kohézió. A görbén csupán a pontokat nézve, rájöhettünk, hogy itt ismét két részre bonthatjuk az ábránkat. Ennél a vizsgálatnál a 60 kPa-hoz tartozó értékpár lesz az anyag viselkedésében a vízválasztó. Ez az adat beleillik mindkét csonka közelítésbe is. A két csoportba tartozó mérések elkülönülését a 35. ábra is jól szemlélteti, a görbék két irányba tartanak.

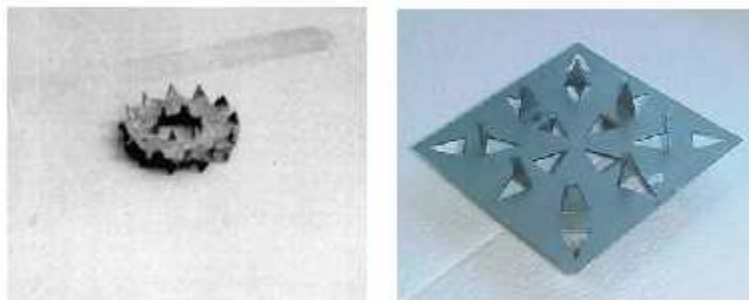
Az újonnan kapott egyenesek jól követik a mérés eredményeit. A két vonal teljesen eltérő meredekségű, a 60 kPa-hoz tartozó pontnál metszenék egymást. A kisebb értékeknél egy viszonylag nagy $\phi_{20-60}=35,6^\circ$ -os szöghöz elég kicsi, $c_{20-60} = 2,6$ kPa-os kohézió társul. Míg ezzel szemben a magasabb normálfeszültségekhez laposabb egyenest lehet illeszteni, ezt jól mutatja az egyenletéből származó 0,165-ös irányítványozó is. Ennél az esetben nyert súrlódási szög és kohézió: $\phi_{60-100}=9,5^\circ$, $c_{60-100} = 27,6$ kPa. Negatív értéket ez a vizsgálati elemzés sem mutatott.



37. ábra: két terhelési tartományhoz tartozó trendvonal

Lapmenti nyírás lemezzel

A geohabtömböket a beépítésük során szorosan egymásra helyezik. A blokkok közé különböző méretű rögzítő elemeket (38. ábra) tesznek, melyek a táblák egymáson való elcsúszását akadályozzák meg. Erre a célra általában oldalán tüskés, galvanizált acélból készült lapokat vagy szélükön kitüskézett körgyűrűket alkalmaznak.



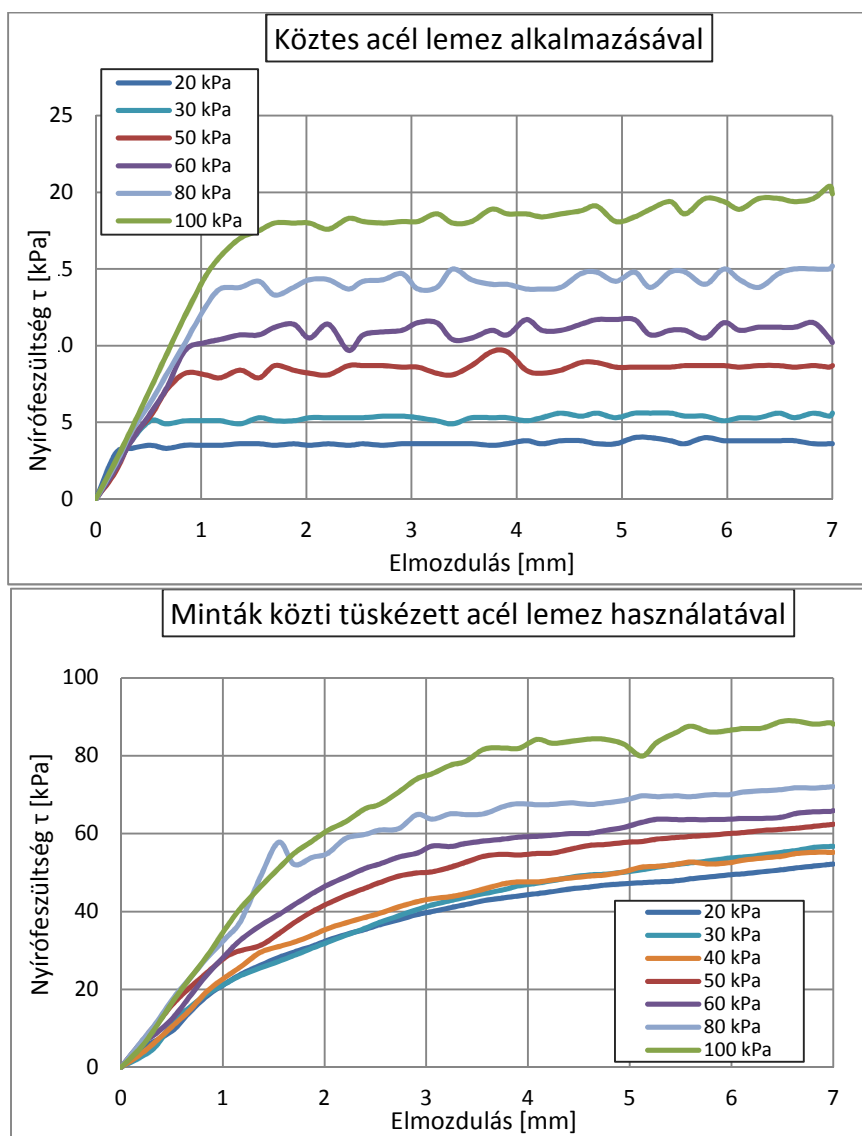
38. ábra: geohabtáblák rögzítésére szolgáló elemek [8]

A kísérleteink során megnéztük, hogy miként reagál a geohab, ha nem saját felületén csúsztatjuk el, hanem közéjük először egy sima acél lemezt majd mindkét oldalán tüskés lapot helyezünk. Az egyszerű és a tüskés acél lemezes vizsgálatnál alkalmazott próbatest méretei a 28. ábrának megfelelőek voltak, a kísérlet menete is megegyezett az ottanival. A lenti kép mutatja a felhasznált eszközöket, a jobb oldali elemből 1 cm magas, hegesztett tüskék állnak ki, melyeket a mérés során az anyagba mélyítettünk, így szorosan összefogtuk őket.



39. ábra: vizsgálatnál használt lemezek

A testre ható terhelés normál nyíráshoz hasonlóan: 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100 kPa volt. Itt is a berendezéshez kapcsolt program 7 mm-es elmozdulásig mért.

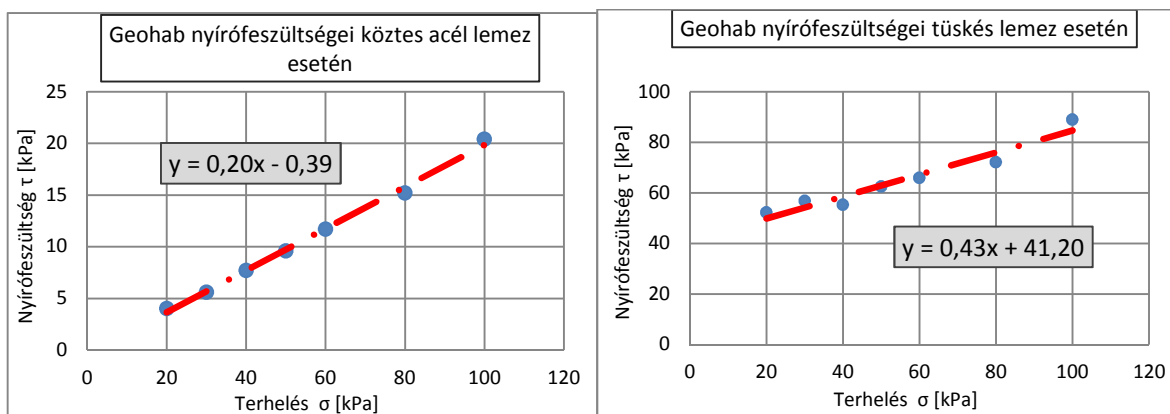


40. ábra: geohab nyírófeszültségei elmozdulás függvényében

A fenti két diagram mutatja, mekkora nyírófeszültségek esetén jöttek létre az adott elmozdulások. A felső ábrán jóval kisebb feszültségek szerepelnek, hiszen egy sima felületű acél lemezen minden nagyobb gond nélkül el tudott csúszni a felső mintadarab, az emelkedő szakasz hamar „vízszintesbe” vált át. Ez mutatja, hogy nem kell a további elmozdulásokhoz többlet erő kifejtés, legyőzte már a két elem közötti tapadást. Tüskézett lemeznél jóval nehezebben jött létre az elnyíródás, mivel ezek a tüskék eltépték az anyagot. Így erős kapcsolat biztosítható két tábla együtt maradásához. Az alsó ábrán lévő viselkedés a kavicsok nyírásához hasonló.



41. ábra: minta a vizsgálat után



42. ábra: feszültségpárokhoz tartozó trendvonalak

A fenti 42. ábra mutatja a fejezetben vizsgált két változathoz tartozó normálfeszültség-nyírófeszültség értékpárok közötti összefüggést. Az ábrázolt pontok koordinátáit összesítő táblázathoz (8. táblázat) hozzáillesztettem az egyszerű lapmenti nyírás és a normál nyírás eredményeit, hogy könnyebben összehasonlíthatók legyenek. Ugyanígy cselekedtem a nyírási paraméterek kimutatásával is.

σ [kPa]	max(τ) [kPa]			
	normál	lapmenti	sima lemezes	tüskés lemezes
20	39	14,5	4	52,2
30	39,5	19,8	5,6	56,7
40	41,3	nincs adat	7,7	55,2
50	48,1	31,6	9,6	62,4
60	49,1	37,7	11,7	65,9
80	49,3	40,5	15,2	72,1
100	50,2	44,3	20,4	88,9

8. táblázat: maximális nyírófeszültségek összefoglalása

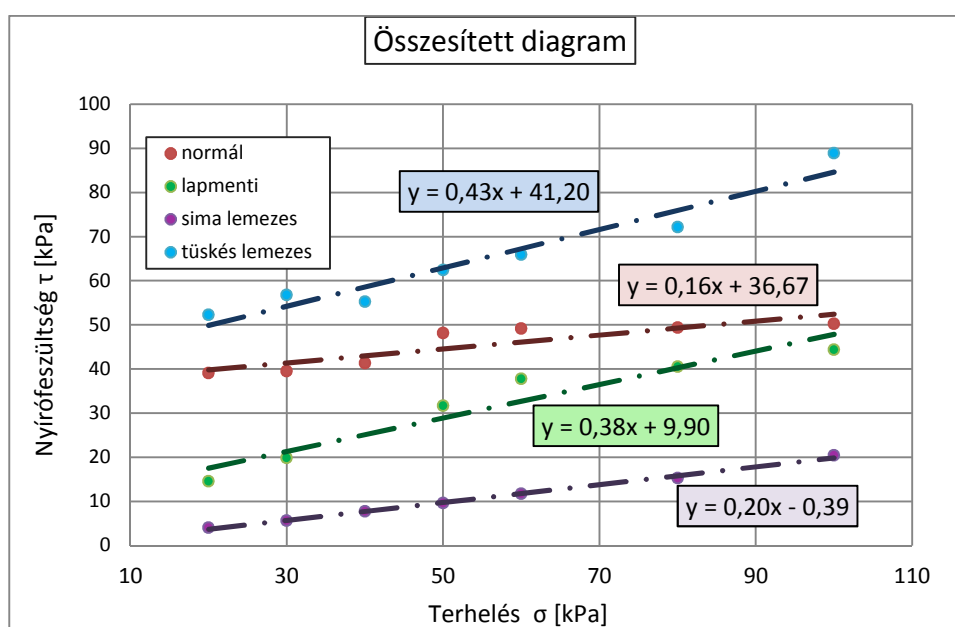
Mindközül a tüskés kísérlet során nyertük a legnagyobb nyírófeszültségeket, hiszen itt el kell szakítania a tüskének az anyagot ahhoz, hogy az előírt elmozdulások létrejöhessenek. A legkisebb értékek pedig a sima lapon történő elmozdítás esetén voltak, ekkor nem nagyon tudott a műanyag a lemezhez tapadni, nagyon hamar elcsúszott rajta. Kisebb a súrlódási együttható a lemez és a hab között, mint amikor a geohab találkozik a geohabbal.

nyírószilárdsági jellemzők	normál	lapmenti	sima lemezes	tüskés lemezes
φ [°]	9,1	22,3	11,7	25,7
c [kPa]	36,7	9,9	-0,39	41,19

9. táblázat: nyírószilárdsági jellemzők

A 8. táblázat adataiból kiindulva várható volt, hogy a legnagyobb nyírófeszültségekhez (tüskézett lemez) társul a legnagyobb kohéziót és a legkisebbekhez (sima felületű lap) a legkisebb. Természetesen az egyenesek meredekségei ezt a kapcsolatot semmissé tehetnék volna, de jelen esetben ez nem történt meg, nem befolyásolták ezt az összefüggést. A belső súrlódási szögek 9° és 26° közé estek, a kohézió értékei már egy nagyobb tartományban szórtak, $-0,4$ kPa és $41,2$ kPa között.

A nyírási kísérletekből kapott eredmények már nem mutatnak mélységgel csökkenő teherbírást, nem jelenik meg negatív belső súrlódási szög egyik összeállításnál sem. Triaxiális elemzéstől való eltérés okai a két vizsgálat jellegéből adódik, más feszültségállapotba került a test, más irányból terheltük.

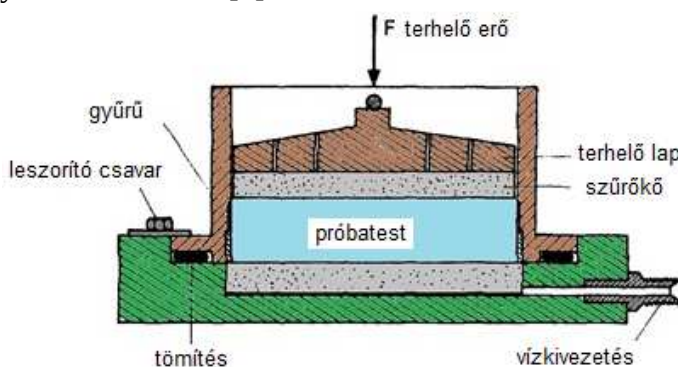


43. ábra: közelítő egyenesek

A fenti 43. ábra is jól mutatja, hogy egyes pontok a közelítő egyenesektől elég messze esnek. Ennek oka lehet mérési hiba is. Felemelkedhet kicsit a hab a keretből, vagy nem akadálymentesen mozdul el a felső rész, beleütközhet az alsó keretbe. Problémát okozhat még, ha nem azonos kapcsolat jön létre a köztes elem és a vizsgált anyag között, esetleg ha nem ugyanott ugyanúgy nyomtuk bele mindig a tüskéket. Ám mivel nem végeztünk kellően nagy mennyiségű mérést, ezért egyik értéket sem szórhatjuk ki, mindegyiket figyelembe vettem az elemzéseknél.

Összenyomódás-vizsgálat

A műanyaghabra átadott terhelés a talajokhoz hasonlóan feszültségeket és alakváltozásokat okoz. Ennek mértéke és időbeli folyamata talajok esetében döntően a tulajdonságaitól, az alkotórészek arányától; a terhelés nagyságától, sebességétől és eloszlásától függ. Az így bekövetkezett süllyedés általában négy részből tevődik össze. Ám ez a négy rész a műanyaghaboknál nincs jelen, hiszen az anyag szerkezete teljesen eltérő, térfogata 97%-ban levegőből áll, a többi maga a műanyag. A minta belsejében lévő levegőt befolyásolja a szövetei körül fellépő nyomás, éppen ezért ez nehezen távozik. Mivel vizet nem tartalmaz, ezért a kísérlet során pórusvíz kinyomódása sem történik meg. A kompresszió alatt az alkotó gyöngyök nyomódnak össze. [4]



44. ábra: általános ödométer felépítése [9]

Kompressziós feszültségállapotban vizsgálják a talajok alakváltozását. Erre a célra ödométert alkalmaznak, amelyhez 0,01 mm pontosságú összenyomódást mérő óra tartozik (44. ábra). A készülék csak függőleges összenyomódást enged meg, mert oldalirányban mereven le van határolva. Külön terhelő berendezés tartozik a kísérlethez, amely lehetővé teszi a lépcsős terhelésváltoztatást és biztosítja a minta központos terhelését. A kísérletünk során alkalmazott szerkezetet a jobb oldali kép mutatja. (45. ábra) A vizsgálat hengeres mintával történt, ennek méretei magassága: 2 cm átmérője: 7,5 cm. (46. ábra)



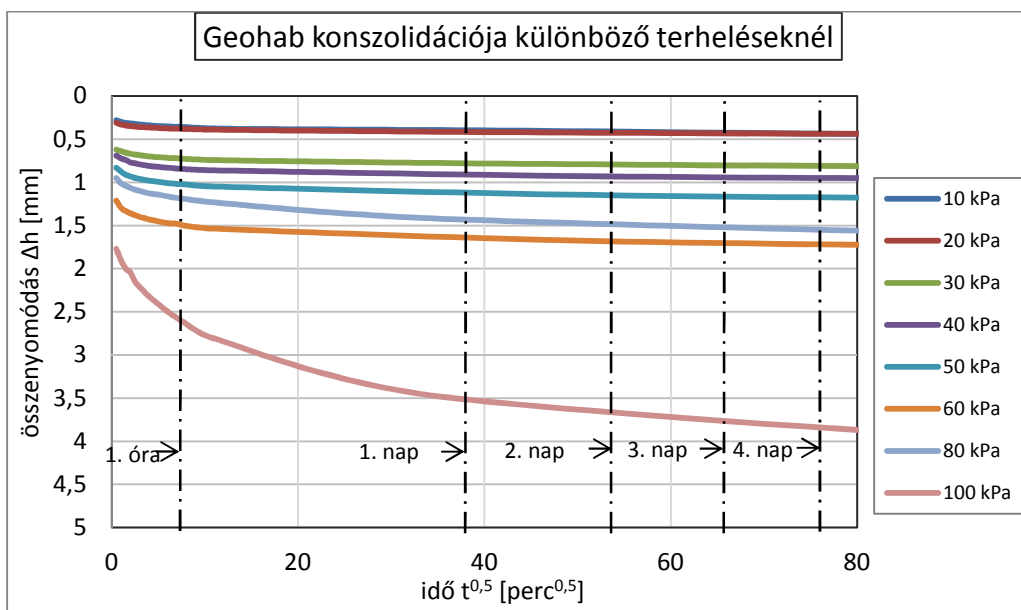
46. ábra: gyűrűbe helyezett mintatest



45. ábra: kísérleti készülék

Konszolidációs vizsgálat

Kísérlet során a gyűrűbe helyeztük a kifaragott mintát úgy, hogy a gyűrű és a minta között nem maradt hézag. Törekedtünk arra, hogy a próbatest alsó és felső felülete minél egyenletesebb legyen. Egy mintát egyetlen konstans feszültséggel terheltük. A terhelések a 10 kPa-tól 100 kPa-ig terjedő tartományból kerültek ki. A süllyedéseket az első egy órában sokszor lejegyeztük, majd utána két órával később végül másnap is felírtuk. Ezekből az értékekből állítottuk elő a lenti görbesereget, az összenyomódások (Δh) a percben megadott idő négyzetgyökének ($\sqrt{t}$) függvényében szerepelnek.



47. ábra: geohab összenyomódásának alakulása

A terhelés hatására a teljes összenyomódás nem azonnal következik be, hanem kezdetben gyorsabban, később egyre lassabban növekszik, és viszonylag hosszú idő alatt éri el a terhelés nagyságához rendelhető értéket. Ez a jelenség a fenti görbéken is jól látszik, a kisebb időknél meredeken haladnak, majd fokozatosan ellaposodnak, végül hozzásimulnak a végső alakváltozáshoz tartozó süllyedésmagysághoz. Nagyobb terheléseknél nagyobb alakváltozások keletkeztek, a görbék kezdeti meredekségük is nagyobb. A kisebb terheléseknél a görbék hamarabb ellaposodnak, ebben az arányban a 10 és 20 kPa-hoz tartozó görbe szinte fedti egymást.



48. ábra: az első három konszolidációs vizsgálathoz tartozó próbatest

Kompressziós vizsgálat

A kompressziós, konszolidációs vizsgálatok fontosak, hiszen egy-egy töltés hosszú évekig viseli a rajta lévő terheket, így sokat számít, ha tudják, hogy a töltés anyaga miként viselkedik terhelés hatására, jó ismerni, hogyan befolyásolják ezek a folyamatok a földművek állékonyságát, épületek stabilitását.

Ezt a vizsgálatot nemcsak a 200-as teherbírású habbal, hanem a 30-assal is elvégeztük. Kísérlet során a gyűrűbe belehelyeztük a kifaragott mintát úgy, hogy a gyűrű és a minta között nem maradt hézag. Törekedtünk arra, hogy a próbatest alsó és felső felülete minél egyenletesebb legyen. A terhelést ugyanazon a testen lépcsőzetesen, 10 kPa-tól kezdve 20 kPa-ként haladva növeltük. Nagyobb, 200 kPa és afölötti adatokkal már nem dolgoztunk, mivel a geohabra a pár tizednyi kg/m^3 -es térfogatsúlyából kiindulva nagyobb mélységekben sem jut jelentősen nagyobb feszültség. Minden terhelést addig működtettünk, míg az alakváltozások jelentős mértékben nem csillapodtak. Kisebb terhelések esetén ez még pár órán belül megtörtént, nagyobbaknál napokat is várni kellett. Feljegyeztük a lecsillapodás utáni összenyomódásokat a különböző nagyságú terhelések alatt.

Először lássuk a keményebb anyag elemzése során kapott eredményeket. (10. táblázat)

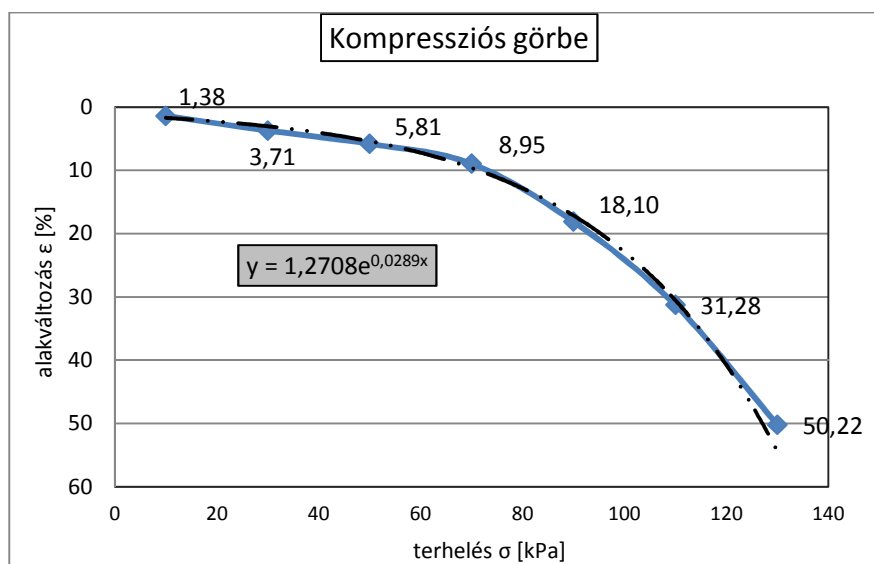
Leolvasás		σ	Δh		ϵ
Dátum	Idő	[kPa]	[0,01mm]	[mm]	[%]
2012.04.16	10:30	0	0	0	0,00
2012.04.16	12:30	10	27,6	0,276	1,38
2012.04.16	16:00	30	74,2	0,742	3,71
2012.04.18	12:30	50	116,1	1,161	5,81
2012.04.23	16:30	70	178,9	1,789	8,95
2012.05.03	10:30	90	361,9	3,619	18,10
2012.05.11	15:30	110	625,5	6,255	31,28
2012.05.31	12:00	130	1004,3	10,043	50,22

10. táblázat: kompressziós vizsgálat eredményei (EPS 200)

A termék katalóguslapja alapján a 100 kPa-os terheléshez közel 2%-os összenyomódás tartozik, ehhez képest a számolásunk 30%-os eredményt adott. És a megadott 200 kPa-os terheléshez tartozó 10 %-os összenyomódást már 80 kPa körül elérte. Látható, hogy 110 kPa-nál már 30 %-os fajlagos alakváltozást szenvedett a vizsgált anyag, a következő lépcsőnél már elérte az 50 %-ot is. Ezt a terhelések és alakváltozások közötti összefüggést kompressziós görbének nevezzük. Az eltérés oka a vizsgált minta nagyságában kereshető. A megadott értékeket valószínűleg úgy tudja teljesíteni a hab, ha nem különálló kis 2 cm vastag körhengerként vizsgáljuk, hanem egészében, egy nagy táblaként. Másik lehetőség, hogy a katalógus adatai rövid idejű terhelésekre vonatkoznak csak, nem veszik számításba a több napig tartó terhelést.

A következő oldalon (49. ábra) vázolt kompressziós görbe azt mutatja, hogy a feszültség és az alakváltozás közötti kapcsolat még közelítően sem lineáris, tehát a Hooke-törvény nem

lesz érvényes. A feszültség és alakváltozás lineáris összefüggése csak a görbe meghatározott kis részére vonatkoztatva tekinthető állandónak. Az eredmények pontjai között inkább exponenciális kapcsolat figyelhető meg, a közelítő görbe egyenletét a lenti grafikon tartalmazza.



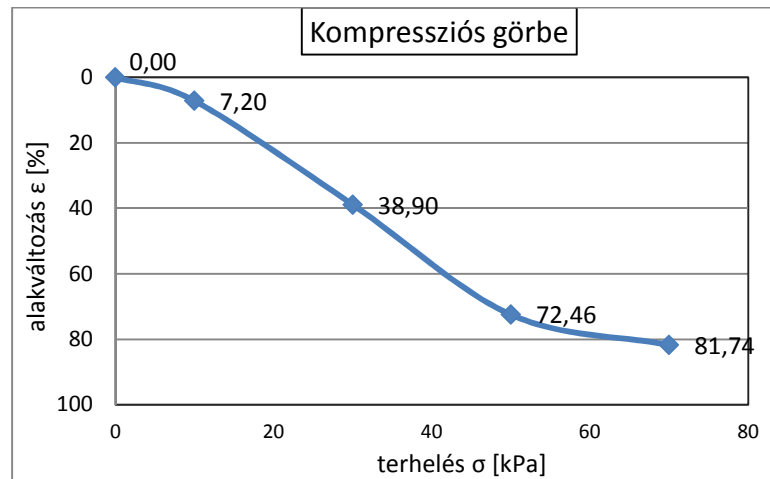
49. ábra: EPS 200 kompressziós görbéje

Most pedig a puhább geohab értékeit mutatnám be. Elsőként itt is a lejegyzett összenyomódás-értékeket prezentálom a 11. táblázat segítségével.

Leolvasás		σ	Δh		ϵ
Dátum	Idő	[kPa]	[0,01mm]	[mm]	[%]
2012.09.11	11:00	0	0	0	0,00
2012.09.18	11:00	10	143,9	1,439	7,20
2012.09.26	14:00	30	778	7,78	38,90
2012.10.04	12:00	50	1449,2	14,492	72,46
2012.10.15	11:00	70	1634,7	16,347	81,74

11. táblázat: kompressziós vizsgálat eredményei (EPS 30)

Kis teherbírás első ránézésre látszik, jóval nagyobb számok kerültek a Δh oszlopaiba már alacsonyabb feszültségek esetén is. Már a legelső teher után (10 kPa) 7 % feletti összenyomódást szenvedett a mintánk. A méréseinkből nyert adatok most is jelentősen eltérnek az anyag terméklapján megadottaktól. Ugyanis a 30 kPa-os terhelésnél 10%-os összenyomódást kellene szenvednie, ehhez képest majdnem a 40 %-ot is eléri. Ennek az előzővel megegyezik. Összefüggő szerkezete révén jobban ellenállna a terheléseknek.

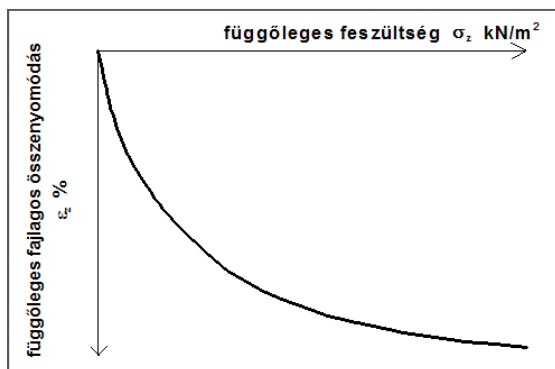


50. ábra: EPS 30 kompressziós görbéje

A felső diagramot (50. ábra) vizsgálva arra a következtetésre jutottam, hogy az első pár értéknél a görbe alakja az előzőjét másolja, domborúan ível, majd utána homorú formát ölt. Ennek a magyarázata az, hogy a nagy alakváltozások után nem tud már „hova” összenyomódni a próbatest. Teljesen ellaposodott (51. ábra), cellái felbomlottak, az alkotó gyöngyök is elvesztették formájukat, összenyomódtak.



51. ábra: kilapult minta



52. ábra: kompressziós görbe talajoknál [9]

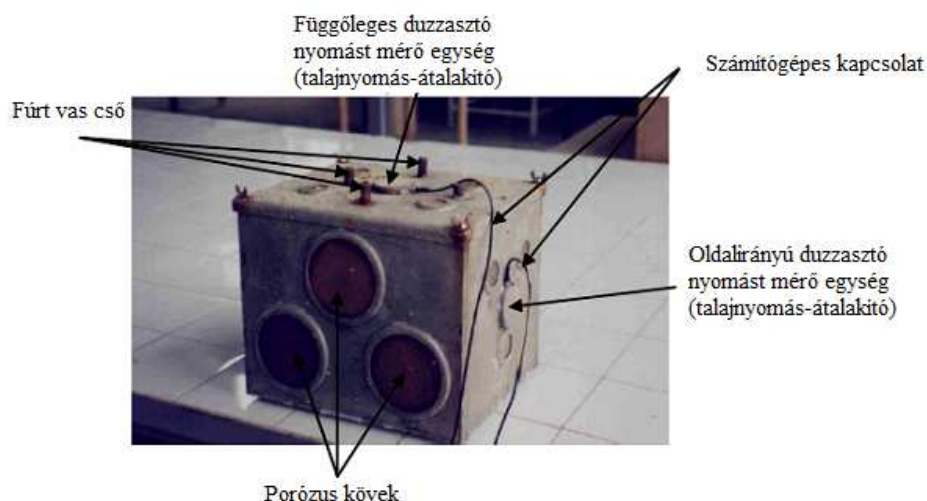
A talajok egy átlagos kompressziós görbét illusztrálja a bal oldali grafikon. (52. ábra) Jól látható, hogy ennek a konvexitása ellentétes az általunk kapottéval. Itt már az előterhelések miatt egyre lassul a süllyedések növekedése, míg a geohab esetében gyorsul a növekedés, exponenciálisan emelkednek az értékek.

Geohab vizsgálata térfogatváltozó talajok esetén [10]

Térfogatváltozó talajok esetén a duzzadás bonyolult jelenség. A kutatók alternatív módszereket dolgoztak ki a komplikációk vizsgálatához. Ha a talaj nem megfelelő szerkezetű, akkor a talaj szabadon duzzad. A duzzasztó nyomás nagyságának mértéke a talaj térfogatváltozásának függvénye. Ennek a témának az alapját Twinkle S.: Study of expanded polystyrene (EPS) geofoam in expansive soil tanulmány adta. [10]

Külön vizsgálati berendezést fejlesztettek ki abból a célból, hogy amennyire csak lehetséges szimulálni tudják az adott körülményeket. A készülék egy acél doboz, mely 250mm x 250mm x 300mm-es. A doboz fala nagyon merev, vastagsága 3 mm. A falak szilikonok és csavarok segítségével kapcsolatban állnak egymással. A készülék belsejében lévő talaj függőleges és oldalirányú duzzasztó nyomásának mérése érdekében nyomásátalakítót szereltek a függőleges falrészre és egy másikat a doboz tetejére. Az átalakítók összeköttetésben vannak egy számítógépes adatgyűjtő-rendszerrel, mely képes a duzzasztó nyomás és változásainak rögzítésére az idő függvényében. Porózus köveket helyeztek a falakra, hogy a térfogatváltozó talaj könnyen fel tudja szívni a vizet. A köveken kívül még négylyukas csövet is vezettek a talajba ugyanerre a célra.

A talajt rétegről rétegre tömörítve helyezték a szerkezetbe, a tömör talaj 9%-os nedvességtartalmú volt, mely a légszáraz nedvességtartalomnak felel meg. Majd a teli dobozt belemerítették egy vizes medencébe, hogy a víz bejuthasson a talajba a kövek és a csövek révén.

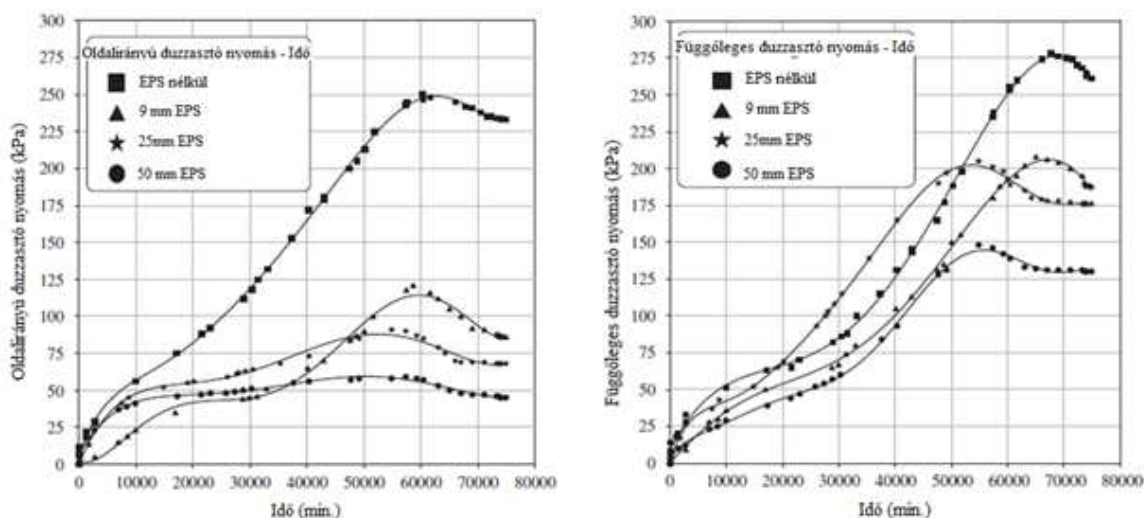


53. ábra: vizsgálati berendezés [10]

Négy különböző vizsgálat zajlott le, egy-egy kísérlet 65 napig tartott. Az elsőnél csak a talaj esetében figyelték meg a függőleges és oldalsó duzzasztó nyomást. Nagyobb feszültségek jönnek létre, ha a talaj terjedése megelőzhető. Ezért, hogy csökkentsék a továbbított

duzzasztó nyomást a földalatti vagy földmegtámasztó szerkezet esetén, összenyomható anyagot illesztettek a talaj és a szerkezet közé. Duzzadáskor ez az anyag összenyomódik, és kevesebb duzzasztó nyomást eredményez.

Második esetben 9 mm vastagságú EPS geohabot alkalmaztak összenyomható anyagként, és ezt az egyik függőleges fal és a talaj közé illesztették. A harmadik esetben 25 mm-eset, az utolsóban pedig 50 mm vastagságút választottak.



54. ábra: oldalirányú és függőleges duzzasztó nyomás ábrái [10]

A mérésekből kapott eredményeket a fenti két grafikon (54. ábra) szemlélteti. Jól látható, hogy a geohab alkalmazásával jelentősen lecsökkent az oldalirányú duzzasztó nyomás értéke, kivehető, hogy az 52. nap körül éri el a csúcserőket. Megállapítható továbbá, hogy a geohab nélküli esetben több mint a kétszeres nyomást mértek. A függőleges duzzasztó nyomás ábrázolása mutatja, hogy a periódus végén a geohab nélküli állapothoz tartozó adatok itt is elemelkednek a többitől. Mindkét esetben összességében a vastagabb összenyomható anyagnál tapasztalták a legkisebb eredményeket.

Vízáteresztő-képesség vizsgálata [11]

Sigitas Véljélis és Saulius Vaitkus Investigation of Water Absorption by Expanded Polystyrene Slabs [11] tanulmánya foglalta össze a következő kísérletet. A kísérlet során kemény, 0,9-2,5 mm átmérőjű gyöngyökből álló geohabot használtak. Az expandált polisztirol táblák sűrűsége 11 és 34 kg/m³ közé esett, a termékek típusa pedig EPS 30-tól EPS 200-ig terjedt. Minden vizsgálati módszernél 200mm x 200mm x 50mm-es hasábot mértek.

Három kísérletet végeztek el, ezek a következők:

- a mintát szimplán elmerítik a vízbe,
- a vákuumozott mintát merítik a vízbe,
- növekvő víznyomás mellett helyezik a vízbe.

Az első esetben a követelmények határozzák meg a vízfelszívást. A száraz mintának megmérték a tömegét (m_0), majd teljesen a vízbe helyezték. A geohab teteje 50 ± 2 mm-rel a vízfelszín alá került. A vízszint konstans volt a kísérlet alatt. 28 nap után kivették a mintát a vízből, páratlanították, és függőlegesbe állították $10 \pm 0,5$ percig, ezután megmérték a tömegét (m_{28}).

Teljes alámerülés esetén a következő formula mutatja a tartós vízfelvételt:

$$W_t = \frac{m_{28} - m_0}{V} \cdot \frac{100}{\rho_w}$$

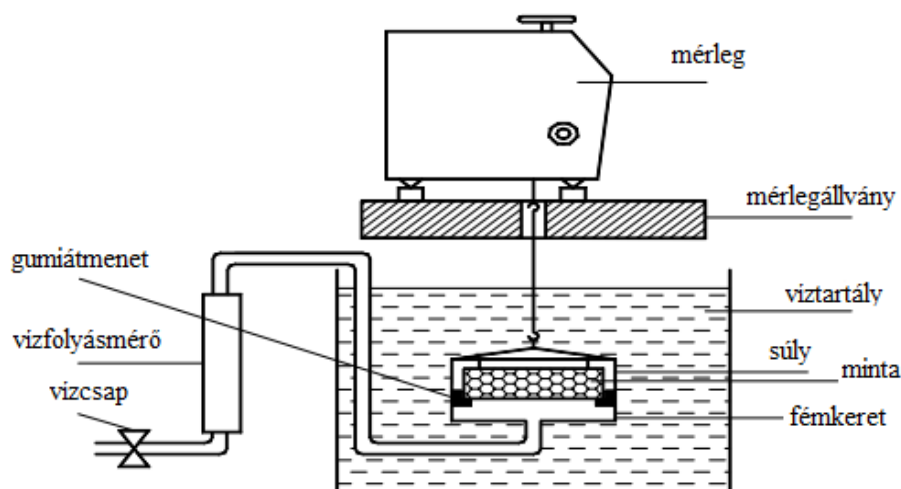
V - minta térfogata [m³]

ρ_w – víz sűrűsége (1000 kg/m³)

A vákuumosított minta esetén is a W_t -t az előző képlet alapján számolták, de m_{28} helyett m_v -t használtak, mely az anyag vákuumozás utáni vízfelvételét jelenti. A sorrend a következő: először lemérik a tömegét a száraz műanyaghabnak, majd vízzel együtt behelyezik egy hermetikusan záródó üveg tálba, és csatlakoztatják a szivattyút. Mikor új légbuborék már nem keletkezett a geohab szövetében, a kísérlet befejeződött. A mintát kivették, páratlanították, majd megállapították m_v tömegét.

Harmadik esetben is lemérték a száraz test tömegét, majd a mintát vékony fenesztrált polietilén lapba csomagolták be, és így is meghatározták a súlyát, végül a befedett tömböt vízbe helyezték. Annak érdekében, hogy a víz alatt maradjon, súlyt raktak rá. A geohab tetején egy horog volt, mellyel a mérleghez csatlakozott. Miután a mintát kiemelték a vízből, és a lapot eltávolították róla, ismét visszahelyezték a súllyal együtt a vízbe. A testet hermetikusan elzárták, a víznyomás emelkedett alatta. Minden 5. percben a mintát a súllyal együtt megemelték és a mérleghez rögzítették. Minden egyes alkalommal kiszámolták a hab és a súly együttes tömegét. Mikor már nem emelkedett tovább, vége volt a vizsgálatnak, az előző képlet szerint meghatározták a test vízfelszívását, de most m_{28} helyett m_{wp} -t

használtak, mely az anyag víznyomás alkalmazása utáni vízfelszívása. A mintákat most is páratlanították, majd függőleges helyzetbe rakták a szokott ideig.



55. ábra: berendezés az EPS geohab vízfelszívásának meghatározásához [11]

Expandált polisztirol vízfelszívásának meghatározása bonyolult folyamat, eltérő eredményeket mutathat. A nyitottabb szerkezetű geohabtabláknak alacsonyabb a vízfelszívásuk. Az alacsony sűrűségű példányok könnyen feltöltődnek vízzel, és a víz könnyen ki is jut az anyagból. Ahogy nő a sűrűsége, annál nehezebben járja át a víz. Továbbá a minta alakja, magassága, gyártási módja, vizsgálati módszere is befolyásolja ezt.

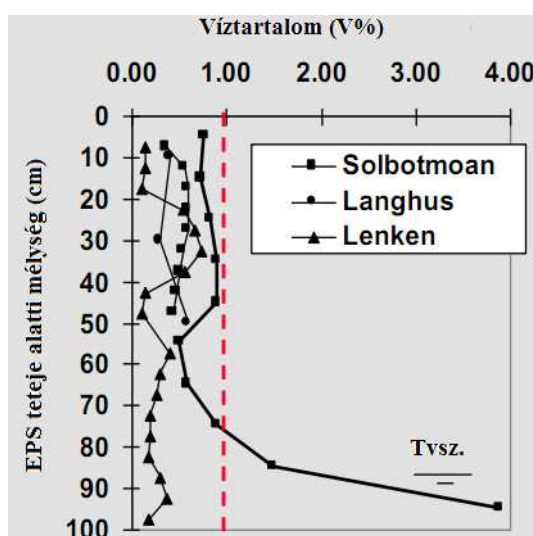
EPS geohabok vízfelvétele csak részleges, mikor a vízbe merül, mivel a minta belsejében lévő levegőt befolyásolja a szövetei körül fellépő nyomás, és ez nem távozik sem 28 nap alatt, sem jóval hosszabb idő múlva sem.

BEÉPÍTETT EPS ELLENŐRZÉSE [12]

A már beépített expandált polisztirol habok ellenőrzésével a geohabok hosszú távú teljesítményét, tulajdonságainak időbeli alakulását, változását vizsgálják, tartósságukra következtetnek. Ezek a tesztek irányulhatnak az anyagi viselkedésükre, mint a nyomószilárdság-alakulásra, vízfelvételeiben bekövetkező változásokra, esetleges bomlási jelenségekre. Másik mérési csoport az anyagon belüli deformációt és kúszási viselkedést célozza meg. Mivel Norvégiában 40 éve alkalmazzák a műanyaghabokat geotechnikai vonatkozásban, ezért ott már „hagyománya” van a használatban lévő anyag ellenőrzésének.

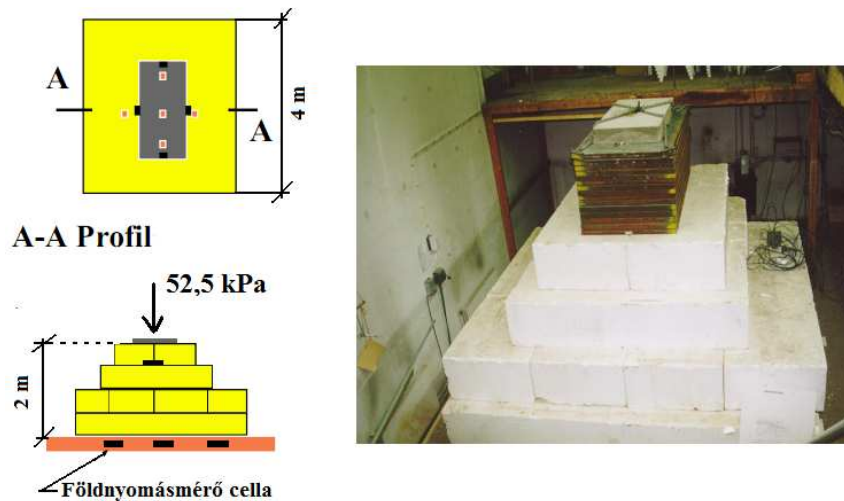
Laboratóriumi körülmények között folytatott vizsgálatokhoz bizonyos időszakonként adott méretű mintát kell kivágni a már beépített habból. Ennek nagysága akkora legyen, mellyel el tudják végezni a szükséges méréseket. A kapott eredményeket általában idő függvényében ábrázolják.

A jobb oldalon található 56. ábra három úttöltéshez kapcsolódó víztartami adatokat mutat. Mint ahogy a grafikonról kivehető, a földalatti geohabok víztartalma a talajvízszint felett 1 V%-nál kevesebb volt több mint 20 év elteltével is. Továbbá a víztartalom alig változott az idő során. Ám azok a tömbök, melyek periodikusan merültek a víz alá, azok víztartalma meghaladta a 4 V%-ot is, továbbá melyek folyamatosan a víz alatt tartózkodtak, azoknál 10 V%-os értéket is tapasztaltak a mérés során.



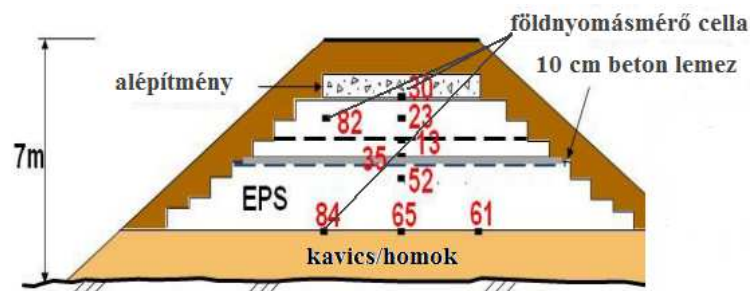
56. ábra: három úttöltéshez tartozó víztartalmi adat [12]

A laboratóriumi vizsgálatokat a Norvégiai Útkutató Laboratóriumban hajtják végre. Mind teljes körű, mind laboratóriumi kúszásvizsgálatot végeznek. Az elemzés során a tesztöltéshez 2 m magas, normál méretű tömböket alkalmaznak, melyek nyomószilárdsága 100 kPa. A töltést 52,5 kPa-lal terhelik, a deformációkat három évig figyelik meg, melyek idővel folytonos alakváltozást mutatnak, és kismértékben nőnek az idővel. A teljes körű vizsgálat EPS hídaltámasztásra irányul. A feszültségek a műanyaghab alátámasztásnál 25-60 % közé esnek 5 %-os igénybevétel esetén. 10 év alatt megfigyelt alakváltozások azt mutatják, hogy a kúszási viselkedés elhanyagolható a geohab tekintetében.

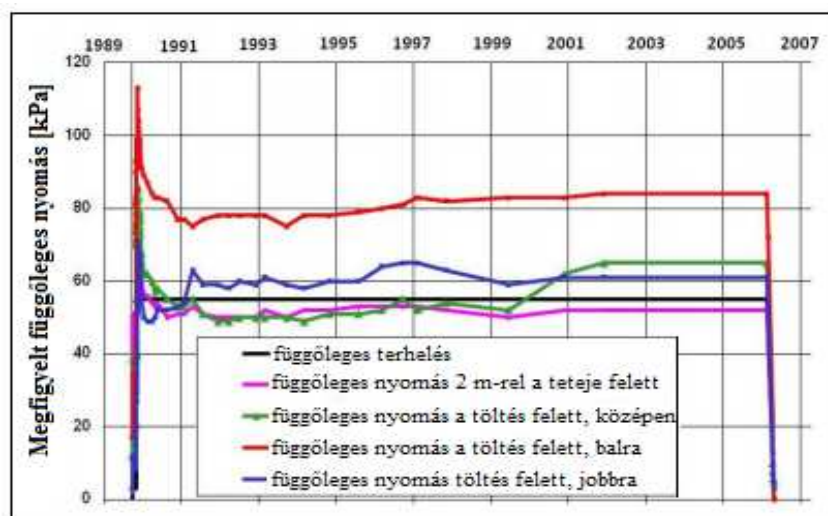


57. ábra: terhelési vizsgálat [12]

Helyszíni vizsgálatokhoz különböző eszközöket használhatnak. A következő példa a norvégiai Løkkeberg híd tanulmányozását mutatja. Nyomásmérő cellákat helyeztek a geohabtolítás több pontjába is. A mérőeszközöket még a híd kivitelezése során 1989-ben építették be, azóta folyamatosan mérik az adatokat.



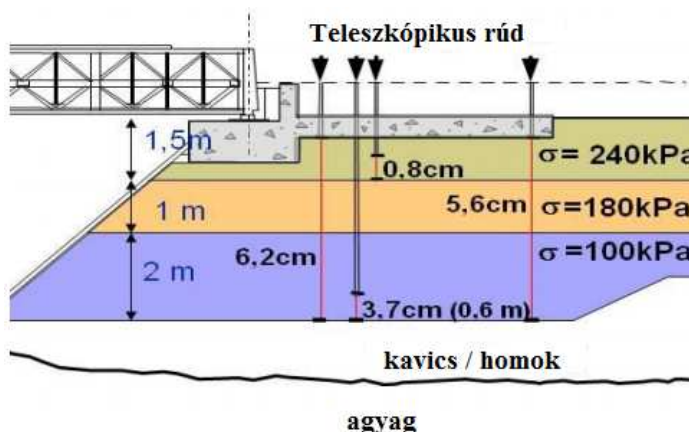
58. ábra: földnyomásmérő cellák elhelyezkedése geohabtolításban [12]



59. ábra: földnyomásmérő cellák által nyújtott adatok grafikonja [12]

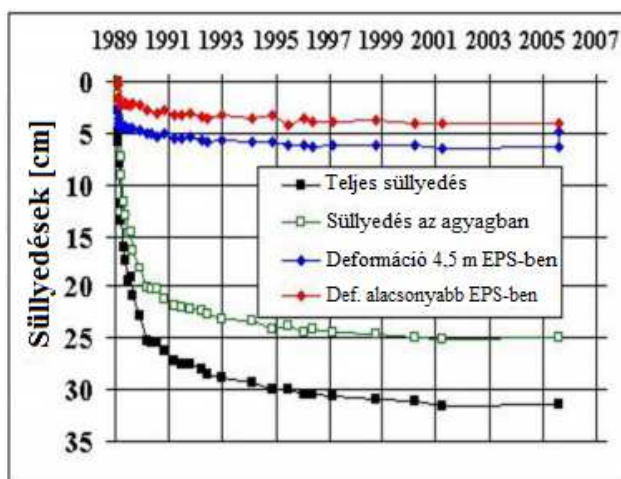
Mérések eredményeit az előző diagram összesíti. Jól leolvasható, hogy a töltés mely pontjaiban keletkeznek a legnagyobb függőleges nyomások, illetve hogy egy kiválasztott, vizsgált helyen nem nagyon változnak az évek múlásával sem a mért értékek.

Teleszkópikus rudakat is használtak a geohabok ellenőrzésénél. Több rudat is mélyítettek a töltés különböző részeibe, ahogy a 60. ábra is prezentálja.



60. ábra: teleszkópikus rudak [12]

A rudak segítségével különböző mélységeken határozható meg a süllyedés. Ezek éves alakulását mutatja a lenti grafikon (61. ábra). A teljes süllyedést leszámítva az agyagban jött létre a legnagyobb, a geohabokban az elvárt mértékű adatok figyelhetőek meg. Továbbá az is jól észrevehető, hogy az évek alatt nem történt jelentős változás az értékekben.

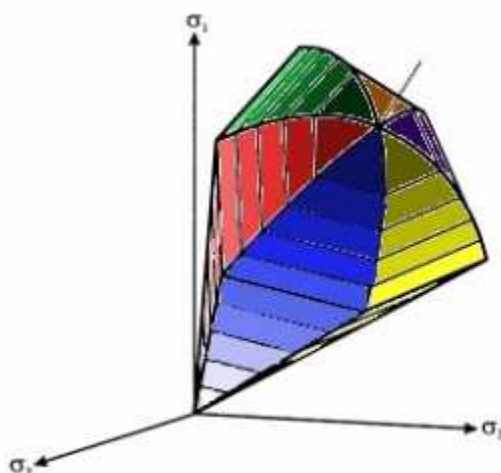


61. ábra: süllyedések alakulása az évek során [12]

Extenzométereket és inklinométereket is alkalmazhatnak helyszíni mérésekhez geohabok beépítése során. Vízszintes extenzométereket szoktak telepíteni a geohabrétegek közé az úttengelyre merőlegesen, hogy nyomon tudják követni a tömbök határfelületén létrejövő elmozdulásokat. Inklinométereket stabilitásvizsgálatra alkalmaznak. Függőleges iránytól való ferdeséget mér, esetleges deformációk határozhatóak meg vele.

GEOHABOK ANYAGMODELLJEI

A geohabok mechanikai tulajdonságai, feszültség-alakváltozás viselkedése, mint ahogy az előző fejezet is jól mutatta, elég jelentősen eltér a talajokétól. Éppen ezért több kutató próbálkozott már a műanyaghabok viselkedését jól bemutató képletek, összefüggések előállítására. Ezekhez a már ismert talajmodellek jó alapot nyújtottak, pontosításukat geotechnikai vizsgálatok segítségével végezték, legtöbb esetben triaxiális kísérletek sorozatával igazolták feltételezésüket. Más esetekben fordítottnan cselekszenek, rengeteg kísérletet végeznek, ebből nyert adatokat, arányokat grafikonon ábrázolják, és próbálnak összefüggéseket keresni az egyes mért paraméterek között. Ezen modellekre a geotechnikai numerikus problémamegoldásoknál, tervezéseknél nagy hasznát vehetik, pontosabban leírható a valós viselkedés egyes esetekben, mint például autópálya-töltés, földmegtámasztások. A következőkben a felkeményedő anyagmodellről és a hiperbolikus anyagmodell kialakulásáról esik pár szó.



62. ábra: felkeményedő talajmodell folyási feltétele

Mivel a sűrűség önmagában nem jelzi a geohab minőségét, a nyomószilárdságot (10%-os alakváltozásnál és 10%/perc alakváltozási rátánál) gyakran használják minőség-ellenőrző paraméterként. Ezért szokták a műanyaghabot nyomószilárdsági vizsgálatok alávetni, és megtalálni azt a feszültségértéket, mely egyezik a tapasztalati összefüggésekből kapott értékekkel.

FELKEMÉNYEDŐ ANYAGMODELL [13]

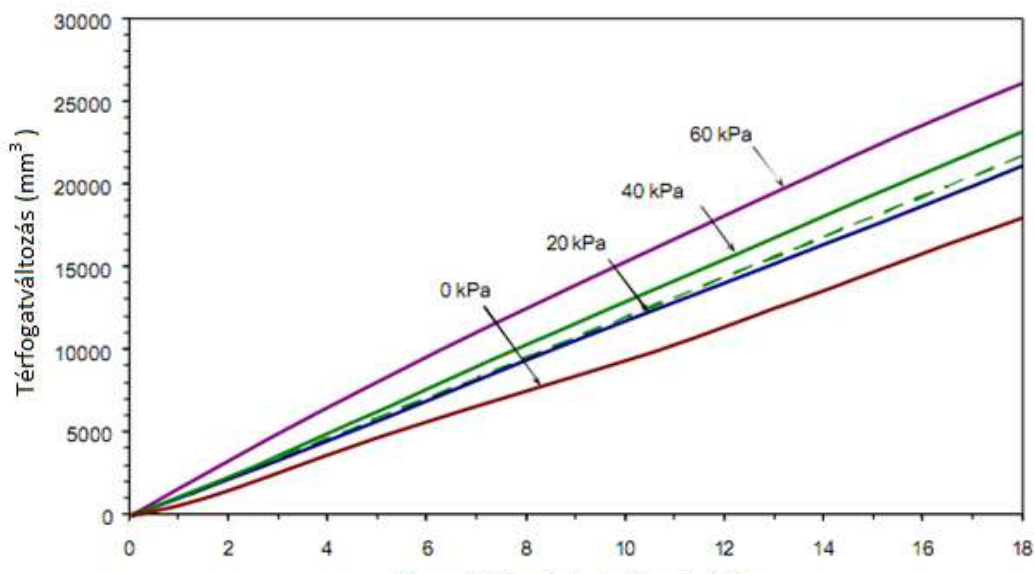
Henry Wong és Chin Jian Leo elasztoplasztikus, 6 független paraméteres felkeményedő anyagmodellt alkottak, triaxiális vizsgálatok sorozatával igazolták ennek helyességét, pontosították a paraméterek értékeit. Az általuk alkotott összefüggések ki tudják mutatni a terhelés alatt álló geohabok jellegzetes nyírási és térfogati viselkedését. További nagy előnye, hogy nemcsak könnyen kalibrálható, hanem viszonylag egyszerű beépíteni a geotechnikai tervezési feladatokba is.

A triaxiális kísérleteket állandó, 23 °C-os hőmérsékleten végezték 50 mm átmérőjű hengeres próbatesteken, az ezekre ható nyomást 0 kPa-ról lépcsőzetesen 60 kPa-ra emelték. A terhelést és a függőleges elmozdulást mérték, az erőmérő cella értékeit rögzítették. Cellanyomások ellenőrzésére és a cellafolyadék térfogatváltozásainak meghatározására digitális nyomás-és térfogatszabályozót alkalmaztak, mely 1 mm³ és 1 kPa pontossággal mért. A folyadék mennyiségének változását később a minta térfogatváltozásának levezetéséhez használták. A mintákat eredetileg hidrosztatikusan terhelték az előírt nyomással, míg a térfogatváltozás nem stabilizálódott, majd az alkalmazott tengelyterhelést törésig működtették. A teljes vizsgálat alatt a pórusnyomás vízáteresztő szelepét nyitva tartották, hogy a gáz beszívároghasson a geohab szerkezetébe.

Ábrázolták a deviátoros feszültség kísérleti eredményeit a 0-tól 60 kPa-ig növekedő nyomás alatti tengelyirányú alakváltozásokkal szemben. A feszültség-alakváltozás görbe az általunk végzett háromtengelyű vizsgálatokhoz hasonló képet mutat. A hidrosztatikus feszültség növekedésével egyre kisebb a deviátoros feszültség nagysága.

Külön grafikonon feltüntették a σ_1 főfeszültségekhez tartozó σ_3 főfeszültségeket is. A teszt sorozat eredményei jól mutatták itt is, hogy a σ_1 főfeszültségnek negatív függősége van a kisebb főfeszültségtől, azaz a nagyobb főfeszültség kissé csökkent, míg a kisebb növekedett. Ugyanerre a következtetésekre jutottunk mi is az általunk végzett kísérletben.

A 63. ábra a tengelyirányú terhelés alatti geohabminta térfogatváltozását (folytonos vonal) szemlélteti, amikor is a deviátoros feszültséget alkalmazták. Ebben a vizsgálatban a Poisson tényezőt kis pozitív értéknek gondolták a terhelés kezdeti szakaszában, mikor az elmozdulások nagyon picik voltak, majd gyorsan gyakorlatilag nullára vagy negatív értékre csökkent nagyobb elmozdulások esetében (képlékeny deformációknál a Poisson tényezőt nem veszik szigorúan). Ebből következik, hogy az EPS minták a tengelyirányú terhelés alatt összehúzódó térfogati viselkedést mutattak, mivel az alkalmazott terhelés miatt a tengelyirányú térfogati kontrakciót, összehúzódást nem ellensúlyozta az oldalirányú expanzió, tágulás.



63. ábra: térfogatváltozás - tengelyirányú elmozdulás különböző határfeszültségeknél [13]

A vizsgálati eredményeket figyelembe véve alkották meg a pontosított modellt. Az általuk megalkotott összefüggéseket visszavezették a grafikonokra, ezeket a görbéket szaggatott vonallal ábrázolták a diagramokon. Mint ahogy a felső ábráról is kivehető, ezek a bekalibrált értékek a kísérletekből nyert eredmények átlagába esnek. Ennek alapját az adja, hogy a teljes alakváltozások leírhatók a rugalmas és képlékeny alakváltozások összegeként. Az anyagi viselkedés lineárisan rugalmas, nulla irreverzibilis alakváltozással ($d\epsilon^p = 0$), mikor a feszültségtenzor a folyási felület belsejében van, a folyási függvény (f) által meghatározható. A megfolyósodási függvényen felül egy áramlási szabály is szükséges a képlékeny alakváltozások leírásához. A konzisztenciafeltételt is felhasználták, miszerint a képlékeny terhelés folyamán a feszültségpontnak a folyási felület határain belül kell maradnia.

A modell paramétereinek kísérlet alapján becsült értékei:

$$E = 3950 \text{ kPa}, \nu = 0, R_0 = 98 \text{ kPa}, K_p = -0,17, \beta = 225 \text{ kPa}, K = -0,25.$$

E : rugalmassági modulus

ν : Poisson-tényező

K, K_p : reológiai konstansok

R_0 : R kezdeti értéke

R : egy olyan változó, mely meghatározza a folyási felület aktuális méretét a felkeményedő hatás figyelembevételével

β : R és R_0 közötti kapcsolatot biztosító állandó $R(x) = R_0 + \beta \cdot x$

HIPERBOLIKUS ANYAGMODELL [14]

A hiperbolikus modellt a különböző talajok feszültség-alakváltozás viselkedésének leírására használták eredetileg. (Kondner, 1963; Duncan és Chang, 1970; Kulhawy és Duncan, 1972) Az anyagok mérnöki szempontból fontos tulajdonságai, mint például a feszültségfüggő érintőmodulus, a feszültség-alakváltozás kapcsolatból származtathatóak. A Poisson tényezőt eredetileg állandónak feltételezték, de később módosították, határfeszültség-függővé tették.

A feszültség-alakváltozás viselkedésének szempontjából 2 különböző kategóriát különböztethetünk meg: időtől független feszültség-alakváltozásmódot és az időtől függőt. Időtől függő viszkoplasztikus viselkedésnél: a teljes alakváltozás a közvetlen alakváltozás komponensből és az időtől függő alakváltozási komponensből áll. A közvetlen alakváltozásból származó átlagos feszültség-alakváltozás viselkedést 2 különböző módon tudjuk szimulálni: lineárisan rugalmas modellel kezdeti érintő irányú modulusával vagy nemlineáris rugalmatlan modellel.

A modell kialakulása

Preber 1995-ben publikálta bilineáris modelljét a drénezetlen triaxiális vizsgálati eredmények igazolására ($\sigma_3 \neq 0$). A vizsgált anyag sűrűségei: 16, 20, 24 és 32. A határfeszültségek: 0, 21, 41, 62 kPa. 5 paramétert használt a feszültség-alakváltozás viselkedésének leírásához: rugalmassági és képlékenységi modulus (E_i , E_p), a rugalmas és képlékeny tartományok metszéspontját (I), a kezdeti rugalmas és képlékeny érintő metszéspontjához tartozó tengelyirányú alakváltozás és feszültség értékei (X_0 , Y_0).

A fent szereplő együtthatók némelyikét már változtatták az eredeti publikáció óta, az egységsúly helyett a sűrűség került a képletekbe. Az összes paramétere a sűrűség és határfeszültség függvényében szerepel. Ez a bilineáris modell adatvisszacsatoló modell az EPS geohab esetében a határfeszültségek és a sűrűség tekintetében. Ám az EPS blokkok inkább nemlineárisan viselkednek, mint bilineárisan. Ezért ez a modell nagy alakváltozási tartományokban nem számít.

Findley modellje és a módosított Findley-modell a második kategóriába tartozik, időtől függő vagy kúszási modell. 1956-ban Findley és Khosla javasolt egy hatványfüggvény-modellt a polimerek kúszási viselkedésének leírására:

$$\varepsilon_t = \varepsilon_i + m \cdot \left(\frac{t}{t_0} \right)^{n_F} \quad \varepsilon_i = \varepsilon_{iF} \cdot \sinh \left(\frac{\sigma}{\sigma_{iF}} \right) \quad m = m_F \cdot \sinh \left(\frac{\sigma}{\sigma_{mF}} \right)$$

ε_t : teljes alakváltozás

ε_i : pillanatnyi alakváltozás

ε_{iF} , m_F , n_F : dimenziótlan Findley-tényező

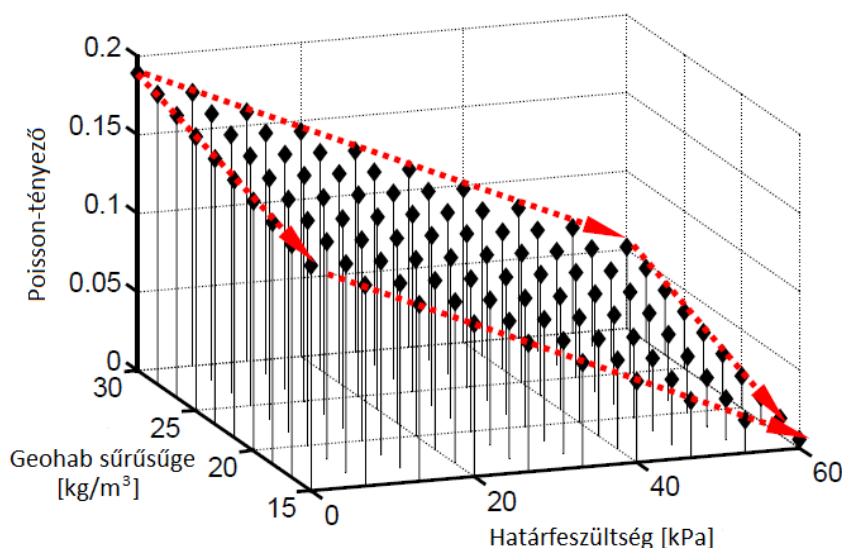
σ_{iF} , σ_{mF} : feszültség dimenziós Findley-tényező; σ : alkalmazott feszültség

Ezek az összefüggések a geohabok időfüggő viselkedését mutatják be a dimenziótlan Findley anyagi paraméterekkel, egy dimenziótlan anyagténytényezővel és alkalmazott feszültséggel a szinusz hiperbolikus függvény révén. A tényezők nagyságát a környezeti hatások, mint a hőmérséklet, víztartalom mind befolyásolják.

Findley-egyenleteknek kidolgozták néhány egyszerűbb változatát, többek között a Chambers és a Francia Kormány Központi Útkutató Laboratóriuma (the Laboratoire Central Ponts et Chaussées (LCPC)) által. Az LCPC modell szerint a közvetlen alakváltozás az alkalmazott feszültségtől és a geohab sűrűségétől függ. Bár a Findley és a módosított Findley-moddell a geohabok feszültség-alakváltozás-idő szerinti viselkedését mutatja be, de ezek hasznossága korlátozott. Jó példa erre, hogy a Findley-moddell paramétereinek meghatározásához a környezeti tényezőket konstansnak kell tekintenünk. De természetesen a környezeti tényezők igen eltérőek a valós körülmények között, ezért minden feltétel esetén meg kell állapítani a geohabok feszültség-alakváltozás-idő kapcsolatát. Továbbá a Findley és Findley típusú modellek nem veszik figyelembe a határfeszültségek hatását. Nyilvánvaló, hogy még pontosabb modell szükséges a hármas kapcsolat viselkedésének becsléséhez az aktuális helyszíni körülmények között.

A modell fejlesztése

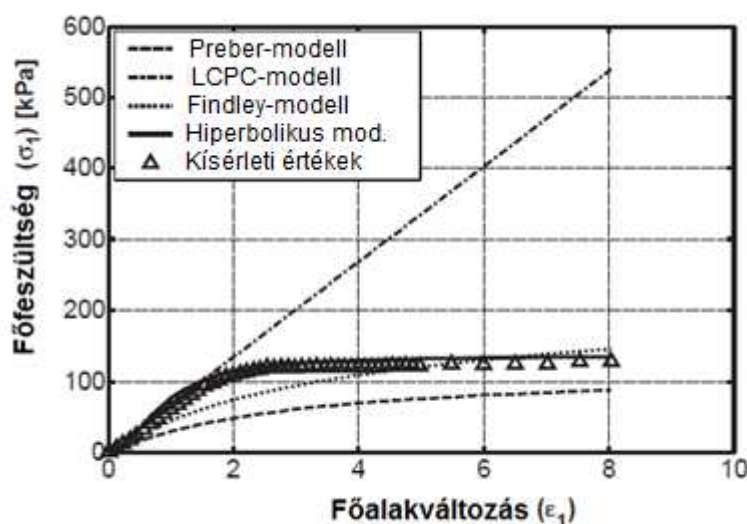
A geohabokra javasolt matematikai képlet eltér a tipikus hiperbolikus függvénytől. A modellek közötti különbséget a talaj és geohab deformációs folyamatának eltérése adja. A műanyaghabok leginkább a főfeszültség irányába deformálódnak viszonylag kis oldalirányú alakváltozással. A talajok összenyomódási vagy tágulási folyamatát a talaj tulajdonságai, a határfeszültség és deviátoros feszültség befolyásolja. A tanulmányban szereplő hiperbolikus modell fő jellemzője, hogy a geohabok feszültség-alakváltozás viselkedését mutatja be az anyag sűrűségének és az alkalmazott határfeszültség függvényében. Ezeken kívül lehetőség van az alakváltozás függő modulus és a Poisson-tényező értékének meghatározására is.



64. ábra: Poisson-tényező eloszlása a sűrűség és a feszültség függvényében [14]

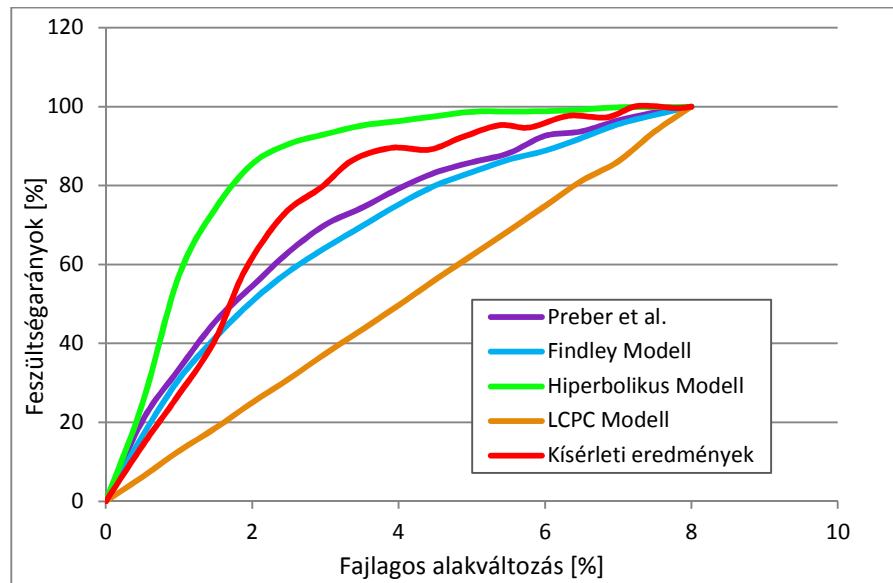
64. ábra alapján a tényező értéke közel 0, ha a határfeszültség a 60 kPa-hoz közelít (15 kg/m^3 -es sűrűsénél). Ez is mutatja, hogy egy adott határfeszültség és sűrűség esetén nem mutat a geohab oldalirányú alakváltozást, csak főalakváltozások jelennek meg. A műanyaghab ezen tulajdonságának köszönhetően képes elhanyagolható nagyságú oldalirányú feszültségek fejlesztésére hídfőknél és egyéb földmegtámasztó szerkezeteknél. A mért és becsült Poisson-tényező értékének összevetéséből egy korrelációs együttható született, mely legalább 0,9934. Ezt az összehasonlítást akkor végezték el, amikor kb. 10% körül volt minden mintában a főalakváltozás.

A tervezett modell és a vizsgálat eredményei közötti összehasonlítást a 65. ábra mutatja. A lyukas szimbólummal a vizsgálat értékeit, különböző típusú vonalakkal pedig a különböző modellek eredményeit szemléltetik. Preber bilineáris modellje, Findley modellje, javasolt hiperbolikus modell a műanyaghabok nemlineáris viselkedését ábrázolja. Az LCPC modell viszont lineáris tendenciát mutat. Ha a lineárisan rugalmas tartományban a főfeszültség 100 kPa-nál és a főalakváltozás 2 %-nál kisebb, akkor az LCPC és hiperbolikus modell hasonlóságot mutat. A modellek közül a hiperbolikus adja a legjobb egyezést a vizsgálati eredményekkel a rugalmas és képlékeny terület közötti átmenet helyének meghatározása szempontjából is.



65. ábra: különböző modellek és kísérleti eredmények összehasonlítása 20 kg/m^3 -es sűrűség és 0 kPa-os határfeszültség esetén [14]

Azért választottam ezt az összehasonlító diagramot, mert ilyen kiindulási feltételek mellett a 27 kg/m^3 -es sűrűségű mintámmal mi is végrehajtottuk ezt az elemzést. Különböző sűrűségek miatt a feszültségek helyett feszültségarányokat számoltam, a 8 %-os fajlagos elmozdulás értékéhez viszonyítottam a többit. Így az itteni adatokat egy koordináta-rendszerben tudtam ábrázolni az általam elvégzett kísérletek eredményeivel. Ezt mutatja a következő oldalon található 66. ábra.



66. ábra: saját kísérletem összevetése a megalkotott modellekével

Mivel itt csak feszültségarányok szerepelnek, ezért azt kell figyelni, melyik modellgörbe áll legközelebb a vizsgálati értékeink alkotta vonal vezetéséhez. A fenti kép alapján leginkább a Preber és a hiperbolikus modell között helyezkedik el.

Fontos megjegyezni, hogy a modellek vizsgálatánál adott típusú és méretű mintán alkalmazták a kísérleteket (henger alakú próbatestek: 50 mm-es átmérő és 100 mm-es magasság), ezért az anyagi függőség és mérethatások nincsenek figyelembe véve. az általunk végzett teszt sorozatok más méretű ($d=37$ mm, $h=76$ mm) mintákon készültek, ez okozhat lényeges eltéréseket az összehasonlítás során.

ÖSSZEGZÉS

A célkitűzéseknek megfelelően sikerült elvégezni a legfontosabb kísérleteket a választott matérián. Mivel a mélyépítésben történő alkalmazására fókuszáltam az egész dolgozaton keresztül, ezért a műanyaghabot mint talajhelyettesítő anyagot elemeztem. Az analízis során a következő geotechnikai vizsgálatokat hajtottuk végre: triaxiális, dinamikus nyomó-, nyírási és összenyomódás-vizsgálatok. Ezek a laborkísérletek segítségünkre voltak a geohab tulajdonságainak megismerésében, a talaj különböző terhelésekre adott válaszaival történő összehasonlításban.

Már az elsőként ismertetett teszt sorozat kimutatta a geohabok talajoktól eltérő „rendellenes” viselkedését. Ugyanis a triaxiális mérések során a hidrosztatikus feszültség növekedésével egyre kisebb értékek adódtak a deviátoros feszültség maximumára. Ez ellentmond a legtöbb talaj viselkedésének, épp ezeknek a fordítottját kaptuk. Így a nyírási paraméterek közül a belső súrlódási szög negatív számot eredményezett a kísérlet. Nyírási jellemzők elemzéséhez a nyírási vizsgálatok is jól használhatóak. Itt már nem jelentek meg negatív belső súrlódási szögek, de túl nagy értékek most sem mutatkoztak. A két kísérlet eredményei közötti különbség a vizsgálatok eltérő jellegéből adódik, más feszültségállapotba került a test, más irányból terhelődik. A legnagyobb kohézió és szög a tűskés lemezes esetben volt, ahol is a legmagasabb feszültségeket is kaptuk, így biztosítható erősebb kapcsolat két tábla együtt maradásához.

A dinamikus kísérleteknél a feszültség-alakváltozás kapcsolatából származó hiszterézis hurkokat elemeztem. Ebből nyerhetőek a csillapítási tényező és Young-modulus értékei. Az egytengelyű vizsgálatoknál legfőképpen a viszkoelasztikus és viszko-elasztó-plasztikus viselkedést hasonlítottam össze.

Az összenyomódás-vizsgálatok során is a talajoktól eltérő viselkedést tapasztaltunk. A talajok egy átlagos kompressziós görbéje ellentétes konvexitású a műanyaghabok terheléséből kapottól. A talajoknál már az előterhelések miatt egyre lassul a süllyedések növekedése, míg a geohab esetében gyorsul a növekedés, exponenciálisan emelkednek az értékek.

A kísérletekből azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a geohabok mechanikai tulajdonságai, feszültség-alakváltozás viselkedése elég jelentősen eltér a talajokétól. Ezért szükséges volt külön a műanyaghabok viselkedését jól bemutató képletek, összefüggések előállítására. Ezekhez megfelelő alapot nyújtottak a már ismert talajmodellek, pontosításukat geotechnikai vizsgálatok segítségével végezték, legtöbb esetben triaxiális kísérletek sorozatával igazolták feltételezésüket. Az általam elvégzett triaxiális vizsgálat a hiperbolikus és a Preber-modellhez áll a legközelebb.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **Nánai Georgina:** Geohab alkalmazása töltésépítésnél (Diplomamunka, Budapest, 2007)
- [2] **Balázs Dóra:** Műanyaghabok geotechnikai alkalmazása (TDK-dolgozat, Budapest, 2011)
- [3] **Arellano, Tatum, Stark, Horvath, Leshchinsky:** Interim Design Guideline for EPS-Block Geofoam in Slope Stabilization and Repair (2009)
- [4] **Dr. Pusztai József:** Talajmechanika előadásjegyzet
- [5] **Benjamin A. Erickson:** Experimental study on the dynamic stress–strain behavior of expanded polystyrene geofoam using cyclic triaxial tests (The University of Utah, 2011)
- [6] **Stark, T., Arellano, D., Horvath, J., and Leshchinsky, D.:** Guideline and Recommended Standard for Geofoam Applications in Highway Embankments, Transportation Research Board, Washington, D.C., 2004)
- [7] **Charles H. Dowding:** Construction Vibrations (New Jersey, 1996)
- [8] **ATLAS EPS honlapja:** <http://www.falcongeofoam.com/>
- [9] **Dr. Szepesházi Róbert:** A talajok mechanikai tulajdonságai IV. (előadásanyag, 2010)
- [10] **Twinkle S.:** Study of expanded polystyrene (EPS) geofoam in expansive soil (University of Kerala, 2010)
- [11] **Sigitas Vėjelis, Saulius Vaitkus:** Investigation of Water Absorption by Expanded Polystyrene Slabs (Vilnius, 2005/2006)
- [12] **Roald Aabøe, Tor Erik Frydenlund:** 40 years of experience with the use of EPS Geofoam blocks in road construction (Norway, 2011)
- [13] **Henry Wong, Chin Jian Leo:** A simple elastoplastic hardening constitutive model for EPS geofoam (Geotextiles and Geomembranes 24, 2006)
- [14] **Byung Sik Chun, Hae-Sik Lim, Myung Sagong, Kyungmin Kim:** Development of a hyperbolic constitutive model for expanded polystyrene (EPS) geofoam under triaxial compression tests (Geotextiles and Geomembranes 22, 2003)

MELLÉKLETEK

Nikecell (EPS) 200 terméklap

Nikecell (EPS) 30 terméklap

Nikecell (EPS) 200

Termékleírás

Hőszigetelő – normál, keményhab lemez.

Anyagjelölés: 2 x fekete csík.

Alkalmazási terület

Igen nagy terhelhetőségű hőszigetelő lemez. Vízszigeteléssel védetten talajjal érintkező helyeken igen nagy terhelhetőséggel, földemekben, padlóknál igen nagy terhelhetőséggel, magastetőknél teherhordó szerkezet felett, egyenes rétegrendű járható lapostetőknél, zöldtetőknél, tetőparkolóknál történő alkalmazásra.

Kiszerezési egység

Táblaméret: 1000x500 (~0,25 m³), 1000x1000 (~0,50 m³) és 1000x2000 mm (~1,00 m³) ■ Vastagság: 20 mm-től 1000 mm-ig.

Hővezetés ellenállás R_d (m²K/W)	Vastagság (mm)	m²/ csomag	db/ csomag
0,57	20	12,5	25
0,86	30	8	16
1,14	40	6	12
1,43	50	5	10
1,71	60	4	8
2,29	80	3	6
2,86	100	2,5	5
3,43	120	2	4
4,00	140	1,5	3
4,29	150	1,5	3
5,71	200	1	2

Anyagszükséglet / kiadósság

1,05 m²/m²

Előnyös tulajdonságok

Igen hatékony hőszigetelő-képesség ■ csekély súly, kellő szilárdság ■ könnyű alakíthatóság ■ nedvességre kevésbé érzékeny ■ egyszerű beépíthetőség ■ kellemes tapintás, nem irritál ■ környezetre és egészségre káros hatása nincs.

Széleskörűen alkalmazható klasszikus hőszigetelés

- Hatékony hőszigetelő képesség
- Igen nagy terhelhetőség
- Környezetre, egészségre nem káros
- Könnyen kezelhető, beépíthető



Műszaki adatok

λ_D hővezetési tényező	0,033 W/mK
Nyomófeszültség 10% összenyomódáskor	200 kPa
Nyomófeszültség 2% összenyomódáskor	100 kPa
μ páradiffúziós ellenállási szám	40–100
Tűzvédelmi osztály	E

Szállítói megfelelőségi nyilatkozat

Nikecell (EPS) 200

Gyártó:

NIKECELL Hőszigetelőanyag-gyártó és Forgalmazó Kft.
8184 Balatonfűzfő, hrsz.: 1485/4 ■ Telefon: +36 (88) 596-200
■ Fax: +36 (88) 450-495 ■ www.nikecell.hu

Termék:

Nikecell (EPS) 200 – Expandált polisztirolhab lemez

Termékjelölési kód:

EPS-EN 13163-T1-L 1-W1-S1-P4-DS(N)5-BS250-CS(10)200-DLT(2)5

Tervezett felhasználása (rendeltetési célja):

Igen nagy terhelhetőségű hőszigetelő lemez. Vízszigeteléssel védetten talajjal érintkező helyeken igen nagy terhelhetőséggel, födémekben, padlóban igen nagy terhelhetőséggel, magastetőben teherhordó szerkezet felett, egyenes rétegrendű járható lapostetőben, tetőparkolóban, zöldtetőkben történő alkalmazásra. Gyártás időpontja a terméken elhelyezett termékcímkén rögzítve.

Megfelelőség:

Első típusvizsgálati jegyzőkönyv: ÉMI M-2154/2005

Kijelölt szervezet, amely első típusvizsgálata alapján a nyilatkozat kiadásra került:

Építésügyi Minőségellenőrző Innovációs Nonprofit Kft.
Budapest, Diószegi út 37.

Gyártásellenőrzés:

NIKECELL Kft. Minőségellenőrző labor.

A termékre vonatkozó műszaki specifikáció, amelynek a termék vizsgálattal igazoltan megfelel:

MSZ EN 13163:2009 szabvány

A termék felhasználására vonatkozó műszaki specifikáció:

MSZ 7573:2002 szabvány

Minőség:

Tűzvédelmi osztály E ■ Hővezetési tényező: 0,033 W/mK
■ Vastagság: 10-300 mm

A megfelelőségi nyilatkozat érvényességi ideje:

A termék előírás szerinti kezelése és tárolása esetén visszavonásig.

Balatonfűzfő, 2010. 02. 01.


Kecső Zoltán – ügyvezető igazgató

Kiegészítő információ: CE megjelölés és címkézés adatai a terméken elhelyezett termékcímkén. ■ Gyártó elérhetősége a gyártói honlapon elhelyezve. (www.nikecell.hu) ■ Reklamáció a termékre vonatkozó számla, szállítólevél alapján, és a fóliába csomagolt lemez beazonosíthatósága esetén, felhasználás előtt érvényesíthető. ■ Biztonsági adatlap a gyártói honlapon elhelyezve.

A termék gyártási sorozatszáma:

A termék gyártási dátuma:

Anyagkezelés



Nedvességtől védeni kell



Tűz naptól védeni kell



Legfeljebb +80°C-nak tehető ki



Mechanikai hatásoktól védeni kell



Oldószerrel védeni kell

Alkalmazási információk



Vágása késsel, fűrésszel, olvasztva vágóval



Burkolás előtt technológiai fólia kell



Burkolás előtt ideiglenesen rögzíteni kell



Ideiglenesen le kell terhelni



Terhelhető

Nikecell (EPS) 30

Termékleírás

Hőszigetelő – normál, keményhab lemez.

Anyagjelölés: kék csík.

Alkalmazási terület

Nem terhelhető hőszigetelő lemez. Födémbe, padlóban párnafák és szarufák közötti vagy födém alsó síkján burkolva és dilatációkban történő alkalmazásra.

Kiszerezési egység

Táblaméret: 1000x500 (~0,25 m³), 1000x1000 (~0,50 m³) és 1000x2000 mm (~1,00 m³) ■ Vastagság: 20 mm-től 1000 mm-ig

Hővezetés ellenállás R_d (m²K/W)	Vastagság (mm)	m²/ csomag	db/ csomag
0,42	20	12,5	25
0,63	30	8	16
0,83	40	6	12
1,04	50	5	10
1,25	60	4	8
1,46	70	3,5	7
1,67	80	3	6
1,88	90	2,5	5
2,08	100	2,5	5

Anyagszükséglet / kiadósság

1,05 m²/m²

Előnyös tulajdonságok

Igen hatékony hőszigetelő-képesség ■ csekély súly, kellő szilárdság ■ könnyű alakíthatóság ■ nedvességre kevésbé érzékeny ■ egyszerű beépíthetőség ■ kellemes tapintás, nem irritál ■ környezetre és egészségre káros hatása nincs.

Széleskörűen alkalmazható klasszikus hőszigetelés

- Hatékony hőszigetelő képesség
- Környezetre, egészségre nem káros
- Könnyen kezelhető, beépíthető

Műszaki adatok

λ_D hővezetési tényező	0,048 W/mK
Nyomófeszültség 10% összenyomódáskor	30 kPa
Nyomófeszültség 2% összenyomódáskor	15 kPa
μ páradiffúziós ellenállási szám	20–40
Tűzvédelmi osztály	E



Szállítói megfelelőségi nyilatkozat

Nikecell (EPS) 30

Gyártó:

NIKECELL Hőszigetelőanyag-gyártó és Forgalmazó Kft.
8184 Balatonfűzfő, hrsz.: 1485/4 ■ Telefon: +36 (88) 596-200
■ Fax: +36 (88) 450-495 ■ www.nikecell.hu

Termék:

Nikecell (EPS) 30 – Expandált polisztirolhab lemez

Termékjelölési kód:

EPS-EN 13163-T1-L 1-W1-S1-P4-DS(70,-)3-BS50-CS(10)30-DS(N)5

Tervezett felhasználása (rendeltetési célja):

Nem terhelhető hőszigetelő lemez. Födémbe párnafák között vagy födém alsó síkján burkolva, épület-dilatációkban történő alkalmazásra. Gyártás időpontja a terméken elhelyezett termékcímkén rögzítve.

Megfelelőség:

Első típusvizsgálati jegyzőkönyv: ÉMI M-2150/2005

Kijelölt szervezet, amely első típusvizsgálata alapján a nyilatkozat kiadásra került:

Építésügyi Minőségellenőrző Innovációs Nonprofit Kft.
Budapest, Diószegi út 37.

Gyártásellenőrzés:

NIKECELL Kft. Minőségellenőrző labor.

A termékre vonatkozó műszaki specifikáció, amelynek a termék vizsgálattal igazoltan megfelel:

MSZ EN 13163:2009 szabvány

A termék felhasználására vonatkozó műszaki specifikáció:

MSZ 7573:2002 szabvány

Minőség:

Tűzvédelmi osztály E ■ Hővezetési tényező: 0,048 W/mK

■ Vastagság: 10-300 mm

A megfelelőségi nyilatkozat érvényességi ideje:

A termék előírás szerinti kezelése és tárolása esetén visszavonásig.

Balatonfűzfő, 2010. 02. 01.

Kecső Zoltán – ügyvezető igazgató

Kiegészítő információ: CE megjelölés és címkézés adatai a terméken elhelyezett termékcímkén. ■ Gyártó elérhetősége a gyártói honlapon elhelyezve. (www.nikecell.hu) ■ Reklamáció a termékre vonatkozó számla, szállítólevél alapján, és a fóliába csomagolt lemez beazonosíthatósága esetén, felhasználás előtt érvényesíthető. ■ Biztonsági adatlap a gyártói honlapon elhelyezve.

A termék gyártási sorozatszáma:

A termék gyártási dátuma:

Anyagkezelés



Nedvességtől védeni kell



Tűző naptól védeni kell



Legfeljebb +80°C-nak tehető ki



Mechanikai hatásoktól védeni kell



Oldószertől védeni kell

Alkalmazási információk



Vágása késsel, fűrésszel, olvasztva vágóval



Rálépni tilos!



Burkolás ideiglenes alátétéről



Nem terhelhető



Burkolás előtt ideiglenesen rögzíteni kell