

Energocell üveghab granulátum tervezési és kivitelezési iránymutató

IPARI PADLÓ ALATTI ALKALMAZÁS ESETÉN

**Energocell üveghab granulátum tervezési és kivitelezési irányelve ipari padló alatti
alkalmazás esetén.**

2020

Az irányelv elkészítésében részt vettek:

Dr Szendefy János okl. építőmérnök, adjunktus
geotechnikai tervező és szakértő (GT-T, SZÉS8)

MMK 01-11697

Vékony Zoltán építészmérnök,

Energocell, értékesítési vezető

Tacsi Róbert

Energocell operatív igazgató

források:

Budapesti Műszaki Egyetem és Eferte Kft. kutatási jelentése

Tartalomjegyzék:

1. Az irányelv célja2. old.
2. Általában az üveghab granulátumról2 – 4. old.
3. Tervezési irányelvek.....4 - 11. old.
4. Kivitelezési irányelvek.....12.- 16. old
5. Energocell felület minősítése.....17. old.

1. Az iránymutató célja:

Az üveghab granulátumot 2017-ben kezdtük el gyártani Magyarországon elsőként. Az elmúlt időszakban azt tapasztaltuk, hogy a hazai ipari padlós szakmát váratlanul érte a padlók alatti hőszigetelés alkalmazása, amely mind a tervezésben, mind pedig a kivitelezésben kihívások elé állította a szakembereket. Mivel az Energocell újnak számít hazánkban, így gyakran inkább más – és talán egyes esetekben kevésbé jó megoldást – választanak a probléma megoldására. A tanulmány elkészítésével szeretnénk a tervezőknek egzakt adatokat szolgáltatni az ipari padló alatti ágyazati rétegződésben elhelyezendő Energocell rétegről, hogy megfelelő helyre kerüljön betervezésre. Mivel az üveghab granulátum ágyazati anyagokhoz hasonlítható, ezért mind a vizsgálata, mind a tervezése geotechnikai módszerekkel történtek, történhetnek. Az irányelvben az Energocell 10-60mm/150-175 kg/m³ granulátum paraméterei vannak részletezve, illetve annak tervezési gyakorlatát, valamint az elmúlt 2-3 év kivitelezési tapasztalait szeretnénk összefoglalva megmutatni az üveghab ágyazatot tervezők és kivitelezők számára.

2. Általános információk az üveghab granulátumról (történeti leírás, gyártás, általános tulajdonságok):

Habosított üveget már az 1930-as évek óta alkalmaznak hőszigetelő anyagként táblásított formában. Nem sokkal a kifejlesztését követően, már 1935-ben szabadalmaztatták az USA-ban a technológiát. Habár rengeteg pozitív tulajdonsága miatt már kifejlesztésekor a jövő hőszigetelő anyagának tulajdonították, lakossági alkalmazása a mai napig nem mondható elterjedtnek. Az ipari szereplők azonban hamar felismerték az üveghab számos előnyét és gyorsan elterjedt ipari épületek esetében a táblás üveghab hőszigetelő anyag használata. Elsősorban az olaj- és gáziparban terjedt el a táblásított üveghab használata köszönhetően hőellenálló képességének és inert tulajdonságainak, ami miatt nem lép biológiai vagy kémiai reakcióba környezetével.

Az üveghabot elsősorban hulladéküvegből gyártják (csomagolási üveghulladék). A hulladék-üveget először liszt finomságúra őrlik, majd habosító anyagot (szénpor) hozzáadva sütik ki. Alagútkemencében sütik ki az üveglisztből és habosítóanyagból álló keveréket. A sütés során a hőmérséklet nem olyan magas, hogy az üveg teljesen folyékonnyá váljon, csupán 700 – 900 °C. A sütés során az üveg kissé megolvad és a hozzá-adott habosító anyag pedig gázt képez benne, így létrehozva a belső pórusszerkezetet. Az üveghab granulátum esetén az anyagot hirtelen hűtik le, így abban belső feszültségek keletkeznek. Ezeknek a belső feszültségeknek

köszönhetően törik össze többé-kevésbé szabályos, azonos méretű szemcsékre a gyártási folyamat végén.

Az üveghab tulajdonságai:

- hőszigetelő képesség: tömörített üveghab granulátum réteg $\lambda = 0,086 \text{ W/mK}$ (150-175kg/m³ halmazsűrűségű anyag esetén),
- terhelhető: részletesen a tervezési irányelvek fejezetben,
- tűzálló (A1),
- inert: Az alapanyagául szolgáló üveg egyáltalán sem savas, sem pedig bázikus vegyszerekkel nem lép reakcióba,
- érzéketlen az UV (UV-A, UV-B, UV-C) sugárzásra,
- nem öregszik: függetlenül a környezeti hatásoktól, így mind fizikai mind kémiai tulajdonságait tekintve évtizedekkel beépítése után is azonosan viselkedik a beépítéskori állapotával. Ez többek között azt is eredményezi, hogy nem töpped össze.
- környezetbarát: Alacsony energiabefektetéssel gyártható hulladék alapanyagból és szinte végtelenül újrahasznosítható. Mindemellett nem lép reakcióba a környezetével, így nem oldódnak ki belőle környezetre káros anyagok.
- alacsony testsűrűség: nagy mennyiségben is könnyen szállítható 90m³/fuvar.
- jó vízelvezető, mivel nagyméretű szemcsékből áll és csak kis mennyiségű vizet vesz fel.

Egészen az 1980-90-es évekig csak táblás formában gyártották és alkalmazták ipari hőszigetelő anyagként, ezt követően kezdődtek meg a kísérletek granulátum formájú üveghabbal. Az első kísérletek során Svájcban könnyű feltöltésként alkalmazták, majd később Norvégiában folytattak átfogó kutatásokat az üveghab mechanikai – elsősorban hőszigetelő -tulajdonságára vonatkozóan. Az üveghab alapanyagául szolgáló üvegliszt szemcsesűrűsége 2200 kg/m³, míg a kész üveghabé csupán 150 – 250 kg/m³, vagyis az üveghab több mint 90% pórusokból áll, a vázszerkezet a térfogatának csupán 5-10%-a. Azonban a szemcsék teherbíróak, mivel az üveghab granulátum szemcséi nagyon ridegek, de részben a porózus szerkezet miatt, hajlamosak az aprózódásra rakodás, terítés, bedolgozás során.



1. ábra Üveghab granulátum halmaz és szemcse

Az üveghab granulátummal Svédországban, Norvégiában és Finnországban kezdtek el a 1990-es években kísérletezni. Kihasználták az üveghab hőszigetelő tulajdonságát, hogy a talaj átfagyását csökkentsék, ezáltal is enyhítve a fagykárokat az útszerkezetekben.

Ipari padló alatti alkalmazása az épületek energetikai követelményeinek szigorításával vált népszerűvé. A zárt buborékszerkezete miatt jó hőszigetelő tulajdonsággal bír, továbbá a rá épített ágyazattal csökkenthető a rá eső feszültség mértéke, ami táblás hőszigetelésnél nem megvalósítható. (részletesen a tervezési irányelvek fejezetben)

3.Tervezés:

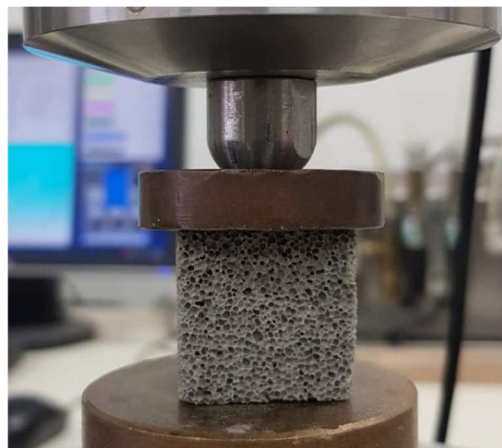
Az ipari padlók esetében fontos hangsúlyozni, hogy a padló és az alatta épített ágyazat együtt, rendszerben működve látja el feladatát, ami a terheknek való megfelelő ellenállást és a süllyedések minimalizálását jelenti. A padló és az ágyazat feladata, hogy a nagy terheket felvegye és szétossza olyan mértékben, hogy sem az ágyazati anyagokban, sem pedig az ágyazati anyagoknál lényegesen gyengébb teherbírású talajokra már olyan kis feszültségek hassanak, hogy azok csak kis mértékű a süllyedéseket eredményezzenek. Az ágyazat felépítése lehetőleg igazodjon a merevségi viszonyokhoz, tehát a gyenge talajról indulva, felfelé haladva egyre merevebb rétegek épüljenek meg, amelyet végül a legmerevebb padlóréteg fog lezárni. A padlók tervezése során az ágyazat felépítését két módon lehet meghatározni.

Az egyszerűbb eset, amikor a szakirodalmi ajánlások alapján kerül kiválasztásra az ágyazat teherbírás a várható koncentrált teher alapján. A koncentrált teher a polcláb vagy targonca terheket hivatott reprezentálni, amelyek viszonylag kis területen hatnak, így a padló és az ágyazat rétegekben a feszültség gyorsan leépül és c.ca. 50-70cm mélységben található talajokra már csak igen kis feszültségek jutnak le. Minél nagyobb az erő, a feszültség annál mélyebbre

hatol, így a mélyebb rétegek teherbírását ezek a táblázatok az altalajra előírt magasabb teherbírás értékkel ellensúlyozzák. A teherbírás érték előírása ezen esetekben azt a célt szolgálja, hogy egy adott talajzóna (kb. 60cm) rugalmassági modulusát írja elő. A kívánt teherbírású ágyazat a különböző talajok és ágyazati anyagok saját teherbírási modulusa alapján a réteges rendszerek méretezési grafikonjával megtervezhető, felépíthető.

Az összetett teher elrendezésű padlók esetében a várható süllyedéseket, amiből az ipari padló alatti ágyazási tényező számítható 3D geotechnikai végeselemes programokkal javasolt meghatározni. A nagy kiterjedésű terhek feszültségei már jóval mélyebbre hatolnak, mint az ágyazat vagy az alatti közvetlen talajréteg, ami vastag talajzóna összenyomódása jelentős süllyedéseket fog előidézni. Ilyen cm-es nagyságrendű süllyedések mérhetőek tömbökben tárolt áruk (pl. papírtekercsek, palettás tárolás) esetében. Az ágyazatoknak itt is jelentős szerepe van, azonban a padlók megfelelőségért már nem tudják önmagukban garantálni, a padló szilárdsági méretezése komplex feladattá válik az altalaj, az ágyazat és a padló rendszerével.

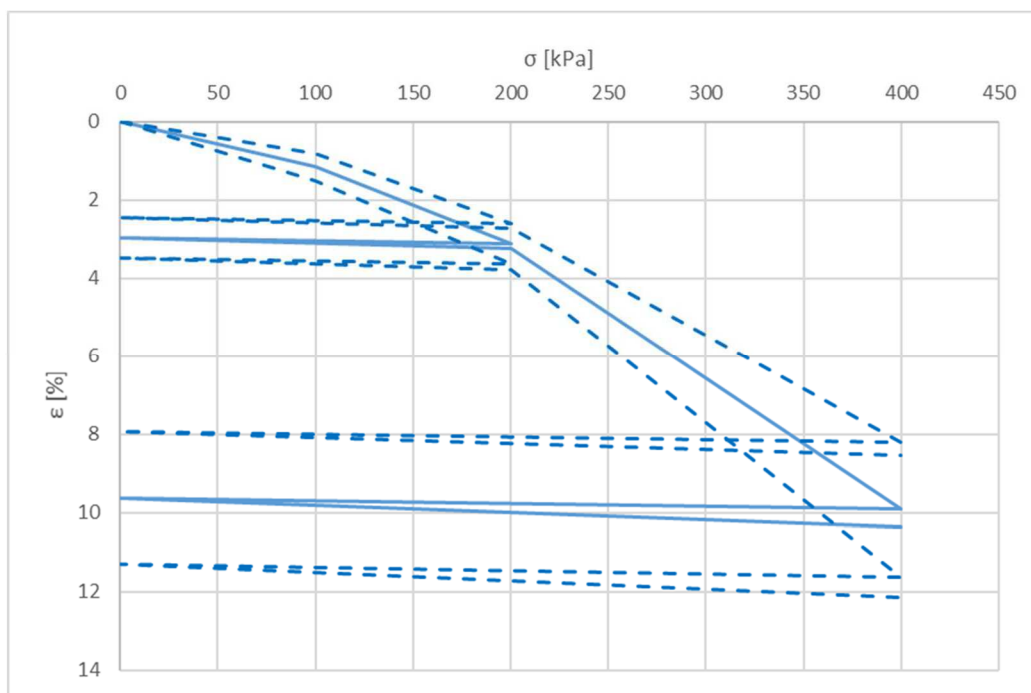
A tervezési számítások elvégezhetősége érdekében az EFERTE KFT. és a BME Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék laboratóriumi mérésekkel kutatást végzett az üveghab tervezési paramétereinek meghatározása céljából. A vizsgálatok során mérések készültek az elemi szemcse, valamint a halmaz mechanikai tulajdonságainak meghatározása céljából. Az elemi szemcse nyomószilárdság mérésének eredménye azt mutatja, hogy a 150-175kg/m³ halmazsűrűségű üveghab granulátumot felépítő szemcsék nyomószilárdsága $\sigma_{ny}=1250\text{kPa}$, míg a rugalmassági modulusa $E=100\text{MPa}$. A szemcsék tönkremeneteli mechanizmusa húzási tönkremenetel vagy a pórusváz összeroppanása. Ez egyben arra is rávilágít, hogy a talajmechanika alapfeltevése, miszerint a szemcsék a terhelés alatt nem törnek el az üveghab esetében nem igaz, ezért a feszültség korlátozása szükséges.



2. ábra: Elemi hasáb egyirányú nyomóvizsgálat

A halmaz vizsgálat célja a tömörített halmaz összenyomódási modulusának (E_s) meghatározása, valamint a teherbírási saját modulus (E_2) meghatározása volt. Az E_s vizsgálat a talajoktól eltérően nem feltömörödő talajmodellt, hanem a feszültség növekedéssel csökkenő E_s értéket mutatott, ami a szemcsék magas feszültség okozta töréséből ered. Tehát a kompressziós görbe nem homorú, hanem domború alakú. A vizsgálat alapján a feszültséget 150kPa értékben javasolt korlátozni 150-175kg/m³ halmazsűrűségű üveghab esetén, mivel ezt meghaladó feszültségek esetén már jelentős alakváltozások jöhetnek létre. A 150-175kg/m³ halmazsűrűségű üveghab granulátum halmaz 1:1,4 tömörítése esetén a $\sigma=0$ -150kPa feszültségtartományban $E_s=10$ MPa értékkel jellemezhető, ami hasonló a homoktalajok összenyomódási modulusával.

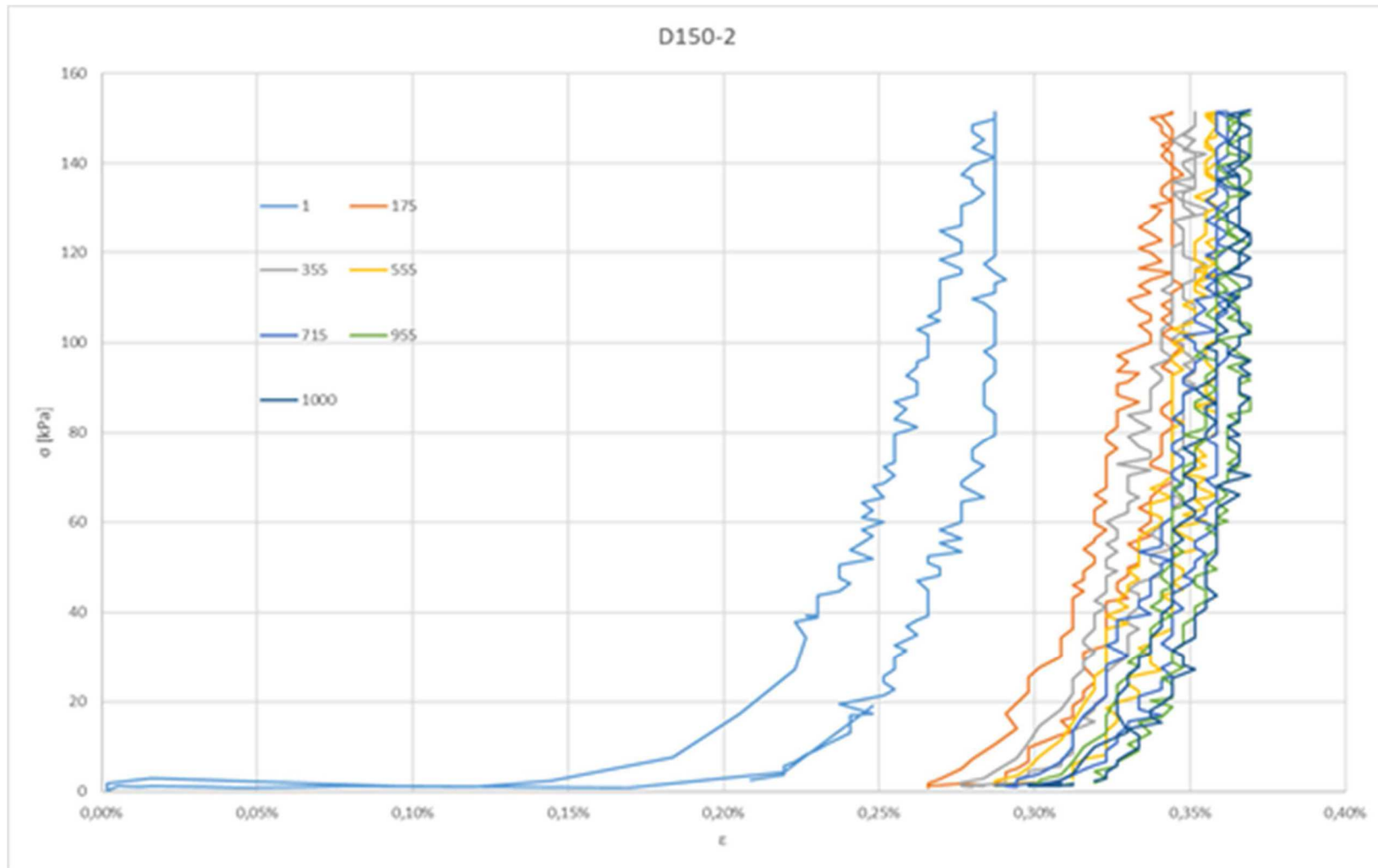
A 150-175kg/m³ halmazsűrűségű üveghab granulátum rugalmassági modulusa az extrudált polisztirolok 2%-os alakváltozáshoz hasonlítva az XPS300-nál jobb, az XPS500-zal közel egyenlő, míg az XPS700-nál kissé gyengébb. Az XPS hőszigetelő anyagok a feszültség növekedésével szintén lágyabb rugalmassági modulusal jellemezhetőek, ezért a 10%-hoz tartozó alakváltozáshoz tartozó rugalmassági modulusuk már lényegesen kisebbek, mint a 2%-hoz tartozók. Például az XPS300 esetében a 2%-os alakváltozáshoz 130kPa feszültség tartozik, míg a 10%-oshoz 300kPa. Így a 2%-os alakváltozáshoz $E=6,5$ MPa, míg a 10%-os alakváltozáshoz $E=3,0$ MPa rugalmassági modulus tartozik.



3. ábra: Halmazanyag kompressziós vizsgálat statisztikailag számított átlaggörbéje a szórásokkal együtt ábrázolva

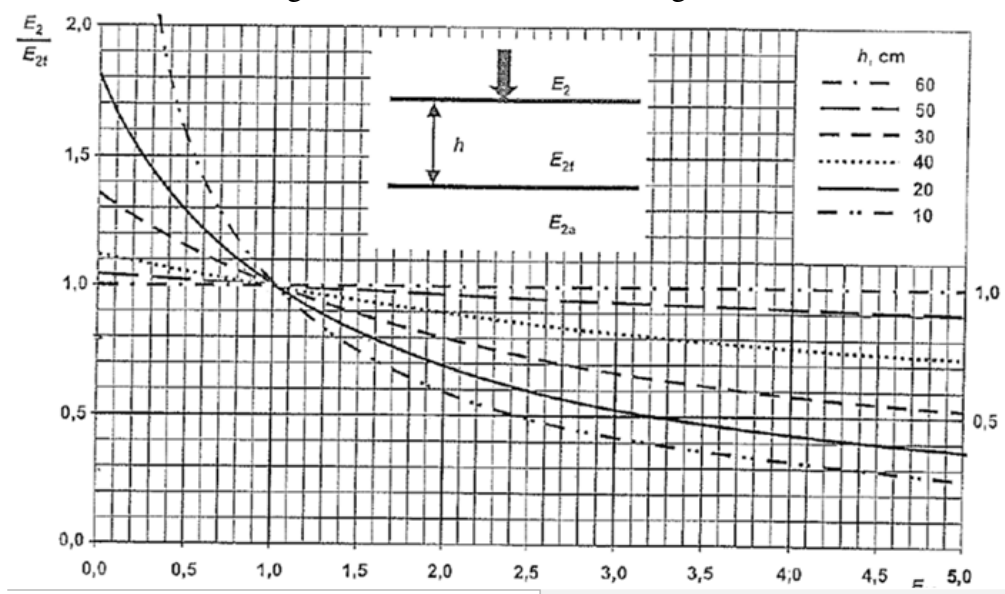
A teherbírási sajátmodulus meghatározása céljából 1m vastagságú üveghab granulátum feltöltés készült, valamint üveghab réteget tartalmazó ágyazatok helyszíni minősítő mérései kerültek kiértékelésre. Ezek alapján a saját modulus $E_2=50\text{MPa}$ értékben adható meg.

Az ipari padlóknál jellemzőek a dinamikus terhek, amiket általában a szállítójárművek okoznak. Ezért elvégeztük az üveghab dinamikus terhelésre vonatkozó vizsgálatát is mind az elemi szemcsére, mind pedig a halmazra vonatkozóan. A mérések alapján megállapítottuk, hogy az üveghab nem érzékeny a dinamikus terhelésre, az anyagban megfolyósodás, lágyulás vagy valamilyen leromlás nem tapasztalható dinamikus terhelés hatására. A ciklikus terhelés okozta hiszterézis hurkok párhuzamosak, így az élettartam alatt a ciklikus terheléssel szembeni rugalmassági modulusa az anyagnak állandó marad. A dinamikus terhekkel szembeni ellenállása az anyagnak a talajokhoz hasonlóan c.ca. 10-szeres, így az $E_{\text{din}} \sim 100\text{MPa}$ értékkel jellemezhető.



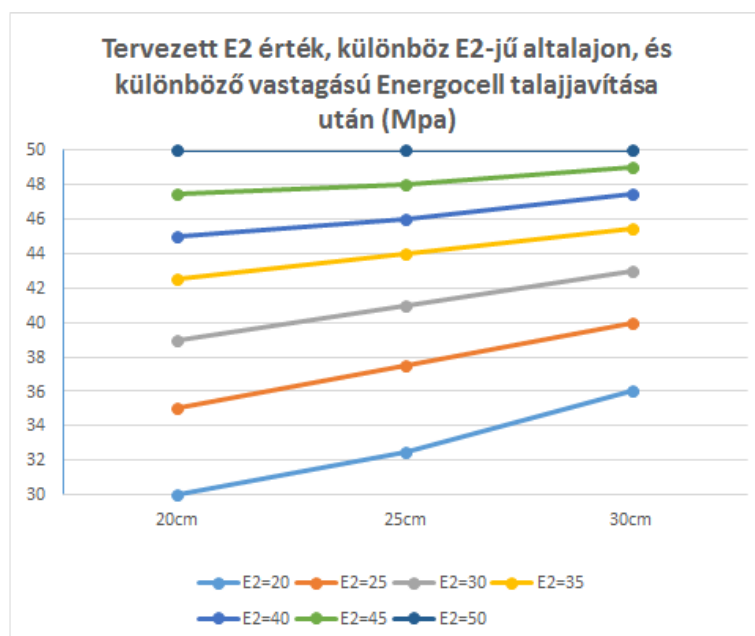
4. ábra: 150 kPa terhelésen elvégzett dinamikus vizsgálat hiszerézis hurkok

A rétegeken az E2 értékek meghatározásához Oedomark diagramot használunk.

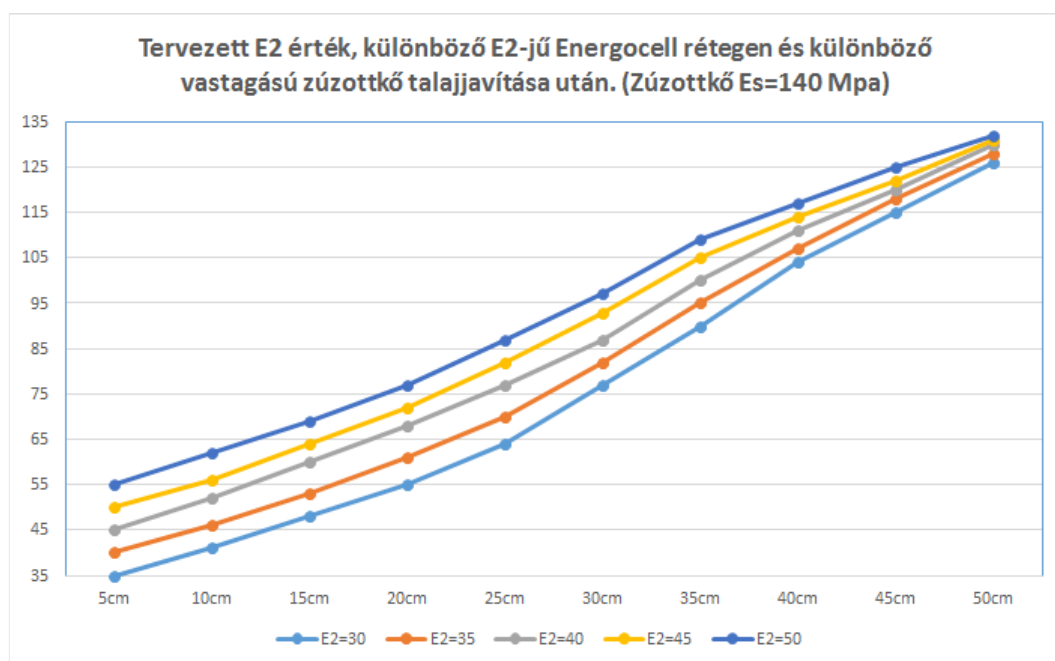


Különböző rétegek tervezési értékei:

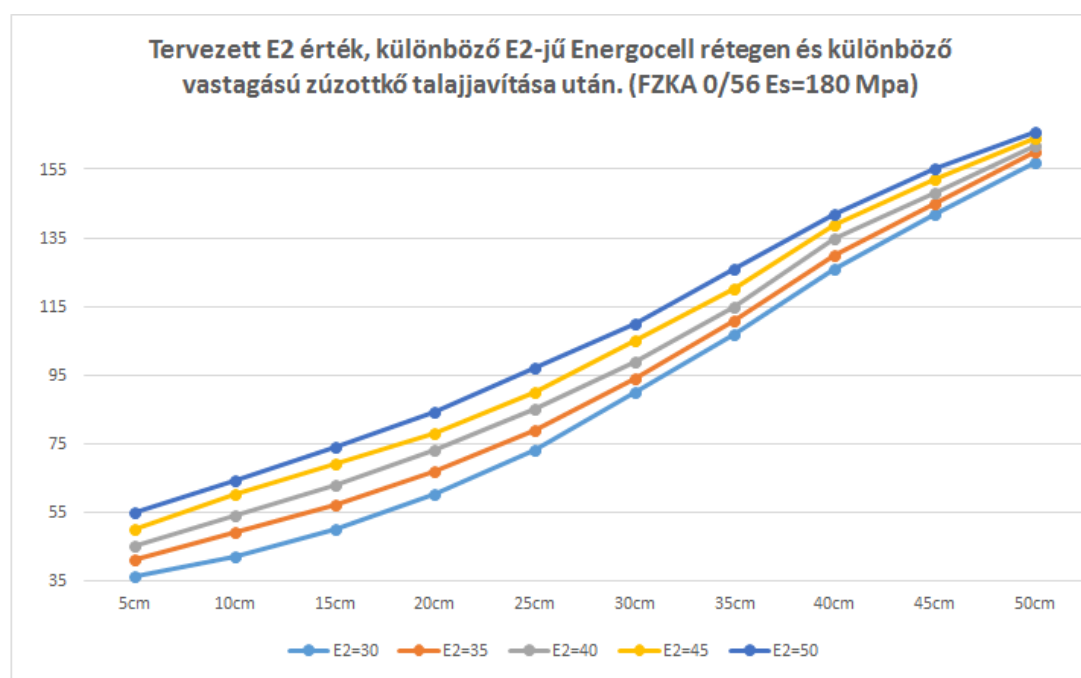
Tervezett E2 érték, különböző E2-jú altalajon, és különböző vastagságú Energocell talajjavítása után (Mpa)			
	20cm	25cm	30cm
E2=20	30	32.5	36
E2=25	35	37.5	40
E2=30	39	41	43
E2=35	42.5	44	45.5
E2=40	45	46	47.5
E2=45	47.5	48	49
E2=50	50	50	50



Tervezett E2 érték, különböző E2-jű Energocell rétegen és különböző vastagású zúzottkő talajjavítása után. (Zúzottkő Es=140 Mpa)										
	5cm	10cm	15cm	20cm	25cm	30cm	35cm	40cm	45cm	50cm
E2=30	35	41	48	55	64	77	90	104	115	126
E2=35	40	46	53	61	70	82	95	107	118	128
E2=40	45	52	60	68	77	87	100	111	120	130
E2=45	50	56	64	72	82	93	105	114	122	131
E2=50	55	62	69	77	87	97	109	117	125	132



Tervezett E2 érték, különböző E2-jű Energocell rétegen és különböző vastagságú zúzottkő talajjavítása után. (FZKA 0/56 Es=180 Mpa)										
	5cm	10cm	15cm	20cm	25cm	30cm	35cm	40cm	45cm	50cm
E2=30	36	42	50	60	73	90	107	126	142	157
E2=35	41	49	57	67	79	94	111	130	145	160
E2=40	45	54	63	73	85	99	115	135	148	162
E2=45	50	60	69	78	90	105	120	139	152	164
E2=50	55	64	74	84	97	110	126	142	155	166



4.Kivitelezés:

Az elmúlt években számos iparipadló hőszigetelése készült el Energocellel. Ezeknek nagy része teljes felületű hőszigetelés, de van egy pár projekt, ahová peremszigetelés céljából lett beépítve az üveghab.



5. ábra: teljes felületű szigetelés
Kapuvár Laurastar raktár



6. ábra: peremszigetelés
Kapuvár Intratech Hungary üzemépület

Kiszállítás:

Jellemzően ipari csarnokokhoz ömlesztve szállítjuk az anyagot. A leggazdaságosabb 90m³-es mozgópadlós kamionnal. Ebben az esetben a kamion hátrafelé rakja ki az árut miközben előre halad.



7. ábra: Mozgópadlós kamion kirakodása (Debrecen, Hungaropharma raktárcsarnok)

Másik költséghatékony szállítási mód, amikor 60 vagy 80m³-es billenecs gépjárművel szállítunk. Ebben az esetben feltétel, hogy vízszintes terepen tud csak billenteni a kamion, illetve nyílt terepen vagy megfelelő magasságú csarnokban.



8. ábra: 60m³-es billencs kamion ürítés közben (Nagykerek, M4 autópálya)

Azokban az esetekben, amikor az építésiterület nagyon szűk 3m³-es bigbag zsákokban is megoldható a szállítás. Ekkor a ponyvás kamion leszedéséről a kivitelezőnek gondoskodnia kell. A zsákok alsó ürítőcsonkkal rendelkeznek, így a bedolgozás helyszínére belógatva szintén gyorsan elteríthető.



9. ábra Eger, Felo szerszámgépgyár gyártócsarnoka

Elterítés:

Az Energocell réteg elterítése ideális esetben kotróval történik, de végezhető homlokrako-dóval vagy dózerrel is. Az elterítésnél amennyiben lehetséges kerülni kell a gép közlekedését az üveghabon a felesleges aprózódás elkerülése végett.



10. ábra: terítés kotróval (Ócsa, Bifungi üzem)



11. ábra: kotrómozgási iránya terítés közben

Tömörítés:

Az általánosan szükséges 20-35cm betömörített vastagságú üveghab réteg egy vagy két rétegben építhető be. A nagyobb felületeken, ahol a tömörítést nagytömegű hengerekkel (8-12t tömegű) végzik a terítési vastagság 20-35cm vastagságú legyen, amit egy oda-vissza sima hengerjáráttal, valamint további kettő vagy három oda vibrálás vissza simítás hengerjára-tokkal lehet az általában elvárt 1,4-es tömörítési arányra beépíteni. A pontos hengerjárat számot természetesen minden esetben az adott tömörítőgéphez, rétegvastagsághoz és altalajhoz a helyszínen elvégzett próbatömörítés alapján lehet meghatározni.

Kisebb munkafelületek esetén 2-4 tonnás padkahengerek vagy lapvibrátorok használhatóak, amelyekkel 15-20cm vastagságban terített rétegek dolgozhatóak be. Ebben az esetben egy oda-vissza simító, majd két oda vibro vissza simító és végül egy lezáró simító hengerezést ajánlott végezni.

Az említett bedolgozási hengerjáratok az üveghab granulátumot csak kis mértékben apróz-zák. A betömörített üveghab granulátum tetejét az egységesebb felületkialakítás és a teherbírás javítása érdekében 3-5cm vastag kiékelő zúzottkő vagy homokos kavicsréteggel kell lezárni. Az üveghab granulátumból készülő ágyazat homogén teherbírású, így arra kis terhelés esetén műanyag vagy acélszál erősített padló építhető. Az ágyazat kellően teherbíró, így a padló építése a megszokott módon, betonpumpa alkalmazása nélkül is elvégezhető.



12. ábra: 15to dupla vibrohengeres tömörítés 13. ábra: 3 to padkahengerrel történő bedolgozás
 Debrecen Hungaropharma raktárcsarnok Derecske, Nagisz keltetőüzem

Nagy teherbírású ágyazatok szükségessége esetében az üveghab réteget nem a padló alatti réteggént, hanem a talajra terítve az ágyazat alatt szükséges beépíteni. A réteg alsóbb zónában való elhelyezéseként a rétegre nem adódnak olyan nagy feszültségek, amik már jelentősebb kúszást váltanak ki az anyagban, valamint ilyen módon megfelelően nagy teherbírású ágyazat alakítható ki. A mélyebb rétegben való elhelyezés további előnye, hogy megfelelően segíti a gyenge talaj és a merev ágyazat közötti merevségi átmenetet létrehozni. Kohéziós talajok (agyag, iszap, homokos iszap) talajok esetében az ágyazati anyagokhoz hasonlóan geotextília elválasztó réteg alkalmazása szükséges a talaj és az üveghab granulátum összekeveredésének megakadályozása érdekében.

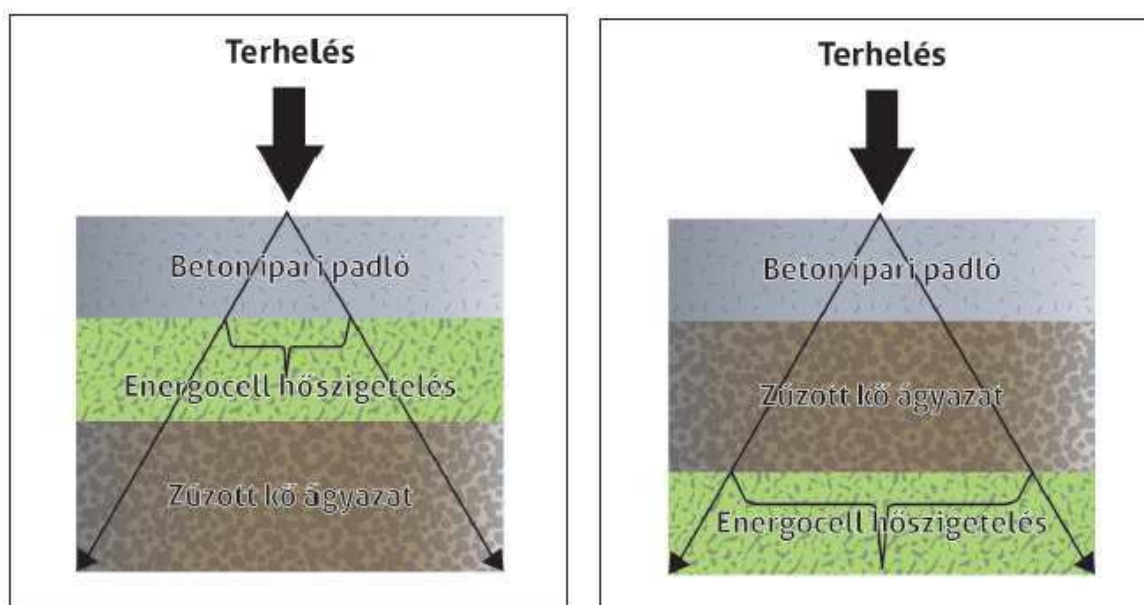


14. ábra: Ágyazatépítés Energocell rétegre – Kápuvár, Laurastar csarnok

Az így elkészített padló alatti rétegződés terhelhetősége nagyobb mint a táblás hőszigeteléssel ellátott ágyazatoké. E miatt esetenként nem szükséges az ipari padlót plusz vasalással ellátni, maradhat a megszokott műanyagszál vagy acélszál alkalmazása. Az üveghabra épülő 10-30 cm vastagságú (pontos meghatározása a tervezési irányelvek fejezetben) durvaszemcsés anyagú ágyazati réteg több funkciót is el tud ilyen módon látni. Első sorban mechanikai védelmet nyújt az üveghab rétegnek, megvédve az építkezési forgalom okozta terheléstől (nem szükséges betonpumpa alkalmazása) és mechanikai hatásoktól, másod sorban növeli az üveghab réteg teherbírását, harmad sorban pedig csökkenti a padló terheiből az üveghabra adódó feszültséget.

Beton ipari padló	22 cm	Ipari padló	Tervezési elvárt adatok	Mért adatok
Zúzott kő ágyazat	15 cm	FZKA 0/56	▼ $E_c = 90 \text{ MPa}$	▼ $E_c = 116 \text{ MPa}$
Energocell hőszigetelés	20 cm	Energocell 10/60	▼ $E_c = 60 \text{ MPa}$	▼ $E_c = 78 \text{ MPa}$
Zúzott kő ágyazat	30 cm	FZKA 0/56	▼ $E_c = 100 \text{ MPa}$	▼ $E_c = 105 \text{ MPa}$
Tömörített talaj			▼ $E_c = 60 \text{ MPa}$	▼ $E_c = 60 \text{ MPa}$

15. ábra: Tervezett és mért teherbírási adatok Energocell esetén (Debrecen, Hungaropharma csarnok)



2. ábra Terhelés eloszlása hagyományos és "fordított rétegrend" esetén

5. Az Energocell felület minősítése:

Az üveghab minősítése a hagyományos ágyazatépítési minősítési eljárásokkal végezhető el. Az etalon mérési módszernek a statikus tárcsás teherbírásmérés vehető, amellyel egyben a bedolgozás tömörítettsége is megítélhető. Az ipari padlók esetében az 1:1,4 tömörítési arány megfelelése esetén $T_t < 2,5$ érték mérhető. Fontos megjegyezni, hogy az üveghab esetében is nagyon fontos a kiékelő réteg elkészítése az üveghab tetején, így minden esetben 3-5cm zúzottkő kiékelő réteget kell beépíteni. A kiegyenlítő réteg egyben az ágyazat síkpontosságának megvalósítását is szolgálja, így az ágyazat az ipari padlóknál járatos $\pm 1\text{cm}$ -es pontossággal elkészíthető. A teherbírásmérések sűrítése érdekében az ejtősúlyos teherbírás mérő (dinamikus) eszközök is használhatóak, itt a szakirodalomban általánosan ismert c.ca. 2-szeres szorzó az üveghab ágyazatoknál is figyelembe vehető, de természetesen ezt a normál talajokhoz hasonlóan munkaterületenként kalibrálni szükséges.

A tömörségmérés is elvégezhető, azonban ezt alapvetően geodéziai mérésekkel javasolt kontrollálni. Ennek keretén belül meg kell mérni az elterített anyag vastagságát, majd a tömörítést addig folytatni, míg az 1:1,4 tömörítési arány elő nem áll. Utólagosan kitöltéssel ellenőrizni, ahol az üveghab laza halmazsűrűsége 170kg/m^3 vehető, így a tömörített rétegnek 235kg/m^3 halmazsűrűséggel kell rendelkeznie. Mivel az üveghab nem köt meg vizet, ezért a mérést a víztartalom nem befolyásolja. Az üveghabból Proctor-vizsgálat nem végezhető, ezért az összehasonlítást nem a laboratóriumi maximális száraz térfogatsűrűséghez kell elvégezni, hanem az anyag halmazsűrűségéhez. Izotópos tömörségmérő eszköz használata a nagy hézagterfogat miatt nem ajánlott.

A minősítő méréseket a normál ágyazati anyagoknak megfelelően 500m^2 -ként javasolt elvégezni.