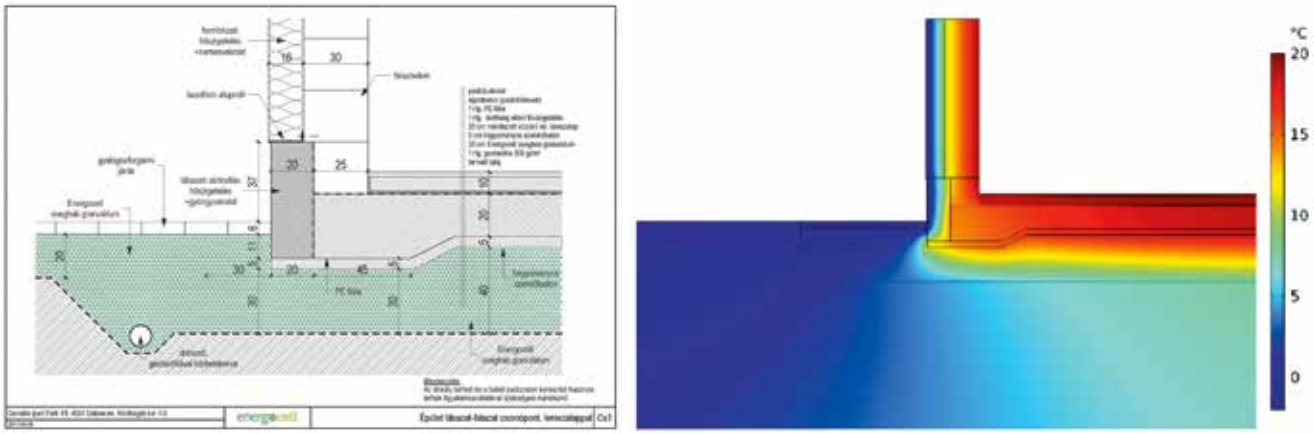
Dr. Nagy Balázs, épületfizikai tervező, energetikai tanúsító, magas- és mélyépítési műszaki ellenőr, egyetemi adjunktus, BME Építőanyagok és Magasépítési Tanszék / **Dr. Szendefy János**, geotechnikai tervező, magas-, mély- és közlekedésépítési műszaki ellenőr, egyetemi adjunktus, BME Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék / **Gyetkó István**, vegyészmérnök-környezetmérnök, laboratóriumvezető, Daniella Ipari Park Kft. Energocell habüveg üzem

Talajjal érintkező szerkezetek hőszigetelése üveghab-granulátummal

Világszinten jelenleg az épületeink és az építőipar felelős az energiafogyasztásunk 36%-ért, valamint a szén-dioxid-kibocsátásunk mintegy 40%-ért. Egyes előrejelzések szerint a következő évtizedekben az épületeink energiafogyasztása éves szinten mintegy 1-1,5%-kal fog tovább növekedni [1]. A szén-dioxid-kibocsátás mérséklése volt az elsődleges cél, amiért az Európai Unió vonatkozó direktívája [2] értelmében Magyarországon is bevezettük az épületenergetikai minimumkövetelményeket. A hazánkban mintegy tíz éve kötelező épületenergetikai tanúsítási eljárás során az épületnek többszintű követelményrendszernek kell megfelelnie, melynek első két követelményszintje a hőszigetelő épületburok megfelelőségére irányul [3]. A jelenlegi, 2018. január elsejétől érvényben lévő szigorított, „költségoptimalizált" követelmények értelmében ma már gyakorlatilag csak hőszigetelt épületeket építhetünk. Kiemelt szigorítás történt a talajjal érintkező határolószerkezetek esetében, melyeket immáron teljes területük alatt kell hőszigetelnünk. Az újépítésű épületeink szerkezeteinek energiahatékony kialakítása, vagy meglévő épületeink energiahatékonysági célú felújítása tehát kiemelt fontosságú, melyben a hőszigetelés alkalmazásának épületfizikailag helyes megválasztása és a folyamatos hőszigetelő burok létrehozása az egyik legfontosabb összetevő (lásd *1. ábra*). Megfelelő épületszerkezeti kialakítással a belső tér egészségesebbé és komfortosabbá tehető, mivel a határolószerkezetek belső felületi hőmérséklete a levegő hőmérsékletével közel azonos marad, valamint a hőhidak hatását is minimálisra csökkenthetjük, ezáltal elkerülve a penészesedést. A megfelelő hőszigetelés alkalmazásával az épületszerkezetek is megóvhatók a károsító környezeti hatásoktól, mellyel teljesítőképességük csökkenése megakadályozható, valamint élettartamuk növelhető. Az előbbieken túl, nem mellesleg, jelentős energia- és szén-dioxid-kibocsátási megtakarítást is elérhetünk, kiemeltképp, ha környezetkímélő hőszigetelő anyagokat választunk [4].



1. ábra: **Folyamatos hőszigetelő épületburok kialakítási megoldása lemezalap alatti üveghab-granulátummal hőszigetelt családi ház lábazat-falazat csomópontja esetén (balra: csomóponti terv, jobbra: hőtechnikai szimuláció, forrás: [4])**

Jelen cikkünkben az üveghab granulátum hőszigetelés alkalmazási lehetőségeit mutatjuk be, elsősorban a talajjal érintkező épülethatároló szerkezetek, valamint épületrekonstrukciók vonatkozásában.

Az üveghab rövid története

Habosított üveget már az 1930-as évek óta alkalmaznak hőszigetelő anyagként táblásított formában. Azonban a granulátum formájú üveghabbal csak az 1990-es évektől kezdődtek meg a kísérletek. Az első kísérletek során Svájcban könnyű feltöltésként alkalmazták, majd később Norvégiában folytattak átfogó kutatásokat az üveghab mechanikai – elsősorban hőszigetelő – tulajdonságára vonatkozóan.

Előnyös tulajdonsága – igaz ez csak a XXI. században lett igazán fontos szempont –, hogy környezetbarát. Alacsony energiabefektetéssel gyártható üveghulladék alapanyagból és szinte végtelenül újrahasznosítható [6].

További előnyös tulajdonsága a mérettartása. Mivel nem öregszik, függetlenül a környezeti hatásoktól, mind fizikai mind kémiai tulajdonságait tekintve évekkel beépítése után is azonosan viselkedik a beépítéskori állapotával. Ez többek között azt is eredményezi, hogy nem töpped össze idővel, mint például a polisztirol alapú hőszigetelő anyagok, rovarokkal szemben is rezisztens, valamint nem lép reakcióba a környezetével, így nem oldódnak ki belőle környezetre káros anyagok.

Alacsony sűrűségének (~150-200 kg/m^3) köszönhetően nagy mennyiségben is könnyen szállítható, akár 90-120 m^3 is egy szállítmánnyal.

3. ábra: **Az üveghab-granulátum kemenceüzeme, forrás: [5]**

Első hazai gyártóként a debreceni Daniella Ipari Park Kft. kezdte kihasználni az üveghab előnyös tulajdonságait és Energocell néven megoldást kínálni az építkezések során felmerülő azon problémákra, ahol a hőszigetelésnek teherviselő tulajdonsággal is kell rendelkeznie [7].

Az üveghab gyártása

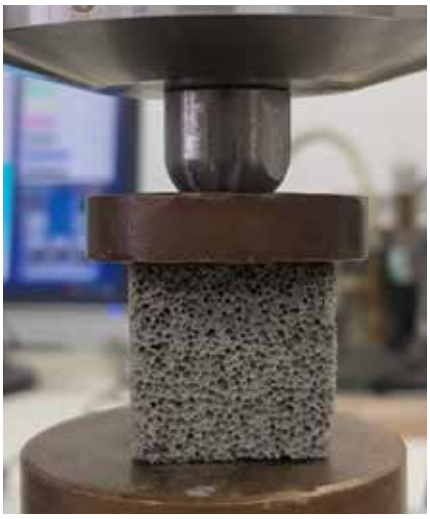
Az üveghab gyártásának kiindulópontja a 700 °C és 1000 °C közötti hőmérsékletű, meglágyult üvegben végbemenő gázképződés. A gáz kitágul és cellákat tartalmazó, porózus üvegtestet hoz létre. Az üveghab alapvetően két eljárással, meglágyult üveg habosításával vagy belül üres üvegbuborékok összeolvasztásával állítható elő. Az üveghabok nyersanyaga finomra őrölt üvegpor és valamilyen gázképző anyag. A klasszikus előállítási technológia szerint finomszemcsésre aprított üvegport és a habosító adalékanyagot, malomban vagy más módon alaposan összekevernek és a keveréket szállítószalagra töltik.

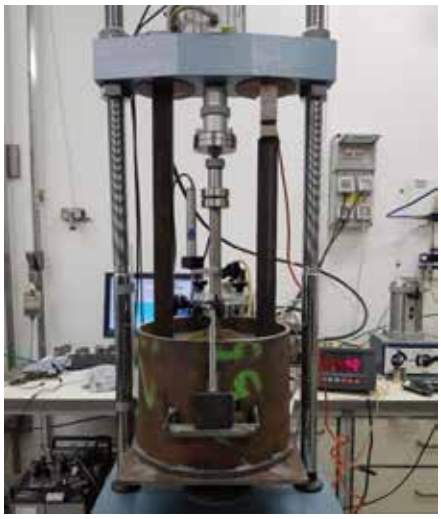
A keverék szalagra történő adagolásának mennyiségi szabályozásával elérhető a maximális térfogatú üveghab „lepény” előállítása. A kemencében az üveg meglágyul, a habosítószer gáz képződése közben elég, vagy termikus bomlási folyamat végén fejleszt gázt. A gáz a meglágyult üvegolvadékból nem tud eltávozni, így az olvadékot habosítja. A habosítás hőmérséklete az üveg összetételétől (termikus tulajdonságaitól, lágyulási pontjától) függ. A szállítószalag a keveréket egy több eltérő hőmérsékletű zónából álló alagútkemencébe juttatja, melyből a hőkezelés után kiérkező üveghab a hőmérséklet-különbségből eredő belső feszültségek miatt éri el végleges, granulátum formáját.

Az üveghab képződésének alapja az, hogy összetételétől függően az üvegpor 700–1000 °C közötti hőmérsékleten viszkózus folyadékká alakul, ezután a habosító anyag bomlásával járó gázképződés a viszkózus üvegben buborékokat hoz létre. Az üveg elegendően nagy viszkozitású kell legyen ahhoz, hogy a buborékok ne emelkedjenek az üvegben, hanem maradjanak ott, ahol képződtek. Ha a hőmérséklet túl nagy, a viszkozitás csökken, a buborékok felszállnak és a habüvegtest összeroskad. Az üveghabgyártás optimalizálásának egyik legfontosabb kérdése a fűtési sebesség szabályozása. A gyors fűtés hatására a habüveg nyersanyag megrepedhet, a lassú fűtés viszont korai gázképződéshez vezethet; ilyenkor az üveg viszkozitása még nem elég kicsi ahhoz, hogy a képződött gáz hatására táguljon, duzzadjon. További gyártástechnológiai nehézség, hogy maga a nyersanyag viszonylag jó hőszigetelő tulajdonságú, mert a pórustérfogata körülbelül 20%. A nyersanyag habosodásával a külső felület egyre jobb hőszigetelő hatása elzárja a hőt az anyag belsejétől. Ezért könnyen előfordulhat, hogy a betáplált nyersanyag alsó

2. ábra: **A hulladéküveget leörlő malomüzem, forrás: [5]**

4. ábra: **Az üveghab granulátum, Forrás: [5]**





5. ábra: **Szilárdsági vizsgálatok a BME ÉMK Geotechnikai Laboratóriumában**

részének felmelegítéséhez túl kell melegíteni a felszínt. A túlmelegedés hatására a felső buborékok összeroskadhatnak, ami rontja a termék minőségét.

Üveghab-granulátum laboratóriumi vizsgálatai

Az üveghab-granulátum szilárdsági tulajdonságainak meghatározását a BME Építőmérnöki Kar Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszéke végezte egy kutatás keretén belül. A kutatás során az anyag statikus és dinamikus terhekkel szembeni ellenállóképességét határozták meg mind az elemi szemcsénél, mind pedig a halmaz esetében. Az elemi szemcse teherbírása egyirányú nyomóvizsgálattal került meghatározásra (lásd *5. ábra* bal oldali kép). A mérési eredmények szerint az elemi szemcse σ_{ny} ~ 1250 kPa teherbírásához viszonylag kis alakváltozás adódik ε = ~1,25%, így a rugalmas szakasz $E_{rugalmas}$ = 100 MPa rugalmassági modulussal jellemezhető. Ennél magasabb feszültség esetén az üveghabdarab húzási repedés mentén széthasad vagy a pórusszerkezete elkezd összeroppani.

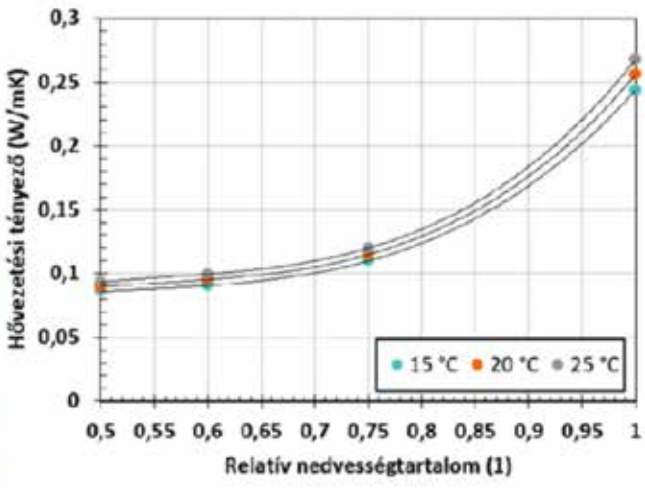
A halmaz viselkedése a nagy szemcseátmérő miatt egy egyedileg gyártott 30 cm átmérőjű ödométerben (lásd *5. ábra* jobb oldali kép) került vizsgálatra. Az összenyomódási modulus (Es) vizsgálata alapján a halmaz összenyomhatósága nagyban függ a tömörítés mértékétől. Az 1:1,1 és 1:1,2 csekély mértékű tömörítés jelentős alakváltozások következnek be a szemcseigazodás miatti tömörödésből, de a külföldi gyakorlatban alkalmazott 1:1,3 vagy 1:1,4 tömörítési arány alkalmazása esetén már kellően magas rugalmassági modulus érhető el. Az ödométeres vizsgálatok eredményeként Es = 10 MPa modulussal jellemezhető a halmaz összenyomódási modulusa σ = 0-150 kPa feszültségtartományban [8]. Ez az érték az XPS300-nál nagyobb, az XPS500-zal egyenértékű, míg az XPS700-nál kisebb rugalmassági modulust eredményez az extrudált polisztirolok 2%-os alakváltozásához tartozó értékeknél. A statikus terhelés mellett meghatározásra került a dinamikus rugalmassági modulusa is a halmaznak, ami a ciklikus terhelés alatt egy nagyságrenddel nagyobb rugalmassági modulust mutatott a statikus terhelésnél mért értéknél.

A halmazvizsgálat részeként helyszíni nagymodellvizsgálat is készült az üveghab E_2 sajátmodulus meghatározása céljából. Az 1 m vastagságban elkészített üveghabréteg tetején mérhető saját modulus érték E_2=50 MPa-ban adható meg.

Az üveghab-granulátumot a BME Építőmérnöki Kar Építőanyagok és Magasépítés Tanszékének Épületfizika Laboratóriumában is vizsgáltuk, hogy meghatározzuk a hővezetési képességének változását a hőmérséklettel és a nedvességváltozással szemben is. A vizsgálatok során megállapítottuk, hogy a közölt 0,086 W/mK-es hővezetési tényezőt az anyag akár 60%-os relatív nedvességtartalomig is tudja biztosítani, valamint, hogy még teljes mértékben vízbe merítve és vízzel együtt mérve sem romlik a hővezetési tényező 0,26 W/mK fölé (lásd *6. ábra*) [9].

Üveghab-granulátum gyakorlati alkalmazásai

Az üveghab-granulátum előnye, hogy családi házaknak a padozat vagy az alaplemez alatti ágyazati anyagként is szolgálhat. Ennek köszönhetően az ágyazatépítés és a padló alatti hőszigetelés készítése egy munkafázissal megoldható. Könnyű fajsúlya miatt kézi erővel is egyszerűen rakodható, bedolgozható.



6. ábra: **Hővezetési tényező vizsgálata a BME ÉMK Épületfizika Laboratóriumában**

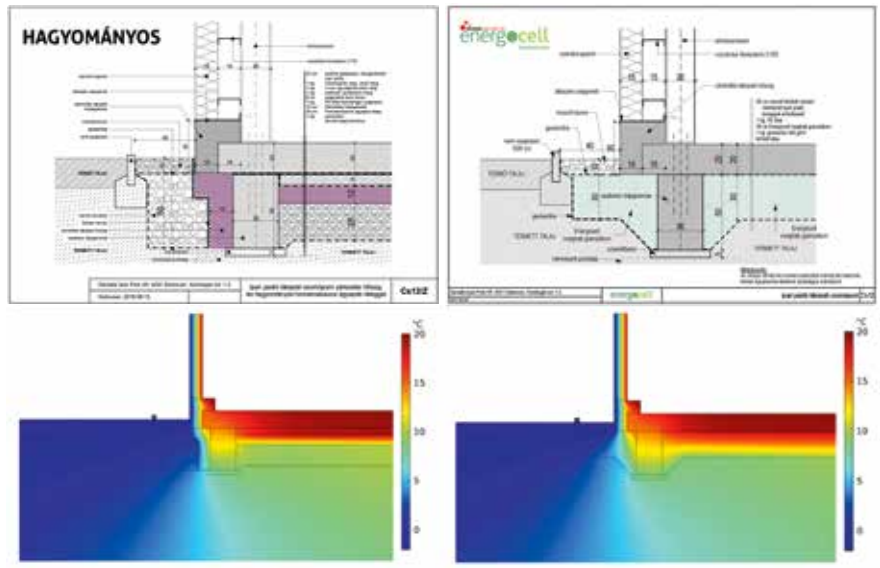
Szintén kis fajsúlyának köszönhető, hogy egy nagyobb családi házhoz szükséges mennyiség (kb. 80-90 m^3) egy kamionfuvarral leszállítható, de kisebb felületek alatti szigetelés esetén a 3 m^3-es bigbag kiszerelés is könnyen és egyszerűen alkalmazható (lásd *7. ábra*).

Bedolgozása a *8. ábrán* látható módon, normál építőipari gépekkel végezhető el. A terítés során mérettől függően dózer, kotró vagy Bobcat gépekkel, míg a tömörítés nagy felületen hengerrel, kisebb helyeken padkahengerrel, lapvibrátorral történhet.

Kis fajsúlyának köszönhetően jól alkalmazható meglévő födémek, padlók utólagos hőszigetelésére. Ez kifejezetten fontos lehet kis teherbírású boltíves vagy donga födémeknél az épületrekonstrukciós munkák során (lásd *9. ábra*). Előnyös lehet a földnyomás csökkentése érdekében pincefalak melletti visszatöltéseknél vagy alkalmazható a pincébe vezető fűthető rámpák ágyazati anyagául.

Viszonylagosan nagy szilárdsága miatt az üveghab-granulátumot előszeretettel alkalmazzák ipari épületek padlójának hőszigetelésére is. A jelenlegi épületenergetikai követelmények (Upadló ≤ 0,3 W/m^2K) kielégítésére 30 cm üveghab-granulátum alkalmazása javasolt, melylyel hőszigetelő képesség és a lábazati kialakítások hőtechnikai megfelelősége tekintetében gyakorlatilag egyenértékű tud lenni a hagyományosabb, extrudált polisztirolhab-táblákkal hőszigetelt padlószerkezetekkel (lásd *10. ábra*), azonban a padló belső felületi hőmérsékletének tekintetében az XPS-nél komfortosabb megoldást nyújt.

9. ábra: **Üveghab-granulátum alkalmazása épületrekonstrukciók esetén**



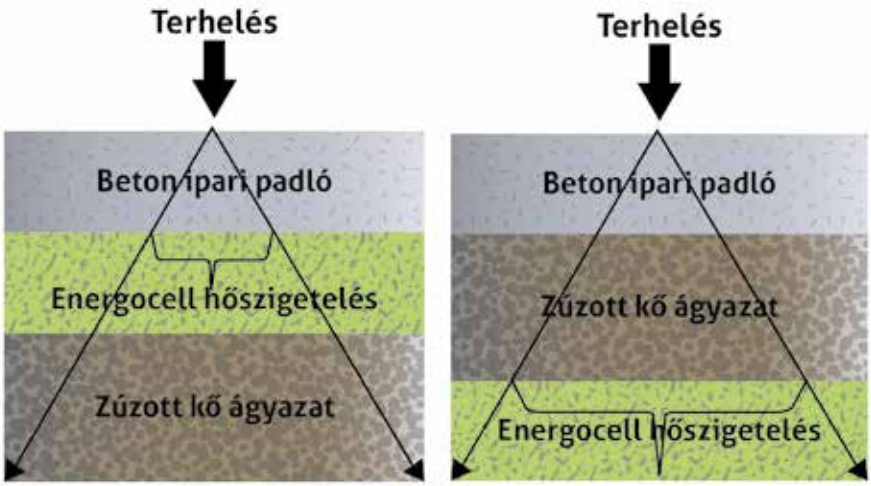
10. ábra: **Hagyományos XPS (balra) és üveghab-granulátummal (jobbra) hőszigetelt ipari padlók épületszerkezeti kialakítása és hőtechnikai szimulációjuk**

7. ábra: **Kamionnal és bigbag kiszerelésben kiszállított üveghab-granulátum**

8.ábra: **Üveghab-granulátum bedolgozása**

További nagy előnye az üveghab-granulátumnak, hogy építhető rá további ágyazat is. Így a hőszigetelő rétegre ható feszültségek jobban eloszlanak, aminek hatására nagy terheléseknél is kisebb alakváltozások lépnek fel a hőszigetelő rétegben (lásd *11. ábra*).

Az így elkészített padló alatti rétegződés terhelhetősége nagyobb, mintha táblás hőszigetelést alkalmaznának. Jól megtervezett rétegfelépítés esetén nem szükséges az ipari padlót pluszvasalással ellátni, maradhat a csak műanyagszál vagy acélszál alkalmazása. Az üveghabra épülő geotecnikailag méretezett vastagságú durva-szemcsés anyagú ágyazati réteg több funkciót is el tud ilyen módon látni (lásd *12. ábra*). Elsősorban mechanikai védelmet nyújt az üveghabrétegnek,



11. ábra: **Üveghab alkalmazása ipari padló alatt, „egyenes" (balra) és „fordított" (jobbra) rétegrendek**

12. ábra: **Üveghab-granulátum tömörítése és a rá épülő ágyazati réteg készítése**

13. ábra: **Mélygarázs feletti rétegződés kikönnyítése üveghab-granulátummal**

megvédve az építkezési forgalom okozta terheléstől (nem szükséges betonpumpa alkalmazása) és mechanikai hatásoktól, másodsorban növeli az üveghabréteg teherbírását, harmadsorban pedig csökkenti a padló terheiből az üveghabra adódó feszültséget.

A fordított rétegrendben elkészített ipari padló hőtechnikailag még kedvezőbb megoldás is lehet, mint az egyenes rétegrendű vagy hagyományos táblás XPS hőszigeteléssel történő kialakítás, ha a lábazati fal a jogszabályi követelményeknek megfelelően hőszigetelt. Ekkor ugyanis az üveghab hőszigetelőrétegre épülő ágyazati réteg az ipari padló alatt egy extra hőtároló réteget képez, mely mind télen, mind pedig nyáron fokozhatja az épület komfortját, valamint csökkentheti az energiaigényét is.

Az üveghab könnyű súlya és egyéb kedvező tulajdonságai (fagyálló, vízelvezető stb.) alkalmas mélygarázsok záróföldének, alagutak feletti könnyű feltöltésre (lásd *13. ábra*). Amennyiben a megfelelő rétegvastagságú ültető közeg alatt további feltöltést is építeni szükséges, úgy azt érdemes ilyen anyaggal megoldani. A költséghatékonyság szempontjából ezt érdemes már a vasbeton szerkezet tervezésénél figyelembe venni.

Összegzés

Összegezve, noha az üveghab-granulátum egy új anyag a hazai építőiparban, érdemes az előnyös tulajdonságai miatt elgondolkodni egy-egy kivitelezés vagy tervezés során felmerülő probléma megoldása kapcsán. Cikkünkben bemutattuk az anyag előnyös tulajdonságait, a hagyományos hőszigetelésekkel egyenértékű hőtechnikai és az azt meghaladó mechanikai tulajdonságait, valamint az anyag alkalmazási lehetőségeit is. Nem utolsósorban pedig meg kell jegyeznünk, hogy az ilyen és hasonló, hulladékból készülő anyagok alkalmazásával óvjuk a környezetünket is. ◈

Irodalomjegyzék

[1] Energy Information Administration (2016): International Energy Outlook 2016. https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2016).pdf

[2] Az Európai Bizottság és Tanács 2002/91/EK irányelve (2002. december 16.) az épületek energiateljesítményéről. Az Európai Unió Hivatalos Lapja 12/2. kötet, 168–174. oldal

[3] 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról

[4] Szendefy János, Nagy Balázs (2019): *Üveghab granulátum*. Szép Házak 28. évf. 2. sz, 80–83. oldal

[5] www.energocell.hu

[6] Fehérváry Krisztina (2017): *Üvegszemétből szigetelés*. Demokrata Online, Zöld Jövő, 2017. 03. 24.

[7] Oláh Judit, Tacsi Róbert, Fári Miklós, Popp József (2017): *Strategic Evaluation Of The Energocell Glass Foam Granulate And Its Developmental Possibilities. Journal of Central European Green Innovation* 5. évf. 3. sz, 13–44. oldal

[8] Szendefy J., Huszák T., Papp B., Waleed S. M. (2019): *Az üveghab-granulátum alakváltozási paramétereinek vizsgálata statikus terhelés hatására*, 5. Kézdi Konferencia Budapest, pp. 317–329. oldal

[9] Bándli Olivér (2019): *Üveghabbal hőszigetelt épületszerkezetek épületfizikai elemzése*, TDK dolgozat (témavezető: Dr. Nagy Balázs), BME Építőanyagok és Magasépítés szekció