

TDK dolgozat

Üveghabbal hőszigetelt épületszerkezetek épületfizikai elemzése

Bándli Olivér
Konzulens: Dr. Nagy Balázs

Tartalomjegyzék

1. Absztrakt	3. oldal
2. Bevezetés	5. oldal
3. Kitekintés a nemzetközi szakirodalomra	7. oldal
4. Az üveghabra vonatkozó mérések	12. oldal
5. Csomóponti szimulációk	23. oldal
5.1 Épületlábazati és falazati csomópont sávalappal	24. oldal
5.2 Épületlábazati és falazati csomópont lemezalappal	26. oldal
5.3 Pince lemezalapja és falazata	28. oldal
5.4 Ipari padló lábazat	30. oldal
5.5 Járható tető	33. oldal
5.6 Extenzív zöldtető	35. oldal
6. Összegzés	37. oldal
7. Köszönetnyilvánítás	38. oldal
8. Irodalomjegyzék	39. oldal
9. Ábrajegyzék	41. oldal
10. Mellékletek (Mérési jegyzőkönyvek)	44. oldal

1. Absztrakt

A dolgozat témája az épületek hőszigetelésére szolgáló üveghab granulátum hőátbocsátásának meghatározása hőmérséklet és nedvességtartalom függvényében, majd ennek segítségével épületszerkezeti csomópontok szimulálása numerikusan, és a kapott eredmények összehasonlítása más hőszigetelési megoldásokkal ellátott csomópontok szimulációinak eredményeivel.

A kutatás létjogosultságát az adta, hogy jelenleg nem állnak rendelkezésre adatok arról, hogy miként viselkedik az üveghab hőszigetelés különböző nedvességi körülmények között, annak ellenére, hogy jellemzően olyan helyeken van felhasználva, ahol nagy gyakorisággal érheti csapadék, talajpára, valamint talajvíz is.

A vizsgálatok megkezdése előtt tanulmányoztam a meglévő üveghabra vonatkozó nemzetközi szakirodalmat, és utána néztem az üveghab hazai gyártásának és felhasználásának.

Az üveghabra vonatkozó méréseket a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőanyagok és Magasépítés tanszékének az Épületfizikai laboratóriumában végeztem el egy hőátbocsátás mérésére szolgáló műszeren, valamint a Geotechnika és Mérnökgeológia tanszék Mérnökgeológiai laboratóriumát is igénybe vettem a granulátum őrlésére és szemcseméret szerinti osztályozására.

A csomóponti szimulációkat végeselemes higrotermikus programmal készítettem, az ehhez szükséges általam nem mért anyagtulajdonságokat szakirodalom alapján vettem fel. Szükséges volt még meghatározni az üveghab hővezetési tényezőjének hőmérséklettől és nedvességváltozástól való függését a laboratóriumban megszerzett adatokból, ennek leírására matematikai modellt készítettem.

A dolgozat segít abban, hogy az üveghab gyártók pontosabb adatokkal szolgálhassák a tervező mérnökök munkáját.

Summary:

The subject of the study is the determination of the thermal conductivity of glass foam granules for thermal insulation of buildings as a function of temperature and humidity, then numerically simulating building construction details with the help of the received properties and comparing the results with the same nodes equipped with other insulating solutions.

At the moment we don't have any data about the behaviour of the glass foam insulating among different moisture conditions. In spite of the fact that it's used in spots where it can easily meet with rain, soil moisture and ground-water. Before the tests, I studied the international scientific literature about this material and searched about the domestic production and application.

I made the measurements with the glass foam at the Building Physics Laboratory of the Budapest University of Technology and Economics using a thermal transmittance measuring machine. And I also used the grinding machine and the sieve in the Geology Laboratory for the size classification of the foam. For the simulation of the building construction details I used a finite element-hygrothermal software and for these calculations I got the necessary properties from the scientific literature. I also needed a function for the dependence of the glass foam from the temperature and the humidity so I made a mathematical model from the data that I measured in the laboratory.

The study helps the glass foam producers serving more accurate data for the design engineers.

2. Bevezetés

Az emberiség szén-dioxid kibocsátásának 40%-áért az épületeink felelősek, így a fenntarthatóság érdekében célszerű hatékonyabbá tenni ezek energiafogyasztását [1]. Ezért az Európai Unió szigorú rendeleteket hozott, így Magyarországon is meg kell felelni az épületenergetikai követelményeknek [2]. A 2018-tól hatályban lévő költségoptimalizált követelmények miatt minden új épületnek hőszigeteltnek kell lennie, valamint a talajjal érintkező részekben teljes terjedelemben elvárt a hőszigeteltség [3]. Mindezek mellett az is fontos, hogy környezetkímélő hőszigeteléseket használjunk, ezért lehet egy jó választás az üveghab granulátum, amit ebben a dolgozatban vizsgálni fogok [4].



1.ábra: Az általam vizsgált üveghab granulátum

Üveghabot már a múlt század eleje óta használnak hőszigetelésként, azonban akkor még csak táblás formában volt használatos. Granulátum formájában a 90-es évek óta van jelen, de a környezetkímélő mivolta miatt csak a 2000-es években nőtt meg a jelentősége. Gyártása alacsony energiabefektetéssel jár és csak üveghulladék kell hozzá, ami szinte végtelen mennyiségben rendelkezésünkre áll. Az üveget finom porrá őrlik, majd ezt felmelegítve

700-1000 celsius fokig az üveg megolvad és nagy viszkozitású folyadék lesz belőle. Ehez a folyadékhoz valamilyen gézképző anyagot adagolnak ami hatására buborékok keletkeznek benne. A nagy viszkozitás miatt a buborékok nem tudnak távozni a folyadékból, így már csak le kell hűteni a masszát. A hűtés fokozatosan történik, de így is keletkeznek az anyagban belső feszültségek, ami miatt az összetöredezik és szilárd granulátummá válik [5].



2. ábra: Üveghulladék őrlésére szolgáló szerkezet (balra) és üveghab kemence (jobbra)

(Forrás: [5])

Az üveghabot széles körben lehet alkalmazni a családi házaktól az ipari csarnokokig. Megfelelő szilárdságának köszönhetően ágyazóréteggént is funkcionálhat, így a padló alatti hőszigetelés és az ágyazás elkészítése egyben elvégezhető. Valamint kis súlyának köszönhetően könnyű szállítani és bedolgozni, nem szükséges hozzá semmilyen speciális eszköz, csak a hagyományos építőipari gépek. Ipari csarnokoknál könnyen felveszi a versenyt a polisztirol alapú szigetelésekkel szemben, mivel nagyobb a teherbírása, így betonozás során akár az üveghabra terített zúzottkő ágyazóanyagról közvetlenül tudja surrantani a betont a mixerkocsi és nincs szükség pumpára, továbbá az épület használata során is előnyös lehet a teherbírása. De továbbá a kis súlya miatt alkalmas még zárófedémek, alagutak, mélygarázsok feletti könnyű feltöltésre.

3. Kitekintés a nemzetközi szakirodalomra

Jianguang Bai, Xinghua Yang, Shaochun Xu, Wenjia Jing, Jianfeng Yang: Preparation of foam glass from waste glass and fly ash [6]

Ebben a kutatásban a szerzők a hulladék üveget pernyével keverték, majd 950 °C-on habosították SiC segítségével. A habosítás 20 percig tartott, majd azt látták, hogy a kész termék térfogata 5,81-szeresére nőtt az eredeti anyaghoz képest. Az így kapott üveghab sűrűsége 267,2 kg/m³ lett, nyomószilárdsága 0,9829 MPa porozitása pedig 81,55%.

Andre C. Bento, Evaldo T. Kubaski, Thiago Sequinel, Sidnei A. Pianaro, Jose A. Varela, Sergio M. Tebcherani: Glass foam of macroporosity using glass waste and sodium hydroxide as the foaming agent [7]

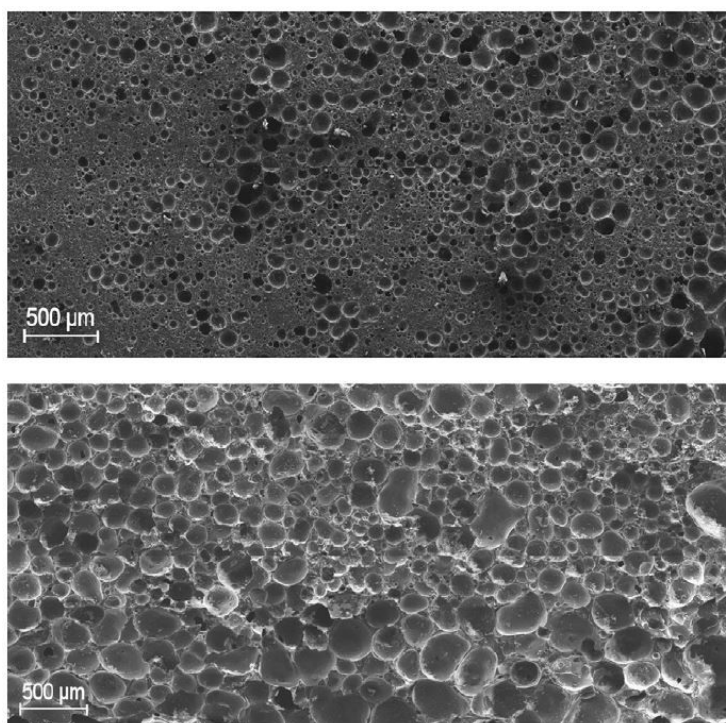
Az üveghez hozzáadott nátrium-hidroxid mennyiségének a hatását vizsgálták az üveghab gyártásnál. Titánium-dioxidot használtak erősítő összetevőként, és véghezvitték a habosítást különböző hőmérsékleteken valamint különböző időtartamokkal. A porozitás higanytelítéses porozitásméréssel lett meghatározva és a hab alakját pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgálták.

Xinyue Fang, Qie Li, Tao Yang, Zhihong Li, Yumei Zhu: Preparation and characterization of glass foams for artificial floating island from waste glass and Li₂CO₃ [8]

A szerzők azt vizsgálták, hogy milyen hatással van a Li₂CO₃ tartalom és a habosítási hőmérséklet az üveghab mikroszerkezetére. Különböző hőmérsékleteken és áztatási időtartamok alatt is elkészítették az anyagot, majd a kész termékről pásztázó elektronmikroszkópos felvételeket készítettek, és megnézték, hogy a látottak milyen összefüggésben vannak a különböző Li₂CO₃ tartalmakkal, habosítási hőmérsékletekkel, testsűrűségekkel és nyomószilárdságokkal.

Daniela Hesky, Christos G. Aneziris, Ulrich Groß, Anja Horn: Water and waterglass mixtures for foam glass production [9]

Itt a vízüveg, mint környezetbarát habosítószer lett vizsgálva finom pórusú üveghab gyártásánál. Itt is elektronmikroszkóppal készítettek felvételeket a termékről, viszont most elsősorban a hővezetést és a szilárdságot vizsgálták. A vízüveggel készített üveghab pórusai 4 nanométer és 800 mikrométer között mozogtak és 1,7 N/mm²-es nyomószilárdságot lehetett elérni. Ezt összehasonlították egy hagyományos 3 mm-es pórusú üveghabbal és az új anyag erősebbnek bizonyult, emiatt ezt az anyagot akár könnyű szerkezeti anyagként is fel lehetne használni.



3. ábra: A pásztázó elektronmikroszkóp képei (Forrás: [9])

Jing Li, Xinguo Zhuang, Eliseo Monfort, Xavier Querol, Alejandro Saburit Llaudis, Oriol Font, Natalia Moreno, Francisco Javier García Ten, Maria Izquierdo: Utilization of coal fly ash from a Chinese power plant for manufacturing highly insulating foam glass: Implications of physical, mechanical properties and environmental features [10]

Ez a kutatás egy kínai szénérműben keletkezett pernye potenciális felhasználására fókuszál üveghab gyártás során. Arra jutottak, hogy a habosító alapanyagok optimális arányai a következők: 33,3-43,3% pernye, 9-11% Na₂CO₃ folyósító adalékszer és 0,5% SiC gázképző

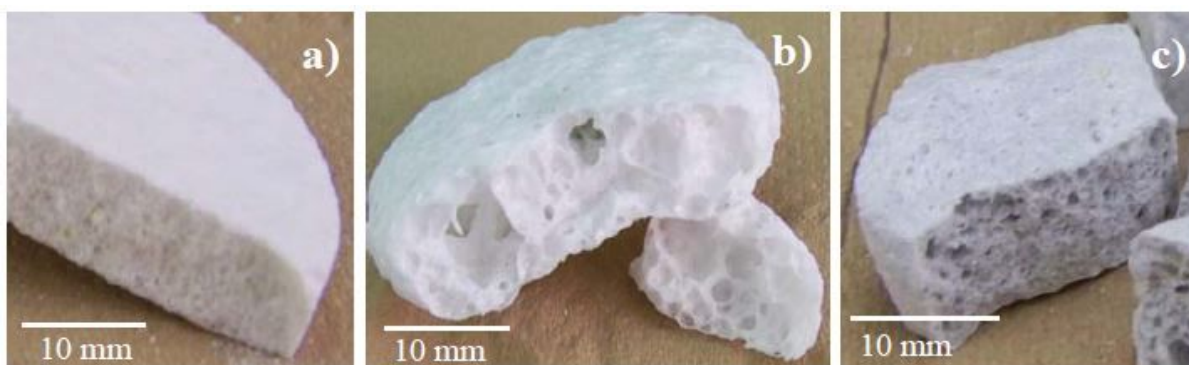
adalékszer. 865-915 °C hőmérsékleten kellett véghezvinni a folyamatot 15 percen keresztül. Az így nyert hab nyomószilárdsága hasonló egy átlagos üveghabéhoz, viszont nagyobb a sűrűsége. A termék nagy porozitása lehetővé teszi a felhasználását hő- és hangszigetelő anyagként.

Mukesh Limbachiya, Mohammed Seddik Meddah, Soumela Fotiadou: Performance of granulated foam glass concrete [11]

Ez a kutatás azt vizsgálta, hogy hogyan viselkedik az üveghab mint beton adalékanyag. A gyártáshoz alapanyagként színes üvegpalack hulladékot használtak fel. A betonkeverékek a következő víz-cement tényezőkkel lettek elkészítve: 0,4; 0,55; 0,62; 0,76. Az üveghabnak a betonokban használt természetes kavicsnál nagyobb SiO_2 tartalma van, 40%-kal kisebb a sűrűsége, és 2-4-szer több nedvességet képes felvenni. Az üveghab-betonokon nyomószilárdságot mértek és a teszt eredményei azt mutatták hogy az üveghab alkalmas lehet könnyűbeton adalékanyagként.

C. Mugoni, M. Montorsi, C. Siligardi, F. Andreola, I. Lancellotti, E. Bernardo, L. Barbieri: Design of glass foams with low environmental impact [12]

A kiégett fénycsövek üveghabként történő újrahasznosítása és kereskedelmi forgalomba hozatala egy érdekes módja lehet az újrahasznosításnak. Ez a projekt ennek a lehetőségeit tárta fel. Amellett, hogy üveg alapanyagként fénycsöveket használtak, a habosítást tojánhéjjal oldották meg helyettesítve ezzel a kalcium-karbonátot. Mindezek mellett megvizsgálták a gyártási hőmérséklet és időtartam hatását a kész termék sűrűségére és szilárdságára. Az eredmények rávilágítottak arra, hogy a tojánhéjjal is el lehet érni ugyanazt a minőségű üveghabot amit jelenleg kalcium-karbonát felhasználásával érnek el.



4. ábra: A fénycsövekkel és tojánhéjjal előállított üveghab (Forrás: [12])

Rasmus R. Petersen, Jakob Königa, Yuanzheng Yue: The viscosity window of the silicate glass foam production [13]

Ennek a kutatásnak a célja az üveghab gyártás hatékonyabbá tétele az optimális viszkozitás elérésével. A viszkozitás talán a legfontosabb paraméter a gyártási folyamat irányítása, és az elért sűrűség szempontjából. A kutatók megpróbálják meghatározni azt a viszkozitási tartományt amellyel a legnagyobb habosodás érhető el. A térfogatnövekedési maximum meg lett határozva különböző üvegtípusoknál (laboratóriumi üveg, E-üveg, CRT panel, szóda-mész üveg) kalcium-karbonátos habosítással. Általában az optimális viszkozitás 10^4 - 10^6 Pa*s között volt.

Ya-NanQu, Zhen-GuoSu, JieXu, Wen-LongHuo, Kui-CunSong, Ya-LiWang, Jin-Long Yang: Preparation of ultra light glass foams via vacuum-assisted foaming [14]

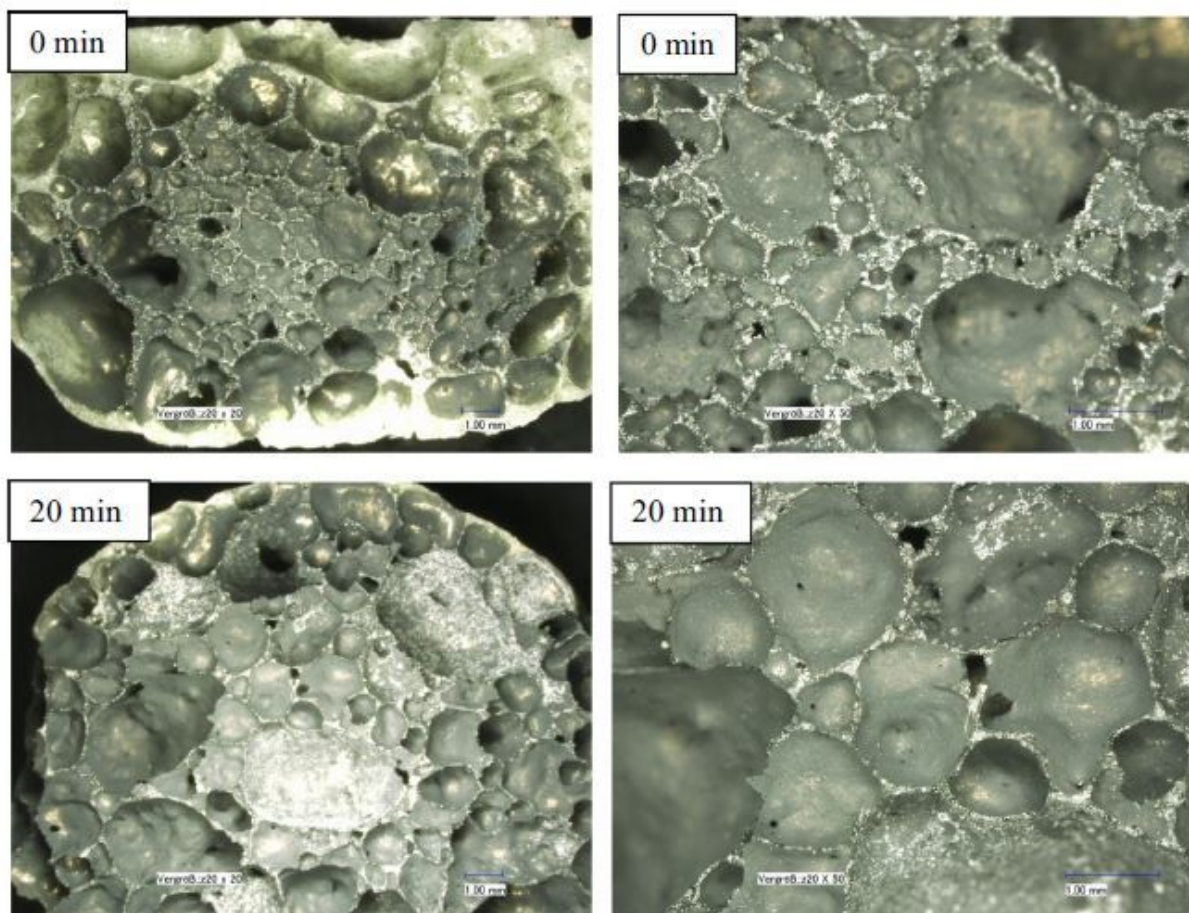
Itt minél könnyebb üveghab gyártására törekednek vákuum segítségével. A gyártás során fennálló vákuum hatását vizsgálták az üveghabra. A porozitás és a pórusnagyság növekedett a nyomás csökkenésével. 30-70 kPa-os vákuum nyomáson az üveghab tulajdonságai a következők lettek:

- sűrűség: 0,081-0,122 g/cm³
- porozitás: 95,2-96,8%
- nyomószilárdság: 0,29-1,18 MPa

Ezek az ultrakönnyű habok potenciális megoldások lehetnek hő- és hangszigetelésként.

Svetlana Volland: Influence of the mechanical activation of raw mixes on the properties of foam glass from sand sludge [15]

Ez a tanulmány azt vizsgálja, hogy miként lehet felhasználni üveghab készítéshez a homokiszapot. A homokiszap a zúzó és szűrőberendezések melléktermékeként keletkezik. Az eredmények azt mutatják hogy lehetséges üveghabot előállítani belőle. 20 perces habosítás után a keletkező anyag sűrűsége 200 kg/m³ a szilárdsága 0,63 MPa, a nedvességfelvétele pedig 1,4%.



5. ábra: Volland által készített mikroszkópos felvételek (Forrás: [15])

4. Az üveghabra vonatkozó mérések

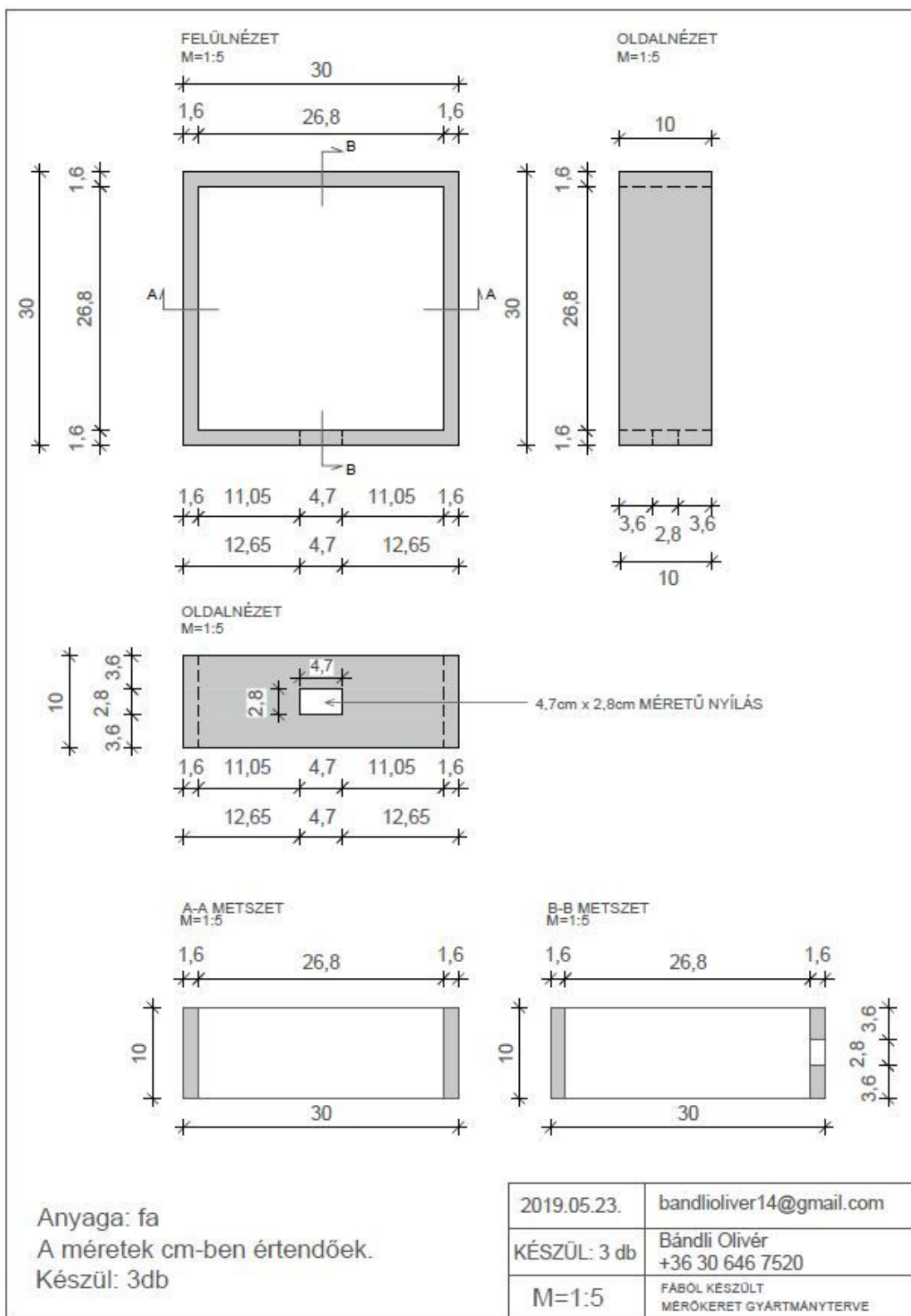
Ahhoz, hogy hő- és nedvességtechnikai vizsgálatokat tudjak végezni, első lépésként meg kellett határoznom az üveghab granulátum hőmérséklet és nedvességtartalom függő hővezetési tényezőjét, mivel ilyen adattal a gyártó nem rendelkezett, ezért adatot sem tudott számomra szolgáltatni.

A méréseket egy Taurus TLP 300 peremvédett segédfűtőlapos hővezetéstényező-mérő berendezés segítségével végeztem el. A kamra méretei megszabták hogy a mérőkeret legfeljebb 30x30 cm kiterjedésű lehet, és legfeljebb 10 cm lehet a magassága.



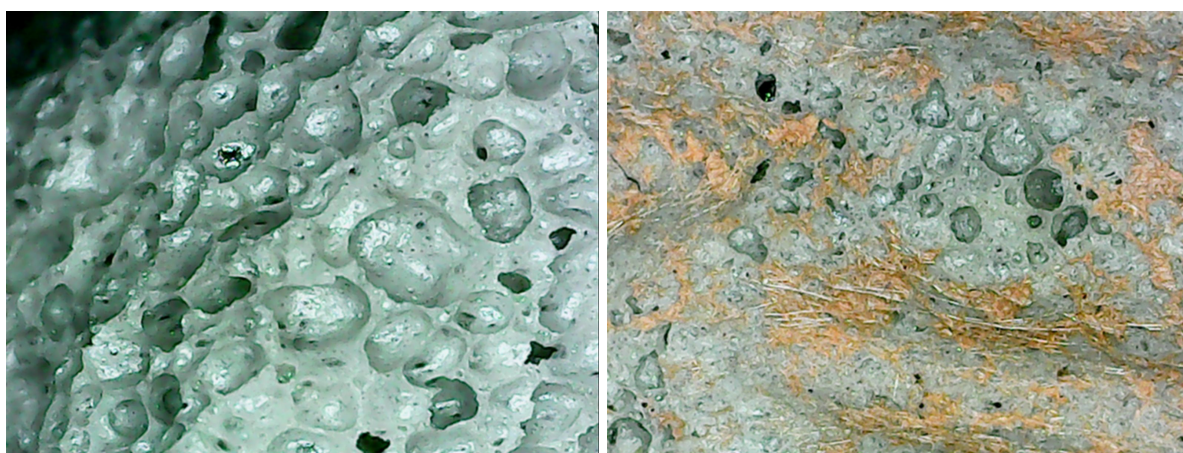
6. ábra: Taurus TLP 300 berendezés, és a keretek fa váza

Ezenkívül a keretnek ki kellett bírnia a minta tömörítésével járó erőhatásokat, mivel az ÉMI által szolgáltatott Nemzeti Műszaki Értékelés alapján a beépített üveghabnak 300 kg/m^3 sűrűségűnek kell lennie ami a minta tömörítésével érhető el. A fentiek miatt a fából készített keretre esett a választásom. Ehhez léceket fűrészelttem fel a kívánt méretre majd csavarokkal erősítettem egymáshoz őket, és minden keretben hagytam egy nyílást a szenzoroknak, melyekkel a mérés során nyomon lehetett követni a hőmérsékletet és a páratartalmat. 3 keret készült, de csak egyet használtam fel közülük, a másik kettő pedig megmaradt tartaléknak. Miután kész lett a keretek fa váza le kellett szigetelni azokat, hogy amikor felöntöm vízzel a mintát, az ne szivároгjon el a keretből. A megmaradt réseket tömítőpasztával töltöttem ki. A gyártás előkészítéseként a következő műszaki tervet készítettem a keretekről.



7. ábra: A mérőkeretek gyártmányterve

Ezután következett az Energocell által szolgáltatott üveghab feldolgozása. A tömörítési próbánál kiderült, hogy az ideális szemcseméret a mérésekhez a 10-16 mm-es szemcseátmérő, viszont a kapott üveghab szemcsemérete ennek többszöröse, akár 60 mm-es is volt. Ezért elvittem az anyagot a Geotechnika és Mérnökgeológia tanszék Mérnökgeológiai laboratóriumába ahol a rendelkezésemre bocsátottak egy kőaprító gépet. Ennek segítségével felaprítottam az üveghabot majd egy rostával osztályoztam azt szemcseméret szerint. Így lett Φ 10-16-os, Φ 16-32-es és Φ 32+ szemcseméretű üveghabom.



8., 9. ábra: Az üveghab mikroszkópos képei 200x-os (balra) és 100x-os (jobbra) nagyításban

Az első mérés sorozatot teljesen kiszáritott anyaggal végeztem el, amihez a szárítás egy 75 °C-os kemencében történt. A mérés végére beállt egy 50%-os páratartalom, így ezt az adatot tekintem mérvadónak. A kamrából kivéve a keretet minden alkalommal vettem 3 mintát amiknek lemértem a tömegét, beraktam a 75 °C-os sütőbe majd utána újra lemérve megtudtam hogy mennyi nedvességet tartalmaznak. A mérések jegyzőkönyvei megtalálhatóak a mellékleti részben. A száraz minta vizsgálatának eredményei a következőképpen alakultak:

1. mérés (10 - 16 száraz - 1)		1-aug.				
Tele keret	3279,4 g	kivételkor:		50%	25,8 °C	
Sütőbe:	5-aug.	7-aug.	9-aug.	13-aug.	14-aug.	w%
Tetejéből [g]:	100,00	100,00	100,00	100,00	99,98	0,02
Közepéből [g]:	100,00	99,94	99,88	99,81	99,81	0,19
Aljából [g]:	100,00	99,99	99,96	99,94	99,93	0,07
					Átlag:	0,09
	°C	W/mK	korrigált W/mK		%	
1.	15	0,09441	0,09094984			
2.	20	0,09846	0,09503803			
3.	25	0,10190	0,09852312			

10. ábra: Az első légszáraz mérés eredményei

2. mérés (10 - 16 száraz - 2)		5-aug.				
Tele keret	3275,2 g	kivételkor:		49%	26,3 °C	
Sütőbe:	7-aug.	9-aug.	14-aug.	14-aug.	19-aug.	w%
Tetejéből [g]:	100,00	99,80	99,70	99,70	99,62	0,38
Közepéből [g]:	100,00	99,88	99,86	99,86	99,85	0,15
Aljából [g]:	100,00	99,81	99,75	99,75	99,75	0,25
					Átlag:	0,26
	°C	W/mK	korrigált W/mK		%	
1.	15	0,09292	0,0894498			
2.	20	0,09759	0,0941584			
3.	25	0,10130	0,0979144			

11. ábra: A második légszáraz mérés eredményei

3. mérés (10 - 16 száraz - 3)		7-aug.				
Tele keret	3289,7 g	kivételkor:		51%	25,1 °C	
Sütőbe:	9-aug.	13-aug.	14-aug.	19-aug.	21-aug.	w%
Tetejéből [g]:	100,00	99,96	99,90	99,86	99,86	0,14
Közepéből [g]:	100,00	99,88	99,83	99,79	99,79	0,21
Aljából [g]:	100,00	99,87	99,79	99,79	99,79	0,21
					Átlag:	0,19
	°C	W/mK	korrigált W/mK		%	
1.	15	0,08608	0,0825915			
2.	20	0,08968	0,0861955			
3.	25	0,09306	0,0895906			

12. ábra: A harmadik légszáraz mérés eredményei

Ezeket a későbbi mérésekkel összevetve megállapítottam hogy a fenti három minta közül csak a harmadiknak lett értelmezhető az eredménye, mivel az első kettő minta hővezetési tényezői a későbbi 78%-os páratartalommal behelyezett minta eredményeire hasonlítottak, így a későbbiekben ezek közül csak a harmadikkal számoltam. A hővezetési tényezők korrekciójára azért volt szükség, mivel a mérőkeretet alulról és felülről is befedtem egy EPDM gumilemezzel, aminek eltérő 0,17 W/mK-es hővezetési tényezője hibát vihet a mért értékbe ezért a következő módon korrigáltam az eredményeket:

$$\lambda_c = \frac{1}{(H / \lambda_0 - h_1 / \lambda_g)} * h_2$$

Ahol:

λ_c : korrigált hővezetési tényező

λ_0 : mért hővezetési tényező

λ_g : gumilemez hővezetési tényezője

H: keret magassága a gumilemezekkel

h_1 : gumilemezek vastagsága

h_2 : keret magassága a gumilemezek nélkül

Például:

$$0,08259 = \frac{1}{(0,1015 / 0,08608 - 0,008 / 0,17)} * 0,0935$$

Ezután jöttek a 78%-os relatív páratartalmú környezetben tárolt minta mérési eredményei, melyeknél a szenzor kivételkor többnyire 60%-os relatív nedvességtartalmat mutatott.

4. mérés (10 - 16 78% - 1)	9-aug.				
Tele keret	3284,8 g		kivételkor:	60%	26,4 °C
Sütőbe:	13-aug.	14-aug.	19-aug.	21-aug.	w%
Tetejéből [g]:	100,00	99,66	99,50	99,50	0,50
Közepéből [g]:	100,00	99,43	99,29	99,29	0,71
Aljából [g]:	100,00	99,42	99,18	99,15	0,85
				Átlag:	0,69
	°C	W/mK	korrigált W/mK		
1.	15	0,09048	0,08699810		
2.	20	0,09575	0,09230070		
3.	25	0,09961	0,09620181		

13. ábra: A 60%-os relatív nedvességtartalmú mérés eredményei

5. mérés (10 - 16 78% - 2)	13-aug.				
Tele keret	3285,5 g		kivételkor:	61%	25,8 °C
Sütőbe:	14-aug.	19-aug.	21-aug.	w%	
Tetejéből [g]:	100,00	99,55	99,54	0,46	
Közepéből [g]:	100,00	99,38	99,38	0,62	
Aljából [g]:	100,00	99,51	99,51	0,49	
			Átlag:	0,52	
	°C	W/mK	korrigált W/mK		
1.	15	0,08943	0,0859448		
2.	20	0,09486	0,0914032		
3.	25	0,09876	0,0953415		

14. ábra: A 61%-os relatív nedvességtartalmú mérés eredményei

6. mérés (10 - 16 78% - 3)	14-aug.				
Tele keret	3288,4 g		kivételkor:	52%	24,7 °C
Sütőbe:	19-aug.	21-aug.	23-aug.	26-aug.	w%
Tetejéből [g]:	100,00	99,84	99,81	99,79	0,21
Közepéből [g]:	100,00	99,74	99,66	99,63	0,37
Aljából [g]:	100,00	99,70	99,69	99,67	0,33
			Átlag:	0,30	
	°C	W/mK	korrigált W/mK		
1.	15	0,09146	0,0879821		
2.	20	0,09665	0,0932089		
3.	25	0,10040	0,0970020		

15. Ábra: Az 52%-os relatív nedvességtartalmú mérés eredményei

Itt minden mérést figyelembe tudtam venni, mivel nagyjából hasonló eredményeket produkáltak, és mivel nagyobb volt a nedvességtartalom, így az eredmények is nagyobbak lettek mint a száraz mérések közül az általam helyesnek ítélt harmadik minta eredményei. Látható hogy itt nagyobb a minták víztartalma, mint az előbb.

A következő sorozathoz az anyagot 99%-os relatív páratartalmú környezetben tároltam, és mérés után kivételkor 75% relatív nedvességtartalom körüli értékeket mutatott a szenzor.

7. mérés (10 - 16 99% - 1)				
	19-aug.			
Tele keret	3280,5 g		kivételkor:	76% 25,9 °C
Sütőbe:	21-aug.	23-aug.	26-aug.	w%
Tetejéből [g]:	100,00	99,51	99,48	0,52
Közepéből [g]:	100,00	99,49	99,49	0,51
Aljából [g]:	100,00	99,27	99,27	0,73
			Átlag:	0,59
	°C	W/mK	korrigált W/mK	
1.	15	0,10970	0,10646876	
2.	20	0,11710	0,11406310	
3.	25	0,12480	0,12202403	

16. ábra: A 76%-os relatív nedvességtartalmú mérés eredményei

8. mérés (10 - 16 99% - 2)				
	21-aug.			
Tele keret	3280,0 g		kivételkor:	75% 25,4 °C
Sütőbe:	23-aug.	26-aug.	28-aug.	w%
Tetejéből [g]:	100,00	99,52	99,49	0,51
Közepéből [g]:	100,00	99,68	99,68	0,32
Aljából [g]:	100,00	99,64	99,63	0,37
			Átlag:	0,40
	°C	W/mK	korrigált W/mK	
1.	15	0,10890	0,1056510	
2.	20	0,11460	0,1114912	
3.	25	0,11580	0,1127249	

17. ábra: A 75%-os relatív nedvességtartalmú mérés eredményei

9. mérés (10 - 16 99% - 3)				
	23-aug.			
Tele keret	3280,0 g		kivételkor:	75% 25,6 °C
Sütőbe:	26-aug.	28-aug.	29-aug.	w%
Tetejéből [g]:	100,00	99,64	99,64	0,36
Közepéből [g]:	100,00	99,70	99,70	0,30
Aljából [g]:	100,00	99,73	99,73	0,27
			Átlag:	0,31
	°C	W/mK	korrigált W/mK	
1.	15	0,10900	0,1057532	
2.	20	0,11560	0,1125192	
3.	25	0,11660	0,1135482	

18. ábra: A 75%-os relatív nedvességtartalmú mérés eredményei

Ezek alapján már látszott, hogy a nedvességtartalom jelentős mértékben befolyásolja az üveghab hővezetési képességét.

A végre maradtak a teljesen eláztatott minták, ezzel lemodellezve egy talajvízben lévő üveghabos szigetelés viselkedését.

10. mérés (10 - 16 eláztatott - 1)		3-szept.			
Tele keret	5538,8 g	kivételkor:		99%	24,0 °C
Sütőbe:	5-szept.	9-szept.	12-szept.	w%	
Tetejéből [g]:	100,00	69,83	69,81	30,19	
Közepéből [g]:	100,00	69,84	69,83	30,17	
Aljából [g]:	100,00	74,13	74,11	25,89	
		Átlag:			28,75
	°C	W/mK	korrigált W/mK		
1.	15	0,24710	0,25707573		
2.	20	0,25830	0,27031316		
3.	25	0,27250	0,28732255		

19. ábra: Az első eláztatott mérés eredményei

11. mérés (10 - 16 eláztatott - 2)		5-szept.			
Tele keret	5538,3 g	kivételkor:		99%	24,1 °C
Sütőbe:	9-szept.	12-szept.	16-szept.	w%	
Tetejéből [g]:	100,00	72,43	72,43	27,57	
Közepéből [g]:	100,00	64,45	64,45	35,55	
Aljából [g]:	100,00	63,39	63,39	36,61	
		Átlag:			33,24
	°C	W/mK	korrigált W/mK		
1.	15	0,24720	0,2571932		
2.	20	0,25880	0,2709077		
3.	25	0,27050	0,2849113		

20. ábra: A második eláztatott mérés eredményei

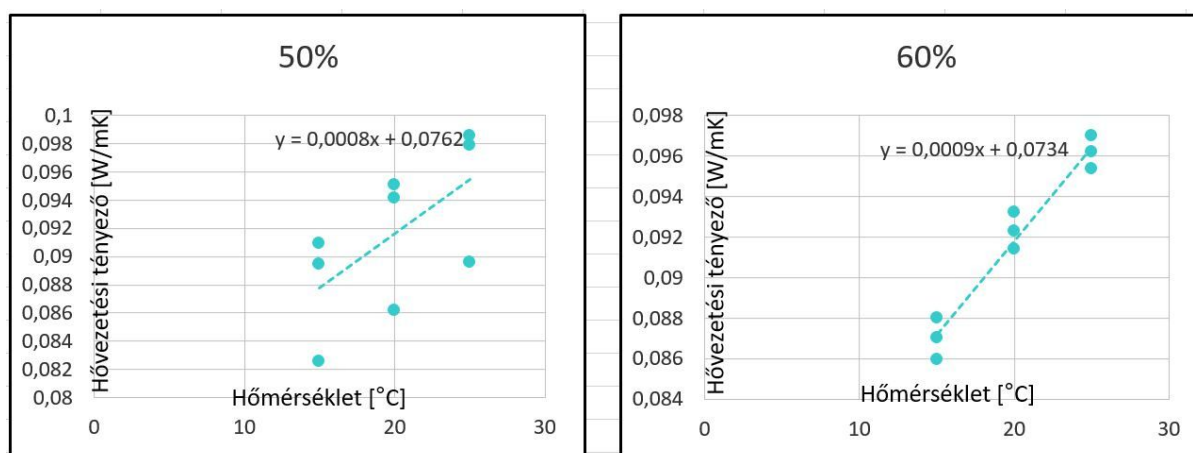
12. mérés (10 - 16 eláztatott - 3)		9-szept.						
Tele keret	5541,2 g		kivételkor:	99%	23,3 °C			
Sütőbe:	12-szept.	16-szept.	23-szept.	w%				
Tetejéből [g]:	100,00	72,22	72,06	27,94				
Közepéből [g]:	100,00	66,53	66,46	33,54				
Aljából [g]:	100,00	59,09	59,04	40,96				
			Átlag:	34,15				
	°C	W/mK	korigált W/mK					
1.	15	0,23930	0,2479481					
2.	20	0,25320	0,2642660					
3.	25	0,26400	0,2771102					

21. ábra: A harmadik eláztatott mérés eredményei

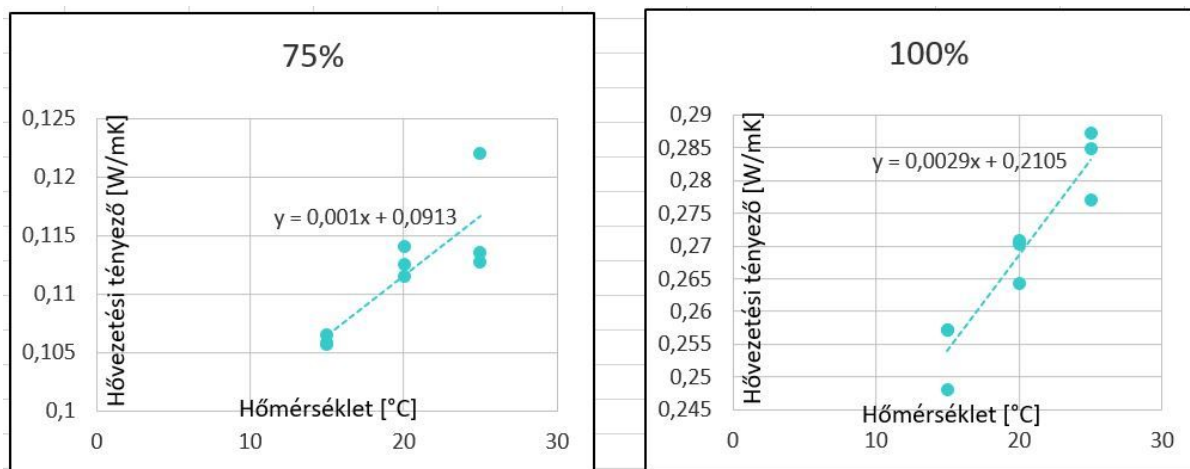
Látható, hogy a víz hatására jelentős mértékben megnöttek a hővezetési tényezők.

Így, hogy elkészültem a szükséges mérésekkel, nekiállhattam egy közelítő képlet megalkotására, amely a hőmérséklet és a nedvességtartalom függvényében meghatározza az üveghab granulátum hővezetési tényezőjét.

Első lépésként grafikonon ábrázoltam a mérési eredményeimet, es a grafikonokra lineáris trendvonalakat illesztettem, amik egyenletét leolvassva számoltam tovább. Itt a vízszintes tengelyen a hőmérséklet látható, a függőlegesen pedig a hővezetési tényező.

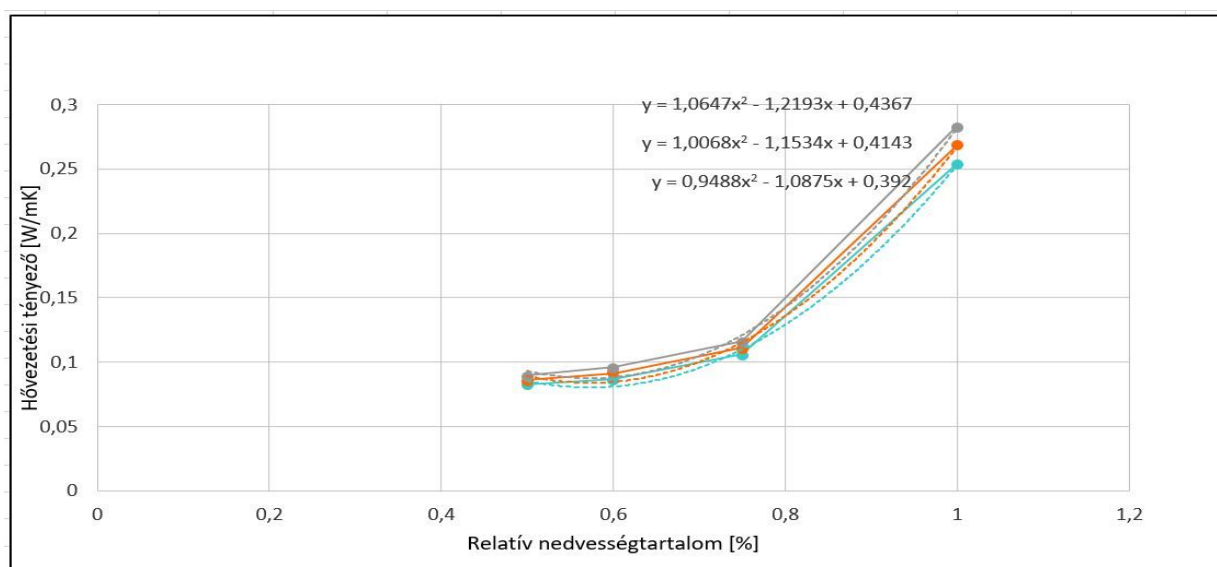


22. ábra: Az 50% és 60%-os nedvességtartalmú üveghabok hővezetési tényezőjének változása a hőmérséklet függvényében



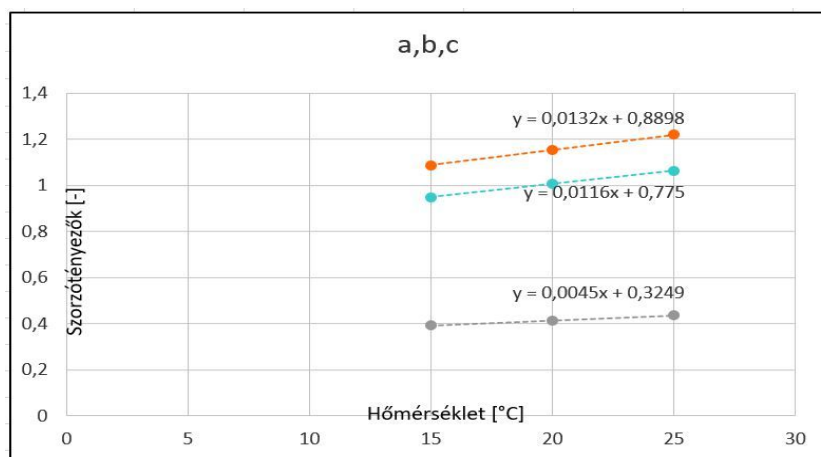
23. ábra: A 75% és ~100% nedvességtartalmú üveghabok hővezetési tényezőjének változása a hőmérséklet függvényében

Ezen egyenletek segítségével készítettem egy újabb grafikont amelyen izotermákkal tudtam ábrázolni a hővezetési tényező változását a nedvességtartalom függvényében. Itt a vízszintes tengely a relatív nedvességtartalmat jelöli, a függőleges pedig ismét a hővezetési tényezőt.



24. ábra: A hővezetési tényezők változása

Amint látható, itt is trendvonalakat alkalmaztam az analízishez. Ezután az ezen trendvonalak egyenletében található tagok szorzótényezőinek változását ábrázoltam és közelítettem lineárisan, amely újabb trendvonalakat szült, melyek egyenleteit felhasználva már össze tudtam rakni a szükséges képletet.



25. ábra: A különböző rendű tagok szorzótényezőinek változása

Itt a vízszintes tengely a hőmérsékletet jelöli, a függőleges pedig a különböző rendű tagokhoz tartozó szorzótényezőket. Így a kapott képlet a következő lett:

$$\lambda b = (0,0116T + 0,775)RH^2 - (0,0132T + 0,8898)RH + (0,0045T + 0,3249)$$

Ahol:

T: hőmérséklet

RH: relatív nedvességtartalom

λb : Bándli-féle hővezetési tényező

A képlet segítségével a következő módon alakultak a hővezetési tényezők a különböző körülmények között:

	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C
50%	0,0738	0,0818	0,0898	0,0978	0,1058	0,1138
75%	0,0935	0,1047	0,1160	0,1272	0,1385	0,1497
100%	0,2101	0,2391	0,2681	0,2971	0,3261	0,3551

26. ábra: A hővezetési tényezők az egyes esetekben [W/mK]

Ezt a képletet felhasználva továbbléphettem, hogy különböző épületszerkezeti csomópontokat végeelemes-higrotermikus programmal leszimulálva összehasonlíthassam az üveghab hőszigetelő képességét az általánosan elterjedt XPS hőszigetelés képességével.

5. Csomóponti szimulációk:

A dolgozatomhoz szükséges vizsgálandó minta csomópontokat az Energocell weboldaláról vettem [16]. Ezeken a gyártó bemutatja, hogy a különböző esetekben hogyan kell alkalmazni az üveghab granulátum szigetelést. Összesen hat csomópontot vizsgáltam először leszimuláltam őket, majd ezután a modellekben az üveghabot kicseréltem azzal hővezetési szempontból egyenértékű vastagságú XPS hőszigetelésre. A kétféle megoldás szimulációját az alább látható módon hasonlítottam össze. A szimulációk elkészítéséhez a Comsol Multiphysics szoftvert [17] használtam, melyen kapcsolt hő és nedvességtranszport modellezést végeztem az MSZ EN 15026 szabvány [18] alapján. A szükséges hő és nedvességtartalom-függő anyagmodellekkel figyelembe vett anyagtulajdonságok közül a hőszigetelő anyagokra vonatkozókat az MSZ EN ISO 10456 szabványból [19] szereztem, a többi anyagra vonatkozókat pedig a WUFI 6 Pro szoftverből [20].

A figyelembe vett peremfeltételek a következők voltak:

- **Külső környezet:**

RH (relatív páratartalom)= 0,9

Sd (páradiffúziós egyenértékű légréteg vastagság)= 0,0016 m

T (hőmérséklet)= 4°C

Hs (hőátadási tényező)= 25 W/m²K

v (szélsebesség)= 4 m/s

- **Belső környezet, felfelé irányuló hő- és nedvességáramlás:**

RH= 0,65

Sd= 0,004 m

T= 20°C

Hs= 10 W/m²K

- **Belső környezet, horizontális irányú hő- és nedvességáramlás:**

RH= 0,65

Sd= 0,008 m

T= 20°C

Hs= 7,7 W/m²K

- **Belső környezet, lefelé irányuló hő- és nedvességáramlás:**

RH= 0,65

Sd= 0,003 m

T= 20°C

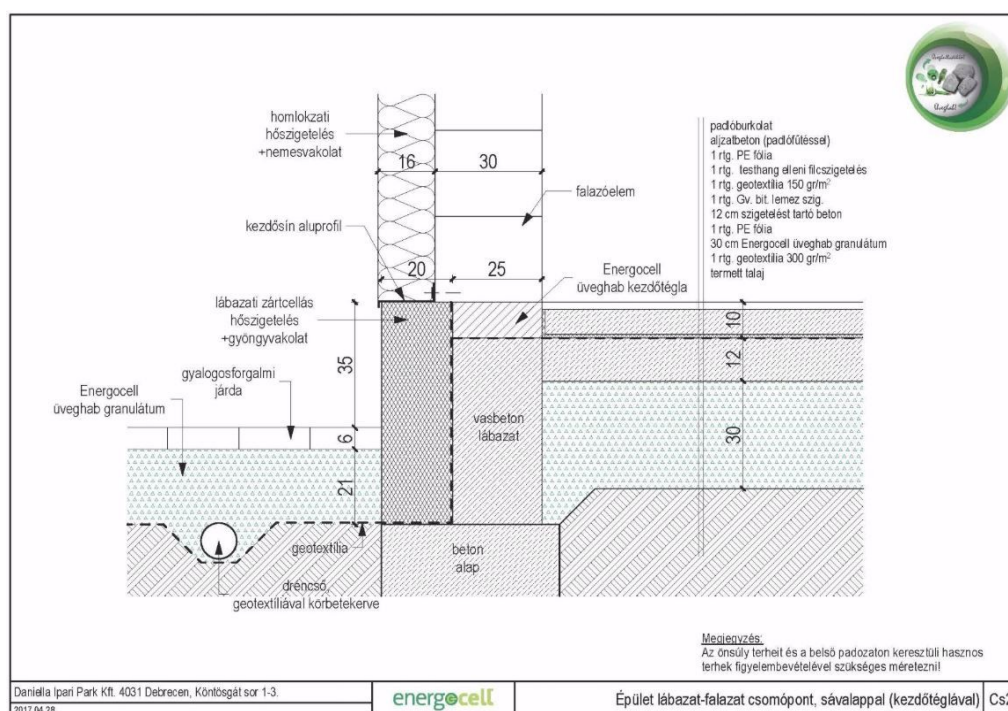
Hs= 5,9 W/m²K

- **Talaj 20 m mélységben:**

RH= 0,8

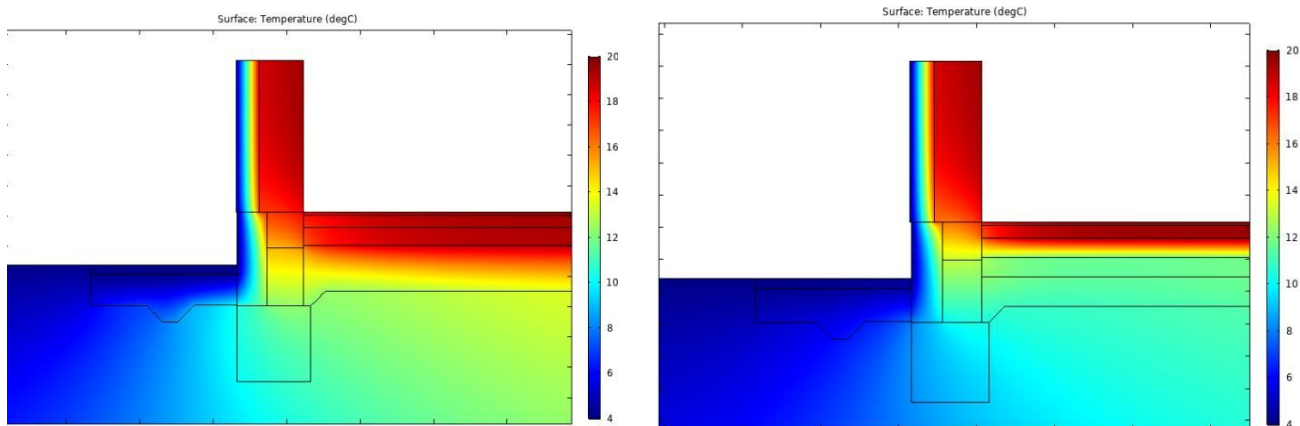
T= 10°C

5.1 Épületlábazati és falazati csomópont sávalappal:

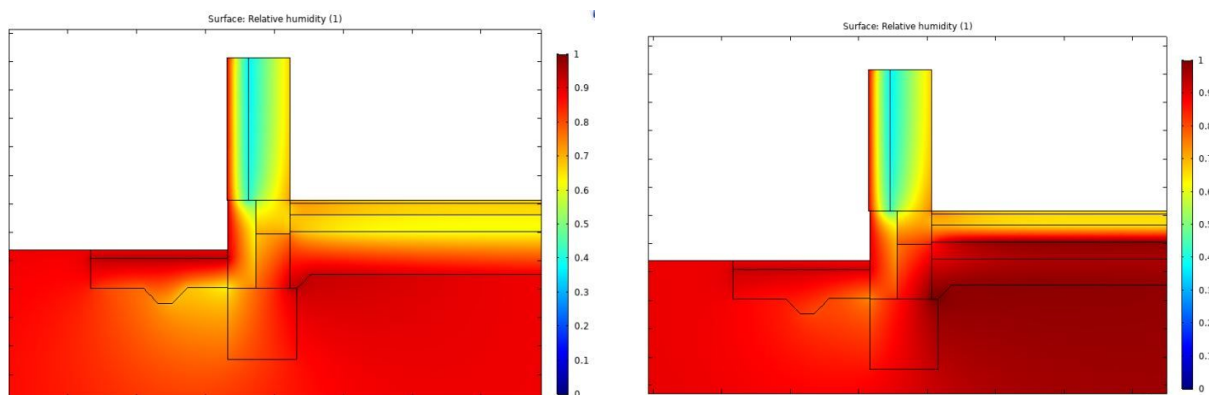


27. ábra: Az EnergoCell sávalapos csomópontja (Forrás: [16])

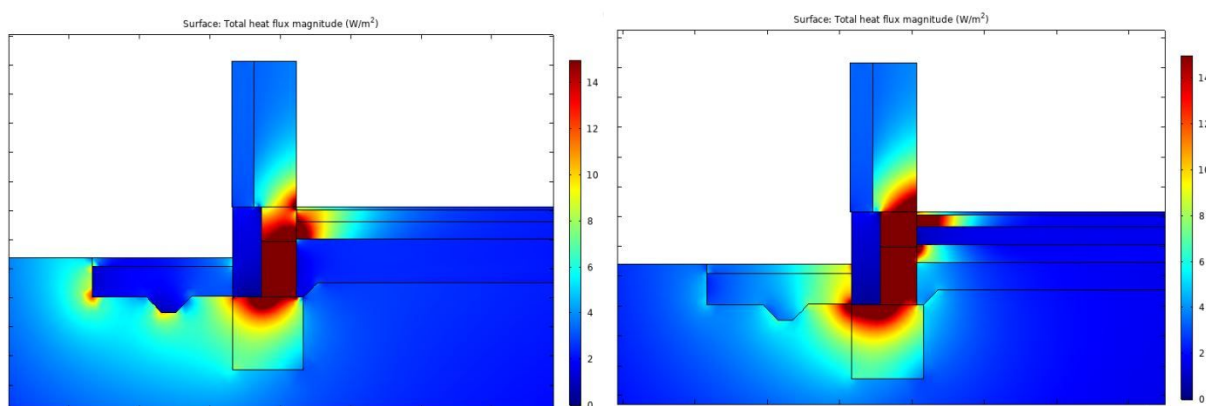
Annyi változtatást eszközöltem a szimulációkban, hogy a csomóponti rajzokon látható üveghab kezdőtégltát kicseréltem kerámia kezdőtégllára, mivel legjobb tudomásom szerint jelenleg üveghab kezdőtégltát még nem forgalmaz az EnergoCell.



28. ábra: Az üveghabos lábázat hőmérséklet eloszlása (balra) és az XPS-es lábázat hőmérséklet eloszlása (jobbra)



29. ábra: Az üveghabos lábázat relatív nedvességtartalom eloszlása (balra) és az XPS-es lábázat relatív nedvességtartalom eloszlása (jobbra)



30. ábra: Az üveghabos lábázatban keletkező hőhíd (balra) és az XPS-es lábázatban keletkező hőhíd (jobbra)

Itt az üveghabos megoldás átlagos hőátbocsátási tényezője 0,180 W/m²K lett, míg az XPS-esé 0,137 W/m²K, ami azt jelenti, hogy az üveghabos megoldás esetén 9%-kal nagyobb hőveszteség alakul ki állandósult állapotban a vizsgált peremfeltételek mellett, ezért itt vastagabb üveghabréteg alkalmazását javaslom. Minden esetben megállapítottam az adott csomópont minimum belső felületi hőmérsékletét is, amiből aztán saját léptékben mért belső felületi hőmérsékletet számoltam az MSZ EN ISO 10211 szabvány alapján [21]:

$$F_{Rsi} = \frac{T_s^{min} - T_{külső}}{T_{belső} - T_{külső}}$$

Ahol:

F_{Rsi} : saját léptékben mért belső felületi hőmérséklet

T_s^{min} : a szimulációban megkapott minimum belső felületi hőmérséklet

$T_{külső}$: a kinti hőmérséklet

$T_{belső}$: a benti hőmérséklet

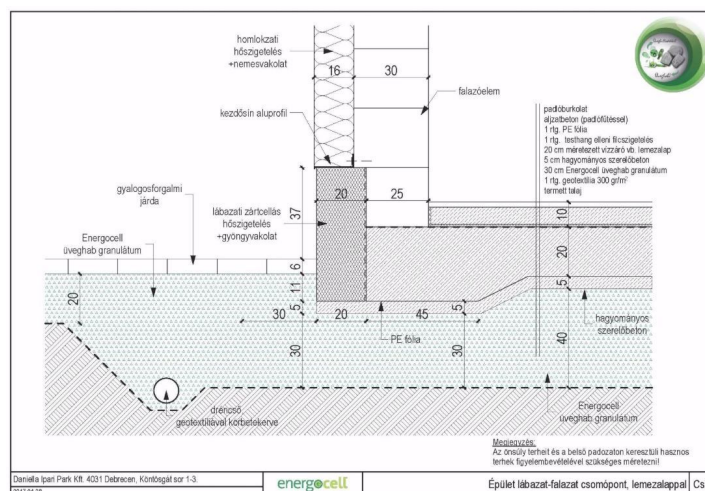
Az üveghabos lábazatnál ez a következő lett: $T_s^{min} = 18,061 \text{ °C}$ $F_{Rsi} = 0,8788$

Az XPS-nél: $T_s^{min} = 17,447 \text{ °C}$ $F_{Rsi} = 0,8404$

Ha az F_{Rsi} értéke 0,85 felett van, akkor nagy biztonsággal elkerüljük a felületi páralecsapódást. 0,65 alatti érték esetén viszont elég valószínű, hogy páralecsapódás lesz. Így ebből a szempontból az itt üveghabos megoldás a komfortosabb és biztonságosabb.

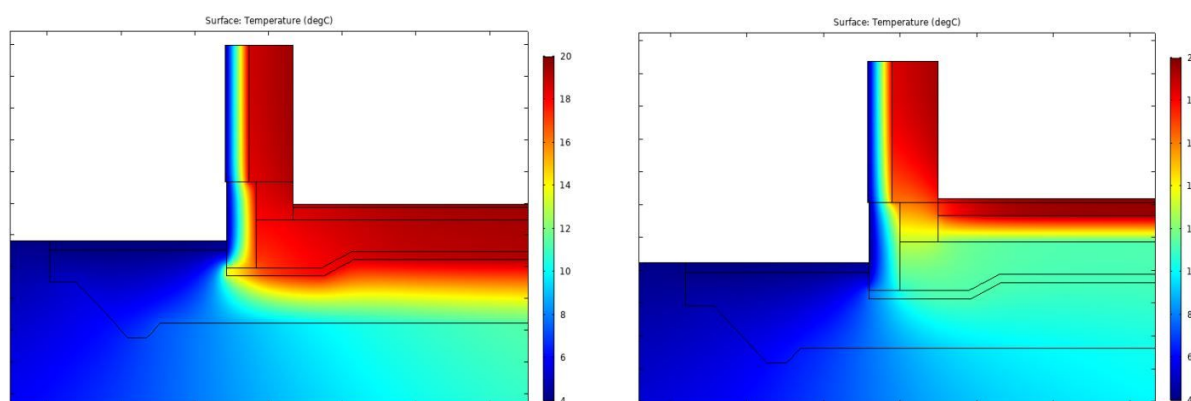
5.2 Épületlábazati és falazati csomópont lemezalappal:

Megvizsgáltam egy hasonló lábazati csomópontot is annyi különbséggel, hogy jelen esetben sávalap helyett lemezalapot alkalmazunk.

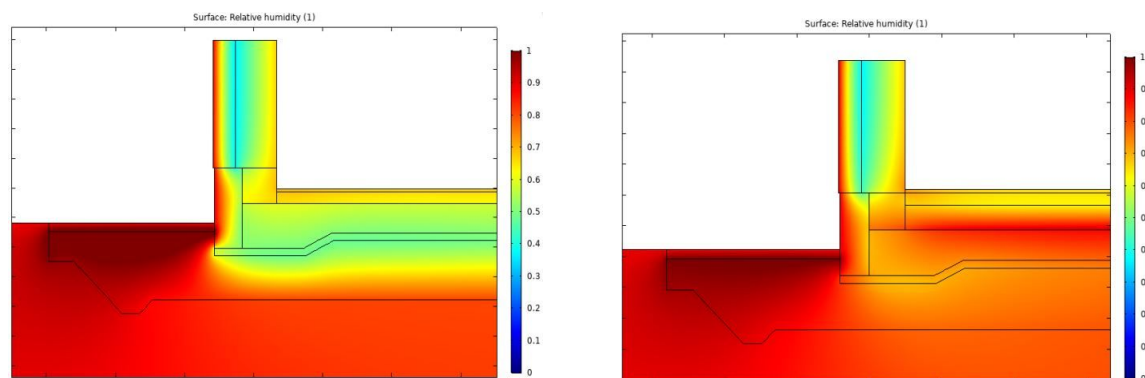


31. ábra: Az Energocell lemezalapos csomópontja (Forrás: [16])

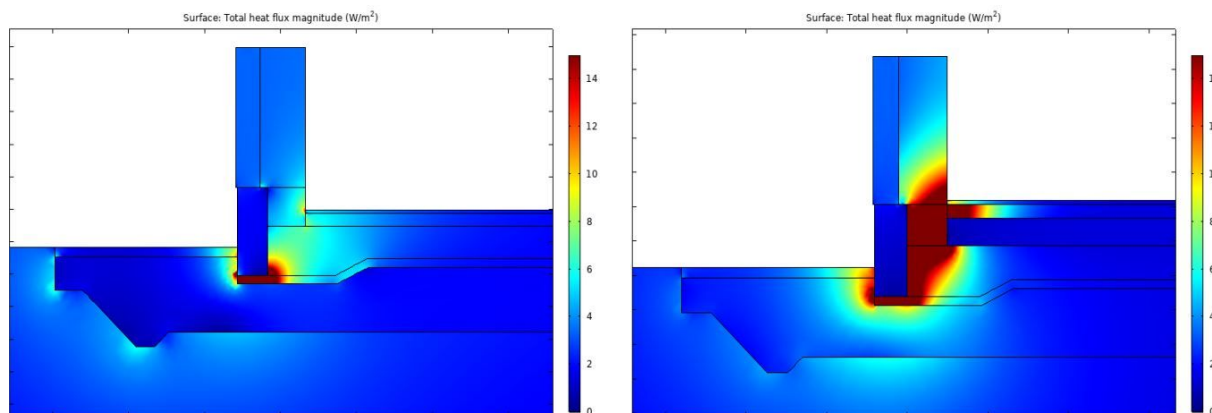
Itt az eredmények a következőképp alakultak:



32. ábra: Az üveghabos lábázat hőmérséklet eloszlása (balra) és az XPS-es lábázat hőmérséklet eloszlása (jobbra)



33. ábra: Az üveghabos lábázat relatív nedvességtartalom eloszlása (balra) és az XPS-es lábázat relatív nedvességtartalom eloszlása (jobbra)



34. ábra: Az üveghabos lábázatban keletkező hőhíd (balra) és az XPS-es lábázatban keletkező hőhíd (jobbra)

Itt az üveghabos megoldás átlagos hőátbocsátási tényezője $0,143 \text{ W/m}^2\text{K}$ lett, míg az XPS-esé $0,116 \text{ W/m}^2\text{K}$, ami azt jelenti, hogy az üveghabos megoldás esetén 23%-kal nagyobb hőveszteség alakul ki állandósult állapotban a vizsgált peremfeltételek mellett, ezért itt vastagabb üveghabréteg alkalmazását javaslom. Mindezek mellett viszont az látható a 34. ábra alapján, hogy az üveghabos csomópont esetén a lábazati fal csatlakozásnál kisebb vonalmenti hőhídhatás alakul ki, mint XPS hőszigetelés alkalmazása esetén. A belső felületi hőmérsékletek a következők lettek:

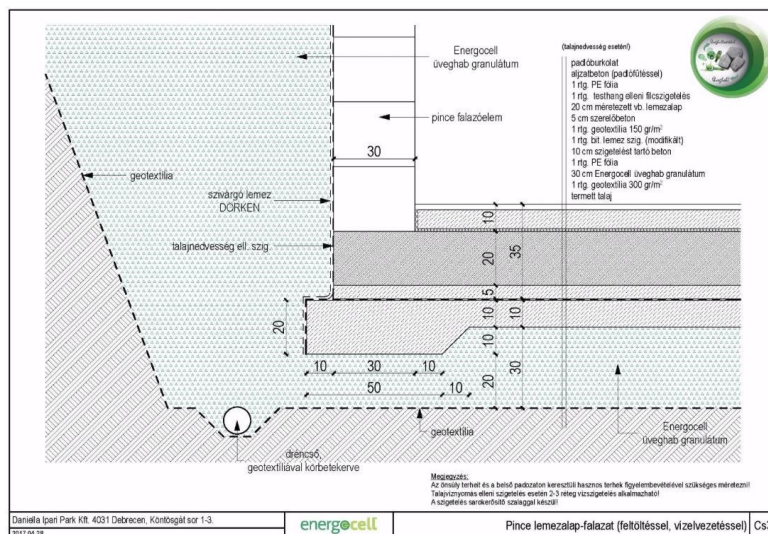
Üveghabos: $T_s^{\min} = 18,841 \text{ }^\circ\text{C}$ $F_{Rsi} = 0,927$

XPS-es: $T_s^{\min} = 17,601 \text{ }^\circ\text{C}$ $F_{Rsi} = 0,850$

Itt is komfortosabbnak és állagvédelmi szempontból kedvezőbbnek látszik az üveghabos megoldás.

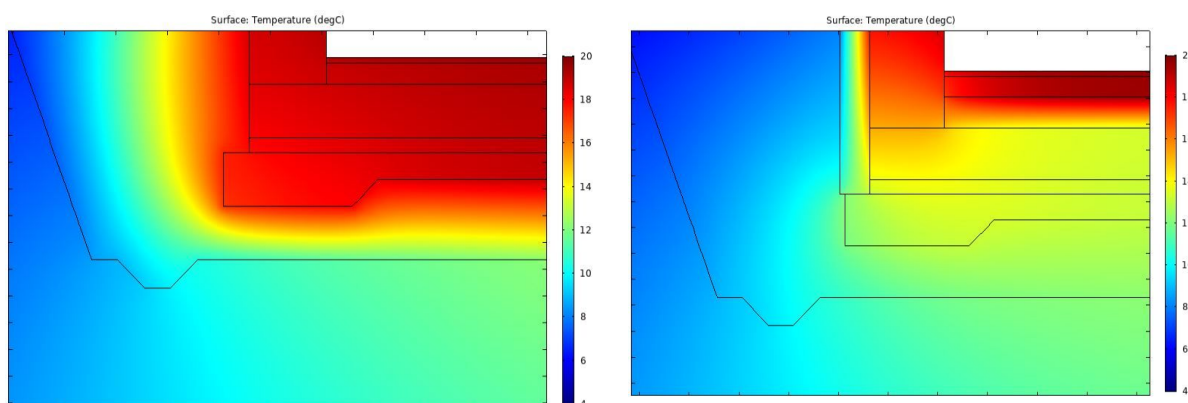
5.3 Pince lemezalapja és falazata:

Utolsó lakóházaknál alkalmazott lábazati csomópontként egy pincét vizsgáltam. Az Energocell a következő megoldást adta erre a feladatra:

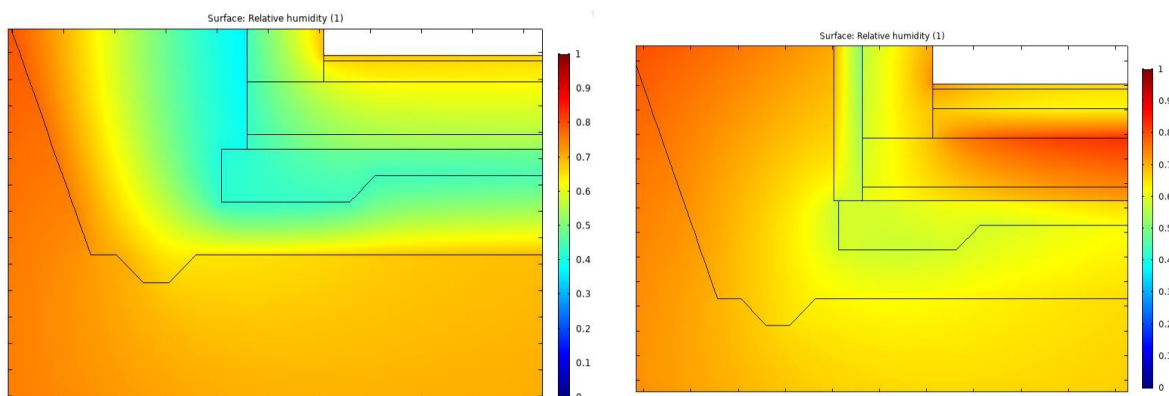


35. ábra: Az EnergoCell pince csomópontja (Forrás: [16])

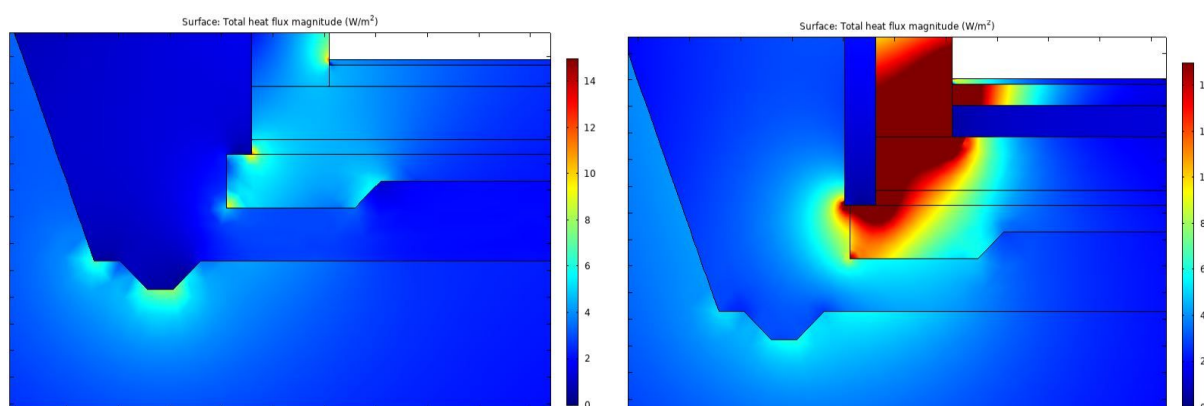
A szimulációk eredményei pedig a következőképpen alakultak:



36. ábra: Az üveghabos lábázat hőmérséklet eloszlása (balra) és az XPS-es lábázat hőmérséklet eloszlása (jobbra)



37. ábra: Az üveghabos lábázat relatív nedvességtartalom eloszlása (balra) és az XPS-es lábázat relatív nedvességtartalom eloszlása (jobbra)



38. ábra: Az üveghabos lábazatban keletkező hőhíd (balra) és az XPS-es lábazatban keletkező hőhíd (jobbra)

Itt az üveghabos megoldás átlagos hőátbocsátási tényezője $0,136 \text{ W/m}^2\text{K}$ lett, míg az XPS-esé $0,113 \text{ W/m}^2\text{K}$, ami azt jelenti, hogy az üveghabos megoldás esetén 20%-kal nagyobb hőveszteség alakul ki állandósult állapotban a vizsgált peremfeltételek mellett, ezért itt szintén vastagabb üveghabréteg alkalmazását javaslom. Az ezt megelőző csomóponthoz hasonlóan itt is megfigyelhető, hogy a vonalmenti hőhíd az üveghab esetén kisebb.

Belső felületi hőmérsékletek:

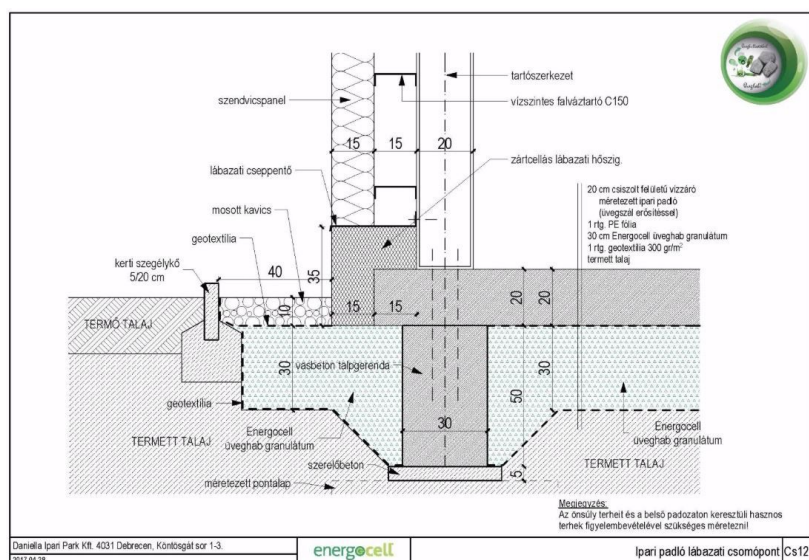
Üveghabos: $T_s^{\min} = 19,56 \text{ }^\circ\text{C}$ $F_{\text{Rsi}} = 0,973$

XPS-es: $T_s^{\min} = 18,99 \text{ }^\circ\text{C}$ $F_{\text{Rsi}} = 0,937$

Itt is kielégítő értékeket kaptunk, mivel mindkettő nagyobb $0,85$ -nél, ezért csekély a páralecsapódás esélye. Az üveghabos komfortosabb és állagvédelmileg is jobb megoldás.

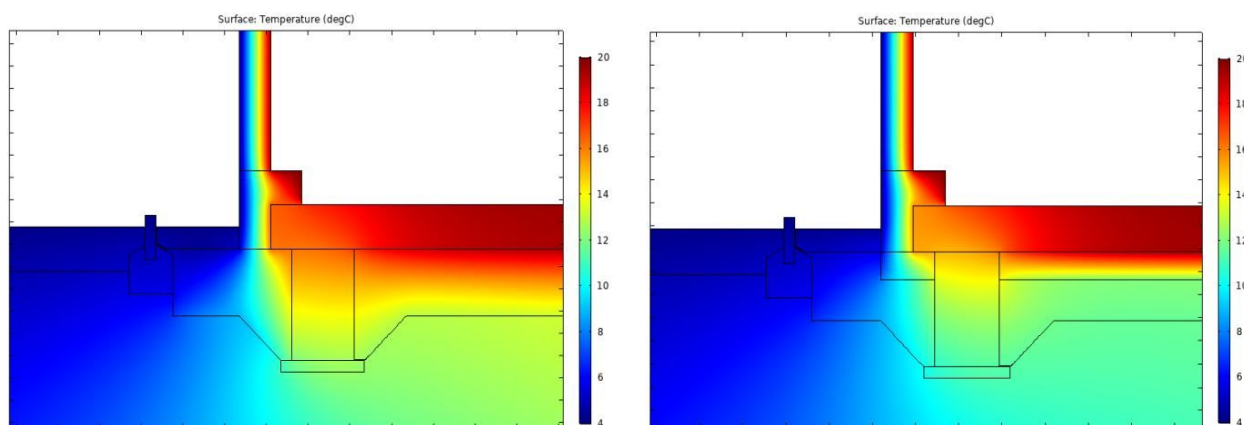
5.4 Ipari padló lábazat:

Ipari padlók alatt is előnyös lehet az üveghab granulátum. A következő szimulációban ezt a lehetőséget vizsgáltam.

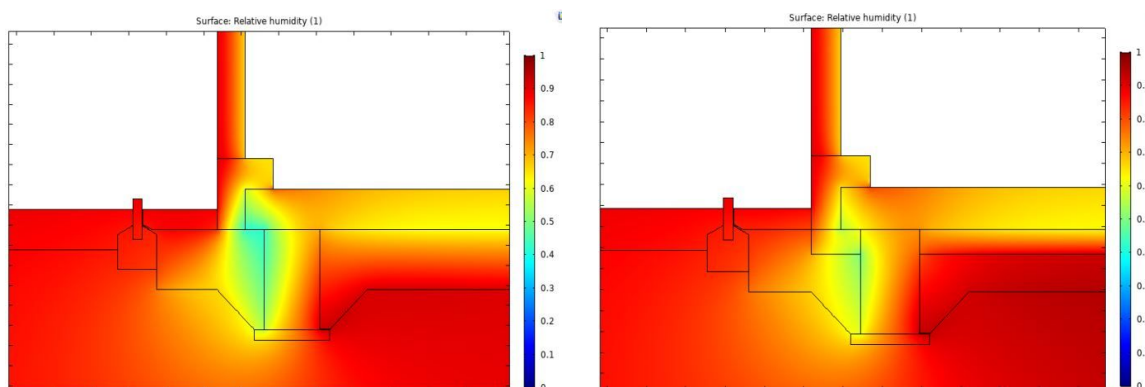


39. ábra: Az EnergoCell ipari padlós csomópontja (Forrás: [16])

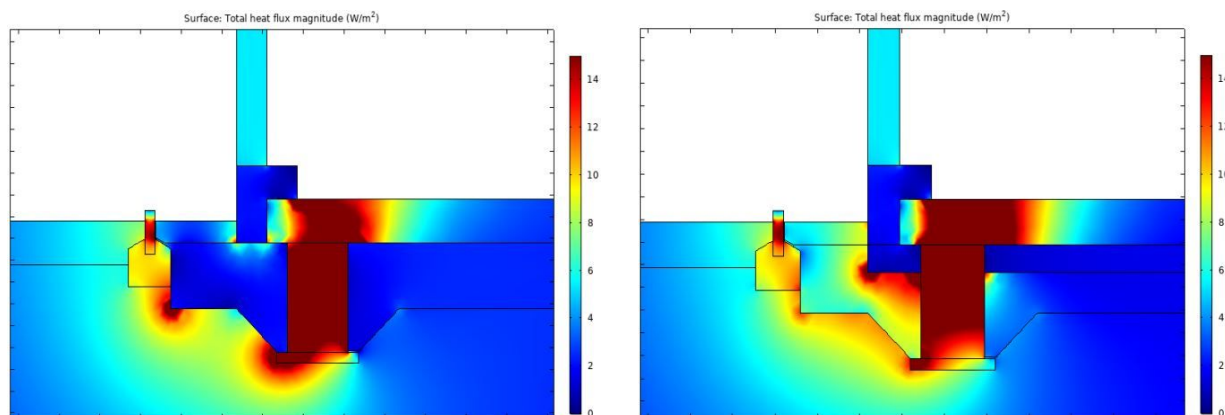
A szimuláció eredményei a következők lettek:



40. ábra: Az üveghabos lábazat hőmérséklet eloszlása (balra) és az XPS-es lábazat hőmérséklet eloszlása (jobbra)



41. ábra: Az üveghabos lábazat relatív nedvességtartalom eloszlása (balra) és az XPS-es lábazat relatív nedvességtartalom eloszlása (jobbra)



42. ábra: Az üveghabos lábázatban keletkező hőhíd (balra) és az XPS-es lábázatban keletkező hőhíd (jobbra)

Itt az üveghabos megoldás átlagos hőátbocsátási tényezője $0,220 \text{ W/m}^2\text{K}$ lett, míg az XPS-esé $0,210 \text{ W/m}^2\text{K}$, ami azt jelenti, hogy az üveghabos megoldás esetén mindössze 4%-kal nagyobb hővesztés alakul ki állandósult állapotban a vizsgált peremfeltételek mellett, ami egészen kis különbséget jelent.

Belső felületi hőmérsékletek:

Üveghabos: $T_s^{\min} = 17,18 \text{ °C}$ $F_{Rsi} = 0,824$

XPS-es: $T_s^{\min} = 16,45 \text{ °C}$ $F_{Rsi} = 0,778$

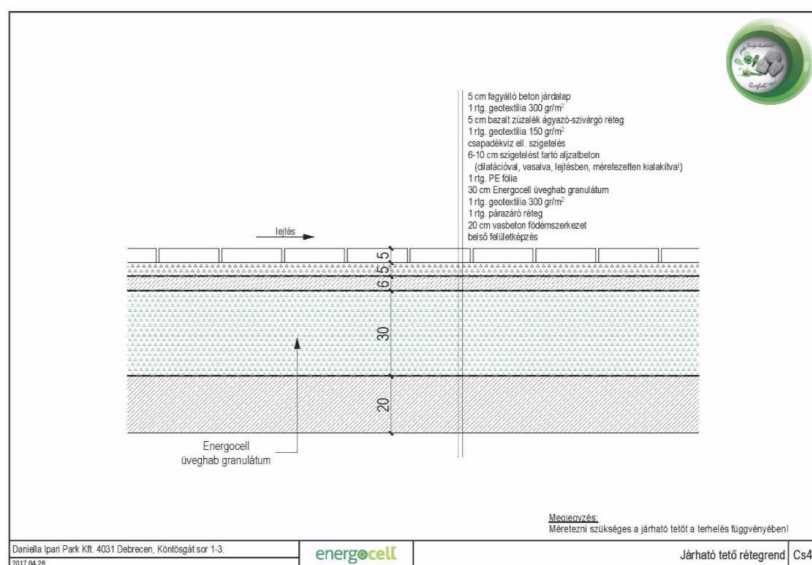
Szigorúan véve egyik megoldás sem közelíti meg az elvárt 0,85-ös sajátléptékben mért belső felületi hőmérsékletet, azonban kijelenthető, hogy az üveghabos megoldás komfortosabb és állagvédelmileg jobb megoldást nyújt ez esetben is.

Azt is meg kell jegyeznünk, hogy ennél a példánál a pontalagnál keletkező jelentős hőhíd lerontja mind az üveghab, mind az XPS eredményeit.

Nem csak lábazati csomópontokat vizsgáltam, a továbbiakban két lapostető rétegrendjét vizsgálom. Az egyik egy járható lapostető, a másik pedig egy zöldtető. Ezekhez szintén az Energocell által ajánlott mintákat használtam.

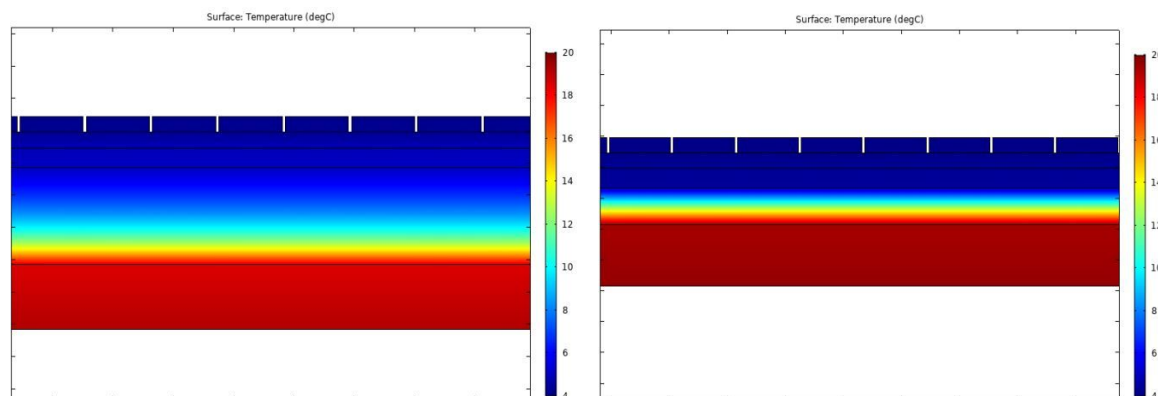
5.5 Járható tető:

Az üveghab granulátum gond nélkül alkalmazható tetőszigetelésként is, a gyártó az alábbi megoldást ajánlja egy járható tető rétegrendjeként.

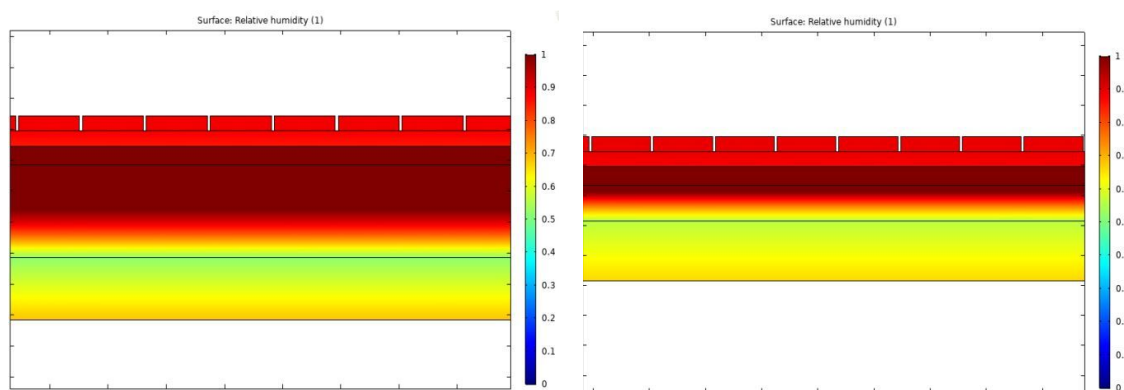


43. ábra: Az Energozell járható tetős rétegrendje (Forrás: [16])

A szimulációk a következő módon alakultak:



44. ábra: Az üveghabos tető hőmérséklet eloszlása (balra) és az XPS-es tető hőmérséklet eloszlása (jobbra)



45. ábra: Az üveghabos tető relatív nedvességtartalom eloszlása (balra) és az XPS-es lábazat tető nedvességtartalom eloszlása (jobbra)

Itt az üveghabos megoldás átlagos hőátbocsátási tényezője $0,485 \text{ W/m}^2\text{K}$ lett, míg az XPS-esé $0,202 \text{ W/m}^2\text{K}$. Mindkettő nagyobb, mint a lapostetőknél elvárt $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$. Az üveghabos megoldás esetén 140%-kal nagyobb hőveszteség alakul ki állandósult állapotban a vizsgált peremfeltételek mellett, mivel ha sok a nedvesség, akkor mindkettő anyag veszít a hőszigetelő képességéből, de az üveghab itt nagyon nagy mértékben. Ezért az üveghab réteg alkalmazását csak kiegészítő, nedvességre kevésbé érzékeny hőszigeteléssel együtt javaslom.

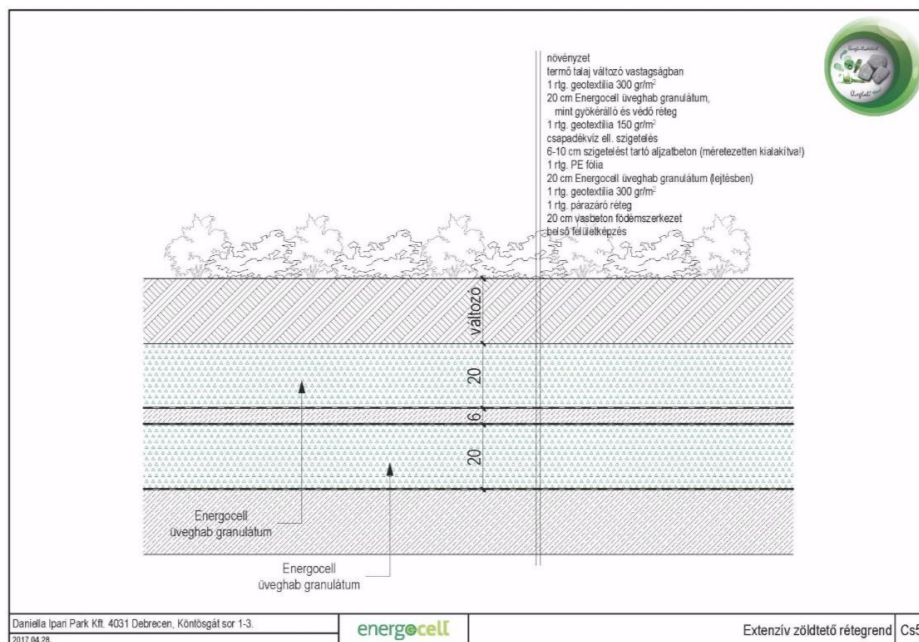
Belső felületi hőmérsékletek:

Üveghabos: $T_s^{\min} = 19,22 \text{ °C}$ $F_{Rsi} = 0,889$

XPS-es: $T_s^{\min} = 19,68 \text{ °C}$ $F_{Rsi} = 0,918$

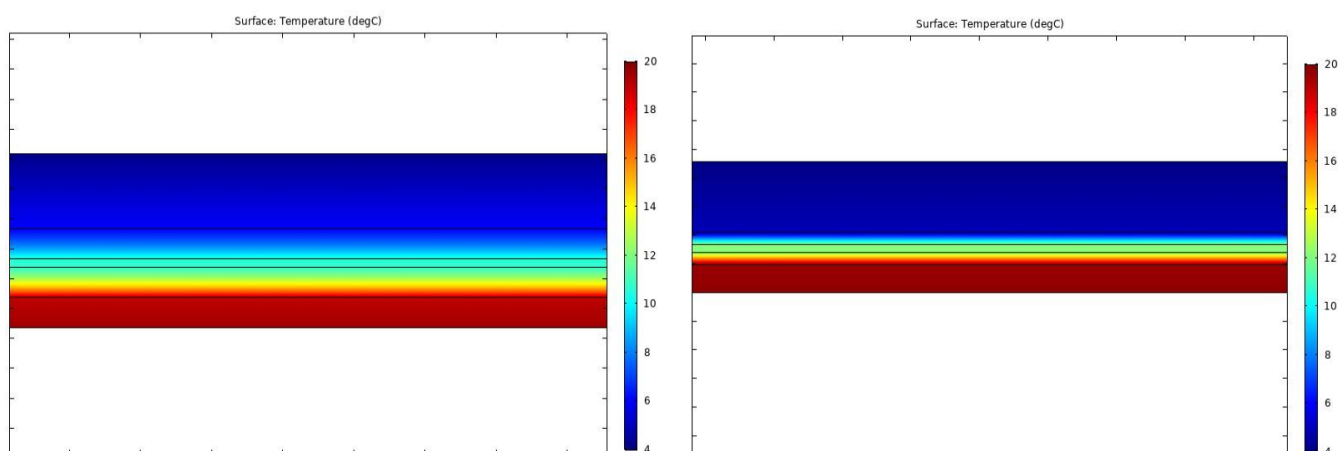
Állagvédelmi szempontból mindkettő megfelelő, azonban ebben az esetben az XPS komfortosabb megoldásnak bizonyult.

5.6 Extenzív zöldtető:

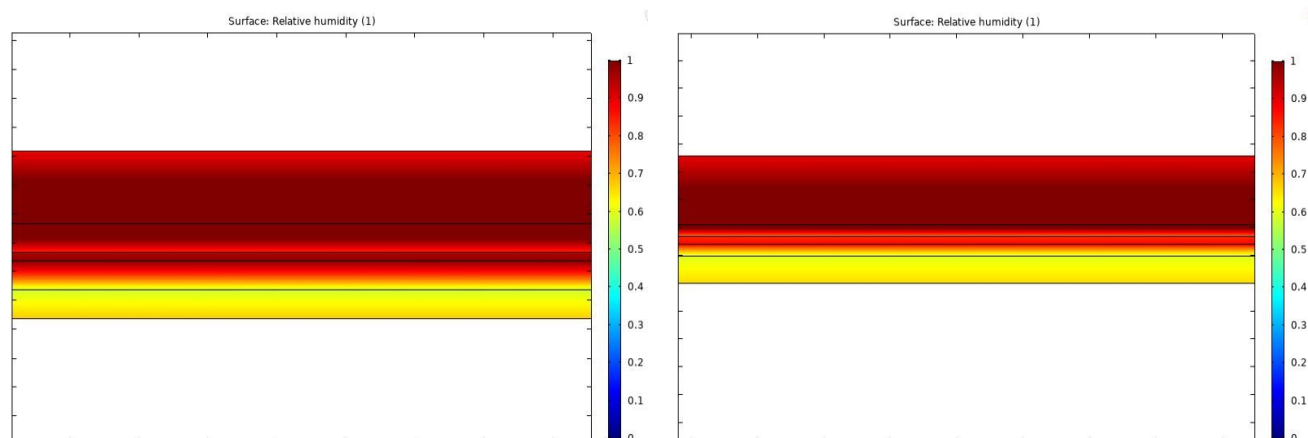


46. ábra: Az EnergoCell csomópontja zöldtetőre (Forrás: [16])

Ez az utolsó eset amit vizsgáltam, látható a rétegrendben, hogy a gyártó itt két 20 cm-es réteg üveghabot ajánl. Az XPS-es változatban ezeket cseréltem ki két egyenértékű hővezetésű XPS rétegre.



47. ábra: Az üveghabos tető hőmérséklet eloszlása (balra) és az XPS-es tető hőmérséklet eloszlása (jobbra)



48. ábra: Az üveghabos tető relatív nedvességtartalom eloszlása (balra) és az XPS-es lábazat tető nedvességtartalom eloszlása (jobbra)

Itt az üveghabos megoldás átlagos hőátbocsátási tényezője $0,331 \text{ W/m}^2\text{K}$ lett, míg az XPS-esé $0,147 \text{ W/m}^2\text{K}$. Az üveghabos megoldás esetén 125%-kal nagyobb hővesztés alakul ki állandósult állapotban a vizsgált peremfeltételek mellett, ezért itt is jelentős a különbség a nagy nedvesség miatt.

Belső felületi hőmérsékletek:

Üveghabos: $T_s^{\min} = 19,47 \text{ }^\circ\text{C}$ $F_{Rsi} = 0,904$

XPS-es: $T_s^{\min} = 19,76 \text{ }^\circ\text{C}$ $F_{Rsi} = 0,923$

Ezek alapján itt is az XPS-es verzió bizonyult kicsit komfortosabbnak.

6. Összegzés

A legfontosabb, amit megtudtunk a vizsgálatok során hogy az Energocell által megadott 0,086 W/mK hővezetési tényező hogyan változik 50% és 100% relatív nedvességtartalom között, valamint 0 és 50 °C között, a mérések azt mutatják hogy ez a 0,086 W/mK körülbelül 50%-os relatív páratartalomnál 20°C-on igaz. Ha megnő a nedvesség vagy a hőmérséklet, akkor ez az érték felmehet 20°C-on akár 0,27 W/mK-ig is, szóval nem mindegy, hogy milyen környezeti körülmények között kell az üveghabnak teljesítenie. Az üveghabos megoldások közel azonos hőtechnikai teljesítőképesség mellett építéstechnológiailag és mechanikai szempontokból lehetnek előnyösek az XPS-esekkel szemben, továbbá gyakorlatilag minden padló kialakítás esetén komfort és páratechnikai szempontból jobban teljesített az üveghabos rétegrend.

7. Köszönetnyilvánítás:

Köszönöm a konzulensemnek Dr. Nagy Balázsnak, hogy napi szinten segítségemre volt a dolgozat elkészítésében. Köszönöm Paweł Bąk-nak, hogy közreműködött a mérőkeretek vízszigetelésének elkészítésében. A Kovács családnak is szeretném megköszönni, hogy biztosították számomra a szerszámokat a mérőkeretek legyártásához. Köszönöm még az Építőanyagok és Magasépítés Tanszéknek a segítséget, valamint a Geotechnika és Mérnökgeológia tanszéknek az eszközöket az üveghab örléséhez és osztályozásához. Továbbá köszönöm az Energocellnek, hogy elláttak a kellő mennyiségű üveghabbal.

Az „Épületek és épületszerkezetek élelciklus- és épületfizikai szemléletű optimalizációja komplex numerikus modellezéssel” című, FK 128663 számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, az FK_18 pályázati program finanszírozásában valósult meg. A tanulmány alapjául szolgáló kutatást az Emberi Erőforrások Minisztériuma által meghirdetett Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program támogatta, a BME FIKP-VÍZ tématerületi programja keretében.

8. Irodalomjegyzék

- [1] The International Energy Agency: Energy Efficiency: Buildings - The global exchange for energy efficiency policies, data and analysis. Online: <https://www.iea.org/topics/energyefficiency/buildings/> (2018)
- [2] Az Európai Bizottság és Tanács 2002/91/EK irányelve (2002. december 16.) az épületek energiategységéről. Az Európai Unió Hivatalos Lapja 12/2. kötet, 168-174. oldal (2002)
- [3] 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról (2006)
- [4] Fehérvári Krisztina (2017): Üvegszemétekből szigetelés. Demokrata Online
- [5] Dr. Nagy Balázs, Dr. Szendefy János, Gyetkó István: “Talajjal érintkező szerkezetek hőszigetelése üveghab granulátummal.” - Műszaki Ellenőr, 2019. novemberi szám (2019)
- [6] Jianguang Bai, Xinghua Yang, Shaochun Xu, Wenjia Jing, Jianfeng Yang: “Preparation of foam glass from waste glass and fly ash” - Materials Letters 136 (2014) 52–54. oldal
- [7] Andre C. Bento, Evaldo T. Kubaski, Thiago Sequinel, Sidnei A. Pianaro, Jose A. Varela, Sergio M. Tebcherani: “Glass foam of macroporosity using glass waste and sodium hydroxide as the foaming agent” - Ceramics International 39 (2013) 2423–2430. oldal
- [8] Xinyue Fang, Qie Li, Tao Yang, Zhihong Li, Yumei Zhu: “Preparation and characterization of glass foams for artificial floating island from waste glass and Li_2CO_3 ” - Construction and Building Materials 134 (2017) 358–363. oldal
- [9] Daniela Hesky, Christos G. Aneziris, Ulrich Groß, Anja Horn: “Water and waterglass mixtures for foam glass production” - Ceramics International (2015)
- [10] Jing Li, Xinguo Zhuang, Eliseo Monfort, Xavier Querol, Alejandro Saburit Llaudis, Oriol Font, Natalia Moreno, Francisco Javier García Ten, Maria Izquierdo: “Utilization of coal fly ash from a Chinese power plant for manufacturing highly insulating foam glass: Implications of physical, mechanical properties and environmental features” - Construction and Building Materials 175 (2018) 64–76. oldal
- [11] Mukesh Limbachiya, Mohammed Seddik Meddah, Soumela Fotiadou: “Performance of granulated foam glass concrete” - Construction and Building Materials 28 (2012) 759–768. oldal

- [12] C. Mugoni, M. Montorsi, C. Siligardi, F. Andreola, I. Lancellotti, E. Bernardo, L. Barbieri: “Design of glass foams with low environmental impact” - *Ceramics International* (2015)
- [13] Rasmus R. Petersen, Jakob Königa, Yuanzheng Yue: “The viscosity window of the silicate glass foam production” - *Journal of Non-Crystalline Solids* (2016)
- [14] Ya-NanQu, Zhen-GuoSu, JieXu, Wen-LongHuo, Kui-CunSong, Ya-LiWang, Jin-Long Yang: “Preparation of ultra light glass foams via vacuum-assisted foaming - *Materials Letters* 166 (2016) 35–38. oldal
- [15] Svetlana Volland: Influence of the mechanical activation of raw mixes on the properties of foam glass from sand sludge” - *Construction and Building Materials* 125, 119–126. oldal (2016)
- [16] Daniella Ipari Park Kft. Energocell üzeme: www.energocell.hu
- [17] Comsol Multiphysics: www.comsol.com
- [18] MSZ EN 15026:2007 Épületszerkezetek és épületelemek hő- és nedvességtechnikai viselkedése. A nedvességvándorlás becslése numerikus szimulációval, Magyar Szabványügyi Testület
- [19] MSZ EN ISO 10456:2008 Építési anyagok és termékek. Hő- és nedvességtechnikai tulajdonságok. Táblázatos tervezési értékek, illetve eljárások a közölt és tervezési hőtechnikai értékek meghatározására (ISO 10456:2007), Magyar Szabványügyi Testület
- [20] Wufi 6 Pro: www.wufi.de
- [21] MSZ EN ISO 10211:2017 Hőhidak az épületszerkezetekben. Hőáramok és felületi hőmérsékletek. Részletes számítások (ISO 10211:2017), Magyar Szabványügyi Testület

9. Ábrajegyzék

1. ábra: Az általam vizsgált üveghab granulátum	5. oldal
2. ábra: Üveghulladék őrlésére szolgáló szerkezet (balra) és üveghab kemence (jobbra) (Forrás: [5])	6. oldal
3. ábra: A pásztázó elektronmikroszkóp képei (Forrás: [9])	8. oldal
4. ábra: A fénycsövekkel és tojánhéjjal előállított üveghab (Forrás: [12])	9. oldal
5. ábra: Volland által készített mikroszkópos felvételek (Forrás: [15])	11. oldal
6. ábra: Taurus TLP 300 berendezés, és a keretek fa váza	12. oldal
7. ábra: A mérőkeretek gyártmányterve	13. oldal
8., 9. ábra: Az üveghab mikroszkópos képei 200x-os (balra) és 100x-os (jobbra) nagyításban	14. oldal
10. ábra: Az első száraz mérés eredményei	15. oldal
11. ábra: A második száraz mérés eredményei	15. oldal
12. ábra: A harmadik száraz mérés eredményei	15. oldal
13. ábra: A 60%-os relatív nedvességtartalmú mérés eredményei	16. oldal
14. ábra: A 61%-os relatív nedvességtartalmú mérés eredményei	17. oldal
15. Ábra: Az 52%-os relatív nedvességtartalmú mérés eredményei	17. oldal
16. ábra: A 76%-os relatív nedvességtartalmú mérés eredményei	18. oldal
17. ábra: A 75%-os relatív nedvességtartalmú mérés eredményei	18. oldal
18. ábra: A 75%-os relatív nedvességtartalmú mérés eredményei	18. oldal
19. ábra: Az első eláztatott mérés eredményei	19. oldal
20. ábra: A második eláztatott mérés eredményei	19. oldal
21. ábra: A harmadik eláztatott mérés eredményei	20. oldal
22. ábra: Az 50% és 60%-os nedvességtartalmú üveghabok hővezetési tényezőjének változása a hőmérséklet függvényében	20. oldal
23. ábra: A 75% és ~100% nedvességtartalmú üveghabok hővezetési tényezőjének változása a hőmérséklet függvényében	21. oldal
24. ábra: A hővezetési tényezők változása	21. oldal
25. ábra: A különböző rendű tagok szorzótényezőinek változása	22. oldal
26. ábra: A hővezetési tényezők az egyes esetekben [W/mK]	22. oldal

27. ábra: Az Energocell sávalapos csomópontja (Forrás: [16])	24. oldal
28. ábra: Az üveghabos lábázat hőmérséklet eloszlása (balra) és az XPS-es lábázat hőmérséklet eloszlása (jobbra)	25. oldal
29. ábra: Az üveghabos lábázat relatív nedvességtartalom eloszlása (balra) és az XPS-es lábázat relatív nedvességtartalom eloszlása (jobbra)	25. oldal
30. ábra: Az üveghabos lábázatban keletkező hőhíd (balra) és az XPS-es lábázatban keletkező hőhíd (jobbra)	25. oldal
31. ábra: Az Energocell lemezalapos csomópontja (Forrás: [16])	27. oldal
32. ábra: Az üveghabos lábázat hőmérséklet eloszlása (balra) és az XPS-es lábázat hőmérséklet eloszlása (jobbra)	27. oldal
33. ábra: Az üveghabos lábázat relatív nedvességtartalom eloszlása (balra) és az XPS-es lábázat relatív nedvességtartalom eloszlása (jobbra)	27. oldal
34. ábra: Az üveghabos lábázatban keletkező hőhíd (balra) és az XPS-es lábázatban keletkező hőhíd (jobbra)	28. oldal
35. ábra: Az Energocell pince csomópontja (Forrás: [16])	29. oldal
36. ábra: Az üveghabos lábázat hőmérséklet eloszlása (balra) és az XPS-es lábázat hőmérséklet eloszlása (jobbra)	29. oldal
37. ábra: Az üveghabos lábázat relatív nedvességtartalom eloszlása (balra) és az XPS-es lábázat relatív nedvességtartalom eloszlása (jobbra)	29. oldal
38. ábra: Az üveghabos lábázatban keletkező hőhíd (balra) és az XPS-es lábázatban keletkező hőhíd (jobbra)	30. oldal
39. ábra: Az Energocell ipari padlós csomópontja (Forrás: [16])	31. oldal
40. ábra: Az üveghabos lábázat hőmérséklet eloszlása (balra) és az XPS-es lábázat hőmérséklet eloszlása (jobbra)	31. oldal
41. ábra: Az üveghabos lábázat relatív nedvességtartalom eloszlása (balra) és az XPS-es lábázat relatív nedvességtartalom eloszlása (jobbra)	31. oldal
42. ábra: Az üveghabos lábázatban keletkező hőhíd (balra) és az XPS-es lábázatban keletkező hőhíd (jobbra)	32. oldal
43. ábra: Az Energocell járható tetős rétegrendje (Forrás: [16])	33. oldal
44. ábra: Az üveghabos tető hőmérséklet eloszlása (balra) és az XPS-es tető hőmérséklet eloszlása (jobbra)	33. oldal

45. ábra: Az üveghabos tető relatív nedvességtartalom eloszlása (balra) és az XPS-es lábázat tető nedvességtartalom eloszlása (jobbra)	34. oldal
46. ábra: Az Energocell csomópontja zöldtetőre (Forrás: [16])	35. oldal
47. ábra: Az üveghabos tető hőmérséklet eloszlása (balra) és az XPS-es tető hőmérséklet eloszlása (jobbra)	35. oldal
48. ábra: Az üveghabos tető relatív nedvességtartalom eloszlása (balra) és az XPS-es lábázat tető nedvességtartalom eloszlása (jobbra)	36. oldal

10. Mellékletek (mérési jegyzőkönyvek)

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

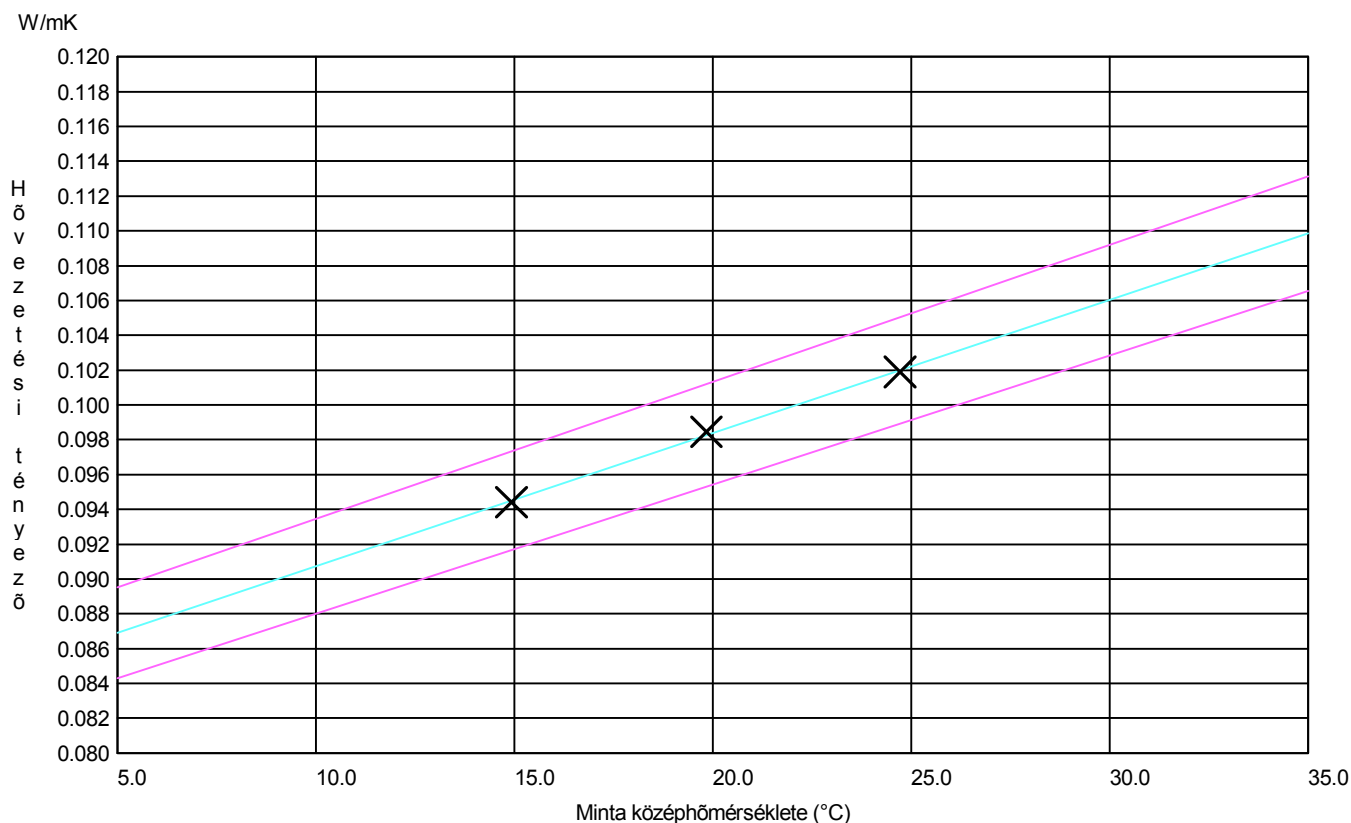
Építőmérnöki kar - Építőanyagok és Magasépítés Tanszék - Épületfizika Laboratórium
1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3. K.I.85.
Tel.: +36-1-463-4068 Fax: +36-1-463-3450
www.epito.bme.hu

Hővezetési tényező mérési jegyzőkönyv

Sorszám: ÉFL-205-Üveghab-10-16-száraz-1

Sample Thickness : 104,32 mm
Minta jele: Üveghab-10-16-száraz-1
Anyag: üveghab, 10-16, száraz
Méret: ~259,2 mm x ~255,3 mm x ~93,5 mm + 8 mm EPDM
Dátum: 2019.08.01.
Nyomóerő: 200 N
Tömeg: 1856 g üveghab + 1423,4 g (zsalu) + 532,5 (EPDM lap)
Műszer: TLP 300 - DTX-1P/2, One-plate measurement
Szoftver: Lambda2010, One-plate

Mérés sorsz.	Hőáram (W)	Alsó oldal felületi hőmérséklete (°C)	Felső oldal felületi hőmérséklete (°C)	Hőmérséklet-különbség (K)	Minta közép-hőmérséklete (°C)	Hővezetési tényező (W/mK)
1	0.083	10.4	19.5	9.1	14.9	0.09441
2	0.087	15.2	24.5	9.3	19.8	0.09846
3	0.091	20.0	29.4	9.4	24.7	0.1019



Lambda (10°C) = (0.0907 +/- 0.0027) W/mK
Result +/- expanded uncertainty (factor 2)

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

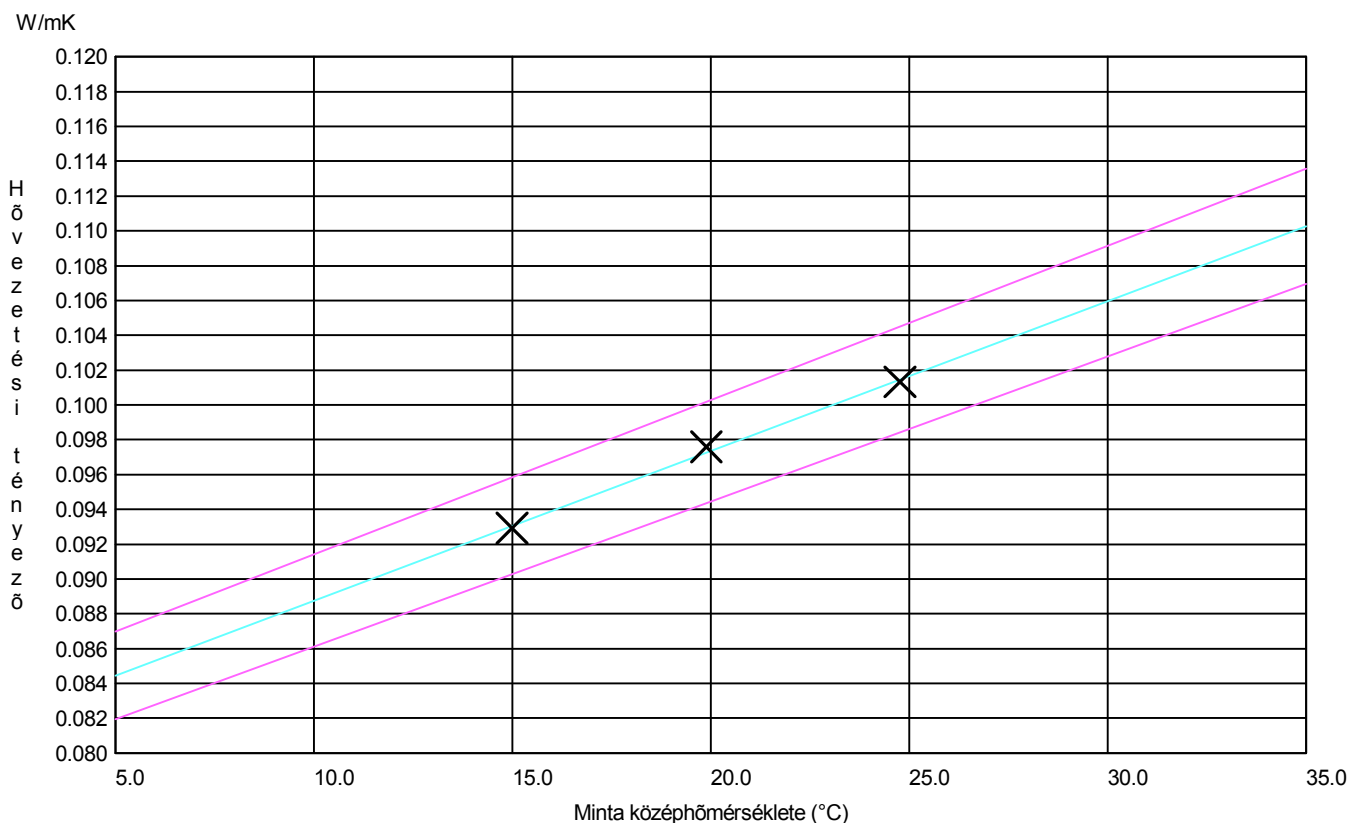
Építőmérnöki kar - Építőanyagok és Magasépítés Tanszék - Épületfizika Laboratórium
1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3. K.I.85.
Tel.: +36-1-463-4068 Fax: +36-1-463-3450
www.epito.bme.hu

Hővezetési tényező mérési jegyzőkönyv

Sorszám: ÉFL-205-Üveghab-10-16-száraz-2

Sample Thickness : 104,70 mm
Minta jele: Üveghab-10-16-száraz-2
Anyag: üveghab, 10-16, száraz
Méret: ~259,2 mm x ~255,3 mm x ~93,5 mm + 8 mm EPDM
Dátum: 2019.08.05.
Nyomóerő: 200 N
Tömeg: 1856 g üveghab + 1423,4 g (zsalu) + 532,5 (EPDM lap)
Műszer: TLP 300 - DTX-1P/2, One-plate measurement
Szoftver: Lambda2010, One-plate

Mérés sorsz.	Hőáram (W)	Alsó oldal felületi hőmérséklete (°C)	Felső oldal felületi hőmérséklete (°C)	Hőmérséklet-különbség (K)	Minta közép-hőmérséklete (°C)	Hővezetési tényező (W/mK)
1	0.083	10.4	19.7	9.3	15.0	0.09292
2	0.087	15.2	24.6	9.4	19.9	0.09759
3	0.091	20.0	29.5	9.4	24.8	0.1013



Lambda (10°C) = (0.0888 +/- 0.0027) W/mK
Result +/- expanded uncertainty (factor 2)

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

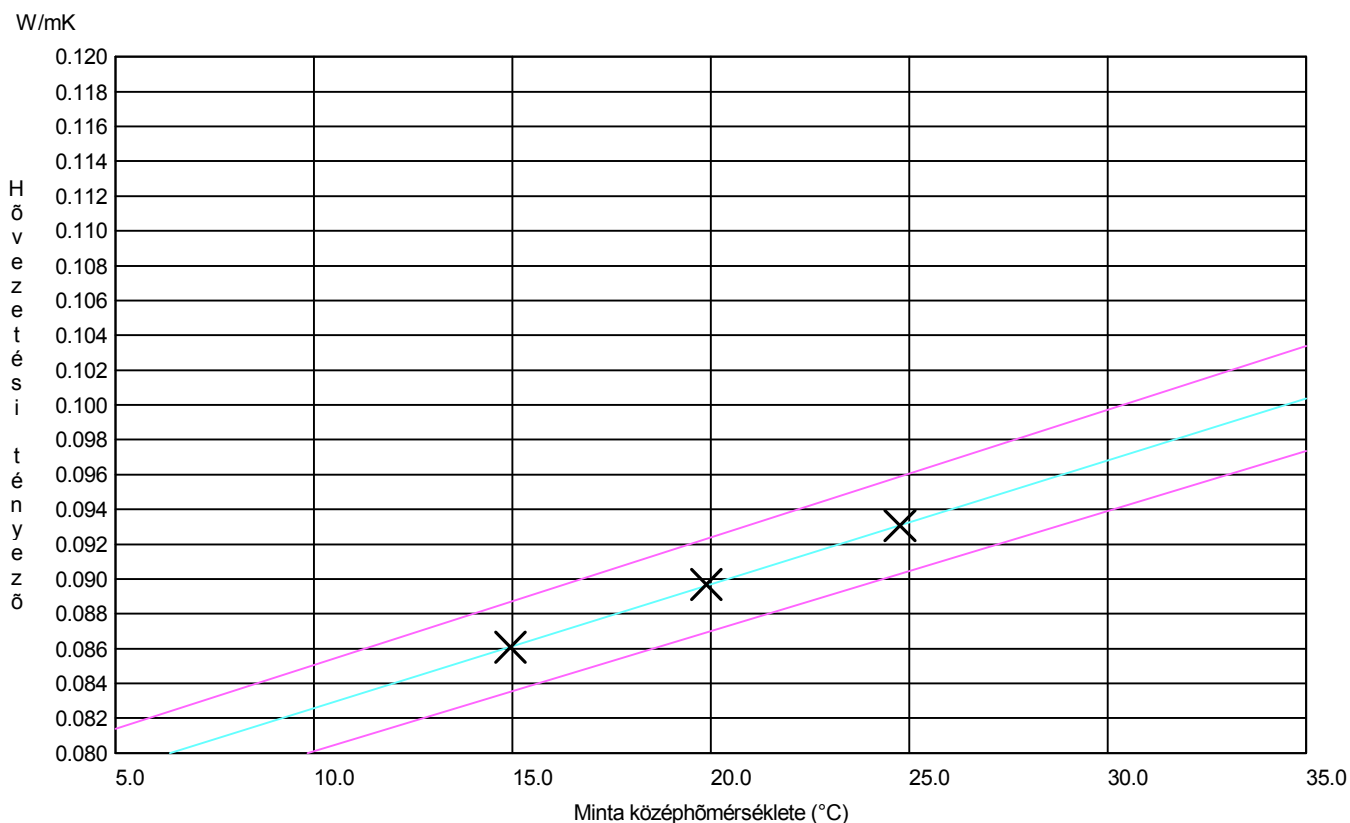
Építőmérnöki kar - Építőanyagok és Magasépítés Tanszék - Épületfizika Laboratórium
1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3. K.I.85.
Tel.: +36-1-463-4068 Fax: +36-1-463-3450
www.epito.bme.hu

Hővezetési tényező mérési jegyzőkönyv

Sorszám: ÉFL-205-Üveghab-10-16-száraz-3

Sample Thickness : 103,13 mm
Minta jele: Üveghab-10-16-száraz-3
Anyag: üveghab, 10-16, száraz
Méret: ~259,2 mm x ~255,3 mm x ~93,5 mm + 8 mm EPDM
Dátum: 2019.08.07.
Nyomóerő: 200 N
Tömeg: 1856 g üveghab + 1423,4 g (zsalu) + 532,5 (EPDM lap)
Műszer: TLP 300 - DTX-1P/2, One-plate measurement
Szoftver: Lambda2010, One-plate

Mérés sorsz.	Hőáram (W)	Alsó oldal felületi hőmérséklete (°C)	Felső oldal felületi hőmérséklete (°C)	Hőmérséklet-különbség (K)	Minta közép-hőmérséklete (°C)	Hővezetési tényező (W/mK)
1	0.077	10.4	19.6	9.2	15.0	0.08608
2	0.081	15.2	24.6	9.3	19.9	0.08968
3	0.085	20.1	29.5	9.4	24.8	0.09306



Lambda (10°C) = (0.0826 +/- 0.0025) W/mK
Result +/- expanded uncertainty (factor 2)

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

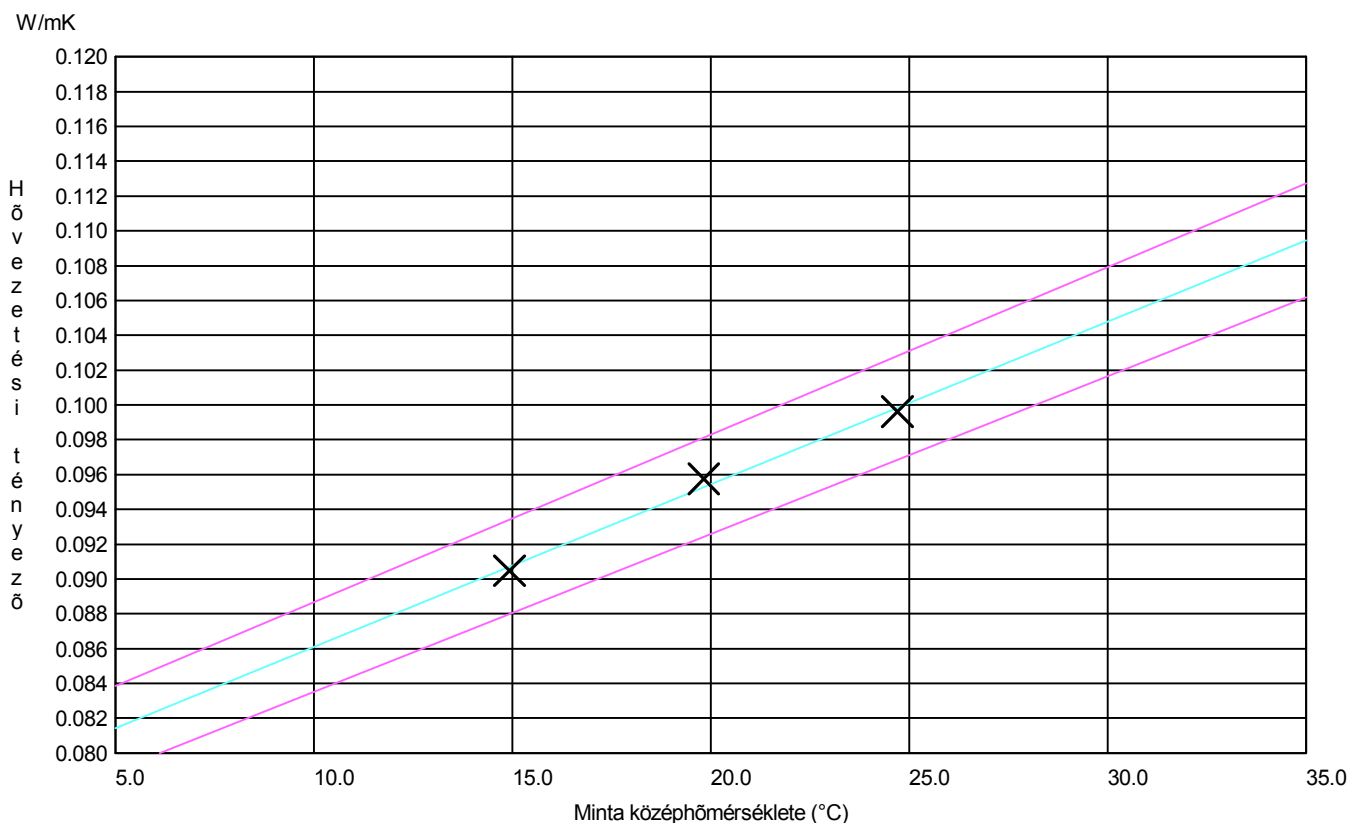
Építőmérnöki kar - Építőanyagok és Magasépítés Tanszék - Épületfizika Laboratórium
1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3. K.I.85.
Tel.: +36-1-463-4068 Fax: +36-1-463-3450
www.epito.bme.hu

Hővezetési tényező mérési jegyzőkönyv

Sorszám: ÉFL-205-Üveghab-10-16-78%-1

Sample Thickness : 102,96 mm
Minta jele: Üveghab-10-16-78% - 1
Anyag: üveghab, 10-16, 78%
Méret: ~259,2 mm x ~255,3 mm x ~93,5 mm + 8 mm EPDM
Dátum: 2019.08.09.
Nyomóerő: 200 N
Tömeg: 1856 g üveghab + 1423,4 g (zsalu) + 532,5 (EPDM lap)
Műszer: TLP 300 - DTX-1P/2, One-plate measurement
Szoftver: Lambda2010, One-plate

Mérés sorsz.	Hőáram (W)	Alsó oldal felületi hőmérséklete (°C)	Felső oldal felületi hőmérséklete (°C)	Hőmérséklet-különbség (K)	Minta közép-hőmérséklete (°C)	Hővezetési tényező (W/mK)
1	0.080	10.4	19.5	9.1	14.9	0.09048
2	0.086	15.2	24.5	9.3	19.8	0.09575
3	0.091	20.0	29.4	9.4	24.7	0.09961



Lambda (10°C) = (0.0861 +/- 0.0026) W/mK
Result +/- expanded uncertainty (factor 2)

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

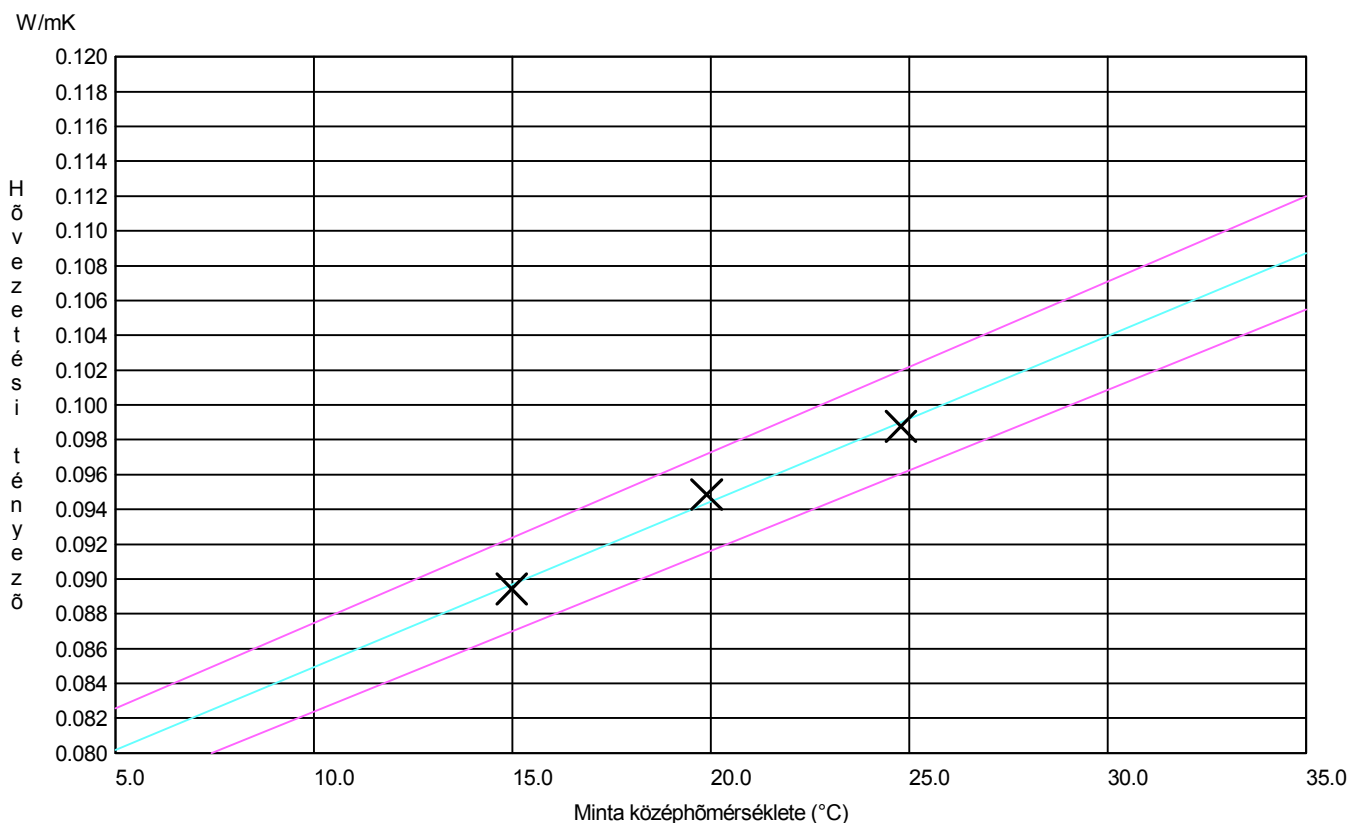
Építőmérnöki kar - Építőanyagok és Magasépítés Tanszék - Épületfizika Laboratórium
1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3. K.I.85.
Tel.: +36-1-463-4068 Fax: +36-1-463-3450
www.epito.bme.hu

Hővezetési tényező mérési jegyzőkönyv

Sorszám: ÉFL-205-Üveghab-10-16-78%-2

Sample Thickness : 105,42 mm
Minta jele: Üveghab-10-16-78% - 2
Anyag: üveghab, 10-16, 78%
Méret: ~259,2 mm x ~255,3 mm x ~93,5 mm + 8 mm EPDM
Dátum: 2019.08.13.
Nyomóerő: 200 N
Tömeg: 1856 g üveghab + 1423,4 g (zsalu) + 532,5 (EPDM lap)
Műszer: TLP 300 - DTX-1P/2, One-plate measurement
Szoftver: Lambda2010, One-plate

Mérés sorsz.	Hőáram (W)	Alsó oldal felületi hőmérséklete (°C)	Felső oldal felületi hőmérséklete (°C)	Hőmérséklet-különbség (K)	Minta közép-hőmérséklete (°C)	Hővezetési tényező (W/mK)
1	0.079	10.4	19.6	9.3	15.0	0.08943
2	0.085	15.2	24.6	9.4	19.9	0.09486
3	0.089	20.0	29.5	9.5	24.8	0.09876



Lambda (10°C) = (0.0849 +/- 0.0025) W/mK
Result +/- expanded uncertainty (factor 2)

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

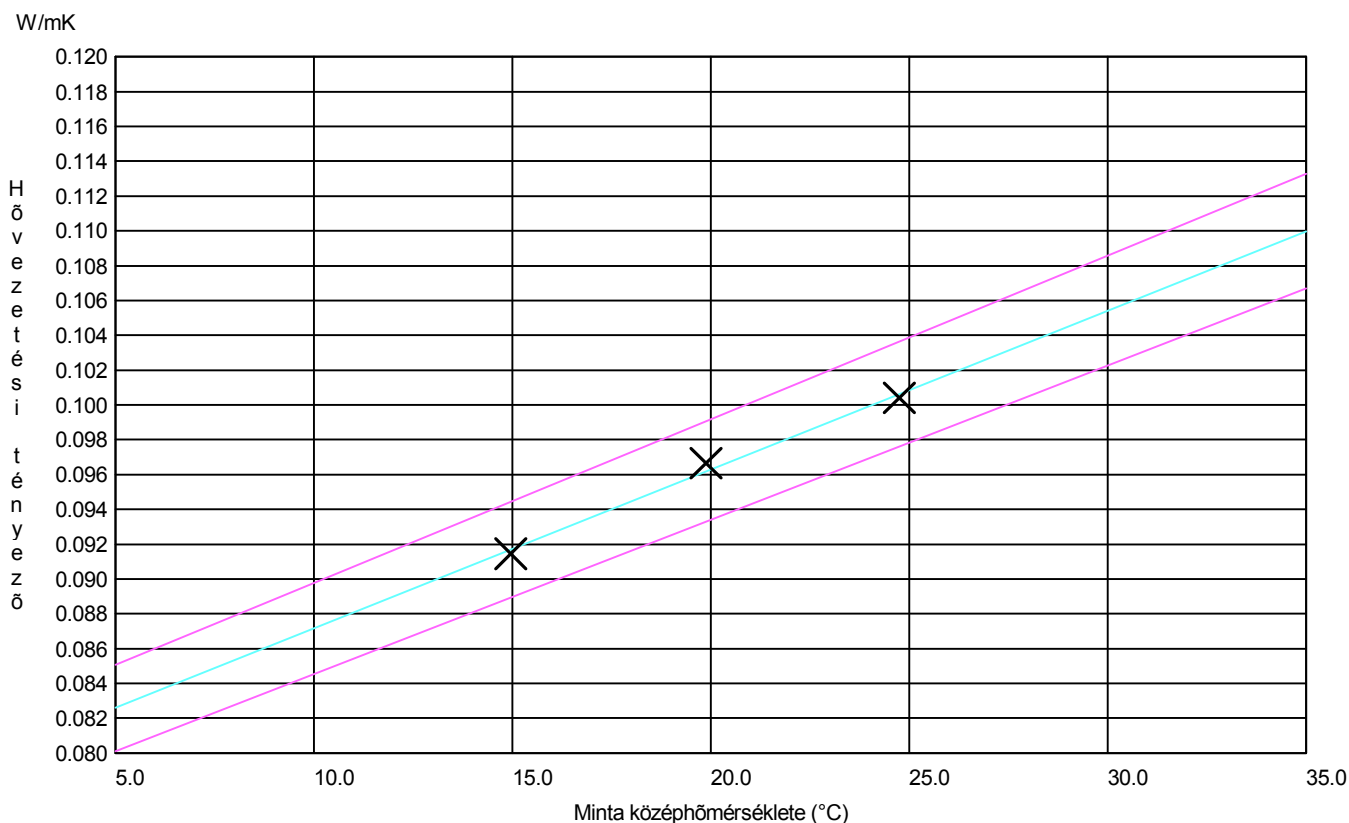
Építőmérnöki kar - Építőanyagok és Magasépítés Tanszék - Épületfizika Laboratórium
1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3. K.I.85.
Tel.: +36-1-463-4068 Fax: +36-1-463-3450
www.epito.bme.hu

Hővezetési tényező mérési jegyzőkönyv

Sorszám: ÉFL-205-Üveghab-10-16-78%-3

Sample Thickness : 105,81 mm
Minta jele: Üveghab-10-16-78% - 3
Anyag: üveghab, 10-16, 78%
Méret: ~259,2 mm x ~255,3 mm x ~93,5 mm + 8 mm EPDM
Dátum: 2019.08.14.
Nyomóerő: 200 N
Tömeg: 1856 g üveghab + 1423,4 g (zsalu) + 532,5 (EPDM lap)
Műszer: TLP 300 - DTX-1P/2, One-plate measurement
Szoftver: Lambda2010, One-plate

Mérés sorsz.	Hőáram (W)	Alsó oldal felületi hőmérséklete (°C)	Felső oldal felületi hőmérséklete (°C)	Hőmérséklet-különbség (K)	Minta közép-hőmérséklete (°C)	Hővezetési tényező (W/mK)
1	0.080	10.3	19.6	9.3	15.0	0.09146
2	0.086	15.2	24.6	9.4	19.9	0.09665
3	0.090	20.0	29.5	9.5	24.8	0.1004



Lambda (10°C) = (0.0872 +/- 0.0026) W/mK
Result +/- expanded uncertainty (factor 2)

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

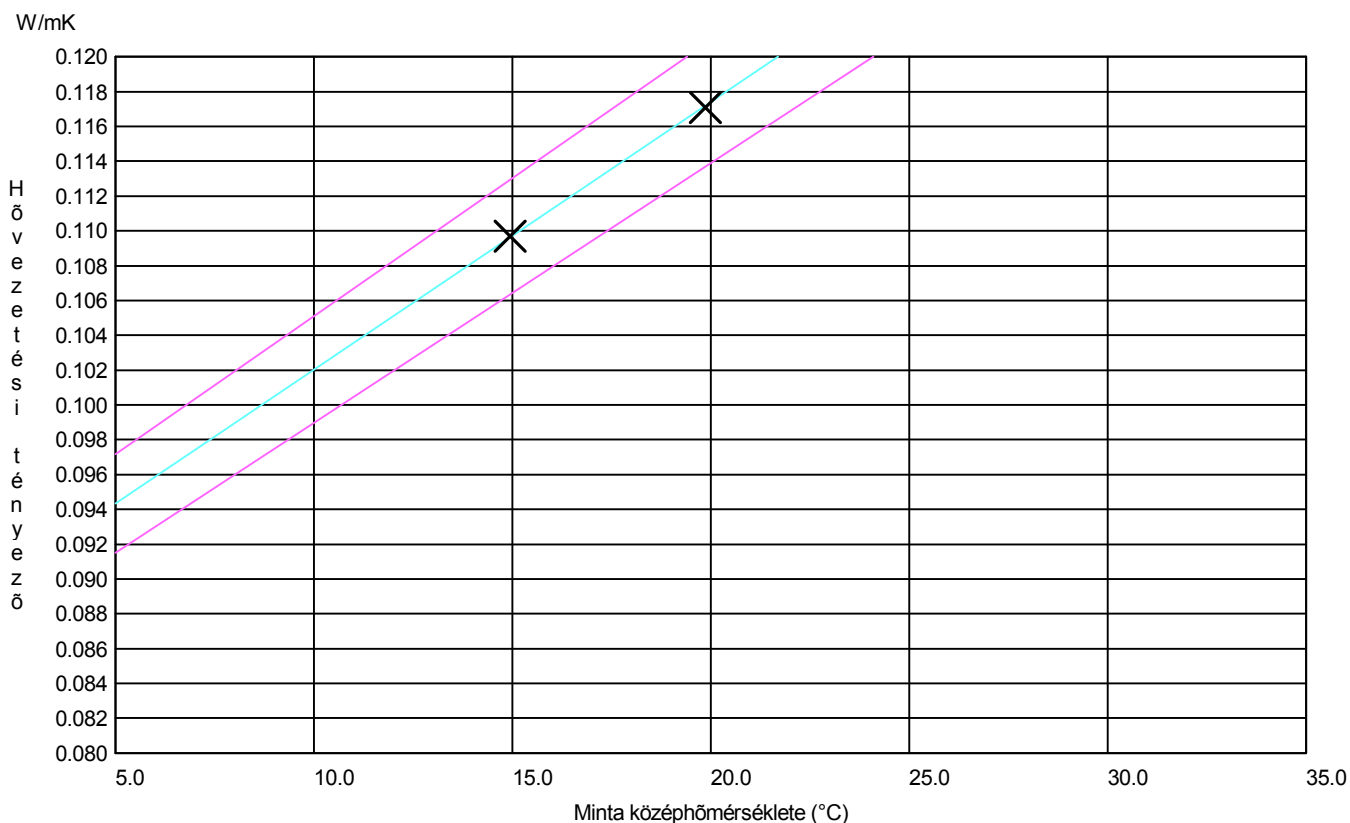
Építőmérnöki kar - Építőanyagok és Magasépítés Tanszék - Épületfizika Laboratórium
1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3. K.I.85.
Tel.: +36-1-463-4068 Fax: +36-1-463-3450
www.epito.bme.hu

Hővezetési tényező mérési jegyzőkönyv

Sorszám: ÉFL-205-Üveghab-10-16-99%-1

Sample Thickness : 105,11 mm
Minta jele: Üveghab-10-16-99% - 1
Anyag: üveghab, 10-16, 99%
Méret: ~259,2 mm x ~255,3 mm x ~93,5 mm + 8 mm EPDM
Dátum: 2019.08.19.
Nyomóerő: 200 N
Tömeg: 1856 g üveghab + 1423,4 g (zsalu) + 532,5 (EPDM lap)
Műszer: TLP 300 - DTX-1P/2, One-plate measurement
Szoftver: Lambda2010, One-plate

Mérés sorsz.	Hőáram (W)	Alsó oldal felületi hőmérséklete (°C)	Felső oldal felületi hőmérséklete (°C)	Hőmérséklet-különbség (K)	Minta közép-hőmérséklete (°C)	Hővezetési tényező (W/mK)
1	0.095	10.4	19.5	9.1	14.9	0.1097
2	0.103	15.2	24.5	9.3	19.9	0.1171
3	0.111	20.1	29.4	9.3	24.8	0.1248



Lambda (10°C) = (0.102 +/- 0.003) W/mK
Result +/- expanded uncertainty (factor 2)

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

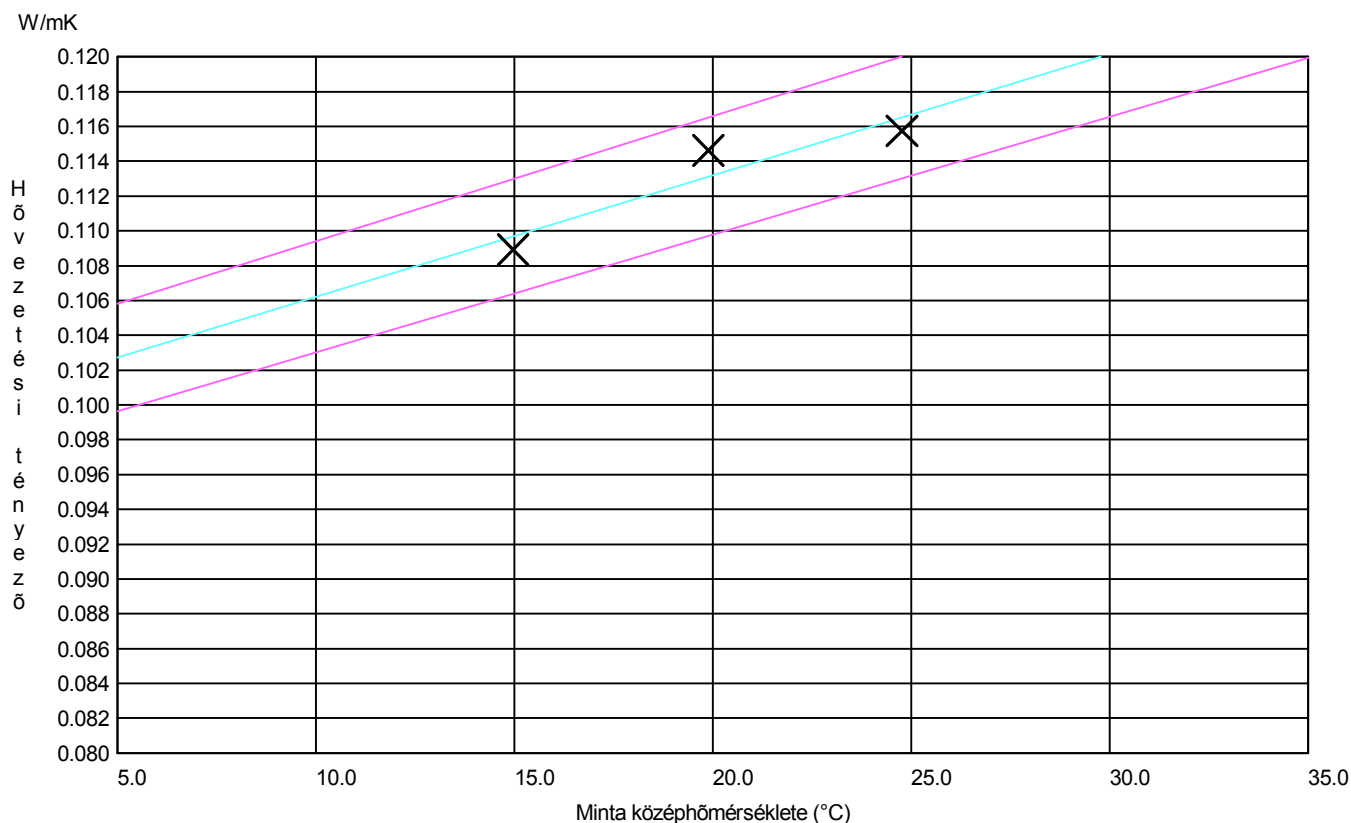
Építőmérnöki kar - Építőanyagok és Magasépítés Tanszék - Épületfizika Laboratórium
1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3. K.I.85.
Tel.: +36-1-463-4068 Fax: +36-1-463-3450
www.epito.bme.hu

Hővezetési tényező mérési jegyzőkönyv

Sorszám: ÉFL-205-Üveghab-10-16-99%-2

Sample Thickness : 106,35 mm
Minta jele: Üveghab-10-16-99% - 2
Anyag: üveghab, 10-16, 99%
Méret: ~259,2 mm x ~255,3 mm x ~93,5 mm + 8 mm EPDM
Dátum: 2019.08.19.
Nyomóerő: 200 N
Tömeg: 1856 g üveghab + 1423,4 g (zsalu) + 532,5 (EPDM lap)
Műszer: TLP 300 - DTX-1P/2, One-plate measurement
Szoftver: Lambda2010, One-plate

Mérés sorsz.	Hőáram (W)	Alsó oldal felületi hőmérséklete (°C)	Felső oldal felületi hőmérséklete (°C)	Hőmérsékletkülönbség (K)	Minta középhőmérséklete (°C)	Hővezetési tényező (W/mK)
1	0.094	10.4	19.6	9.2	15.0	0.1089
2	0.100	15.2	24.6	9.3	19.9	0.1146
3	0.103	20.1	29.5	9.4	24.8	0.1158



Lambda (10°C) = (0.106 +/- 0.003) W/mK
Result +/- expanded uncertainty (factor 2)

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

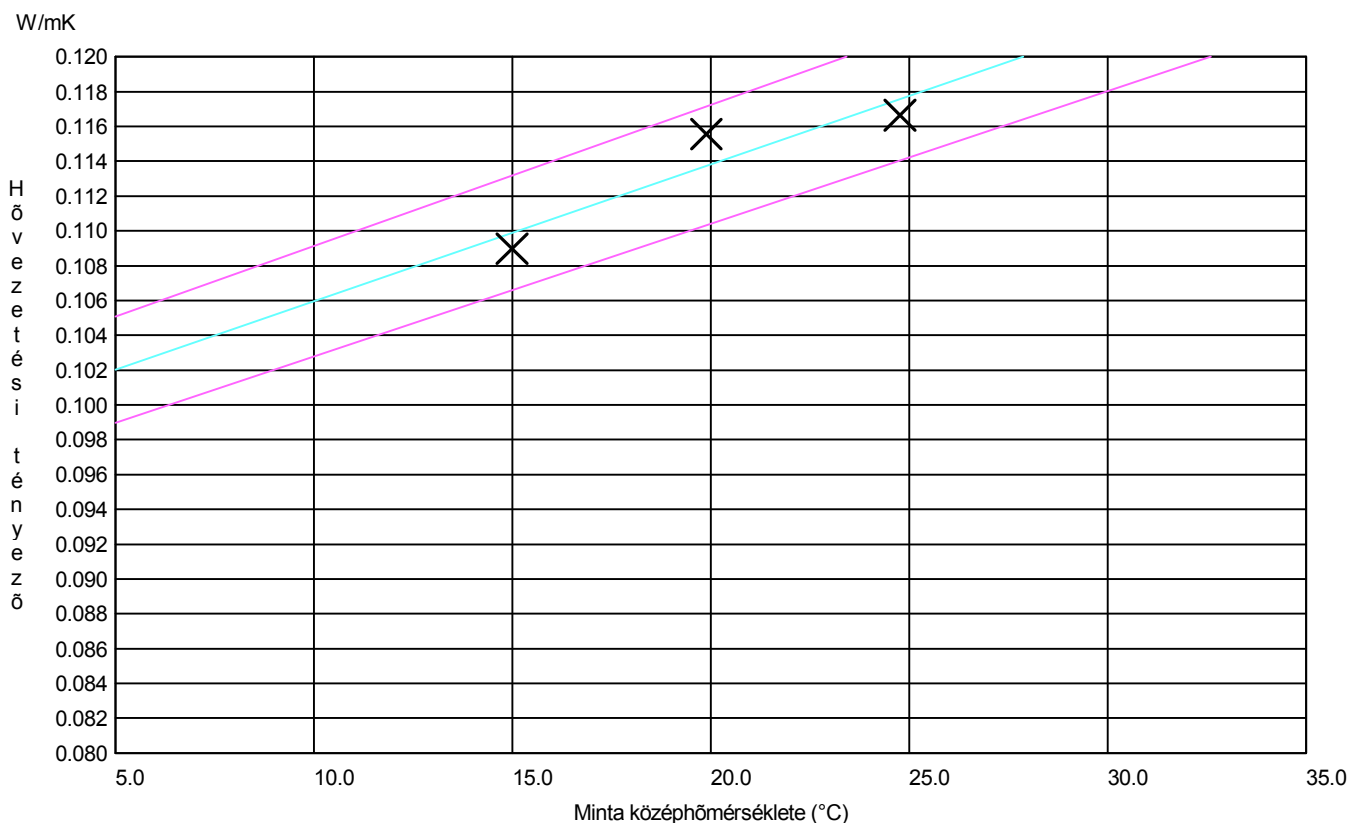
Építőmérnöki kar - Építőanyagok és Magasépítés Tanszék - Épületfizika Laboratórium
1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3. K.I.85.
Tel.: +36-1-463-4068 Fax: +36-1-463-3450
www.epito.bme.hu

Hővezetési tényező mérési jegyzőkönyv

Sorszám: ÉFL-205-Üveghab-10-16-99%-3

Sample Thickness : 105,55 mm
Minta jele: Üveghab-10-16-99% - 3
Anyag: üveghab, 10-16, 99%
Méret: ~259,2 mm x ~255,3 mm x ~93,5 mm + 8 mm EPDM
Dátum: 2019.08.24.
Nyomóerő: 200 N
Tömeg: 1856 g üveghab + 1423,4 g (zsalu) + 532,5 (EPDM lap)
Műszer: TLP 300 - DTX-1P/2, One-plate measurement
Szoftver: Lambda2010, One-plate

Mérés sorsz.	Hőáram (W)	Alsó oldal felületi hőmérséklete (°C)	Felső oldal felületi hőmérséklete (°C)	Hőmérséklet-különbség (K)	Minta közép-hőmérséklete (°C)	Hővezetési tényező (W/mK)
1	0.095	10.4	19.6	9.2	15.0	0.1090
2	0.102	15.3	24.5	9.3	19.9	0.1156
3	0.104	20.1	29.5	9.4	24.8	0.1166



Lambda (10°C) = (0.106 +/- 0.003) W/mK
Result +/- expanded uncertainty (factor 2)

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Építőmérnöki kar - Építőanyagok és Magasépítés Tanszék - Épületfizika Laboratórium
1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3. K.I.85.
Tel.: +36-1-463-4068 Fax: +36-1-463-3450
www.epito.bme.hu

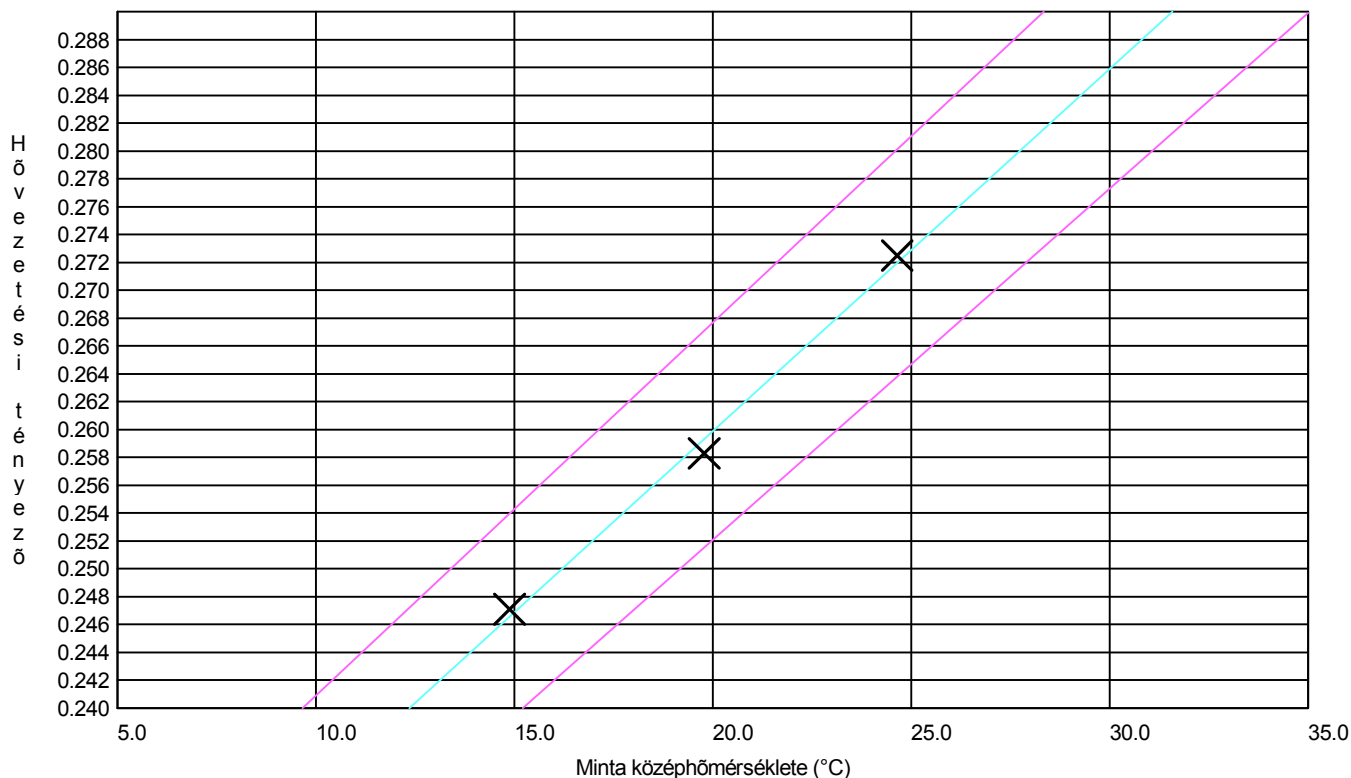
Hővezetési tényező mérési jegyzőkönyv

Sorszám: ÉFL-205-Üveghab-10-16-eláztatott-1

Sample Thickness : 104,78 mm
Minta jele: Üveghab-10-16-eláztatott - 1
Anyag: üveghab, 10-16, eláztatott
Méret: ~259,2 mm x ~255,3 mm x ~93,5 mm + 8 mm EPDM
Dátum: 2019.08.24.
Nyomóerő: 200 N
Tömeg: 1856 g üveghab + 1423,4 g (zsalu) + 532,5 (EPDM lap)
Műszer: TLP 300 - DTX-1P/2, One-plate measurement
Szoftver: Lambda2010, One-plate

Mérés sorsz.	Hőáram (W)	Alsó oldal felületi hőmérséklete (°C)	Felső oldal felületi hőmérséklete (°C)	Hőmérsékletkülönbség (K)	Minta középhőmérséklete (°C)	Hővezetési tényező (W/mK)
1	0.204	10.6	19.2	8.6	14.9	0.2471
2	0.215	15.4	24.2	8.7	19.8	0.2583
3	0.229	20.2	29.1	8.8	24.7	0.2725

W/mK



Lambda (10°C) = (0.234 +/- 0.007) W/mK
Result +/- expanded uncertainty (factor 2)

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Építőmérnöki kar - Építőanyagok és Magasépítés Tanszék - Épületfizika Laboratórium
1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3. K.I.85.
Tel.: +36-1-463-4068 Fax: +36-1-463-3450
www.epito.bme.hu

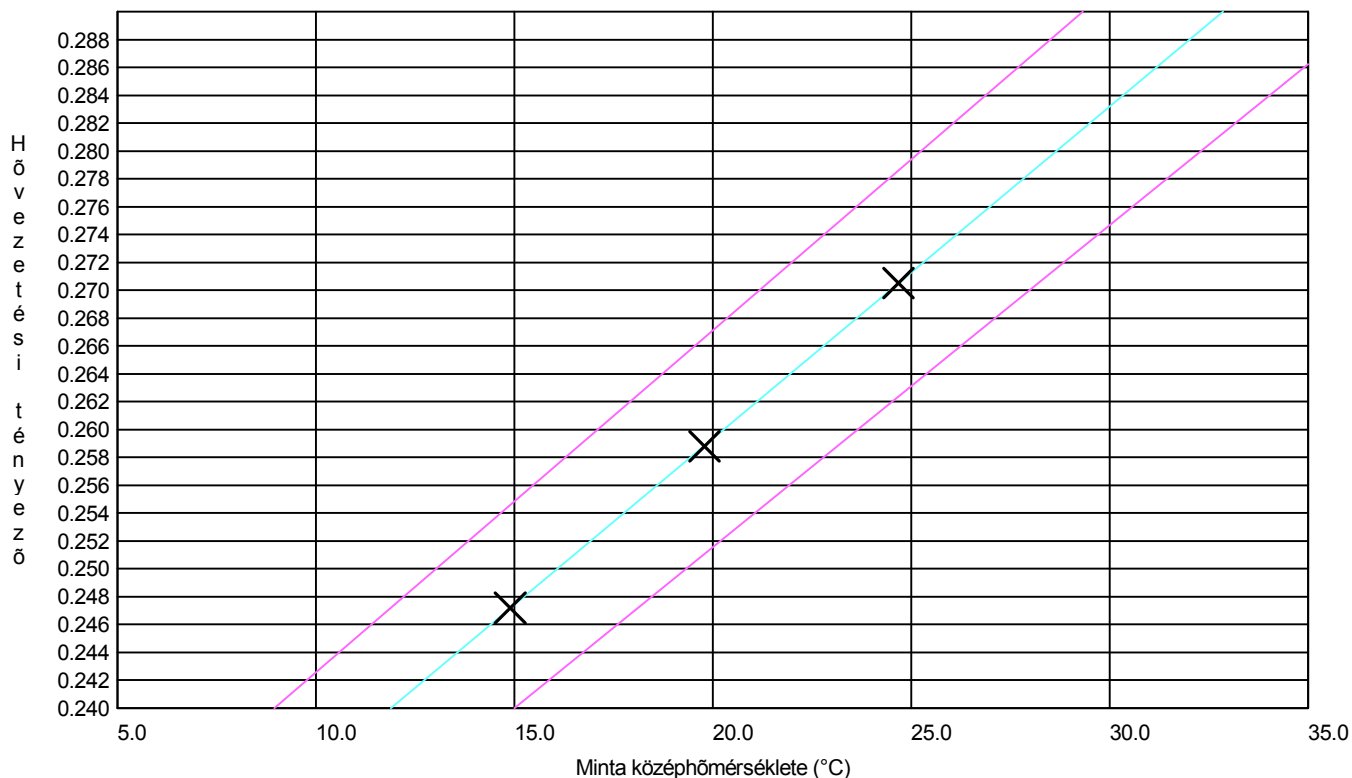
Hővezetési tényező mérési jegyzőkönyv

Sorszám: ÉFL-205-Üveghab-10-16-eláztatott-2

Sample Thickness : 106,25 mm
Minta jele: Üveghab-10-16-eláztatott - 2
Anyag: üveghab, 10-16, eláztatott
Méret: ~259,2 mm x ~255,3 mm x ~93,5 mm + 8 mm EPDM
Dátum: 2019.08.24.
Nyomóerő: 200 N
Tömeg: 1856 g üveghab + 1423,4 g (zsalu) + 532,5 (EPDM lap)
Műszer: TLP 300 - DTX-1P/2, One-plate measurement
Szoftver: Lambda2010, One-plate

Mérés sorsz.	Hőáram (W)	Alsó oldal felületi hőmérséklete (°C)	Felső oldal felületi hőmérséklete (°C)	Hőmérséklet-különbség (K)	Minta közép-hőmérséklete (°C)	Hővezetési tényező (W/mK)
1	0.202	10.6	19.2	8.7	14.9	0.2472
2	0.213	15.4	24.2	8.8	19.8	0.2588
3	0.225	20.3	29.1	8.9	24.7	0.2705

W/mK



Lambda (10°C) = (0.235 +/- 0.007) W/mK
Result +/- expanded uncertainty (factor 2)

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

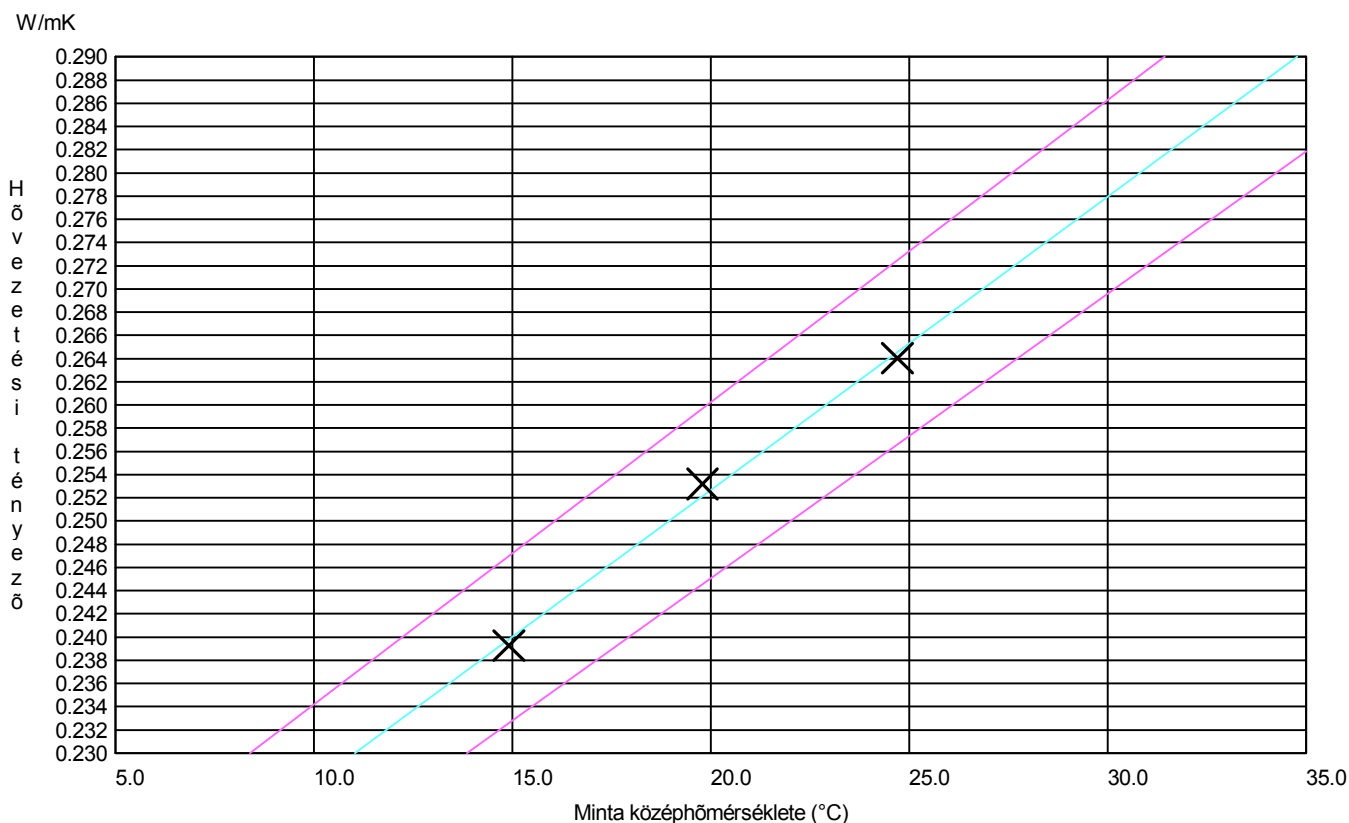
Építőmérnöki kar - Építőanyagok és Magasépítés Tanszék - Épületfizika Laboratórium
1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3. K.I.85.
Tel.: +36-1-463-4068 Fax: +36-1-463-3450
www.epito.bme.hu

Hővezetési tényező mérési jegyzőkönyv

Sorszám: ÉFL-205-Üveghab-10-16-eláztatott-3

Sample Thickness : 107,10 mm
Minta jele: Üveghab-10-16-eláztatott - 3
Anyag: üveghab, 10-16, eláztatott
Méret: ~259,2 mm x ~255,3 mm x ~93,5 mm + 8 mm EPDM
Dátum: 2019.08.24.
Nyomóerő: 200 N
Tömeg: 1856 g üveghab + 1423,4 g (zsalu) + 532,5 (EPDM lap)
Műszer: TLP 300 - DTX-1P/2, One-plate measurement
Szoftver: Lambda2010, One-plate

Mérés sorsz.	Hőáram (W)	Alsó oldal felületi hőmérséklete (°C)	Felső oldal felületi hőmérséklete (°C)	Hőmérséklet-különbség (K)	Minta közép-hőmérséklete (°C)	Hővezetési tényező (W/mK)
1	0.197	10.5	19.3	8.8	14.9	0.2393
2	0.211	15.3	24.3	8.9	19.8	0.2532
3	0.222	20.2	29.2	9.0	24.7	0.2640



Lambda (10°C) = (0.227 +/- 0.007) W/mK
Result +/- expanded uncertainty (factor 2)