



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Építőmérnöki Kar
Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

Társasházak innovatív energiahatékonysági felújítása BIM alapokon

TDK dolgozat

Tóth Balázs

építőmérnök Bsc szakos hallgató

Konzulensek:

Dr. Nagy Balázs

adjunktus, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

Szagri Dóra

doktorandusz, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

Budapest, 2020 október

Tartalom

Ábrajegyzék.....	4
Absztrakt.....	6
Abstract.....	7
1. Bevezetés	8
2. Felújítási lehetőségek	9
2.1. Lapostetőre alkalmas megoldások	9
2.1.1. Expandált polisztirolhab (EPS) táblás hőszigetelés	10
2.1.2. Poliuretánhab (PIR) táblás hőszigetelés	11
2.1.3. Vákuumpanel hőszigetelés	11
2.1.4. Kőzetgyapot táblás hőszigetelés	12
2.1.5. Farostlemez hőszigetelés.....	13
2.1.6. Szalmatáblás hőszigetelés	14
2.1.7. Zöldtető extrudált polisztirolhab (XPS) táblás hőszigeteléssel.....	14
2.1.8. Zöldtető farostlemez hőszigeteléssel.....	15
2.1.9. Zöldtető üveghab granulátum hőszigeteléssel	15
2.1.10. Hővisszaverő bevonat tetőre	16
2.2. Homlokzatra alkalmas megoldások	17
2.2.1. Expandált polisztirolhab (EPS) táblás hőszigetelés	17
2.2.2. Grafitpor adalékos EPS táblás hőszigetelés	18
2.2.3. Vákuumpanel táblás hőszigetelés	18
2.2.4. Kőzetgyapot táblás hőszigetelés	19
2.2.5. Fagyapot hőszigetelés	19
2.2.6. Kenderrost táblás hőszigetelés	20
2.2.7. Szalmatáblás hőszigetelés	20
2.2.8. "Nano-kerámiás" hőszigetelő bevonat hőszigetelés	21
2.2.9. Aerogél szigetelő vakolat.....	22
2.1.10. Hővisszaverő bevonat homlokzatra	23
2.3. Értékelés, összehasonlítás	24
3. Esettanulmány	28
4. BIM modell elkészítése	30
4.1. Szerkezeti felépítés, egyszerűsítések	30
4.2. Árnyékolás	34
4.3. Nyílászárók	35

5. Dinamikus épületszimuláció.....	36
5.1. Klímaadatok.....	36
5.3. HVAC és fogyasztási szokások	37
5.3.1. Hűtés, szellőztetés	37
5.3.2. Fűtés, hőszabályozás	38
5.4. Mintaépület szimulációja.....	38
5.5. Optimális szigetelések kiválasztása	41
5.6. Tető- és homlokzatszigetelés együttes szimulációja	43
5.7. Eredmények	45
6. Összefoglalás	48
7. Köszönetnyilvánítás	48
8. Irodalomjegyzék	49
Mellékletek	53

Ábrajegyzék

1. ábra - Mintaépület lapostető rétegendje	9
2. ábra – EPS hőszigetelő tábla [3].....	10
3. ábra - EPS táblás lapostető rétegendje	10
4. ábra - PIR hőszigetelő tábla [6]	11
5. ábra - PIR táblás lapostető rétegendje	11
6. ábra - Vákuumpanel hőszigetelő tábla [7].....	11
7. ábra - Vákuumpaneles lapostető rétegendje.....	12
8. ábra - Kőzetgyapot hőszigetelő tábla [8].....	12
9. ábra - Inhomogén kőzetgyapot hőszigetelő tábla [9].....	12
10. ábra - Kőzetgyapot táblás lapostető rétegendje.....	13
11. ábra - Farostlemez hőszigetelő tábla [11].....	13
12. ábra - Farostlemezes lapostető rétegendje.....	13
13. ábra - Szalmabála hőszigetelő tábla [12].....	14
14. ábra - Szalmatáblás lapostető rétegendje	14
15. ábra - XPS hőszigetelő tábla [13].....	14
16. ábra - XPS táblás zöldtető rétegendje	15
17. ábra - Farostlemezes zöldtető rétegendje	15
18. ábra - Üveghab granulátum hőszigetelő feltöltés [16].....	15
19. ábra - Üveghab granulátumos zöldtető rétegendje.....	16
20. ábra - Hővisszaverő bevonat felhordása [19]	16
21. ábra - Mintaépület homlokzati rétegendje.....	17
22. ábra - EPS táblás homlokzat rétegendje	18
23. ábra - Grafitpor adalékos EPS hőszigetelő tábla [22].....	18
24. ábra - Grafitporadalékos táblás homlokzat rétegendje	18
25. ábra - Vákuumpaneles homlokzat rétegendje	19
26. ábra - Kőzetgyapot táblás homlokzat rétegendje	19
27. ábra - Fagyapot hőszigetelő tábla [25]	19
28. ábra - Fagyapot táblás homlokzat rétegendje.....	20
29. ábra - Kenderrost hőszigetelő tábla [26].....	20
30. ábra - Kenderrost táblás homlokzat rétegendje.....	20
31. ábra - Szalmatáblás homlokzat rétegendje	21
32. ábra - Nano-kerámia gömbvastagsága [27].....	21
33. ábra - Nano-kerámia bevonatos homlokzat rétegendje	22
34. ábra - Aerogél hasáb [35]	22
35. ábra - Aerogél hőszigetelő vakolat hasáb [36]	22
36. ábra - Aerogél vakolatos homlokzat rétegendje.....	23
37. ábra - Alumínium pigment por [38]	23
38. ábra - Lapostető megoldásainak értékelőtáblázata	26
39. ábra - Homlokzat megoldásainak értékelőtáblázata	27
40. ábra - Mintaépület műholdas képe [41].....	28
41. ábra - Mintaépület nyugati homlokzata	28
42. ábra - Mintaépület emeleti alaprajza - részlet.....	29
43. ábra - Vasbeton anyagjellemzőinek felvétele [1]	29
44. ábra - Lakásokra felosztott szint.....	30

45. ábra - Helyiségekre felosztott emeleti lakás (dél_4)	31
46. ábra - Helyiségekre felosztott földszinti lakások (dél_1 és dél_4).....	31
47. ábra - Részletes épületmodell	32
48. ábra - Egyszerűsített épületmodell komponens blokkokkal.....	32
49. ábra - Homlokzati falak vasbeton-hányad szerinti megkülönböztetése színekkel	33
50. ábra - Hőtároló tömeg megadása emeleti lakásnál	34
51. ábra - Mintaépület beárnyékolása január 15-én 15:00-kor – modelltérben.....	34
52. ábra – Mintaépület elhelyezkedése a közeli épületekhez képest – műholdas kép [41].	34
53. ábra - Bejárati ajtó a modellben és a valós épületen.....	35
54. ábra - Generált napi középhőmérséklet egy évre.....	36
55. ábra - Generált órai átlagos szélsőérték egy évre.....	36
56. ábra - Számított természetes szellőzést befolyásoló tényezők [42].....	37
57. ábra - Északi és déli szobák elhelyezkedése.....	38
58. ábra - Legmelegebb hét – léghőmérséklet - 1. emelet.....	39
59. ábra - Legmelegebb hét – léghőmérséklet - 8. emelet.....	39
60. ábra - Legmelegebb hét - legnagyobb és átlagos léghőmérséklet	40
61. ábra - Leghidegebb hét közepe – fűtési energia és léghőmérséklet – 1. emelet.....	40
62. ábra – Leghidegebb hét – fajlagos fűtési energia – 1. emelet.....	41
63. ábra - Hővisszaverő bevonat adatainak bevitele (Polyver Super White)	41
64. ábra - Szigetelések összehasonlítása szimuláció alapján.....	42
65. ábra - Szigetelési megoldások hatékonysága fűtési energiafogyasztás alapján	42
66. ábra - Legmelegebb hét - léghőmérséklet – szigeteléssel – 1. emelet.....	43
67. ábra - Legmelegebb hét - léghőmérséklet – szigeteléssel – 8. emelet.....	43
68. ábra - Legmelegebb hét – heti legnagyobb- és középhőmérséklet – szigeteléssel - nyugat	44
.....	44
69. ábra - Leghidegebb hét - Óránkénti fűtési energia – szigeteléssel – 1. emelet.....	44
70. ábra - Leghidegebb hét – fajlagos fűtési energia – 1. emelet	45
71. ábra – Kombinált szigetelési megoldás összehasonlítva a többi szimulált szigeteléssel	45
.....	45
72. ábra - kombinált szigetelési megoldás hatékonysága a többi szimulált szigeteléshez képest.....	46
73. ábra - Legmelegebb hét - léghőmérsékletek - 8. emelet – összehasonlítás	46
74. ábra - Leghidegebb hét - Óránkénti fűtési energia – 1. emelet - összehasonlítás.....	47

Absztrakt

Név:	Tóth Balázs
Dolgozat címe:	Társasházak innovatív energiahatékonysági felújítása BIM alapokon
Konzulensek:	Dr. Nagy Balázs <i>BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék</i> Szagri Dóra <i>BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék</i>
Félév:	2020/21/1. félév

A 20. században készült épületek energetikai teljesítőképességéről általánosságban elmondható, hogy nem felelnek meg a mai követelményeknek és igényeknek. Nyáron akár a külső léghőmérséklet többszörösére, 60-70°C-ra felmelegedő külső térhatároló szerkezetek nemcsak a bentlakók életszínvonalára vannak hatással, hanem a sűrű beépítettségű területeken kialakuló városi hősziget-hatás egyik legfőbb okozói is. A több emeletes társasházakra a terjedelmes határoló felületek miatt ez fokozottan igaz.

Kutatásomban azt vizsgáltam, hogy a mára elavulttá vált társasházak homlokzatainak és tetőinek felújítása milyen innovatív, hazánkban eddig kevésbé alkalmazott anyagokkal, illetve technológiákkal lehetne kedvezőbb a nyári túlmelegedés elkerülése és a fűtési/hűtési idénybeli energiafogyasztás minimalizálása szempontjából. A vizsgálathoz dinamikus épületszimulációt alkalmaztam, melyhez egy 1964-ben épített, tíz szintes vasbetonvázás társasházat vettem alapul a Lágymányosi lakótelepen. Az épület BIM modelljét eredeti alaprajzok és metszetek alapján készítettem el. A kutatás következő lépéseként összegyűjtöttem kilenc lapostetőre- és kilenc homlokzatra alkalmas anyagot, melyek egyaránt tartalmaznak újszerű és hagyományos megoldásokat is. A potenciális energiahatékonysági célú tető- és homlokzatfelújítási megoldások között szerepelnek előállításuk szerint újrahasznosított-, természetes- és mesterséges anyagok, állaguk szerint pedig szilárd hőszigetelő elemek és bevonatok. A vizsgált anyagokat - és azok kombinációit - összehasonlítottam tulajdonságaik, teljesítményadataik és költséghatékonyságuk alapján, figyelembe véve a Budapestre jellemző éghajlati-, illetve technológiai sajátosságokat. A kutatás második felében pedig dinamikus épületszimulációkat készítettem DesignBuilder szoftverrel, majd ezek alapján elemeztem a módosított épületszerkezetek hőszigetelőképességét az optimális eljárás megállapítása érdekében. A szimulációk órai felbontással készültek, szintén órai felbontású, generált időjárásadatok alkalmazásával. Ezzel a módszerrel nem csak az épület fűtési energiafogyasztása állapítható meg, hanem a lakások belső hőmérséklete és relatív nedvességtartalma is, melyekből következtetni lehet a lakók komfortjára.

A széles körben vizsgált anyagoknak, technológiáknak köszönhetően könnyebb megtalálni a legideálisabb szigetelést változó igények és körülmények esetén is. A vizsgálat alapjául szolgáló létesítmény elhelyezkedését és funkcióját tekintve igen gyakori épülettípus Budapesten, így az eredmények számottevő elavult épület felújításánál, esetleg új házak építésénél is hasznos lehet.

Abstract

Name: Balázs Tóth
Thesis title: Innovative energy efficient renovation of condominiums based on BIM
Supervisors: Balázs Nagy, Phd
BME Department of Construction Materials and Technologies
Dóra Szagri
BME Department of Construction Materials and Technologies
Semester: 2020/21/1. semester

The energy performance of buildings made in the 20th century does not meet today's requirements in general. In summer, the surface of the building envelope can heat up to several times the outdoor air temperature, even to 60-70 ° C. This effect not only could affect the residents' standard of living but also one of the leading causes of the urban heat island effect in densely built-up areas, and especially true for multi-storey condominiums due to the large boundary surfaces.

In this study, I examined innovative materials and technologies less used in Hungary in case of the renovation of facades and roofs of outdated condominiums. The most important aspect of these materials and technologies is to be more favourable in terms of avoiding summer overheating and minimizing energy consumption during the heating /cooling season. For the analysis, I used dynamic building simulation, which was based on a ten-storey, reinforced concrete framed condominium built in the Lágymányos house estate in 1964. I created the BIM model of the building with the help of original floor plans and sections. As the next step in the study, I collected nine materials suitable for flat roofs and nine materials ideal for facades, which contain both novel and traditional solutions. During the energy-efficiency based renovation design of the roof and facade renovation, I included both recycled, natural and artificial materials as well as examined solid thermal insulations and coatings. I compare the examined materials and their combinations according to their properties, performance data and cost-effectiveness while I take into consideration the climatic and technological particularities of Budapest. In the second part of the study, I created dynamic building simulations by using the software called DesignBuilder. According to the simulations, I analyzed the thermal insulating performance of the modified building structures to determine the optimal procedure. The temporal resolution of the simulations is one hour using generated weather data also with a temporal resolution of an hour. With this method, not only the heating energy consumption of the building can be determined but also the internal temperature and the relative humidity of the apartments from which the comfort of the residents can be concluded.

Thanks to the widely studied materials and technologies, it is easier to find the ideal insulation even in case of changing needs and conditions. The inspected facility is a common type of building in Budapest according to its location and function so the results may be useful for the renovation of significantly outdated buildings and possibly for the construction of new houses.

1. Bevezetés

A napjainkra korszerűtlenné vált lakóépületek energetikai felújítása több szempontból is indokolt. Egyrészt a lakók életszínvonala, másrészt a komfortérzet biztosításához szükséges hő- és villamosenergia mennyiségének csökkentése és tudatos felhasználása érdekében. Nagyobb léptékben tekintve a települések egészséges mikroklímájának fenntartása, illetve javítása miatt fontos a megfelelő energetikai állapot. Ezt a mikroklímát negatívan befolyásoló épületek hatásait - építőanyagok minősége, energiafelhasználás tudatossága, homlokzati méretek nagysága, terület beépítettsége - nevezzük összefoglalóan városi hősziget-hatásnak. Terjedelmét tekintve városi szinten globálisnak nevezhető a probléma, javítani rajta mégis lokális megoldásokkal célszerű, tehát az építmények korszerűsítésével, hatékony energiafelhasználással és környezetbarát építőanyagok alkalmazásával.

Az energetikai célú felújításokat a 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet szabályozza többek között a szerkezetek hőátbocsátási tényezője alapján [1]. A rendelet hatásköre társasházak esetén kiterjed az új ingatlanokra és a nagy volumenű felújításokra egyaránt. A költségoptimalizált követelményszint értékei a dolgozatban vizsgált térfatartó szerkezetre: homlokzati fal esetén $U=0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$; lapostető esetén $U=0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$. Így az általam tanulmányozott anyagok paramétereit ezen értékek alapján választom ki.

A dolgozatban elavult, budapesti társasházak homlokzati- és tetőfelújítási lehetőségeit vizsgálom dinamikus szimulációval. Mindkét területre kilenc-kilenc megoldást választottam, melyek között egyaránt találhatók napjainkban igen népszerű és kevésbé elterjedt, továbbá régóta használatos vagy innovatív jellegű hőszigetelési megoldások. A kilenc megoldást három-három alcsoportra osztottam, melyek a természetes- és mesterséges előállítású táblás hőszigetelés, illetve egy-egy speciális megoldás. A táblás hőszigetelések szükséges vastagságát hőátbocsátási tényezőre vonatkozó stacioner számítással határoztam meg, majd az eredmények és az anyagtulajdonságok alapján értékeltem az anyagokat. Az értékelés alapján összehasonlítást végeztem és kiválasztottam a legjobb táblás, illetve legjobb speciális szigetelési megoldást. A táblás megoldásokat megvizsgáltam továbbá hővisszaverő bevonattal borított állapotában is, megállapítva ezzel a bevonatok hasznosságát. Ezt a három-három megoldást, továbbá a legeredményesebbek kombinációit vizsgáltam meg részletesebben dinamikus szimulációval egy teljes évre vonatkozóan az általam választott mintaépületre alkalmazva.

2. Felújítási lehetőségek

A lehetőségek kiválasztásakor az elsődleges szempontom az volt, hogy több évtizede használt és széles körben elterjedt szigeteléseket hasonlítsak össze innovatív jellegű, hazánkban kevésbé alkalmazottakkal. Szintén fontos volt, hogy természetes alapanyagú és környezetbarát technológiájú szigeteléseket is vizsgáljak. A kiválasztott anyagok hőtechnikai szempontból releváns adatait gyártói tájékoztatókból vettem azért, hogy a kereskedelemben ténylegesen kapható termékeket hasonlítsam össze. Szükség volt a teljes rétegrendek összeállításához a valósághű szimuláció érdekében, az ehhez szükséges, valamint a kiindulási szerkezetekben használt építőanyagok (párazárás, vízszigetelés, felszínképzés elemeinek) adatait az MSZ EN ISO 10456 és az MSZ 24140 szabványok alapján határoztam meg. [1][3] A rétegrendek kategóriáinként megegyeznek a pontos összehasonlíthatóság érdekében.

A szigetelésvastagságokat stacioner számítással határoztam meg a hőátbocsátási tényező alapján. Ehhez az Auricon Energetic nevű szoftvert használtam úgy, hogy mindegyik általam alkotott rétegrend megfeleljen a hatályos rendeletnek, vagyis a kapott hőátbocsátási értékek megegyeznek vagy kisebbek az előírt költségoptimalizált követelményszintben meghatározott értéknél. [1] A rétegrendek kondenzáció szempontjából is megfelelőnek bizonyultak.

Az energetikai számítások dokumentációi a Mellékletekben található meg.

2.1. Lapostetőre alkalmas megoldások

A kiindulási épület lapostetőjének rétegrendjét az 1. ábra mutatja, melyet az eredeti tervek alapján állítottam össze. Szoftveres hőtani vizsgálatának eredménye szerint a rétegrend hőátbocsátási tényezője $0,74 \text{ W/m}^2\text{K}$ és kondenzáció alakulhat ki, tehát a követelményeknek közel sem felel meg.

Rétegrend belülről kifelé:

Réteg neve	d [cm]	λ [W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kaK]	ρ [kg/m ³]	δ [g/msMPa]	ϵ
TDK_Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
TDK_Monolit_vb_lemezfödém	19,000	2,500	1,020	1,000	2300,000	80,000	0,900
Kohósalak feltöltés	20,000	0,450	1,000	0,750	1500,000	0,044	0,900
Bitumoperlit 400	6,000	0,120	0,996	1,130	400,000	0,016	0,900
Cement, homok habarcs	2,000	1,000	0,995	1,000	1800,000	10,000	0,900
Oxidbitumenes lemez (általános)	0,300	0,120	1,000	0,000	1100,000	20000,000	0,900

1. ábra - Mintaépület lapostető rétegrendje

A lehetőségek kidolgozása során a felső rétegeket eltávolítottak tekintem a perlitlapokig bezárólag, tehát a szigetelések a vasbeton födemen elhelyezkedő kohósalak lejtésadó rétegre kerültek. A kohósalak 8-20 cm vastagságban van jelen, a számítás során egyszerűsítésként 10 cm vastagsággal számoltam, a tetőt pedig ez alapján 1°-os lejtésűnek tekintem. Az új rétegrendek összeállítása során a tető eddigi funkciójának megfelelően nem járható lapostetőre alkalmas konstrukciókat dolgoztam ki. A kilenc lehetőséget három kategóriába soroltam, az összegzés során a két legjobban teljesítő anyagot választottam a dinamikus szimulációhoz.

Első kategória: Nem járható lapostető, egyenes rétegrendi kialakításban, mesterséges előállítású táblás szigetelésekkel. Itt négy különböző gyártó különböző termékeit vettem alapul

az expandált polisztirolhabbal kezdve, a poliuretánhabbal és a hazánkban még kevésbé alkalmazott vákuumpannellel folytatva, a kőzetgyapot táblás hőszigetelésig bezárólag.

Második kategória: Nem járható lapostető, egyenes rétegrendi kialakításban, természetes előállítású táblás hőszigetelésekkel. Ebbe a kategóriába egy farostlemez és egy szalmatáblás hőszigetelés került.

Harmadik kategória: Extenzív zöldtetők egyenes és fordított rétegrendi kialakítással egyaránt. Az utolsó csoportba alacsony termetű, igénytelen növényzettel (varjúhájfélékkel) borított zöldtetők kerültek, melyek szigetelőanyagokban és rétegrendi kialakításukban különböznek. Ezek a fordított rétegrendű extrudált polisztirolhab szigetelés, az egyenes rétegrendű farost táblás hőszigetelés, végül egy újszerű megoldás, az üveghabgranulátumos szigetelés fordított rétegrendi kialakításban.

A rétegrendi kialakítás a zöldtetők kivételével mindegyik opciónál azonos: a kohósalak fölött egy oxidbitumenes párazáró réteg található kellősítéssel, erre kerül a hőszigetelés, végül egy PVC vízszigetelés fedi a tetőt. A táblás szigeteléseknél 4 db/m² sűrűségű mechanikai rögzítést feltételeztem műanyag dübelekkel. A leghatásosabbnak bizonyuló szigetelést az 1. és 2. kategóriából hővisszaverő bevonattal is megvizsgáltam.

2.1.1. Expandált polisztirolhab (EPS) táblás hőszigetelés

Az EPS egy polimerizált sztírol alapanyagú, zártcellás műanyaghab, amely alacsony hővezetése és kis sűrűsége miatt széles körben alkalmazott hőszigetelés az építőiparban. Nyomószilárdsága nem túl nagy és nedvesség hatására nagy mértékben romlik a teljesítménye.



2. ábra – EPS hőszigetelő tábla [3]

Az egyik legnagyobb hazai gyártó, az Austrotherm egyik termékét választottam, mivel a cég szigeteléseit több helyen forgalmazzák, gyakran alkalmazzák építkezéseken, ezért beszerzése és kivitelezése egyszerűbb. Az AT-N200 átlagos hőtechnikai és magas mechanikai tulajdonságokkal bír az EPS szigetelések tekintetében, a táblák vastagsága pedig széles körben áll rendelkezésre (2-20 cm). [5] A rétegrend 3. ábra látható.

Rétegrend belülről kifelé:

Réteg neve	d [cm]	λ [W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kgK]	ρ [kg/m ³]	δ [q/msMPa]	ϵ
TDK_Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
TDK_Monolit_vb_lemezfödém	19,000	2,500	1,023	1,000	2300,000	80,000	0,900
Kohósalak feltöltés	10,000	0,450	1,000	0,750	1500,000	0,044	0,900
Hideg bitumen máz alapozó-kellősítő réteg	0,300	0,170	1,000	0,000	1050,000	0,000	0,900
Alu betétes oxidbitumenes lemez	0,300	0,170	1,000	0,000	1100,000	0,000	0,900
AT-N200 expandált polisztirolhab	18,000	0,033	1,000	1,460	32,000	100,000	0,900
PVC lemez	0,300	-	1,000	0,900	1390,000	18000,000	0,900

3. ábra - EPS táblás lapostető rétegrendje

Az EPS táblás hőszigetelés szükséges vastagsága: 18 cm.

2.1.2. Poliuretánhab (PIR) táblás hőszigetelés

A poliuretán (PUR) hab szigetelésként szórt és táblás formában is beépítésre kerülhet. A dolgozatban a táblás formátumot vizsgálom, mivel kisebb a hővezetése és jobban terhelhető, ezáltal lapostetőre alkalmasabb. A PUR hab táblák zárt cellás szerkezetűek, nyomásállóak, nedvességnek ellenállnak, azonban rendkívül gyúlékonyak és intenzíven égnek. Emiatt fejlesztették ki a poliuretán következő generációját, a PIR habot, amely nagyobb mennyiségben tartalmaz poliizocianurátot, aminek köszönhetően jobb lesz az anyag tűzállósága.



4. ábra - PIR hőszigetelő tábla [6]

Konkrét termékként a Bauder PIR FA nevű szigetelését választottam, amely 6-24 cm vastag táblákban kapható. [6] A rétegrend alább látható.

Rétegrend belülről kifelé:

Réteg neve	d [cm]	λ [W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kaK]	ρ [kg/m ³]	δ [q/msMPa]	ϵ
TDK Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
TDK_Monolit_vb_lemezfödém	19,000	2,500	1,023	1,000	2300,000	80,000	0,900
Kohósalak feltöltés	10,000	0,450	1,000	0,750	1500,000	0,044	0,900
Hideg bitumen máz alapozó-kellősítő réteg	0,300	0,170	1,000	0,000	1050,000	0,000	0,900
Alu betétes oxidbitumenes lemez	0,500	0,170	1,000	0,000	1100,000	0,000	0,900
Poliuretán keményhab (PIR)	14,000	0,025	1,006	1,420	40,000	60,000	0,900
PVC lemez	0,300	-	1,000	0,900	1390,000	18000,000	0,900

5. ábra - PIR táblás lapostető rétegrendje

A PIR táblás hőszigetelés szükséges vastagsága: 14 cm.

2.1.3. Vákuumpanel hőszigetelés

A vákuumpanel egy nanotechnológiás hőszigetelő tábla, amely egy általában pirogén kvasavporból álló töltőanyag polietilén védőfóliával borítva úgy, hogy a belső nanokristályok közti térben 0,05 bar légnyomást hoznak létre. Külső pára- és légzáró réteggént alumínium fólia borítás kerül a panelekre. A vákuumközeli légállapot miatt a konvekciós hőátadás minimális, továbbá a maganyag (kvasavpor) kondukciós hőátadása szintén nagyon alacsony, ezáltal egy rendkívül jó hőszigetelés jöhet létre. Hátránya a bonyolult



6. ábra - Vákuumpanel hőszigetelő tábla [7]

gyártás, a jelentős precizitást igénylő kivitelezése és az ezekből adódó magas költsége, továbbá a belső légnyomás állapota az idő elteltével változik, hővezetési tényezője romolhat.

A vákuumpanel hazánkban jelenleg nem túl elterjedt. A vizsgálat tárgyaként a Kingspan OPTIM-R nevű termékét választottam széleskörű alkalmazástechnikai és anyagtulajdonsággal kapcsolatos tájékoztatása miatt. Panelvastagság: 2-6 cm. [7] A rétegrend alább látható.

Rétegrend belülről kifelé:

Réteg neve	d [cm]	λ [W/mK]	$F_r * F_m * F_s$	c [kJ/kgK]	ρ [kg/m ³]	δ [a/msMPa]	ϵ
TDK_Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
TDK_Monolit_vb_lemezfödém	19,000	2,500	1,023	1,000	2300,000	80,000	0,900
Kohósalak feltöltés	10,000	0,450	1,000	0,750	1500,000	0,044	0,900
Hideg bitumen máz alapozó-kellősítő réteg	0,300	0,170	1,000	0,000	1050,000	0,000	0,900
Alu betétes oxidbitumenes lemez	0,300	0,170	1,000	0,000	1100,000	0,000	0,900
Kingspan_OPTIM-R_vákuumpanel	4,000	0,007	1,000	0,800	200,000	10000,000	0,900
PVC lemez	0,300	-	1,000	0,900	1390,000	18000,000	0,900

7. ábra - Vákuumpanel lapostető rétegrendje

A vákuumpanel hőszigetelés szükséges vastagsága: 4 cm.

2.1.4. Kőzetgyapot táblás hőszigetelés

A kőzetgyapot bazalt és mészkő olvadékából készül szálfújással, a szálak táblába préselésével. A szigetelőtáblák nem éghetőek, jó páraáteresztők és hangszigetelők, azonban nedvességre fokozottan érzékenyek és nem megfelelő kivitelezés esetén egészségkárosító hatása van.



8. ábra - Kőzetgyapot hőszigetelő tábla [8]

Hazai viszonylatban a Rockwool az egyik legnagyobb gyártója, ezért a vizsgálatához két terméküket választottam, a Roofrock 40-et, amely egy egyszerűbb kőzetgyapot szigetelés, illetve a Monrock Max E-t, amely egy inhomogén rétegrendű szigetelő tábla (9. ábra). A kőzetgyapot kis nyomószilárdsága miatt nem elegendő önmagában lapostetőszigetelésként, azonban az utóbbi inhomogén termék tartalmaz egy tömörebb, nagyobb szilárdságú vékony kőzetgyapot réteget a felső részén, ami képes elosztani a pontszerű terheket, így a dűbelek nem süllyednek be a szigetelésbe és egységes felületet kaphatunk a tetőn. A homogén tábla három vastagságban kapható (8, 10, 15 cm), erre kerül az inhomogén tábla nagyobb méretválasztékkal (6-20 cm). Mindkét elem hővezetése azonos. [8] [10] A rétegrend alább látható.



9. ábra - Inhomogén kőzetgyapot hőszigetelő tábla [9]

Rétegrend belülről kifelé:

Réteg neve	d [cm]	λ [W/mK]	$F_r * F_m * F_a$	c [kJ/kgK]	ρ [kg/m ³]	δ [a/msMPa]	ϵ
TDK Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
TDK_Monolit_vb_lemezfödém	19,000	2,500	1,023	1,000	2300,000	80,000	0,900
Kohósalak feltöltés	10,000	0,450	1,000	0,750	1500,000	0,044	0,900
Hideg bitumen máz alapozó-kellősítő réteg	0,300	0,170	1,000	0,000	1050,000	0,000	0,900
Alu betétes oxidbitumenes lemez	0,500	0,170	1,000	0,000	1100,000	0,000	0,900
ROOFROCK 40	10,000	0,038	1,029	0,840	165,000	1,000	0,900
Monrock Max E	12,000	0,038	0,990	0,840	165,000	1,000	0,900
PVC lemez	0,300	-	1,000	0,900	1390,000	18000,000	0,900

10. ábra - Kőzetgyapot táblás lapostető rétegrendje

Az kőzetgyapot hőszigetelés szükséges vastagsága: 22 cm.

2.1.5. Farostlemez hőszigetelés

A farostlemez faipari (lignocellulóz alapú) hulladékokból készül műgyanta kötőanyaggal, amely nagy hőtároló tömeggel, jó páraáteresztőképességgel és hangszigeteléssel rendelkezik. Újrahasznosított alapanyaga miatt környezetbarát megoldás, bontás után szintén újra felhasználható vagy komposztálható. Hátránya a szokványos szigetelésektől valamivel rosszabb hővezetési tényező, illetve a tűzállóság. A farostlemezek változó testsűrűséggel készülnek, a kis sűrűségű (200-240 kg/m³) táblák alkalmasak hőszigetelésre, esztétikus megjelenésük alapján akár hőszigetelő burkolatként is. A farost fűjt szigetelésként is alkalmazható nehezen hozzáférhető helyeken.



11. ábra - Farostlemez hőszigetelő tábla [11]

A dolgozathoz egy környezetbarát építőanyagokkal foglalkozó gyártó, a Steico Special nevű termékét választottam, amely tetőre és homlokzatra egyaránt alkalmas. A lemezek 4-20 cm vastagságban kaphatók. [11] A rétegrend alább látható.

Rétegrend belülről kifelé:

Réteg neve	d [cm]	λ [W/mK]	$F_r * F_m * F_a$	c [kJ/kgK]	ρ [kg/m ³]	δ [a/msMPa]	ϵ
TDK Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
TDK_Monolit_vb_lemezfödém	19,000	2,500	1,023	1,000	2300,000	80,000	0,900
Kohósalak feltöltés	10,000	0,450	1,000	0,750	1500,000	0,044	0,900
Hideg bitumen máz alapozó-kellősítő réteg	0,300	0,170	1,000	0,000	1050,000	0,000	0,900
Alu betétes oxidbitumenes lemez	0,500	0,170	1,000	0,000	1100,000	0,000	0,900
STEICO special farost	26,000	0,046	1,004	2,100	240,000	4,000	0,900
PVC lemez	0,300	-	1,000	0,900	1390,000	18000,000	0,900

12. ábra - Farostlemezes lapostető rétegrendje

Az farostlemez hőszigetelés szükséges vastagsága: 26 cm.

2.1.6. Szalmatáblás hőszigetelés

A szalmából készült hőszigetelés biológia úton lebomló, mezőgazdaságban újrahasznosítható, környezetbarát szigetelő anyag természetes alapanyagokból. Jó hővezetési tényezővel, páraáteresztőképességgel és tűzállósággal rendelkezik.

Forgalomban még nem kapható, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem W-Heat nevű fejlesztőcsapatának találmánya. A táblák 5-20 cm vastagságúak lehetnek. [13] A rétegrend alább látható.



13. ábra - Szalmabála hőszigetelő tábla [12]

Rétegrend belülről kifelé:

Réteg neve	d [cm]	λ [W/mK]	$F_T * F_m * F_a$	c [kJ/kaK]	ρ [ka/m ³]	δ [g/msMPa]	ϵ
TDK Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
TDK_Monolit_vb_lemezfödém	19,000	2,500	1,023	1,000	2300,000	80,000	0,900
Kohósalak feltöltés	10,000	0,450	1,000	0,750	1500,000	0,044	0,900
Hideg bitumen máz alapozó-kellősítő réteg	0,300	0,170	1,000	0,000	1050,000	0,000	0,900
Alu betétes oxidbitumenes lemez	0,500	0,170	1,000	0,000	1100,000	0,000	0,900
W-HEAT szalmatábla.	20,000	0,037	1,004	1,000	160,000	5,000	0,900
PVC lemez	0,300	-	1,000	0,900	1390,000	18000,000	0,900

14. ábra - Szalmatáblás lapostető rétegrendje

Az szalmatáblás hőszigetelés szükséges vastagsága: 20 cm.

2.1.7. Zöldtető extrudált polisztirolhab (XPS) táblás hőszigeteléssel

Az extrudált polisztirolhab kémiai összetételében megegyezik az expandált polisztirollal, azonban alapanyagában és gyártási folyamatában eltérő. Testsűrűsége kicsi, nyomószilárdsága nagy és a nedvességet jól tűri, továbbá tűzállósága is jobb az expandálthoz képest, tehát az épület bármely részén alkalmazható. Páraáteresztőképessége igen alacsony.

Kedvező tulajdonságai miatt fordított rétegrendű zöldtetőként vizsgálom, tehát a vízszigetelésre kerül rá a már említett Austrotherm gyártó Top 30 Premium SF nevű terméke, amelyre 6 cm vastag formahabosított expandált polisztirol felületszivárgó fekszik fel. A zöldtető meghatározó része az ültetőközeg ezen szivárgón helyezkedik el egy geotextília elválasztóréteggel. Az XPS táblák vastagsága 4-32 cm közötti. [13][15] A rétegrend alább látható.



15. ábra - XPS hőszigetelő tábla [13]

Rétegrend belülről kifelé:

Réteg neve	d [cm]	λ [W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kaK]	ρ [ka/m ³]	δ [a/msMPa]	ϵ
TDK Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
TDK_Monolit_vb_lemezfödém	19,000	2,500	1,023	1,000	2300,000	80,000	0,900
Kohósalak feltöltés	10,000	0,450	1,000	0,750	1500,000	0,044	0,900
Hideg bitumen máz alapozó-kellősítő réteg	0,300	0,170	1,000	0,000	1050,000	0,000	0,900
Elastomer bitumenes lemez	0,500	0,120	1,000	0,000	1100,000	0,000	0,900
Plastomer bitumenes lemez	0,500	0,120	1,000	0,000	1100,000	20000,000	0,900
TOP 30 Premium SF 10 cm-től	12,000	0,029	1,000	1,400	30,000	200,000	0,900
OÁZIS felületszivárgó EPS	6,000	0,040	1,000	1,460	30,000	1,000	0,900
Geotextília 500 g/m ²	0,600	-	1,000	0,000	0,500	50,000	0,900
Termett talaj	15,000	1,160	1,000	0,840	1800,000	0,052	0,380

16. ábra - XPS táblás zöldtető rétegrendje

Az extrudált polisztirolhab hőszigetelés szükséges vastagsága: 12 cm.

2.1.8. Zöldtető farostlemez hőszigeteléssel

A farostlemezt már ismertettem 2.1.5. Farostlemez hőszigetelés című fejezetben.

Zöldtetőként egyenes rétegrendi beépítéssel alkalmaztam, a farostlemezre bitumenes vízszigetelés, majd a felületszivárgó (6 cm vastag formahabosított expandált polisztirol) és az ültetőközeg kerül. A rétegrend alább látható.

Rétegrend belülről kifelé:

Réteg neve	d [cm]	λ [W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kaK]	ρ [ka/m ³]	δ [a/msMPa]	ϵ
TDK Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
TDK_Monolit_vb_lemezfödém	19,000	2,500	1,023	1,000	2300,000	80,000	0,900
Kohósalak feltöltés	10,000	0,450	1,000	0,750	1500,000	0,044	0,900
Hideg bitumen máz alapozó-kellősítő réteg	0,300	0,170	1,000	0,000	1050,000	0,000	0,900
Alu betétes oxidbitumenes lemez	0,500	0,170	1,000	0,000	1100,000	0,000	0,900
STEICO special farost	18,000	0,046	1,012	2,100	240,000	4,000	0,900
Plastomer bitumenes lemez	0,500	0,120	1,000	0,000	1100,000	20000,000	0,900
OÁZIS felületszivárgó EPS	6,000	0,040	1,000	1,460	30,000	1,000	0,900
Geotextília 500 g/m ²	0,600	-	1,000	0,000	0,500	50,000	0,900
Termett talaj	15,000	1,160	1,000	0,840	1800,000	0,052	0,380

17. ábra - Farostlemezes zöldtető rétegrendje

Az farostlemez hőszigetelés szükséges vastagsága: 18 cm.

2.1.9. Zöldtető üveghab granulátum hőszigeteléssel

Az üveghab granulátum újrahasznosított üveg megtisztításával, őrlésével és égetésével készült hőszigetelés. Az üveghab jó hővezetésű, nagy nyomószilárdságú, jó tűzállóságú,



18. ábra - Üveghab granulátum hőszigetelő feltöltés [16]

azonban teljesen párazáró szigetelés. Granulátum formájában alkalmas hőszigetelő feltöltések, aljzatok kialakításra.

A vizsgálathoz az Energocell nevű üveghabgranulátumot alkalmazom. A gyártó által megadott adatok igen kedvezőek, azonban egy 2019-es tanulmány laboratóriumi vizsgálatai alapján nagyobb hőmérséklet és nedvesség hatás következtében hőszigetelő tulajdonságai romlanak, ezért nem a termékhez tartozó $0,086 \text{ W/m}^2\text{K}$ hővezetési tényezővel, hanem $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ értékkel számolok. [17] A fordított zöldtető kialakításához az előző zöldtető koncepcióknál használt 6 cm vastag formahabosított expandált polisztirol felületszivargót alkalmaztam. Erre került rá az üveghab granulátum, amely a hőszigetelő szivargóval is igen nagy vastagságban szükséges a követelményérték eléréséhez. [18] A rétegrend alább látható.

Rétegrend belülről kifelé:

Réteg neve	d [cm]	λ [W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kaK]	ρ [kg/m ³]	δ [a/msMPa]	ϵ
TDK Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
TDK_Monolit_vb_lemezfödém	19,000	2,500	1,023	1,000	2300,000	80,000	0,900
Kohósalak feltöltés	10,000	0,450	1,000	0,750	1500,000	0,044	0,900
Hideg bitumen máz alapozó-kellősítő réteg	0,300	0,170	1,000	0,000	1050,000	0,000	0,900
Alu betétes oxidbitumenes lemez	0,300	0,170	1,000	0,000	1100,000	0,000	0,900
Kingspan_OPTIM-R_vákuum panel	4,000	0,007	1,000	0,800	200,000	10000,000	0,900
PVC lemez	0,300	-	1,000	0,900	1390,000	18000,000	0,900

19. ábra - Üveghab granulátumos zöldtető rétegrendje

Az üveghab granulátum hőszigetelés szükséges vastagsága: 50 cm.

2.1.10. Hővisszaverő bevonat tetőre

A tető túlzott felmelegedésének elkerülése érdekében a legfelső rétegen alkalmazható magas hővisszaverő (hőreflexiós) képességű és alacsony hőelnyelő képességű (hőemissziós) bevonat. Ezek a bevonatok a napsugárzás különböző hullámhosszú sugarait nagymértékben visszaverik, ezáltal kevésbé melegszenek fel az alsóbb rétegek.



20. ábra - Hővisszaverő bevonat felhordása [19]

A legjobbnak bizonyuló nem járható, egyenes rétegrendű lapostető rétegrendjét dinamikus szimulációval megvizsgáltam egyszerű PVC vízszigeteléssel, majd hővisszaverő bevonattal kezelt vízszigeteléssel is, megállapítva a bevonat szükségességét.

Erre a célra a Polyglass bevonatát, a Polyver Super White-ot választottam, amely magas SRI index-el, azaz magas szoláris reflexióval rendelkezik. Az SRI (Solar Reflectance Index) a reflexiós képesség besorolására szolgál. Ebben a rendszerben a 100 jelenti a standard fehéret, melyhez 80%-os reflexió tartozik. A Super White SRI indexe 106-os, szoláris reflexiója 84%, míg infravörös sugárzásra vonatkozó reflexiója 12%. [20]

2.2. Homlokzatra alkalmas megoldások

A kiindulási épület homlokzati falának eredeti rétegrendjét a 21. ábra mutatja. A kitöltőfalat a vasbetonváz pillérei tagolják, amelyek legsűrűbben az északi és a déli homlokzaton vannak jelen, itt a fal felületének 19,5 % vasbeton, így a számítás során ezt az inhomogenitást vettem alapul a legnagyobb hővezetés megállapításához. Ezáltal a homlokzat hővezetési tényezője $1,477 \text{ W/m}^2\text{K}$ és kondenzáció is várható. Tehát a mai követelményértéknek közel sem felel meg.

Rétegrend belülről kifelé:

Réteg neve	d [cm]	λ [W/mK]	$F_r * F_m * F_a$	c [kJ/kgK]	ρ [kg/m ³]	δ [q/msMPa]	ϵ
TDK_Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
B30 kitöltőfal	30,000	0,580	1,006	0,920	1400,000	0,044	0,900
Mészvakolat	2,500	0,810	0,995	0,920	1650,000	0,024	0,900

21. ábra - Mintaépület homlokzati rétegrendje

A fal külső vakolat nélküli állapotát tekintem kiindulási alapnak a lehetőségek vizsgálata során. A választott anyagokat ez esetben is három kategóriára osztottam, melyeket előállításuk, illetve állaguk szerint különböztethetünk meg.

Első kategória: Mesterséges előállítású táblás hőszigetelések. Ebben a kategóriában a széles körben alkalmazott expandált polisztirolt, annak továbbfejlesztett verzióját, a grafitporadalékos expandált polisztirolt, a vákuumpanel hőszigetelést, végül a kőzetgyapot táblás hőszigetelést vizsgálom.

Második kategória: Természetes előállítású táblás hőszigetelések. Itt a már forgalmazott fagyapot és kenderrost táblás, illetve a még forgalomba nem került szalmatáblás hőszigetelést vizsgálók.

Harmadik kategória: Mesterséges, bevonat jellegű szigetelések. Az utolsó kategóriában 2 bevonatot vizsgálók. Az egyik a hazánkban úgynevezett "nano-kerámiás" festékként emlegetett bevonat, a másik egy egyelőre inkább csak külföldön forgalmazott aerogél hőszigetelő bevonat.

A rétegrendi kialakítás táblás szigeteléseknél azonos, a vakolat nélküli homlokzati falra kerül a szigetelés ragasztóhabarccsal, majd a tábla mechanikai rögzítése 6 db/m^2 sűrűséggel. A szigetelésre ragasztótapasz kerül üvegszövet hálóval, majd egy alap-, illetve egy nemesvakolat. A leghatásosabbnak bizonyuló szigetelést az 1. és 2. kategóriából hővisszaverő bevonattal is megvizsgáltam.

2.2.1. Expandált polisztirolhab (EPS) táblás hőszigetelés

Az EPS hőszigetelés a 2.1.1. Expandált polisztirolhab (EPS) táblás hőszigetelés című fejezetben ismertetésre került.

Az Austrotherm egy másik, homlokzatra alkalmas termékét választottam, az AT-H80 nevű EPS táblát, amely 2-20 cm vastagságban elérhető. [21] A rétegrend alább látható.

Rétegrend belülről kifelé:

Réteg neve	d [cm]	λ [W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kgK]	ρ [kg/m ³]	δ [a/msMPa]	ϵ
TDK_Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
B30 kitöltőfal	30,000	0,580	1,012	0,920	1400,000	0,044	0,900
LB-KNAUF Thermofix ragasztóhab.	1,000	0,930	1,000	0,880	1510,000	11,000	0,900
Austrotherm AT-H80 EPS	14,000	0,038	1,000	1,460	25,000	60,000	0,900
LB-KNAUF Külső alapvakolat	0,300	0,790	0,994	0,880	1626,000	12,000	0,900
LB-KNAUF Nemesvakolat	0,200	0,990	0,994	0,880	1850,000	12,000	0,900

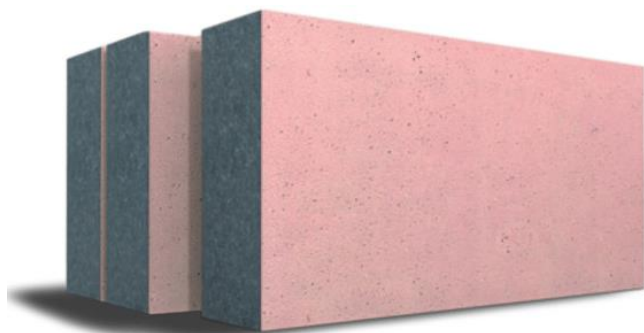
22. ábra - EPS táblás homlokzat rétegrendje

Az EPS hőszigetelés szükséges vastagsága: 14 cm.

2.2.2. Grafitpor adalékos EPS táblás hőszigetelés

Az EPS szigetelés gyártása során a habosító-anyag adagolása során mikrométerű grafitport adnak a keverékhez. A grafitpor szemcséi a polisztirolhab cellafalaiba épülve a hőszigetelés egy részét visszaveri, ezáltal növelve a tábla hőszigetelő képességét.

Az Austrotherm GRAFIT-REFLEX nevű szigetelése a külső oldalon világos festékekkel van ellátva, ami segíti a napsugárzás visszaverését. A tábla 6-30 cm közti vastagságban kapható. [23] A rétegrend alább látható.



23. ábra - Grafitpor adalékos EPS hőszigetelő tábla [22]

Rétegrend belülről kifelé:

Réteg neve	d [cm]	λ [W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kgK]	ρ [kg/m ³]	δ [a/msMPa]	ϵ
TDK_Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
B30 kitöltőfal	30,000	0,580	1,012	0,920	1400,000	0,044	0,900
LB-KNAUF Thermofix ragasztóhab.	1,000	0,930	1,000	0,880	1510,000	11,000	0,900
Austrotherm_GRAFIT_Reflex	12,000	0,031	1,000	1,460	25,000	60,000	0,900
LB-KNAUF Külső alapvakolat	0,300	0,790	0,994	0,880	1626,000	12,000	0,900
LB-KNAUF Nemesvakolat	0,200	0,990	0,994	0,880	1850,000	12,000	0,900

24. ábra - Grafitporadalékos táblás homlokzat rétegrendje

A grafitpor adalékos EPS hőszigetelés szükséges vastagsága: 12 cm.

2.2.3. Vákuumpanel táblás hőszigetelés

A vákuumpanel hőszigetelés a 2.1.3. Vákuumpanel hőszigetelés című fejezetben ismertetésre került. A rétegrend alább látható.

Rétegrend belülről kifelé:

Réteg neve	d [cm]	λ [W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kgK]	ρ [kg/m ³]	δ [q/msMPa]	ϵ
TDK_Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
B30 kitöltőfal	30,000	0,580	1,013	0,920	1400,000	0,044	0,900
LB-KNAUF Thermofix ragasztóhab.	1,000	0,930	1,000	0,880	1510,000	11,000	0,900
Kingspan_OPTIM-R_vákuumpanel	2,500	0,007	1,000	0,800	200,000	10000,000	0,900
LB-KNAUF Külső alapvakolat	0,300	0,790	0,994	0,880	1626,000	12,000	0,900
LB-KNAUF Nemesvakolat	0,200	0,990	0,994	0,880	1850,000	12,000	0,900

25. ábra - Vákuumpaneles homlokzat rétegrendje

A vákuumpanel hőszigetelés szükséges vastagsága: 2,5 cm.

2.2.4. Kőzetgyapot táblás hőszigetelés

A kőzetgyapot hőszigetelés a 2.1.4. Kőzetgyapot táblás hőszigetelés című fejezetben ismertetésre került.

Homlokzatra a Rockwool egy másik szigetelését, a FRONTROCK SUPER-t választottam, mivel itt nem szükséges nagy nyomószilárdság. Elérhető vastagságok: 8-20 cm. [24] A rétegrend alább látható.

Rétegrend belülről kifelé:

Réteg neve	d [cm]	λ [W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kgK]	ρ [kg/m ³]	δ [q/msMPa]	ϵ
TDK_Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
B30 kitöltőfal	30,000	0,580	1,012	0,920	1400,000	0,044	0,900
LB-KNAUF Thermofix ragasztóhab.	1,000	0,930	1,000	0,880	1510,000	11,000	0,900
FRONTROCK SUPER	14,000	0,036	1,004	1,030	135,000	1,000	0,900
LB-KNAUF Külső alapvakolat	0,300	0,790	0,994	0,880	1626,000	12,000	0,900
LB-KNAUF Nemesvakolat	0,200	0,990	0,994	0,880	1850,000	12,000	0,900

26. ábra - Kőzetgyapot táblás homlokzat rétegrendje

A kőzetgyapot hőszigetelés szükséges vastagsága: 14 cm.

2.2.5. Fagyapot hőszigetelés

A fagyapot fából, cementből és vízből készített környezetbarát szigetelő anyag, amely hőszigetelő- és hőtároló képessége mellett jó hangszigetelő és páraáteresztő is, továbbá tűzállósága is magas. Hátránya, hogy hővezetési képessége elmarad az elterjedt szigetelésektől, ezért nagyobb vastagságban szükséges alkalmazni.

A már említett Steico gyártó termékét választottam, a Steico Protect-et, amely 4-16 cm vastagságban elérhető. [25] A rétegrend alább látható.



27. ábra - Fagyapot hőszigetelő tábla [25]

Rétegrend belülről kifelé:

Réteg neve	d [cm]	λ [W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kgK]	ρ [kg/m ³]	δ [g/msMPa]	ϵ
TDK Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
B30 kitöltőfal	30,000	0,580	1,013	0,920	1400,000	0,044	0,900
LB-KNAUF Thermofix ragasztóhab.	1,000	0,930	1,000	0,880	1510,000	11,000	0,900
STEICO Protect_M	24,000	0,046	1,003	2,100	230,000	5,000	0,900
LB-KNAUF Külső alapvakolat	0,300	0,790	0,994	0,880	1626,000	12,000	0,900
LB-KNAUF Nemesvakolat	0,200	0,990	0,994	0,880	1850,000	12,000	0,900

28. ábra - Fagyapot táblás homlokzat rétegrendje

A fagyapot hőszigetelés szükséges vastagsága: 24 cm.

2.2.6. Kenderrost táblás hőszigetelés

A kenderrost hőszigetelés a kender pörkölt rostjaiból készül préseléssel hozzáadott adalékanyagokkal és ragasztóval. Környezetbarát szigetelés nagy hőtároló tömeggel és jó páraáteresztéssel.

A Steico KONOPE Panel kenderrost tábláját választottam a vizsgálathoz, amely 2-10 cm vastagságban elérhető. [26] A rétegrend alább látható.



29. ábra - Kenderrost hőszigetelő tábla [26]

Rétegrend belülről kifelé:

Réteg neve	d [cm]	λ [W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kgK]	ρ [kg/m ³]	δ [g/msMPa]	ϵ
TDK Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
B30 kitöltőfal	30,000	0,580	1,012	0,920	1400,000	0,044	0,900
LB-KNAUF Thermofix ragasztóhab.	1,000	0,930	1,000	0,880	1510,000	11,000	0,900
STEICO KONOPE kender	14,000	0,039	1,004	1,600	100,000	3,900	0,900
LB-KNAUF Külső alapvakolat	0,300	0,790	0,994	0,880	1626,000	12,000	0,900
LB-KNAUF Nemesvakolat	0,200	0,990	0,994	0,880	1850,000	12,000	0,900

30. ábra - Kenderrost táblás homlokzat rétegrendje

A kenderrost hőszigetelés szükséges vastagsága: 14 cm.

2.2.7. Szalmatáblás hőszigetelés

A szalmatáblás hőszigetelés a 2.1.6. Szalmatáblás hőszigetelés című fejezetben ismertetésre került. A rétegrend alább látható.

Rétegtrend belülről kifelé:

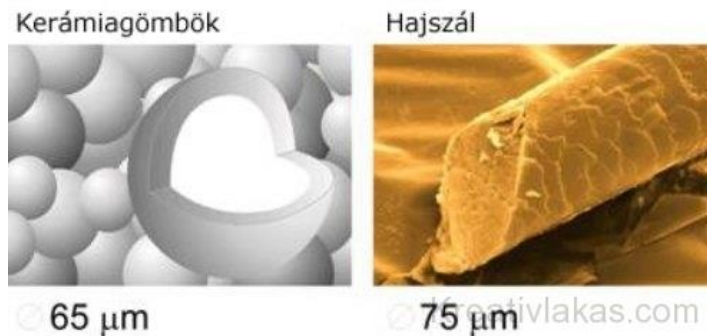
Réteg neve	d [cm]	λ [W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kaK]	ρ [kg/m ³]	δ [a/msMPa]	ϵ
TDK Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
B30 kitöltőfal	30,000	0,580	1,012	0,920	1400,000	0,044	0,900
LB-KNAUF Thermofix ragasztóhab.	1,000	0,930	1,000	0,880	1510,000	11,000	0,900
W-HEAT szalmatábla.	14,000	0,037	1,002	1,000	160,000	5,000	0,900
LB-KNAUF Külső alapvakolat	0,300	0,790	0,994	0,880	1626,000	12,000	0,900
LB-KNAUF Nemesvakolat	0,200	0,990	0,994	0,880	1850,000	12,000	0,900

31. ábra - Szalmatáblás homlokzat rétegtrendje

A szalmatáblás hőszigetelés szükséges vastagsága: 24 cm.

2.2.8. "Nano-kerámiás" hőszigetelő bevonat hőszigetelés

A hazánkban tévesen nano-kerámiásnak nevezett (valójában mikrométeres nagyságú) bevonatok nagy nyomás alatt létrehozott, majd lehűtött vákuumizált kerámia gömböket tartalmaznak akrilos polimerekből és szerves pigmentekből álló kötőanyagba és különböző adalékanyagba keverve. A kerámia hűvisszaverő



32. ábra - Nano-kerámia gömbvastagsága [27][24]

tulajdonságának, a gömbök kis méretének és a belső vákuumnak köszönhetően nagy mértékben lassítja a hőszigetelést, hővezetést és hőáramlást. Épületszigeteléseként betöltött szerepét, illetve annak hatékonyságát viták képzik. Több összehasonlító vizsgálatot végeztek a nano-kerámiás és reflexiós, továbbá egyszerű falfestékek között. Mind a laboratóriumi [28][29][30], mind a dinamikus kültéri tesztek [31][32] azt mutatták, hogy nano-kerámiás bevonatok gyengébben teljesítenek a reflexiós, illetve a pigmenteket tartalmazó bevonatoknál.

A vizsgálathoz a THERMOGÁT Kft. termékét, a TSM Ceramic bevonatot választottam. Az adatok összegyűjtése során a hővezetési tényező és a sűrűség meghatározásához Dr. Bozsaky Dávid 2015-ös vizsgálatát vettem alapul, melyben a nano-kerámiás bevonatok tulajdonságait határozta meg és hasonlította össze a gyártók által megadott értékekkel [31]. Eszerint a sűrűségben nincs eltérés (370-380 kg/m³), azonban a vizsgált hővezetési tényező (0,069 W/mK) eltér a gyártó által közöltől (0,00177 W/mK). Dolgozatomban a mérési eredményeken alapuló teljesítményadatokkal számoltam. Az emissziós és reflexiós értékek meghatározásához Miroslav Čekon egy 2012-es tanulmányát használtam, melyben a vizsgálatok eredményeként a nano-kerámia emissziós tényezője 2,5-25,0 mikrométeres hullámhosszon (infravörös sugárzás) 90%, vagyis a reflexiós értéke 10 % [28]. Ezt az érték jóval kevesebb, mint a hűvisszaverő bevonatoké, tehát reflexiós képessége elhanyagolható. Hazai piacon a téves "nano" megnevezés és a méréssel nem igazolt teljesítményadatok a jellemzők. Külföldi gyártó esetén többnyire igazolt értékekkel és helyes megnevezéssel találkoztam. [33]

A gyártó utasítása szerint a falfelületre 2 réteg alapozás (0,2 mm) majd 2 réteg bevonat (0,4 mm) kerül, majd száradás után lehet felvinni a következő réteget szükség szerint. A mintaépület

külső mészvakolatát meghagyva, annak csiszolt és megtisztított felületére kerül az alapozás. A rétegrend alább látható.

Rétegrend belülről kifelé:

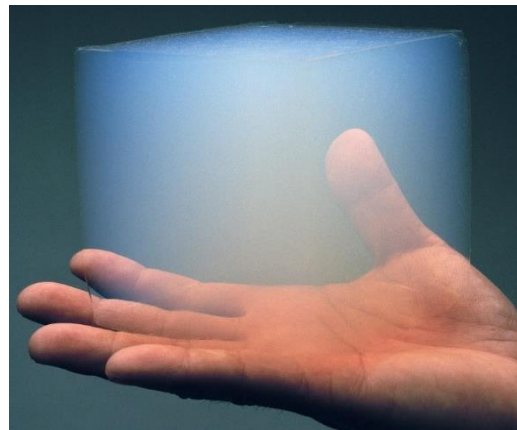
Réteg neve	d [cm]	λ [W/mK]	$F_r * F_m * F_a$	c [kJ/kaK]	ρ [ka/m ³]	δ [a/msMPa]	ϵ
TDK Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
B30 kitöltőfal	30,000	0,580	1,007	0,920	1400,000	0,044	0,900
Mészvakolat	2,000	0,810	0,996	0,920	1650,000	0,024	0,900
Nanokerámias_bevonat_mért	0,600	0,069	0,988	1,080	370,280	2,000	0,910

33. ábra - Nano-kerámia bevonatos homlokzat rétegrendje

A gyártó általi hővezetéssel egy réteg, azaz 0,6 cm bevonat elegendő lenne, mivel így a rétegrend hátbocsátási tényezője 0,238 W/m²K. Azonban a mért hővezetési tényezővel az egy réteg bevonat csupán 1,105 W/m²K hőátbocsátást ér el. A követelményszintben előírt hőátbocsátási tényező (0,24 W/m²K) eléréséhez 23,4 cm bevonat lenne szükséges, amely kivitelezés és anyagköltség szempontjából is irreális, ezért a bevonat nem felelt meg a követelményeknek.

2.2.9. Aerogél szigetelő vakolat

Az aerogél nevével ellenben egy szilárd - és porózus - anyag, melynek 90-98%-a levegő és nanométer nagyságú pórusai vannak, ezáltal rendkívül könnyű, továbbá jó a hőszigetelő- és páraáteresztő képessége. Teljes mértékben újrahasznosítható. 0,1-2 mm-es darabokban, tehát granulált állapotában cementtel, mésszel, kalcium-hidroxiddal és könnyű ásványi adalékanyaggal összekeverve hőszigetelő vakolatot kapunk, melynek hővezetése a térfogat szerinti aerogél-arány függvényében: 80-90%-nál cca. 0,048 W/mK; 91-95%-nál cca. 0,02 W/mK; 96-99%-nál 0,015 W/mK egy 2014-es kutatás szerint. [34]



34. ábra - Aerogél hasáb [35]

Mivel Magyarországon nem találtam hőszigetelésre alkalmas aerogél vakolat forgalmazót, egy svájci gyártó, a Fixit termékét választottam, amely a FIXIT 222 nevet viseli. A hővezetési tényezője 0,028 W/mK, száraz térfogatsűrűsége 220 kg/m³. A rétegrendet a gyártó útmutatója szerint alakítottam ki: a meglévő vakolatra kerül a minimum 3 cm vastag alapozó és hőszigetelő réteg, melyet egy vékony stabilizátor bevonat választ el a habarcsba ágyazott üvegszövet hálótól. A végső felület egy alapozó rétegre felhordott fedővakolat. [37] A rétegrend alább látható.



35. ábra - Aerogél hőszigetelő vakolat hasáb [36]

Rétegrend belülről kifelé:

Réteg neve	d [cm]	λ [W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kgK]	ρ [kg/m ³]	δ [a/msMPa]	ϵ
TDK Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
B30 kitöltőfal	30,000	0,580	1,012	0,920	1400,000	0,044	0,900
Fixit 222	10,000	0,028	1,001	0,920	220,000	4,000	0,900
Ragasztóhabarcs	0,800	0,800	0,994	1,000	1,250	10,000	0,900
Fedővakolat mész	0,300	0,990	1,007	0,880	1300,000	0,020	0,900

36. ábra - Aerogél vakolatos homlokzat rétegrendje

Az aerogél vakolat hőszigetelő rétegének 10 cm-vastagnak kell lennie, így a hőátbocsátás 0,227 W/m²K. A hőszigetelő réteg 6-8 cm-es vastagságban vihető fel egyszerre, tehát a szükséges vastagság eléréséhez 2 réteg szükséges. 10 cm vastag vakolat azonban hőszigetelő vakolat esetén is sok, az anyag-, illetve munkaköltség tetemesen megnöveli a beruházás költségeit.

2.1.10. Hővisszaverő bevonat homlokzatra

A lapostetőhöz hasonlóan a homlokzat esetén is a szimuláció során legjobbnak bizonyult szigetelést megvizsgáltam hővisszaverő bevonattal, azonban a tetőre használt anyag nem vihető fel vakolatra ezért más megoldást kellett találnom. A Hővisszaverő bevonatok laboratóriumi vizsgálata című kutatásában többek között festékekhez és vakolatokhoz adagolt fémpigmentek hatását vizsgálták, amelyek igen jól szerepeltek a "nano-kerámiás" festékekhez képest [29]. Egy másik, reflexiós bevonatokat vizsgáló külföldi kutatásban is kiemelkedően teljesített egy fémpigmentes, pontosabban egy alumínium pigmentes bevonat. [28] Ezen bevonat tulajdonságait vettem alapul a szimulációhoz. Eszerint az SRI értéke 81, a reflexiós értékei pedig szoláris hullámhosszon 0,78; látható hullámhosszon 0,77; infravörös hullámhosszon 0,81.



37. ábra - Alumínium pigment por [38]

2.3. Értékelés, összehasonlítás

A szigeteléseket releváns anyagjellemzőik alapján, továbbá a meghatározott rétegrendben nyújtott teljesítményük alapján súlyozottan pontoztam. Az összegzés végén a legalacsonyabb pontszámmal rendelkező opció bizonyult a legjobbnak. A konkrét számértékkel rendelkező tulajdonságok súlyozott értékeit Guilford-féle eljárással határoztam meg szempontonként, tehát az adatok értékéből egyenként kivontam a legkisebbet, majd elosztottam a legnagyobb és legkisebb érték különbségével, végül megszoroztam 4-gyel és hozzá adtam 1-et, így megkapva az adat súlyozott értékét egy 5-ös intervallumban [39]. A hővezetési tényező és tető esetében a térfogatsúly pontozásánál 7-es intervallumot használtam, mivel ezek az elsődleges szempontok a hőszigetelésnél.

Tulajdonságok figyelembevétele:

- Újrahasznosított alapanyag: Két válaszlehetőség alapján az újrahasznosítható alapanyagú szigetelés kapott 1, a nem újrahasznosított pedig 2 pontot.
- Nedvességtűrő: Homlokzatszigeteléseknél a lábazatra való alkalmazhatóság alapján a nedveséget jól tűrő anyagok kaptak 1, míg az érzékenyek 2 pontot.
- Hővezetési tényező: Elsődleges tulajdonságként és konkrét számértékként egy 7-es skálán értékeltem, ahol a legalacsonyabb hővezetésű szigetelés kapott 1, míg a legmagasabb 7 pontot.
- Nyomószilárdság: Lapostetőnél szereplő tulajdonság, mivel a tetőn felgyülemelő hó terhe, illetve a kivitelezés és karbantartás során fellépő ideiglenes terhek alakváltozást okozhatnak, ezzel rontva a szigetelőképeséget és víztócsákat okozva a felületen. Fontossága miatt szintén 7-es skálán értékeltem ezt a tulajdonságot, ahol 1-es a legnagyobb teherbírású és 7-es legrosszabb teherbírású anyag pontszáma. Az üveghab-granulátum kiemelkedően magas terhelhetősége miatt 7 pontot kapott, így a többi anyagot 1 és 6 pont között értékeltem.
- Páradiffúziós ellenállási szám: Homlokzatnál szereplő tulajdonság, mert a tetőre párazáró fólia kerül, így ott nem releváns képesség. Szintén 5-ös skálán pontoztam, azonban a vákuumpanelt rendkívül magas értéke miatt 5 pontra értékeltem, mivel a nagy páradiffúziós ellenállású anyagok hajlamosabbak kondenzációra. A többi anyagot 1-4 között pontoztam úgy, hogy a legjobb páraáteresztőképességű anyag kapott 1 pontot. Ha nem kezeltem volna külön a vákuumpanelt, akkor az összes többi anyag 1 pontot kapott volna, amivel érzékeltethetlenné váltak volna eltérő teljesítményeik.
- Térfogatsúly: A legkönnyebb szigetelés kapott 1, míg a legnehezebb 5 pontot.
- Tűzállóság: A legmagasabb, "A" tűzállósági osztályba tartozó anyagok kaptak 1 pontot, a "B" osztályúak 2, míg a jóval gyengébb "E" besorolásúak 3 pontot.
- Alkalmazás bonyolultsága: Az egyszerű alkalmazhatóságú szigetelések 1, a levegőben szálló vékony rostok elleni védekezés szükségessége miatt a kőzetgyapot 2, a precizitása miatt nehezebb kivitelezésű vákuumpanel pedig 3 pontot kapott. Továbbá a bevonatok közül 2 pontot kapott az aerogél vakolat a szükséges fedőrétegek miatt, az egyszerűen felkenhető nano-kerámiás festékekkel szemben.

- Szigetelés szükséges vastagsága: A legvékonyabb rétegben elegendő, azaz kis helyet foglaló és kis rétegrendi súlyt eredményező szigetelés kapott 1, míg a legvastagabb 5 pontot.
- Biológiai lebomlás ideje: A hamarabb lebomló anyagok 1, a nem- vagy csak nagyon hosszú idő alatt lebomlók pedig 3 pontot kaptak.
- Hulladékhasznosíthatóság: Elbontásuk után az anyagok felhasználhatóságát 3-as skálán értékeltem az alapján, hogy mekkora részben és milyen módszerrel használhatók fel akár nem-építőipari területeken is. A természetes úton és teljes mértékben felhasználható anyagok kaptak 1 pontot, a nem természetes úton vagy nem teljes mértékben felhasználhatók 2, a nem újrahasznosíthatók pedig 3-at.

Lapostető esetén a zöldtetős megoldások szigetelésvastagságát eltérő rétegrendi felépítésük következtében külön pontoztam. Hasonlóképpen a homlokzat speciális megoldásait, azaz a bevonat jellegű szigeteléseket is külön értékeltem, azonban nem csak vastagságukat, hanem az összes számértékkel rendelkező tulajdonságukat. A külön számított pontokat a táblázatban pirossal jelöltem.

Az értékelőtáblázatok megtalálhatók a 26. és 27. oldalon. Az értékelés eredményeként dinamikus szimulációval a lapostetőn az expandált polisztirolhab táblát vizsgáltam tovább egyszerű vízszigeteléssel a felületén, majd hővisszaverő bevonattal, illetve az extrudált polisztirolhab szigetelésű zöldtetőt. Homlokzat esetén a szalmatáblás hőszigetelést és az aerogél vakolatot vizsgáltam tovább nemesvakolattal, illetve hővisszaverő bevonattal.

Lapostető lehetőségei	Értékelési szempontjai			Mesterséges hőszigetelések				Természetes hőszigetelése			Zöldtetőhöz használt hőszigetelések			Értékelési tényezők	
	Újrahasznosított alapanyag	EPS hab	PIR hab	Vákuumpanel	Kőzetgyapot	Farost	Szalmatábla	XPS hab	Farost	Üveghab gran.	Pontok	Jelentésük			
Elemi anyagjellemzők	Hővezetési tényező [W/mK]	0,033	0,025	0,007	0,038	0,046	0,037	0,029	0,046	0,12	1/2	1-igen; 2-nem			
	Térfogatsúly [kg/m ³]	2,4	2,0	1,0	2,6	3,1	2,6	2,2	3,1	7,0	1-7	1-legáltalacsonyabb-; 7-legnagyobb hővezetés			
	Nyomószilárdság [kPa]	32	40	200	165	240	160	30	240	150	1-7	1-legkönnyebb; 7-legnehezebb			
	Tűzállóság [osztály]	1,1	1,3	5,9	4,9	7,0	4,7	1,0	7,0	4,4	1-5	1-legjobb-; 3-legrosszabb tűzállóság			
	Alkalmazás bonyolultsága	200	120	150	70	100	100	300	100	40000	1-3	1-egyszerű; 3-bonyolult			
	Súlyozott összeg:	3,3	4,3	4,0	5,0	4,6	4,6	2,0	4,6	1,0	1-3	1-legnagyobb; 5-leskisebb teherbírás			
Rétregendi jellemző	Hulladékhasznosíthatósága	E	E	E	AI	E	B	E	E	AI	-	1-legjobb-; 3-legrosszabb tűzállóság			
	Szigetelés szükséges vastagsága [cm]	3	3	3	1	3	2	3	3	1	1-3	1-egyszerű; 3-bonyolult			
	Biológiai lebomlás ideje	1	1	3	2	1	1	1	1	1	1-3	1-egyszerű; 3-bonyolult			
Felhasználás utáni jellemzők	Hulladékhasznosíthatósága	18	14	4	22	26	20	12	18	50	-	1-legkönnyebb; 5-legvastagabb			
	Súlyozott összeg:	3,5	2,8	1,0	4,3	5,0	3,9	1,0	1,6	5,0	1-5	1-legkönnyebb; 5-legvastagabb			
Legoptimálisabb...	Hulladékhasznosíthatósága	2	3	3	3	1	1	3	1	3	1/3	1-lebomló; 3-nem lebomló			
	Súlyozott összeg:	21,3	22,4	25,8	25,8	26,7	21,8	17,2	23,3	24,4	1/3	1-igen; 3-nem			
<p>...nem járható, egyes rétegrendű lapostető szigetelés: EPS</p> <p>...zöldtető szigetelés: XPS hab</p>															

A pirossal jelölt számok értékelése külön történt az előző rétegrend miatt. Az aláhírozott számok nem lettek figyelembe véve a súlyszámok meghatározásában szélsőséges értékek miatt.

38. ábra - Lapostető megoldásainak értékelőtáblázata

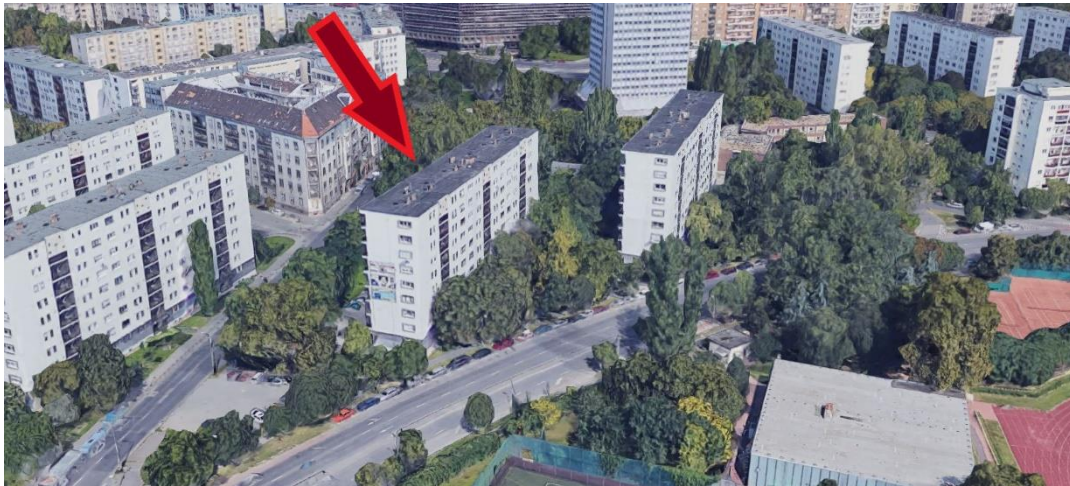
Homlokzat lehetőségei	Mesterséges hőszigetelések			Természetes hőszigetelése			Kent szigetelések		Értékelési tényezők	
	EPS hab	Grafitos EPS Vákuumpanel	Kőzetgyapot	Fagyapot	Kenderrost	Szalmatábla	Nano-kerámia	Aerogél	Pontok	Jelentésük
Értékelés szempontjai										
Újrahasznított alapanyag	2	2	2	1	2	1	2	2	1/2	1-igen; 2-nem
Nedvességtűrés		1	2	1	1	1	1	1	1/2	1-igen; 2-nem
Hővezetési tényező [W/mK]	0,038	0,031	0,036	0,046	0,039	0,037	0,069	0,028	-	1-legacsonyabb-;
Páradiffúziós ellenállási szám [-]	5,8	4,7	5,5	7,0	5,9	5,6	7,0	1,0	1-7	7-legnagyobb hővezetés
Elemi anyagjellemzők	60	60	1	3	3,9	5	2	4	-	1-legjobb-; 5-legrosszabb páraáteresztés
	4,0	4,0	5,0	1,1	1,1	1,2	1,0	4,0	1-5	1-legjobb-; 5-legrosszabb páraáteresztés
Térfogatsúly [kg/m ³]	25	25	200	230	100	160	370	220	-	1-legkönnyebb-;
Tűzállóság [osztály]	1,0	1,0	4,4	5,0	2,5	3,6	4,0	1,0	1-5	5-legnehezebb
	E	E	E	E	E	B	AI	AI	-	1-legjobb-; 3-legrosszabb tűzállóság
	3	3	3	3	3	2	1	1	1-3	1-3
Kivitelezési jellemző	1	1	3	1	1	1	1	2	1-3	1-egyszerű; 3-bonyolult
Rétegtrendi jellemző	14	12	2,5	16	14	14	23,4	10	-	1-legkönnyebb-;
Felhasználás utáni jellemzők	4,4	3,8	1,0	5,0	4,4	4,4	8,0	1,0	1-5	5-legvastagabb
	3	3	3	1	1	1	3	3	1/3	1-lebomló; 3-nem lebomló
	2	2	3	1	1	1	3	3	1/3	1-igen; 3-nem
Súlyozott összeg:	28,2	25,5	26,4	26,1	22,9	21,9	31,0	19,0		
Legoptimálisabb...	...táblás homlokzatszigetelés: Szalmatábla									
	...kenhető szigetelés: Aerogél									

A pirossal jelölt számok értékelése külön történt az eltérő rétegről miatt. Az aláhírozott számok nem lettek meghatározásban szélsőséges értékek miatt.

39. ábra - Homlokzat megoldásinak értékelőtáblázata

3. Esettanulmány

A felújítási megoldásokat egy 1960-as években épített vasbetonvázás társasházra alkalmazva készítettem el, amely a Lágymányosi lakótelepen található. Szerkezetét tekintve igen általánosnak mondható épülettípus, ezáltal a dolgozat releváns eredményekkel szolgálhat társasházak energetikai felújítása során.



40. ábra - Mintaépület műholdas képe [40]

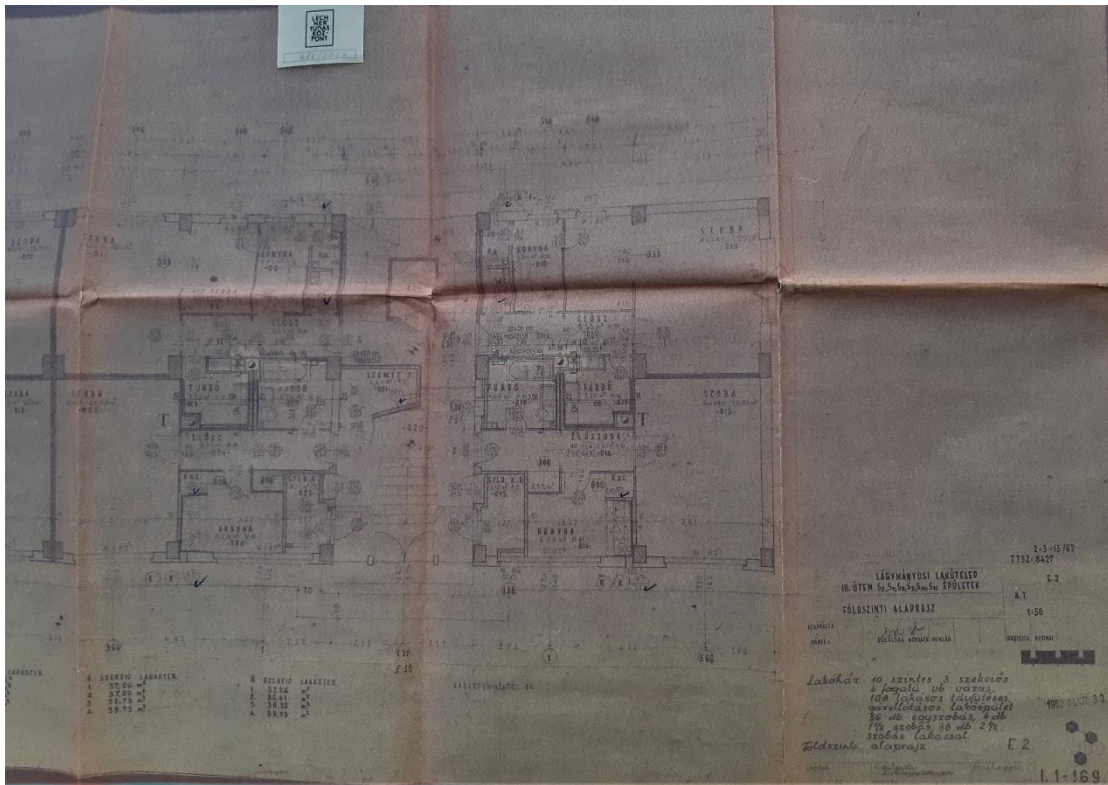


41. ábra - Mintaépület nyugati homlokzata

A mintaépület Budapest 11. kerületében, a Budafoki út és Bogdánfy utca kereszteződésénél található, 8 emeletes (10 szintes), 3 szekciós és 108 lakásos építmény távfűtéssel és gázellátással. Hosszirányban észak-dél tájolású. Külső méretei: 64,62 m hosszú, a földszint és a pince 10,79 m, az emeletek 11,85 m szélesek (nyugat felé szélesedik), magassága pedig az attikáig 28,9 m a terepszinthez képest.

Társasházak innovatív energiahatékonysági felújítása BIM alapokon

A ház eredeti terveit - azaz helyszínrajzot, alaprajzokat, metszeteket, homlokzati nézeteket, lakatosterveket - a Lechner Tudásközpont Dokumentációs Központjából szereztem meg, majd ezek alapján készítettem el a modellezéshez szükséges vázlatokat. [40]



42. ábra - Mintaépület emeleti alaprajza - részlet

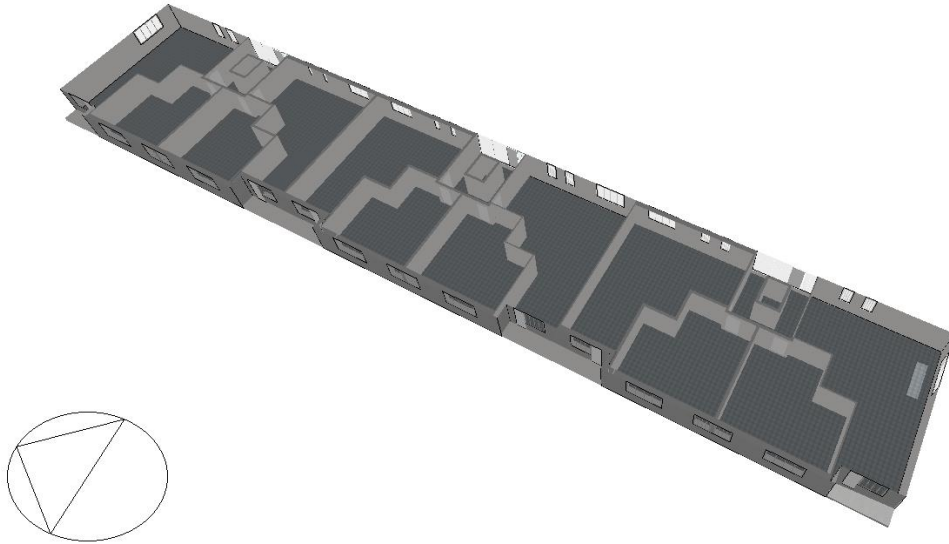
A terveken található megjegyzések által beazonosíthatók voltak egyes anyagok, rétegrendek, azonban az anyagok számomra fontos adatait, tehát hővezetési tényezőt, fajlagos hőkapacitást, sűrűséget, páradiffúziós ellenállási számot és emissziót a már említett MSZ EN ISO 10456 (példa: vasbeton esetén 43. ábra) és MSZ 24140 szabványok alapján vettem fel. [1][3]

MSZ EN ISO 10456:2008							
3. táblázat: Anyagok tervezési hőtechnikai értékei általános építőipari felhasználás esetén							
Anyagcsoport vagy felhasználás		Sűrűség ρ kg/m ³	Tervezési hővezetési tényező λ W/(m·K)	Fajhő c_p J/(kg·K)	Páraellenállási tényező μ		
					száraz	nedves	
Aszfalt		2 100	0,70	1 000	50 000	50 000	
Bitumen	tiszta	1 050	0,17	1 000	50 000	50 000	
	filc/lemez	1 100	0,23	1 000	50 000	50 000	
Beton ^a	közepes sűrűség	1 800	1,15	1 000	100	60	
		2 000	1,35	1 000	100	60	
	magas sűrűség	2 200	1,65	1 000	120	70	
		2 400	2,00	1 000	130	80	
		vasbeton (1% vashányaddal)	2 300	2,3	1 000	130	80
		vasbeton (2% vashányaddal)	2 400	2,5	1 000	130	80

43. ábra - Vasbeton anyagjellemzőinek felvétele [1]

4. BIM modell elkészítése

A Dokumentációs Központtól szerzett tervek alapján Nemetschek Allplan szoftverrel elkészítettem a mintaépület BIM (Building Information Modell) modelljét, majd annak tulajdonságait DesignBuilder szoftverben egészítettem ki. Így az épületmodell tartalmazza a térhatároló- és válaszfalakat, födémeket, nyílászárókat a szimulációhoz szükséges rétegrendekkel és azok hőtechnikai adataival.



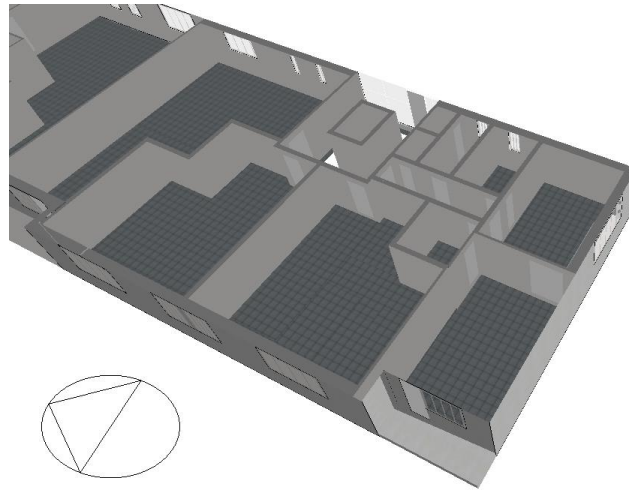
44. ábra - Lakásokra felosztott szint

A társasházat 3 szekcióra bontottam a homlokzatokat összekötő harántfalak által: északi, középső és déli. Minden szekcióhoz 1 lépcsőház és 4 lakás tartozik. A lakásokat ezen felosztás alapján számoztam be észak felől indulva. A szinteket a DesignBuilder blokként, a belső területeket pedig zónaként azonosítja, tehát minden blokk zónákból épül fel. A szimuláció eredményei a teljes épületen belül ezekre az egységekre lebontva tekinthetők meg a későbbiekben. A modellezett épület teljes hasznosított területe cca. 6500 m², a fűtött területe pedig cca. 5800 m². Az egy évre vonatkozó fajlagos fűtési energiafogyasztást utóbbi által határoztam meg.

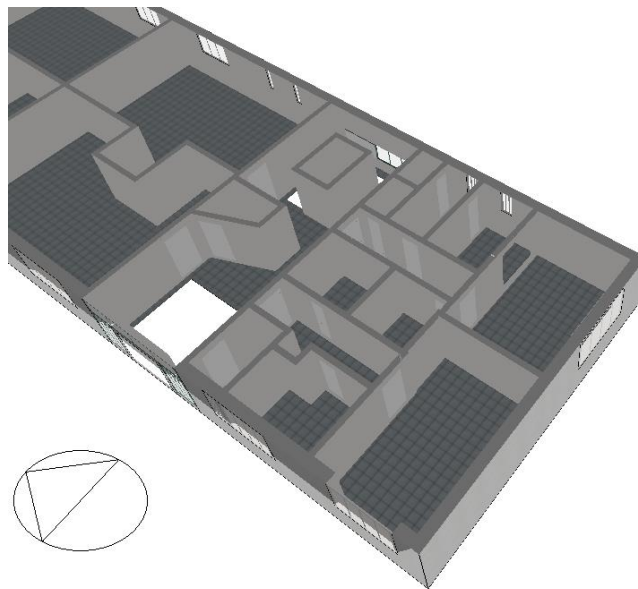
4.1. Szerkezeti felépítés, egyszerűsítések

A lapostető és a homlokzati fal rétegrendjét és tulajdonságait a 2.1. Lapostetőre alkalmas megoldások és a 2.2. Homlokzatra alkalmas megoldások című fejezetben ismertettem.

Kevésbé fontos szerkezetek esetén egyszerűsítésekkel éltem, mivel a szimulációt kis mértékben befolyásoló adatok szükségtelenül lassítják a vizsgálatot. A legalsó és legfelső emeletek, vagyis az 1. és 8., továbbá a földszint északi és déli lakásait (észak_1 és dél_4) belső helyiségekkel és válaszfalakkal láttam el a pontosabb szimuláció érdekében, mivel ezek a szintek nagyobb mértékben vannak kitéve az időjárásnak, illetve fekvésük miatt is szélsőséges eredmények érhetőek el.



45. ábra - Helyiségekre felosztott emeleti lakás (dél_4)



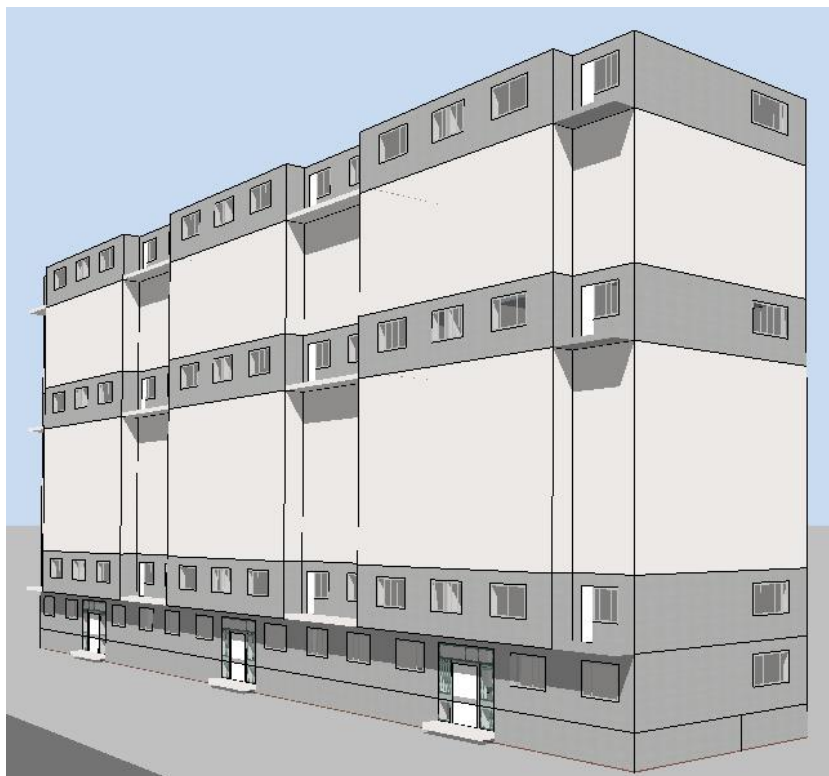
46. ábra - Helyiségekre felosztott földszinti lakások (dél_1 és dél_4)

Az egyformaság miatt a közbenső, kevésbé releváns 1. és 8. közti emeleleteket zóna szorzóval (zone multiplier) vettem figyelembe, tehát egy egyszerűsített közbenső szintet – az 5. emeletet - modelleztem be, amivel a szimuláció 6-szorosan számolt. A zóna szorzó használata lehetővé teszi a modell méretének csökkentését, amennyiben ugyanaz a felépítés vagy kialakítás ismétlődik. A modellterben ezt az általam berajzolt adiabatikus komponensblokkok (adiabatic component block) jelzik, amelyek szomszédosak a szorzandó blokkal (vagy zónával) és a zónaszorzóban megadott mennyiségnek megfelelő térfogatot foglalják magukba. Alkalmazásuk bevett módszer a DesignBuilder-ben az azonos alaprajzú, több emeletes épületek esetén. A komponensblokkok alkalmasak továbbá olyan árnyékoló testek és reflexióval rendelkező felületek helyettesítésére szimuláció és vizualizáció során, amelyek más szempontból nem fontosak. A szimuláció végeredményét nem, vagy csak elhanyagolható mértékben befolyásolja, viszont a menetidőt lényegesen csökkenti (pl.

erkélylemez). A 47. ábra a részletesebb, szinteket tartalmazó épületmodellt mutatja, a 48. ábra pedig az adiabatikus komponensblokkokkal egyszerűsített modellt.

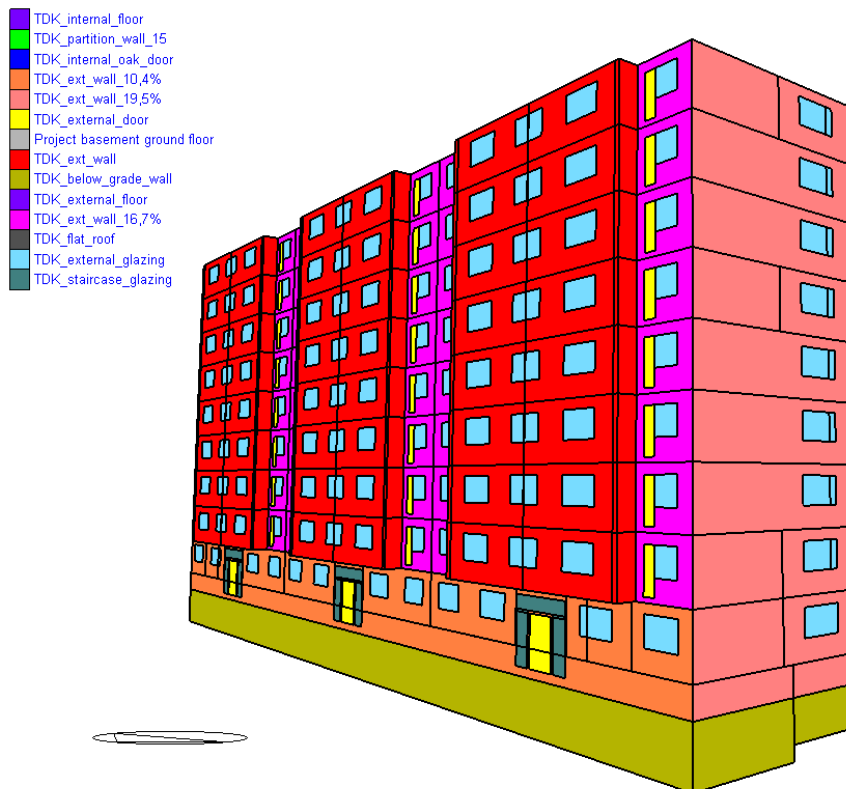


47. ábra - Részletes épületmodell



48. ábra - Egyszerűsített épületmodell komponens blokkokkal

A releváns szintek közbenső és az egyszerűsített szint összes lakását határoló falaik mentén választottam el és a belső falakat hőtároló tömegként vettem figyelembe csakúgy, mint a tartóváz közbenső pilléreit a teljes épületben. A szélső pilléreket, amelyek a kitöltőfalat tagolják, azok a homlokzati falakban lévő vasbeton-hányadként szerepelnek inhomogén réteggként. A homlokzati falak vasbeton-hányada – ahogyan a 49. ábra mutatja - az északi és déli oldalon 19,5%, a teljes keleti oldalon, illetve a nyugati oldal földszinti és az alatti részén 10,4 %, a nyugati oldal emeleti szakaszain pedig a belső síkon 16,7%, míg a külső síkon és a loggiák oldalfalain 0%.



49. ábra - Homlokzati falak vasbeton-hányad szerinti megkülönböztetése színekkel

A belső határoló szerkezeteket az épület tervei alapján határoztam meg. Belső födém rétegrendje fentről: 2 cm burkolat + ragasztó, 3 cm kohósalak, 19 cm vasbeton, 2 cm perlitvakolat. A belső falak vastagsága 6-22 cm-ig terjed. Egyszerűsítésként 2 féle vastagsággal számoltam, mivel ezek csak hőtároló tömegként vesznek részt a szimulációban. A lakáselválasztó falak 15 cm vastagok és 2 réteg kisméretű téglafalazatból állnak, közepén 3 cm hangszigeteléssel, oldalaikon pedig 2 cm perlitvakolattal. A belső válaszfalak 1 réteg kisméretű téglafalazatból és kétoldali perlitvakolatból állnak, azaz vastagságuk 10 cm.

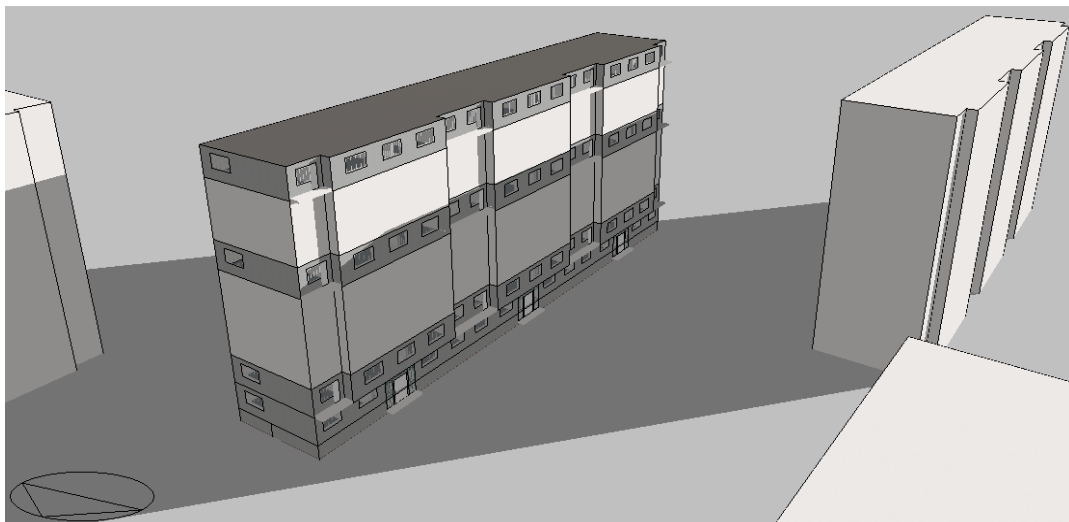
A belső födémek és határoló falak szerkezetként kerültek a modellbe, azonban a válaszfalak csupán hőtároló tömegként. Ahogyan azt az 50. ábra mutatja, ehhez meg kellett adnom a fal vastagságát és anyagát (TDK_partition_wall_6), illetve a teljes felületét. Lépcsőházak esetén hasonlóképp jártam el, a lift falait, lépcsőkarokat és pihenőket is így vettem figyelembe, annyi különbséggel, hogy az anyagot vasbetonnak állítottam be.

Internal Thermal Mass	
 Construction	TDK_partition_wall_6
Exposed area (m ²)	150,80

50. ábra - Hőtároló tömeg megadása emeleti lakásnál

4.2. Árnyékolás

A kizárólag árnyékolás és reflexió (illetve vizualizáció) szempontjából releváns szerkezeteket, tehát loggiákat és a környező épületeket a már említett komponens blokként (component block) modelleztem, melyeknek tömegük és felszínük vesz részt a szimulációban. A környező épületek felépítése a mintaépületével megegyező, elhelyezkedésüket az eredeti helyszínrajz és szemrevételezés alapján alakítottam. Szerepük különösen fontos, mivel a mintától dél-nyugatra található épület a délutáni órákban beárnyékolja a nyugati homlokzatot. Ez főként télen probléma, amikor a benapozásból származó szoláris hőenergia bejutását gátolja, ráadásul az alacsony beesési szög miatt ez nagyobb felületre vonatkozik, ahogyan azt a 51. ábra is mutatja. Látható ahogyan egy téli napon a közeli épület beárnyékolja a homlokzatot egészen az 5. emeletig.



51. ábra - Mintaépület beárnyékolása január 15-én 15:00-kor – modell térben



52. ábra – Mintaépület elhelyezkedése a közeli épületekhez képest – műholdas kép [40]

Az ablakok nagy részén található árnyékolók. Egyszerűsítésként a modellben minden ablakra (kivéve a lépcsőházban) feltételeztem a külső oldalra szerelt, nem elektronikusan vezérelt, fehér redőnyöket, amelyek használatát úgy állítottam be, hogy nagy mértékű diffúz napsugárzás és a lakók jelenléte esetén aktiválódjanak.

4.3. Nyílászárók

A nyílászárókat, amelyeket szemrevételezés alapján azonosítottam, hőtechnikai értékeiket pedig hasonló nyílászárók és a szoftver anyagtárában lévő adatok alapján határoztam meg, 4 kategóriába soroltam: külső ajtók, belső ajtók, felújított ablakok, lépcsőházi ablakok.

- Külső ajtók: csoportba a bejárati, lépcsőházi és erkélyajtók tartoznak, melyek kerete alumínium, üvegezése egyrétegű, hőátbocsátási tényezőjük $5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Belső ajtók: Lakások bejárati és belső helyiségeit elválasztó fa ajtói üvegezés nélkül, melyek hőátbocsátási tényezője $2,82 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Felújított ablakok: A valós épületen a lakásokhoz tartozó ablakok többsége felújított, kétrétegű, műanyag keretes ablak, a modellben azonban az összeset újnak tekintettem az egyszerűsítés miatt. Hőátbocsátási tényezőjük $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Lépcsőházi ablakok: A lépcsőházban található homlokzati ablakok a külső ajtókhoz hasonlóan régi, egyrétegű, alumínium keretes ablakok $5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ hőátbocsátási tényezővel.



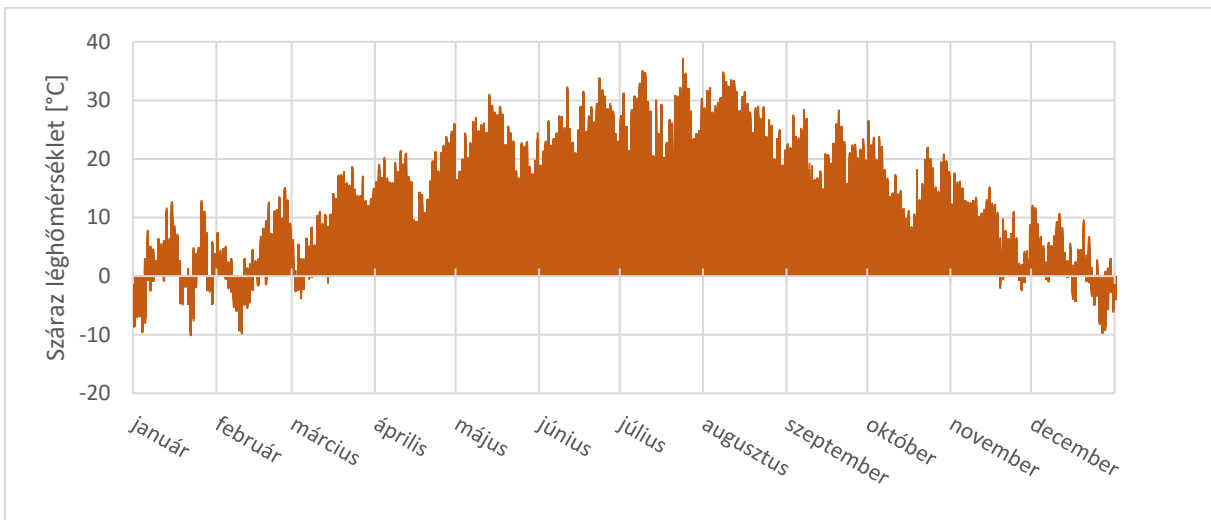
53. ábra - Bejárati ajtó a modellben és a valós épületen

5. Dinamikus épületszimuláció

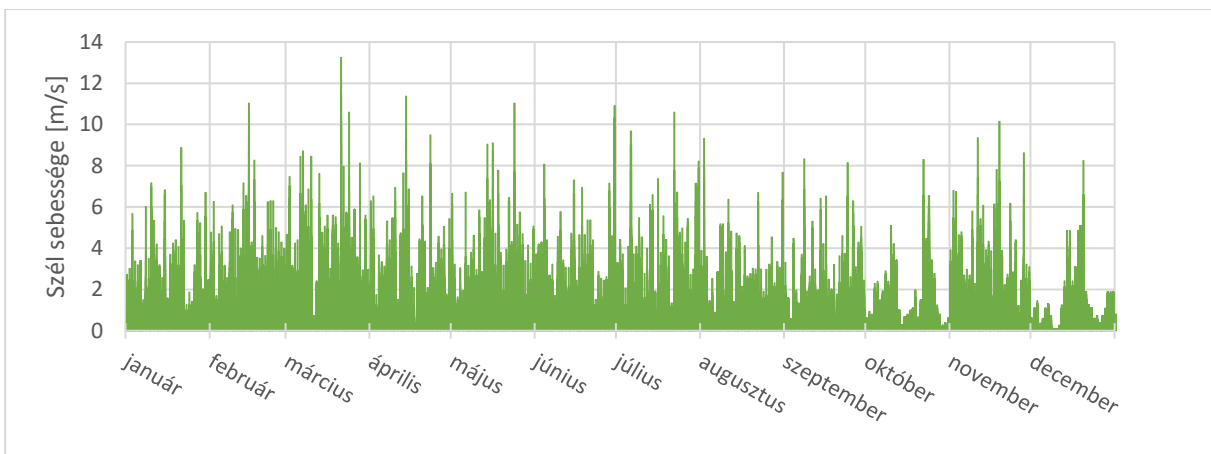
A dinamikus szimulációt, ahogy már a 4. BIM modell elkészítése című fejezetben említettem DesignBuilder szoftverrel végeztem, amely klímaadatok, szerkezeti tulajdonságok, energetikai rendszerek, felhasználói szokások etc. alapján képes valóság-hű körülmények között vizsgálni az építmények energetikai viselkedését.

5.1. Klímaadatok

A mintaépület helyszínén nem álltak rendelkezésemre a meteorológia viszonyok szimulálásához szükséges adatok, ezért egy generált időjárásfájllal dolgoztam, amely magyarországi mérőállomásokon rögzített értékek interpolálásával számítja ki a mintaépület koordinátáira a klímaadatokat. Az így kapott órai bontású generált időjárásfájl által a dinamikus szimuláció valós adatokkal (léghőmérséklet, szélirány, szélesség, relatív páratartalom etc.) számolhatott.



54. ábra - Generált napi középhőmérséklet egy évre



55. ábra - Generált órai átlagos szélesség egy évre

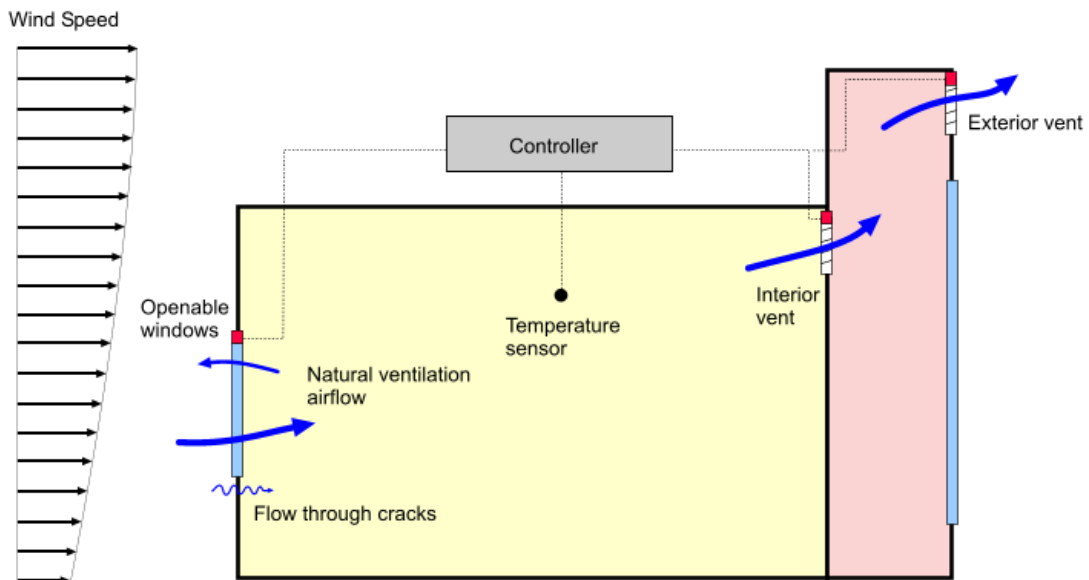
5.3. HVAC és fogyasztási szokások

A HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) egy mozaikszó, amely a fűtés, szellőztetés és légkondicionálás gyűjtőfogalmaként szolgál.

Az épület lakóinak száma, szokása, otthonlétének gyakorisága és fogyasztási igényei mérések hiányában ismeretlenek, ezért ezek meghatározásához feltételezésekkel éltem. Ehhez a szoftver beépített sablonjai adtak támpontot, amelyek változó épülettípusokra és felhasználói szokásokra terjednek ki. A lakók számát lakásonként átlagosan 3-nak határoztam meg figyelembevéve, hogy 2-3 szobás lakások vannak, amelyekben 1-2 gyerekes családok, vagy közös albérlők is élhetnek. Nappali munkaidőt feltételeztem, tehát 8:00 és 18:00 között nagyrésztük házon kívül tartózkodik. Otthoni tevékenységük étkezés, könnyű kézi munka vagy pihenés, ruházatuk pedig évszaknak megfelelő. Ezen adatok a fűtés, szellőztetés és árnyékolás szabályozását, illetve szükségességét, továbbá a melegvíz használatát befolyásolhatják.

5.3.1. Hűtés, szellőztetés

Az épületben vezérelt hűtéstechnikai rendszerek nincsenek, kizárólag természetes szellőzés (szellőztetés és infiltráció) útján csökkenthető a belső hőmérséklet. A természetes szellőzés számítására "számított" (calculated) módszert választottam. Ez figyelembe veszi a szélességet, szélirányt, nyílászárók méreteit és nyithatóságát, szerkezetek légzáróságát, ahogyan azt az 56. ábra is mutatja.



56. ábra - Számított természetes szellőzést befolyásoló tényezők [42]

A nyílászárók nyithatóságát a kinyitott állapot esetén szabadon szellőző felület és az ablaknyílás hányadosa adja meg. Ezt az ablakok nagy modellmérete és esetleges akadályok,

például szúnyogháló miatt 40%-ra vettem fel. A szerkezetek légzárását az épület kora miatt kedvezőtlennek ítéltam, vagyis a program 5-ös skáláján 2-re állítottam.

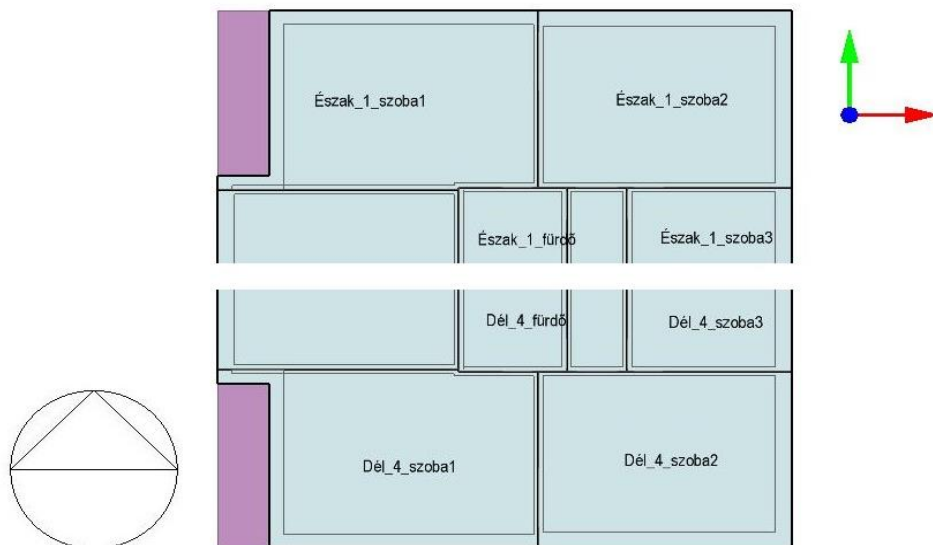
5.3.2. Fűtés, hőszabályozás

Az épületben távfűtés működik konvekciós hőleadóval, amelyet termosztát szabályoz. Ezt a szabályzást a modellben úgy állítottam be, hogy a lakók otthonlétekor 22 °C-ot biztosítson a lakásokban, más esetben (pl. éjszakai üzem) pedig 20 °C alá ne csökkenjen a hőmérséklet. Természetesen ez a beállítás a téli fűtési szezonra érvényes. Tapasztalataim szerint ez a hőmérsékleti intervallum általánosnak mondható lakásokban. A kívánt hőmérséklet biztosításához a szimuláció során nem csak a fűtést és infiltrációt veszi figyelembe a szoftver, hanem a bent tartózkodók tevékenységét, számát, továbbá a világítás és melegvízhasználat által generált hőenergiát is.

5.4. Mintaépület szimulációja

Viszonyítási pontként először lefuttattam a mintaépületre egy szimulációt. A szigetelésekkel kapott eredményeket az itt kapottakhoz viszonyítva értékeltam.

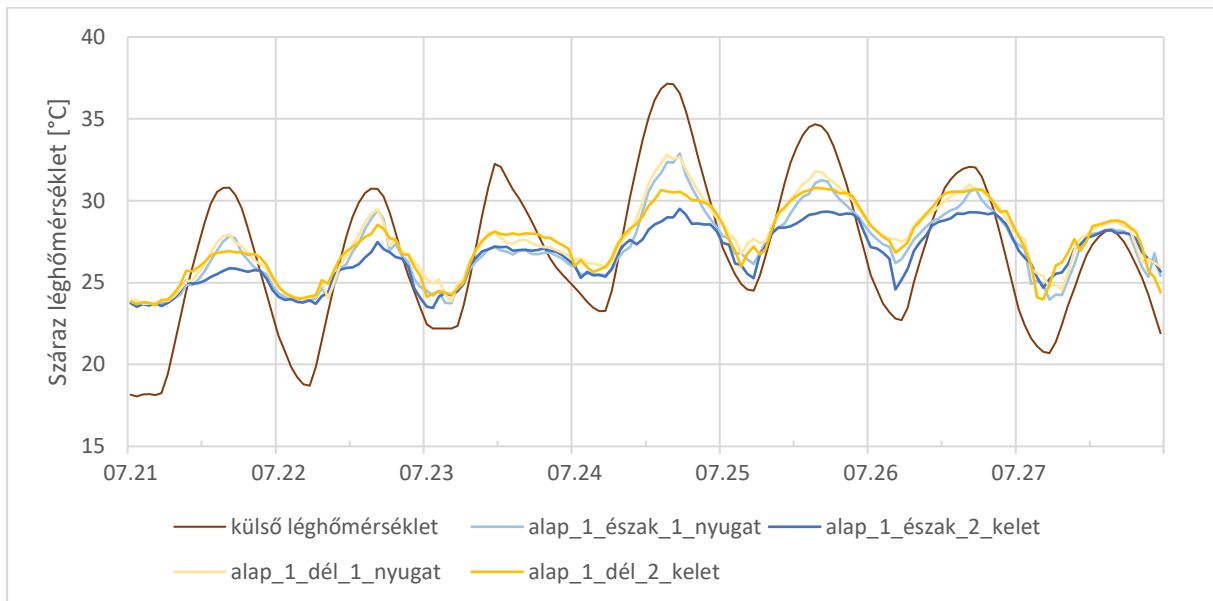
A vizsgálat célja a téli fűtési energia csökkentésére és a nyári felmelegedés elkerülésére legmegfelelőbb hőszigetelési koncepció megtalálása. Ezért az eredmények összehasonlítására reprezentatív módon a két legszélsőségesebb időszakot mutatom be 1 hetes intervallumban. A legmelegebb hét július 21-27-ig, a leghidegebb pedig február 7-13-ig tart. Az épület kritikusabb helyiségeit emeltem ki a szimulációból, azaz az 1. és 8. emeleti északi és déli szobákat.



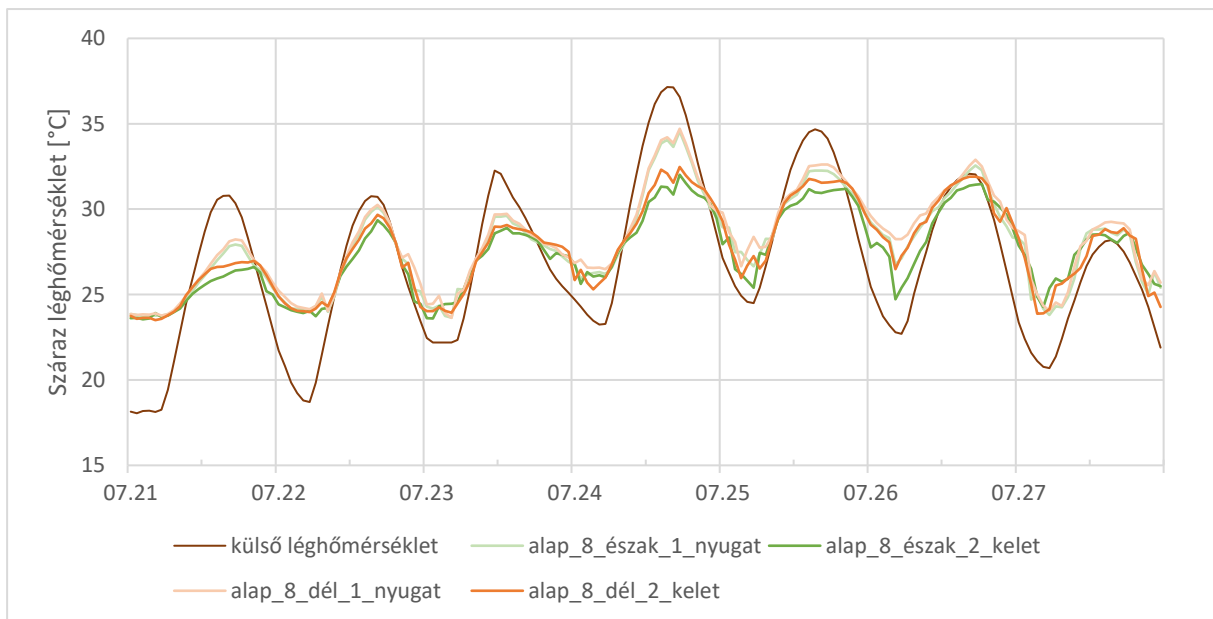
57. ábra - Északi és déli szobák elhelyezkedése

Legmelegebb hét: Az 58. ábra az 1. emelet referencia szobáit mutatja. Láthatóan nyugat-kelet irányban nagyobb különbség van a szobák között, a nyugati oldal melegebbnek bizonyult. Merőleges irányban pedig a déli oldal melegedett fel jobban. A 8. emeletet bemutató 59. ábra hasonló eredményeket mutat. Szintenként kijelenthető, hogy a dél-nyugati szobákat

veszélyezteteti a nyári felmelegedés leginkább, ugyanakkor az észak-nyugati szobák is hasonlóan veszélyeztetettek. Láthatóan a 8. emeleti szobák kilengése nagyobb, a hőmérséklet ingadozását jobban követik, mivel legfelső helyiségként kitettségük nagyobb az időjárással szemben.



58. ábra - Legmelegebb hét – léghőmérséklet - 1. emelet



59. ábra - Legmelegebb hét – léghőmérséklet - 8. emelet

A 60. ábra egy táblázatot tartalmaz mindkét vizsgált emelet referencia helyiségeinek maximális és átlagos léghőmérsékleti adatairól a legmelegebb hétre vonatkozóan. Összehasonlítva a szinteket elmondható, hogy az egymás fölött elhelyezkedő szobák esetén a heti középhőmérséklet a legfelső szobákban közel 2,5 °C-kal magasabb. A legnagyobb

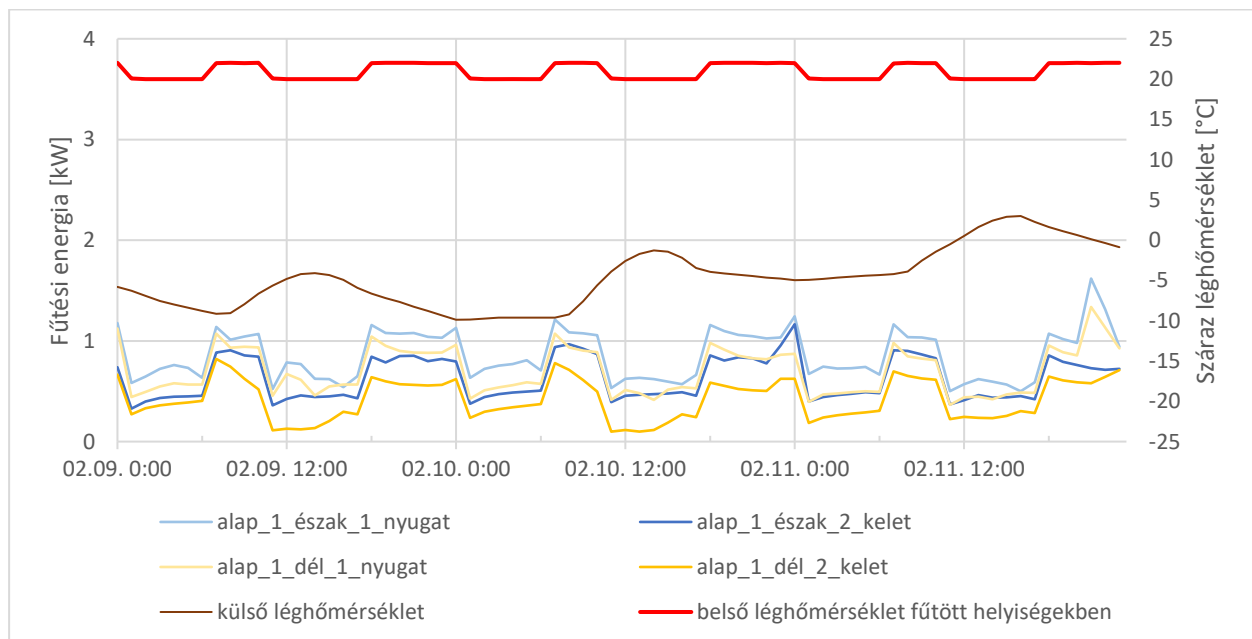
hőmérséklet esetén ez a növekedés átlagosan 5,5 °C, kivéve a (leghűvösebb) észak-keleti szobákat, ahol ez az érték 8,5 °C.

		1. emelet				8. emelet			
		1_észak_1	1_észak_2	1_dél_1	1_dél_2	8_észak_1	8_észak_2	8_dél_1	8_dél_2
Nyári maximum	[°C]	32,89	29,51	32,82	30,78	34,56	32,02	34,71	32,47
Nyári átlag	[°C]	27,09	26,64	27,58	27,44	27,89	27,43	28,17	27,71

60. ábra - Legmelegebb hét - legnagyobb és átlagos léghőmérséklet

Leghidegebb hét: Ezen időszakban a fűtési energia fogyasztását veszem alapul az összehasonlításhoz releváns adatként, mivel a belső léghőmérsékletet a fűtés szabályozza ezért az nem mutat különbséget. (61. ábra)

A téli időszakban az 1 emeleti helyiségeket vettem alapul az eredmények szemléltetéséhez úgy, hogy csak a 3 leghidegebb napot ábrázoltam, mivel a fűtési szakaszok látványosabbak kisebb intervallumban.



61. ábra - Leghidegebb hét közepe – fűtési energia és léghőmérséklet – 1. emelet

Táblázatos összehasonlításhoz a leghidegebb hét fajlagos energiafogyasztását választottam, amelyet az óránkénti fogyasztási adatok összegének és a helyiség területének hányadosa fejez ki. Ez alapján a hidegnek leginkább kitett szoba az észak-nyugati, a legkevesebb fűtést pedig a délkeleti szoba igényli.

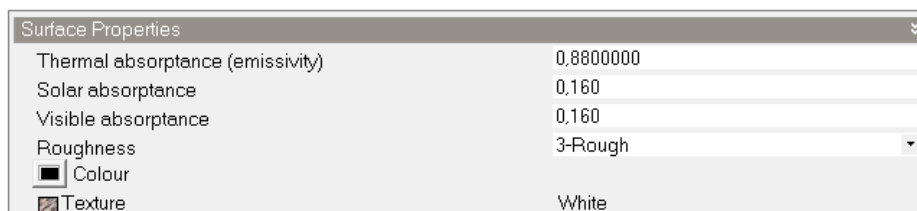
		1. emelet			
		1_észak_1	1_észak_2	1_dél_1	1_dél_2
Heti fajlagos fűtési energiafogyasztás	[kW/m ²]	6,07	4,90	5,07	3,40

62. ábra – Leghidegebb hét – fajlagos fűtési energia – 1. emelet

5.5. Optimális szigetelések kiválasztása

Lefuttattam a dinamikus szimulációt külön-külön mind a 6 szigetelési megoldásra, azaz tető esetén az EPS szigetelést bevonattal, bevonat nélkül, a zöldtetőt XPS szigeteléssel, illetve homlokzat esetén a szalmatáblás szigetelést bevonattal, bevonat nélkül és aerogél vakolattal. A szigeteléseket saját rétegrendjüknek megfelelően állítottam be a kiindulási épülethez hasonlóan. Homlokzati falak vasbetonhányadra vonatkozó beállításai a szigetelések esetén is megmaradtak.

Különleges beállításokra a zöldtető és a hővisszaverő bevonatok esetén volt szükség. Előbbinél a szoftver zöldtető modell funkcióját alkalmaztam, amely képes figyelembe venni az ültetőközeg és a növényzet hőtechnikai tulajdonságait és párolgását a napsugárzás függvényében. A paraméterek beállításakor a szoftver sablonjaira hagytam, csupán a növényzet típusát és a talaj tulajdonságait állítottam be az általam választottak alapján. [43] A hővisszaverő bevonatok esetén a szerkezet legfelső rétegének felületi beállításainál adtam meg a bevonat abszorpciós (= emissziós) értékeit, színét és érdességét. (63. ábra)



63. ábra - Hővisszaverő bevonat adatainak bevitele (Polyver Super White)

A verziókat egymástól függetlenül szimuláltam, tehát a homlokzati megoldásokat az eredeti lapostető rétegrendjével, a tetőszigeteléseket pedig az eredeti homlokzati rétegrenddel. Mivel nem komplex felújításról van szó, vagyis az ablakok, ajtók, üvegezések és a pincefödém nem került felújításra, ezért ezen szerkezetek rossz hőtechnikai tulajdonságai miatt a szigetelések csupán mérsékelt javulást eredményeztek.

A nettó kondicionált (fűtött) terület a szigeteléseknél változó, mivel az épületmodell külső méretei által definiáltam, ezért a szigetelés vastagságával csökkent a belső hasznos terület. A szigeteléseket elsősorban a téli teljesítményük alapján értékelttem, amit a szigetelésenként változó fűtött terület miatt az éves fajlagos fűtési energiafogyasztással határoztam meg. Kiszámításához a teljes évi fűtési energiafogyasztást elosztottam a nettó kondicionált területtel. Előbbi érték a dinamikus szimuláció eredménye, míg utóbbi a szerkezetek modellezéséből kapott adat. A bevonatok hasznosságának megállapítása érdekében megvizsgáltam a legmelegebb héten a teljes épület átlagos belső léghőmérsékletét is minden verziónál. Az eredményeket a 64. ábra mutatja.

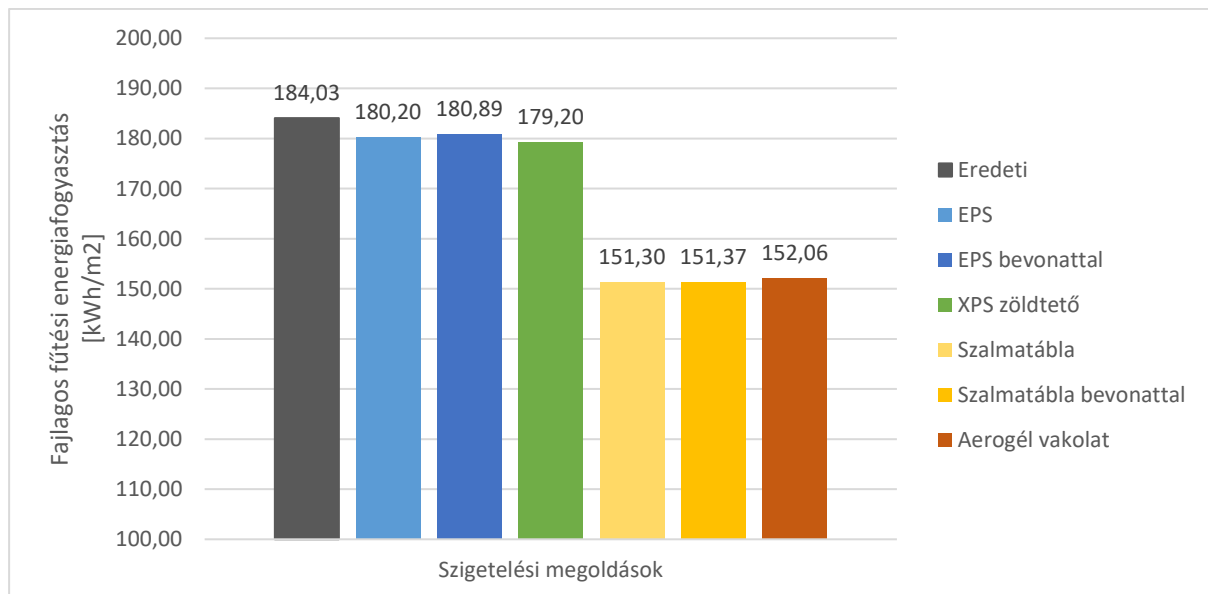
Társasházak innovatív energiahatékonysági felújítása BIM alapokon

A fajlagos energiafogyasztás a kiindulási épület esetén 184 kWh/m². A leghatékonyabb tetőszigetelésnek az XPS táblás zöldtető bizonyult, amely 2,62 %-os energiacsökkenést eredményezett. Mivel a lapostető felülete a teljes épület felületéhez képest jóval kisebb, így nem meglepő a kismértékű változás. A legjobb homlokzatszigetelés a szalmatábla lett, amely már 17,79 %-os változást okozott.

	Eredeti	Szigetelések						Külső léghőmérséklet	
		Lapostető			Homlokzat				
		EPS	EPS bevonattal	XPS zöldtető	Szalmatábla	Szalmatábla bevonattal	Aerogél vakolat		
Kondicionált terület [m ²]	5 896,42	5 896,42	5 896,42	5 896,42	5 997,57	5 997,57	6 022,86		
Éves energiafogyasztás [kWh]	1 085 139,02	1 062 536,78	1 066 630,75	1 056 667,19	907 442,52	907 825,92	915 846,17		
Fajlagos fűtési energiafogyasztás [kWh/m²]	184,03	180,20	180,89	179,20	151,30	151,37	152,06		
Belső léghőmérséklet legmelegebb hét napjain [°C]	7. 21.	24,57	25,18	25,16	25,18	25,1	25,07	25,1	22,45
	7. 22.	25,01	25,69	25,68	25,69	25,50	25,47	25,5	24,7
	7. 23.	25,66	26,47	26,45	26,48	26,17	26,13	26,17	27,15
	7. 24.	26,69	27,93	27,9	27,93	27,46	27,4	27,46	25,45
	7. 25.	27,38	28,44	28,41	28,44	27,81	27,76	27,83	23,38
	7. 26.	27,24	28,59	28,57	28,6	27,90	27,85	27,92	20,7
	7. 27.	26,13	26,66	26,65	26,68	26,25	26,21	26,26	19,15
Átlag	26,10	26,99	26,97	27,00	26,60	26,56	26,61	23,28	

64. ábra - Szigetelések összehasonlítása szimuláció alapján

A szigetelések közötti különbséget a 65. ábra hivatott szemléltetni. Az egy szerkezethez tartozó szigetelések közötti különbség elenyésző, mivel vastagságuk meghatározása az előírt hőátbocsátási tényező elérésével történt.



65. ábra - Szigetelési megoldások hatékonysága fűtési energiafogyasztás alapján

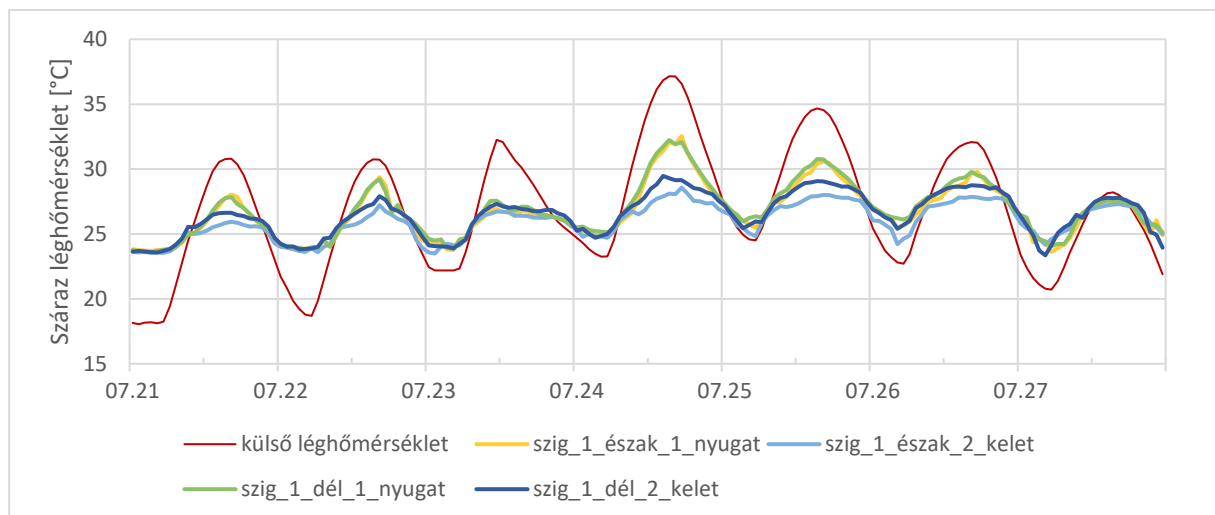
A bevonatos változatok az energiafogyasztáson kis mértékben rontottak. Ennek oka a napsugárzás visszaverése miatt bekövetkező szoláris nyereségek csökkenése télen. Érdeemes megjegyezni, hogy ezzel szemben a nyári héten a bevonatos megoldások érték el a legkisebb felmelegedést a szigetelések közül. A szigetelt épületek magasabb belső léghőmérséklete a természetes szellőztetés beállításainak és a szigetelés hőtárolásának eredménye. A

felmelegedett lakás ezáltal lassabban hűl vissza. Mivel az elsődleges szempont az energiafogyasztás csökkentése és ezen a téren jelentősebb változást eredményeztek a szigetelések, mint a felmelegedés elleni védelemben, így az XPS táblás zöldtető és a szalmatáblás szigetelés együttes hatását vizsgáltam meg részletesebben.

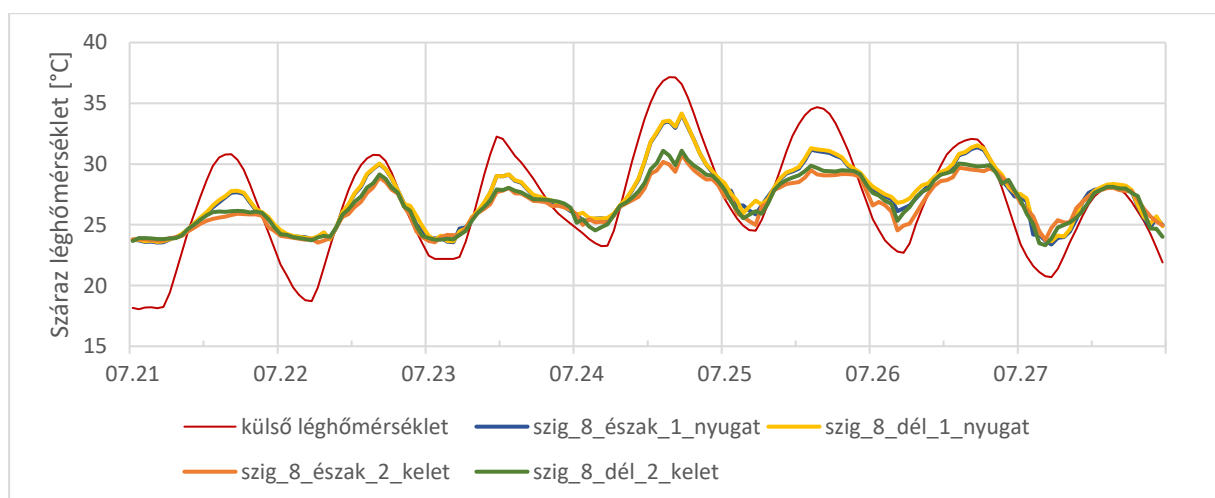
5.6. Tető- és homlokzatszigetelés együttes szimulációja

A kiindulási épületen az összes homlokzati falat (vasbeton-hányad szerint 4 féle) kibővítettem a szalmatáblás hőszigetelés rétegeivel, majd a tető rétegrendjét is lecseréltem a zöldtetős megoldásra.

Legmelegebb hét: A nyári hét külső és belső léghőmérsékletek viszonyát az 1. emeleten a 66. ábra, a 8. emeleten pedig a 67. ábra mutatja. A helyiségek viszonya ebben az időszakban egymáshoz képest nem mutat jelentős változást. Az alapmodellhez hasonlóan a nyugati lakások érzékenyebbek a külső hőmérsékletre. A belső léghőmérséklet ingadozása azonban látványosan csökkent.



66. ábra - Legmelegebb hét - léghőmérséklet – szigeteléssel – 1. emelet



67. ábra - Legmelegebb hét - léghőmérséklet – szigeteléssel – 8. emelet

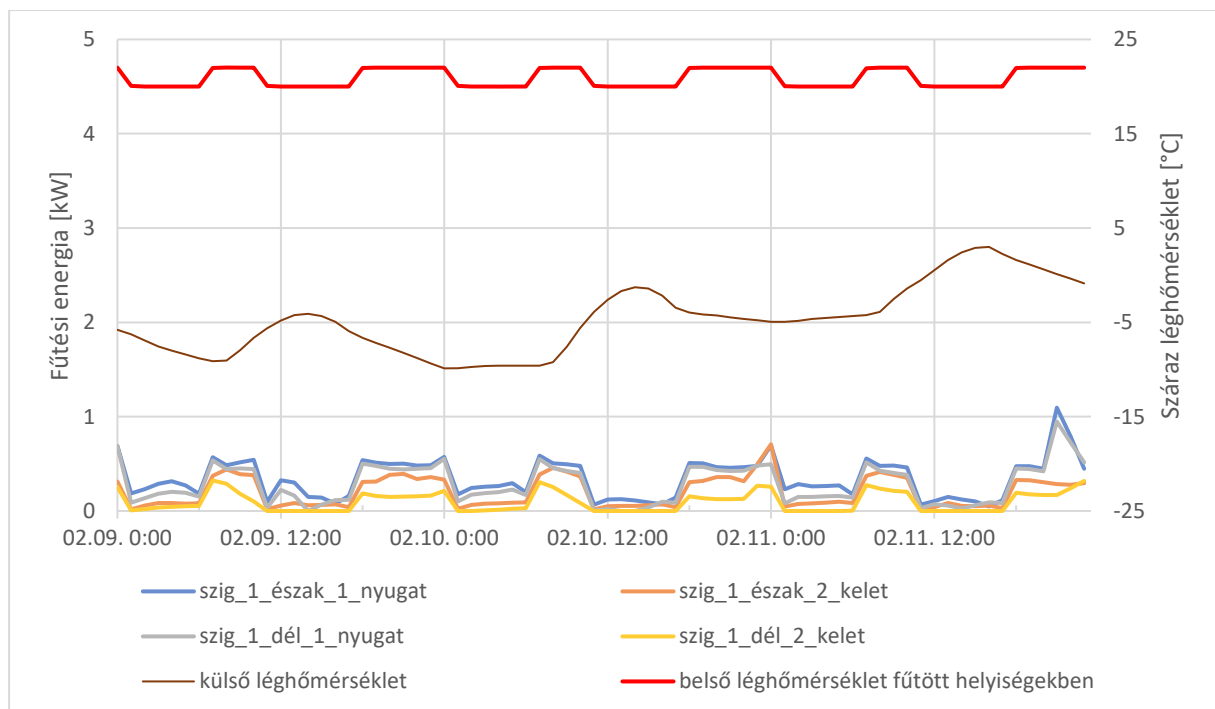
A szigetelés okozta változásokat a nyári héten a 68. ábra mutatja.

	[°C]	Kiindulási épület				Szigetelt épület			
		1. emelet		8. emelet		1. emelet		8. emelet	
		1_észak_1	1_dél_1	8_észak_1	8_dél_1	1_észak_1	1_dél_1	8_észak_1	8_dél_1
Nyári maximum	[°C]	32,89	32,82	34,56	34,71	32,54	32,24	34,1	34,16
Nyári átlag	[°C]	27,09	27,58	27,89	28,17	22,67	22,67	22,25	22,33

68. ábra - Legmelegebb hét – heti legnagyobb- és középhőmérséklet – szigeteléssel - nyugat

A táblázat a legmelegebb hétre vonatkozó közép-, illetve legnagyobb hőmérsékletet tartalmazza a felmelegedés szempontjából veszélyesebb nyugati szobákra. Bal oldalon a mintaépület, jobb oldalon a szigetelt épület adatait tartalmazza a táblázat. A szigetelés nem okozott jelentős változást a belső maximális léghőmérsékletek esetén, azonban az átlagos belső hőmérsékletet az 1. emeleten cca. 17 °C-kal, a 8. emeleten cca. 20,5 °C-kal csökkent.

Leghidegebb hét: A homlokzaton és tetőn is szigetelt épület fűtési energiafogyasztását az 1. emeleti referencia lakásokkal szemléltetve a téli hét 3 leghidegebb napján a 69. ábra mutatja be. Jól látható, hogy a szigetelés hatására csökkent a fűtési energiafogyasztás.



69. ábra - Leghidegebb hét - Óránkénti fűtési energia – szigeteléssel – 1. emelet

A 70. ábra a kiindulási épület és a szigetelt épület közti - leghidegebb téli hétre vonatkozó – fűtési energiaigénybeli különbségeket ábrázolja. Láthatóan az 1. emeleten jelentős mértékben csökkent a felhasznált fűtési energia, szám szerint 60 %-kal. Ez a nagyfokú javulás nem jellemző a felső emeletekre.

	[kW/m ²]	Kiindulási épület				Szigetelt épület			
		1. emelet				1. emelet			
		1_észak_1	1_észak_2	1_dél_1	1_dél_2	1_észak_1	1_észak_2	1_dél_1	1_dél_2
Heti fajlagos fűtési energiafogyasztás		6,07	4,90	5,07	3,40	2,45	1,61	2,04	0,80

70. ábra - Leghidegebb hét – fajlagos fűtési energia – 1. emelet

5.7. Eredmények

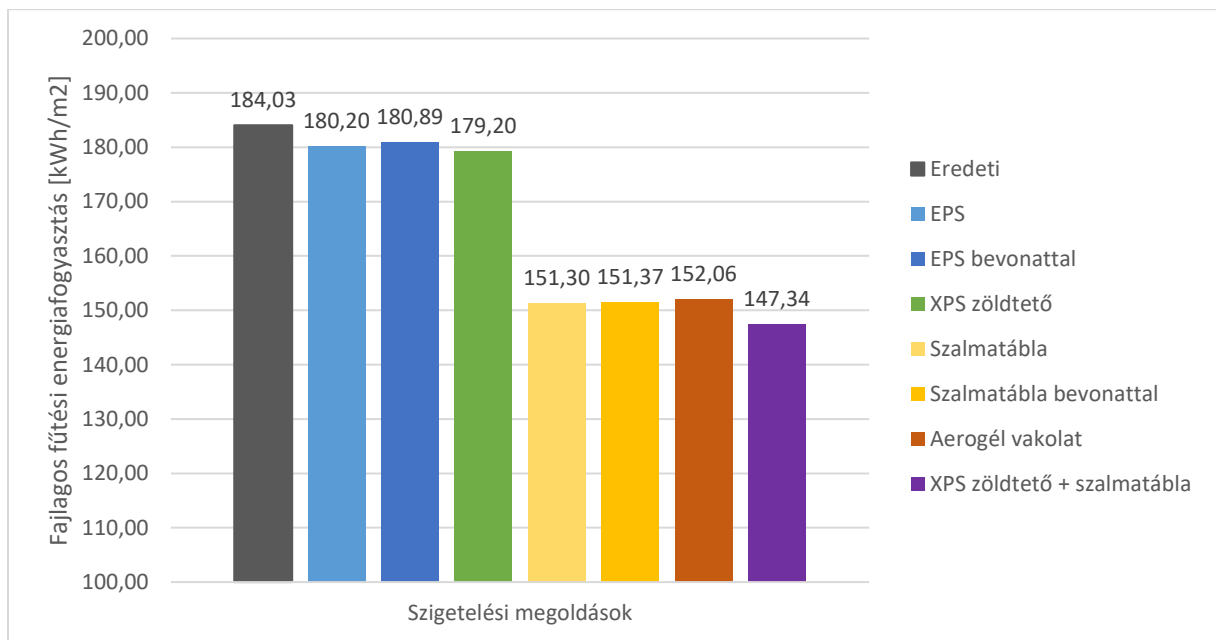
A kombinált szigetelési megoldás eredményét a többi szigeteléssel és kiindulási épülettel összehasonlítva a 71. ábra tartalmazza, melyekben a fajlagos fűtési energiafogyasztás és a nyári felmelegedés elleni védelem mértéke az összehasonlítás alapja.

		Szigetelések								Külső léghőmérséklet
		Eredeti	Lapostető			Homlokzat			Teljes épület	
			EPS	EPS bevonattal	XPS zöldtető	Szalmatábla	Szalmatábla bevonattal	Aerogél vakolat	XPS zöldtető + szalmatábla	
Kondicionált terület [m ²]	5 896,42	5 896,42	5 896,42	5 896,42	5 997,57	5 997,57	6 022,86	5 994,16		
Éves energiafogyasztás [kWh]	1 085 139,02	1 062 536,78	1 066 630,75	1 056 667,19	907 442,52	907 825,92	915 846,17	883 157,70		
Fajlagos fűtési energiafogyasztás [kWh/m²]	184,03	180,20	180,89	179,20	151,30	151,37	152,06	147,34		
Belső léghőmérséklet legmelegebb hét napjain [°C]	7. 21.	24,57	25,18	25,16	25,18	25,1	25,07	25,1	25,07	22,45
	7. 22.	25,01	25,69	25,68	25,69	25,50	25,47	25,5	25,47	24,7
	7. 23.	25,66	26,47	26,45	26,48	26,17	26,13	26,17	26,12	27,15
	7. 24.	26,69	27,93	27,9	27,93	27,46	27,4	27,46	27,39	25,45
	7. 25.	27,38	28,44	28,41	28,44	27,81	27,76	27,83	27,74	23,38
	7. 26.	27,24	28,59	28,57	28,6	27,90	27,85	27,92	27,83	20,7
	7. 27.	26,13	26,66	26,65	26,68	26,25	26,21	26,26	26,21	19,15
	Átlag	26,10	26,99	26,97	27,00	26,60	26,56	26,61	26,55	23,28

71. ábra – Kombinált szigetelési megoldás összehasonlítva a többi szimulált szigeteléssel

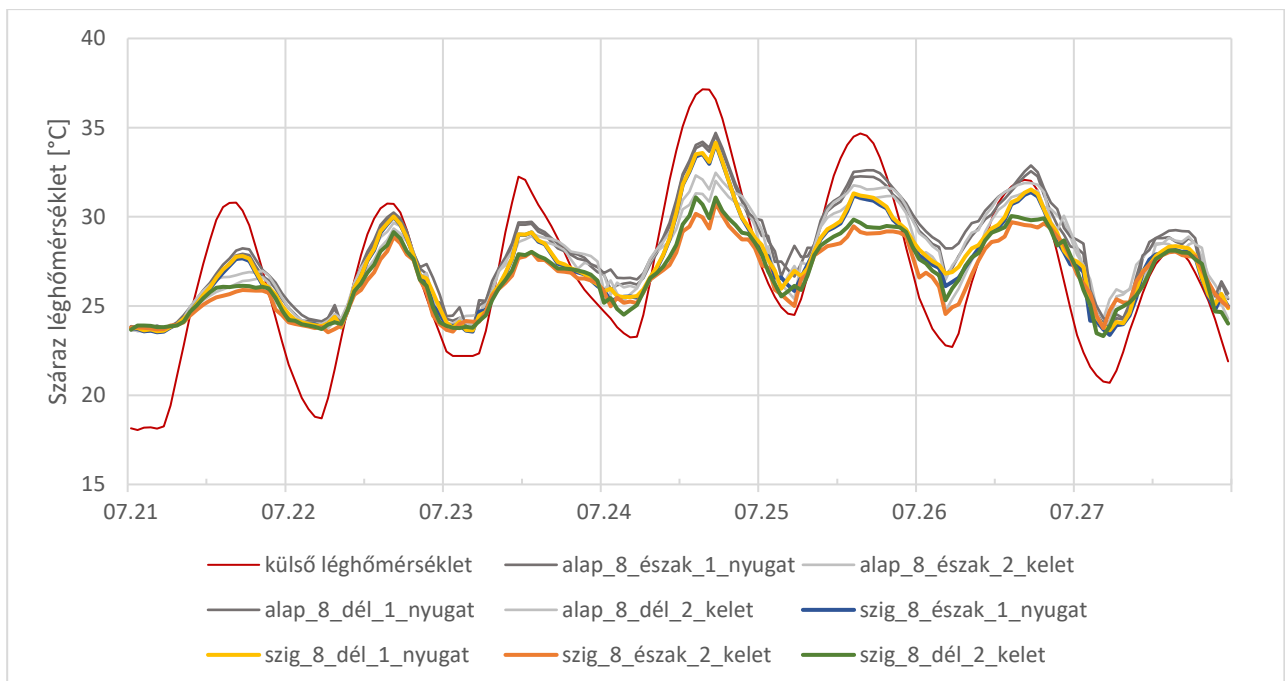
Az XPS szigetelésű zöldtetővel és szalmatábla szigetelésű homlokzati fallal az épületben 19,9 %-os energiafogyasztásbeli csökkenés érhető el. Hőszigetelt tetővel csupán 2,1 %-kal teljesített jobban az épület, ami a teljes javulás 10,5 %-a. A különböző megoldások közötti energiafogyasztásbeli különbséget hivatott szemléltetni a 72. ábra oszlopdiagramja.

A hőszigetelt verziók a nyári héten mind rosszabb teljesítményt nyújtottak, ennek oka a jobban körbezárt épület infiltrációjának csökkenése. Nem ritka a jelenség hőszigetelést kapott régi szerkezetek esetén, kiküszöbölhető a megfelelő szellőztetéssel. A legkisebb felmelegedést a hővisszaverő bevonatos koncepciók érték el, ezek lapostetőn 0,07 %-kal, homlokzaton pedig 0,15 %-kal kisebb felmelegedést eredményeztek. A visszavert fénysugarak azonban télen hátrányt jelentettek, kevésbé melegedtek át a falak, ezáltal előbbinél 0,38 %-kal, utóbbinál azonban csak 0,05 %-kal lett nagyobb a fajlagos energiafogyasztás.



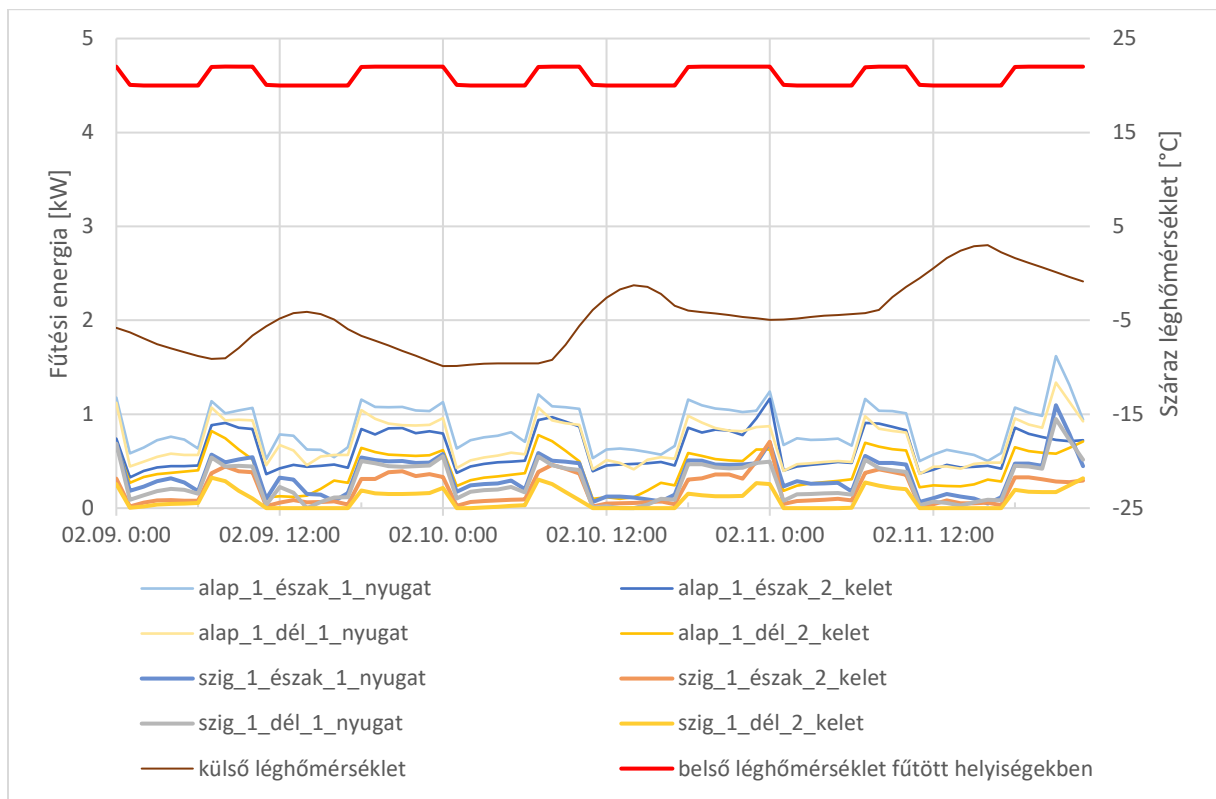
72. ábra - kombinált szigetelési megoldás hatékonysága a többi szimulált szigeteléshez képest

Nyári felmelegedés esetén a kombinált szigetelésű épület és a mintaépület különbségét a 73. ábra mutatja a 8. emeletre vetítve. A diagramon a vastag, színes vonalak tartoznak a szigetelt épülethez.



73. ábra - Legmelegebb hét - léghőmérsékletek - 8. emelet – összehasonlítás

A szigetelt szobák nyáron kisebb felmelegedést és kisebb hőingadozást mutatnak.



74. ábra - Leghidegebb hét - Óránkénti fűtési energia – 1. emelet - összehasonlítás

A 74. ábra a szigetelt és a kiindulási épület közti fűtési energiafogyasztásbeli különbséget szemlélteti, ahol a halványabb vonalak mutatják a kiindulási épület fogyasztását. A szigetelés eredményeként láthatóan csökkent a fűtési energiafogyasztás a szobákban. Az egész évre vonatkozó fajlagos energiafogyasztás is csökkentést mutat, a már említett 19,9 %-kal.

Korábbi vizsgálatok alapján ez a cca. 20 %-os javulás kevésnek bizonyult. A pontos eredmények eléréséhez szükséges validálni a modellt, azonban mért fogyasztási adatok hiányában erre nem volt lehetőségem. Továbbá a modell bizonyos egységei kiugró értékeket produkáltak feltehetően a kalibrálás vagy egyszerűsítés során elkövetett apróbb hibák miatt. Az eredmények így nem pontosak, azonban a szigetelések hatékonyságát egymáshoz és a mintaépülethez viszonyítva valósághoz közeli arányokat kaptam.

6. Összefoglalás

A dolgozat egy közel 60 éves budapesti társasház homlokzatra és lapostetőre alkalmas szigetelési megoldásainak összehasonlítását és azok hatékonyságának vizsgálatát tartalmazza. A vizsgált szigetelések között - tetőre és falra egyaránt – találhatók hagyományos (EPS, XPS, kőzetgyapot) és innovatív jellegű megoldások is (szalmatábla, aerogél vakolat). A szigetelések összehasonlítását a releváns hőtechnikai adataik, a követelményszint elérése érdekében szükséges rétegvastagságuk és környezetvédelmi szempontokból fontos tulajdonságaik alapján végeztem sajátos értékelő-rendszer alapján.

A kiindulási épület tanulmányozása után létrehoztam annak háromdimenziós BIM modelljét. Ezt a dinamikus szimulációra képes energetikai szoftverben tovább kalibráltam, ezáltal egy valóság-hű szerkezettel és anyagtulajdonágokkal rendelkező alapmodellt kapva. A fogyasztási szokások meghatározásához az energetikai szoftver sablonjait alkalmaztam. A HVAC-vel kapcsolatos beállításokat az eredeti tervek, illetve szintén a beépített sablonok által készítettem el. Az órai bontású generált időjárásfájl beolvasása után a modell készen állt a dinamikus szimulációra. A kiválasztásra került táblás és speciális szigeteléseket így tovább vizsgáltam a kiindulási épületen, majd a táblás megoldásokat hővisszaverő bevonattal is lefuttattam kiderítve, hogy mekkora hatása lehet az épületre a szimuláció során. A bevonatok hatása nem volt jelentős, azonban évszaktól függően változó. Nyáron előnyös a felmelegedés csökkentési miatt, télen azonban hasznos szoláris nyereségektől vonja el a szerkezeteket. A szimuláció eredményeként szembeötlő az égtáj és a magassági elhelyezkedés szerinti kitettség a meteorológiai körülményeknek. A felmelegedés által leginkább veszélyeztetett helyzetben a magasabb emeletek nyugati, dél-nyugati lakásai vannak, míg télen a napon keveset lévő északi, észak-nyugati lakások. Mindegyik szigetelés hatására megnőtt a nyári középhőmérséklet a belső terekben. Ezt a megnövekedett hőtároló tömeg okozza, megfelelő szellőztetéssel kiküszöbölhető.

A legjobbnak bizonyuló homlokzati és tetőszigetelések (zöldtető XPS táblával és szalmatáblás falszigetelés) kombinációját is megvizsgáltam, ezzel elérve a legnagyobb energiafogyasztásbéli csökkenést, azaz 19,9 %-ot. A vizsgálat nem komplex felújításról szólt, azonban ez az érték így is kevésnek bizonyult. A számítások validálása szükséges lenne, azonban nem álltak rendelkezésemre fogyasztási adatok, így szabványokra, beépített sablonokra, szakirodalmakra és tapasztalataimra kellett hagyatkoynom. Az eredmények nem pontosak, azonban az arányok helyesnek tűnnek, így megállapítható az optimális szigetelés.

A kutatás hasznos lehet a jövőben társasházak felújításainak tervezési fázisaiban, a hőszigetelési megoldások összehasonlítása és a szimulációs eredmények, valamint a kidolgozott modell információkkal rendelkező szerkezetei jó alapot nyújthatnak egy energetikai célú felújításnak.

7. Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni konzulenseimnek Dr. Nagy Baláznak és Szagri Dóra doktorjelöltnek a kutatásom során nyújtott segítségüket, rugalmasságukat és hasznos szakmai tanácsaikat.

8. Irodalomjegyzék

- [1] 7/2006. (V.24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról
- [2] Magyar Szabványügyi Testület, "MSZ EN ISO 10456 Építési anyagok és termékek. Hő- és nedvességtechnikai tulajdonságok. Táblázatos tervezési értékek, illetve eljárások a közölt és tervezési hőtechnikai értékek meghatározására (ISO 10456:2007)" 2008.
- [3] Magyar Szabványügyi Testület, "MSZ 24140 Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai" 2015.
- [4] hoszigetelesplaza.hu
<https://www.hoszigetelesplaza.hu/eps-80-homlokzati-hoszigetelo-lemez-1-cm-vastag>
[Megtekintve: 2020.11.02.]
- [5] Austrotherm
<https://www.austrotherm.hu/termek/austrotherm-eps/austrotherm-eps-at-n200-terhelhető-hoszigetelo-lemez>
[Megtekintve: 2020.11.02.]
- [6] Bauder
<https://www.bauder.co.uk/technical-centre/products/insulation-products/fa-foil-faced-pir>
[Megtekintve: 2020.11.02.]
- [7] Kingspan
<https://www.kingspan.com/meati/en-in/product-groups/insulation/insulation-boards/optim-r>
[Megtekintve: 2020.11.02.]
- [8] Rockwool
<https://en.rockwool.com.cn/products/roofs/flat-roof/roofrock/?selectedCat=document%20downloads>
[Megtekintve: 2020.11.02.]
- [9] Építészfórum
<https://epiteszforum.hu/ha-biztosra-megy>
[Megtekintve: 2020.11.02.]
- [10] Rockwool
<https://www.rockwool.hu/termekeink/lapostetipari-csarnok-szigetelesek/laposteto-hoszigetelo-lemez/monrock-max-e/?selectedCat=m%C5%B1szaki%20inform%C3%A1ci%C3%B3>

[Megtekintve: 2020.11.02.]

[11] Naturica Group

<https://naturicagroup.hu/portfolio-item/steico-special/>

[Megtekintve: 2020.11.02.]

[12] W-Heat insulating

<https://www.facebook.com/green.insulation.system/photos/a.1389343224583842/1389343181250513/?type=3&theater>

[Megtekintve: 2020.11.02.]

[13] W-Heat

<http://w-heat.hu/>

[Megtekintve: 2020.11.02.]

[14] Austrotherm

<https://www.austrotherm.hu/termek/austrotherm-xps/austrotherm-xps-top-30-sf>

[Megtekintve: 2020.11.02.]

[15] Austrotherm

<https://www.austrotherm.hu/termek/formahabositott-termek/austrotherm-oazis>

[Megtekintve: 2020.11.02.]

[16] Rozsályi Mész Kft.

<http://www.rozsalyi.hu/uveghab>

[Megtekintve: 2020.11.02.]

[17] Bándi, O., "Üveghabbal hőszigetelt épületszerkezetek épületfizikai elemzése" [TDK dolgozat] BME Építőmérnöki kar, Budapest, 2019.

[18] Energocell

<https://www.energocell.hu/granulatum-tulajdonsagai/>

[Megtekintve: 2020.11.02.]

[19] Menards

<https://www.menards.com/main/building-materials/roofing-soffits-gutters/roof-coating/sealbest-reg-white-silicone-roof-coating-4-75-gal/h3855/p-1496730129110.html>

[Megtekintve: 2020.11.02.]

[20] Polyglass

<http://www.polyglass.com/IT-EN/product-detail.aspx?IDLinea=7&IDSottoLinea=212&IDProdotto=160>

[Megtekintve: 2020.11.02.]

[21] Austrotherm

<https://www.austrotherm.hu/termek/austrotherm-eps/austrotherm-eps-at-h80-homlokzati-hoszigetelo-lemez>

[Megtekintve: 2020.11.02.]

[22] R-Linea Sped

<https://epitoanyagvasarlas.hu/termek/austrotherm-grafit-reflex-homlokzati-hoszigetelo-lemez/>

[Megtekintve: 2020.11.02.]

[23] Austrotherm

<https://www.austrotherm.hu/termekek/austrotherm-grafit/austrotherm-grafit-reflexr-homlokzati-hoszigetelo-lemez>

[Megtekintve: 2020.11.02.]

[24] Rockwool

<https://www.rockwool.hu/termekeink/homlokzati-szigetelesek/frontrock-super/?selectedCat=m%C5%B1szaki%20inform%C3%A1ci%C3%B3>

[Megtekintve: 2020.11.02.]

[25] Naturica Group

<https://naturicagroup.hu/portfolio-item/steico-protect/>

[Megtekintve: 2020.11.02.]

[26] Naturica Group

<https://naturicagroup.hu/portfolio-item/kender-tabla/>

[Megtekintve: 2020.11.02.]

[27] Kreativlakas.com

<https://kreativlakas.com/hoszigetelo-anyagok/hoszigetelo-festek/>

[Megtekintve: 2020.11.02.]

[28] M., Čekon, "Spectral emissivity properties of reflective coatings" *Slovak Journal of Civil Engineering*, vol. 20, No. 2, pp 1-7, 2012.

[29] M., Čekon, M., Kalousek, J., Hraška, R., Ingeli, "Spectral optical properties and thermodynamic performance of reflective coatings in a mild climate zone" *Energy and Buildings*, vol. 77, July 2014, pp 343-354, 2014.

[30] Ádám, L., "Hővisszaverő bevonatok laboratóriumi vizsgálata" [TDK dolgozat] *BME Építőmérnöki kar*, Budapest, 2015.

[31] Bozsaky, D., "Nanotechnológiás kerámia hőszigetelő bevonatok vizsgálatai" *XL. Épületszerkezettani Konferencia, Győr-Pannonhalma*, pp 11-21, 2015.

[32] M., Čekon, "Thermodynamic Properties of Reflective Coatings" *Advanced Materials Research*, vol. 649, pp 179-182, 2013.

[33] SEAL Thermal-Shield XT exterior applications

<https://www.seal-coatings.com/pub/media/wysiwyg/thermal-insulation/STS-XT/Seal-Thermal-Shield-XT-Exterior-Thermal-Coating-Technical-Datasheet.pdf>

[Megtekintve: 2020.11.02.]

- [34] C., Buratti, E., Moretti, E., Belloni, F., Agosti, "Development of Innovative Aerogel Based Plasters: Preliminary Thermal and Acoustic Performance Evaluation" *Sustainability*, 6(9), 5839-5852, Laives, Italy, 2014.

- [35] Massive Science

<https://massivesci.com/articles/hybrid-aerogel-scaffold-bone-regeneration-regrow-replace-lost-damaged-tissue/>

[Megtekintve: 2020.11.02.]

- [36] Nanowerk

<https://www.nanowerk.com/news/newsid=19100.php>

[Megtekintve: 2020.11.02.]

- [37] Fixit

https://www.fixit-aerogel.com/en/products/product-detail?tx_fixitgruppe_product%5Baction%5D=show&tx_fixitgruppe_product%5Bcontroller%5D=Product&tx_fixitgruppe_product%5Bproduct%5D=2684&cHash=9e94fc4536edc1697f449ef00a9b0ec5

[Megtekintve: 2020.11.02.]

- [38] OKCHEM

<https://www.okchem.com/product/aluminium-powder-pigment-for-powder-coating-201811201258379.html>

[Megtekintve: 2020.11.02.]

- [39] Nagy, B., Weinber. M., "Műszaki értékelemzés az energiamegtakarítási célú épületfelújításoknál" *megetérülő ÉPÜLETENERGETIKA*, 2016. szeptember-október, pp 23-28, 2016.

- [40] Google Maps

<https://www.google.com/maps/search/google+maps/@47.4700128,19.0543365,130a,35y,328.13h,52.3t/data=!3m1!1e3>

[Megtekintve: 2020.11.02.]

- [41] Lechner Tudásközpont - Dokumentációs központ

<https://www.e-epites.hu/dokumentacios-kozpont/elerhetoseg>

[Megtekintve: 2020.11.02.]

- [42] Design Builder – Natural ventilation

https://designbuilder.co.uk/helpv2/Content/_Natural_ventilation_modelling.htm

[Megtekintve: 2020.11.02.]

- [43] DesignBuilder – Green roof

<https://designbuilder.co.uk/helpv6.0/#GreenRoof.htm?Highlight=green%20roof>

[Megtekintve: 2020.11.02.]

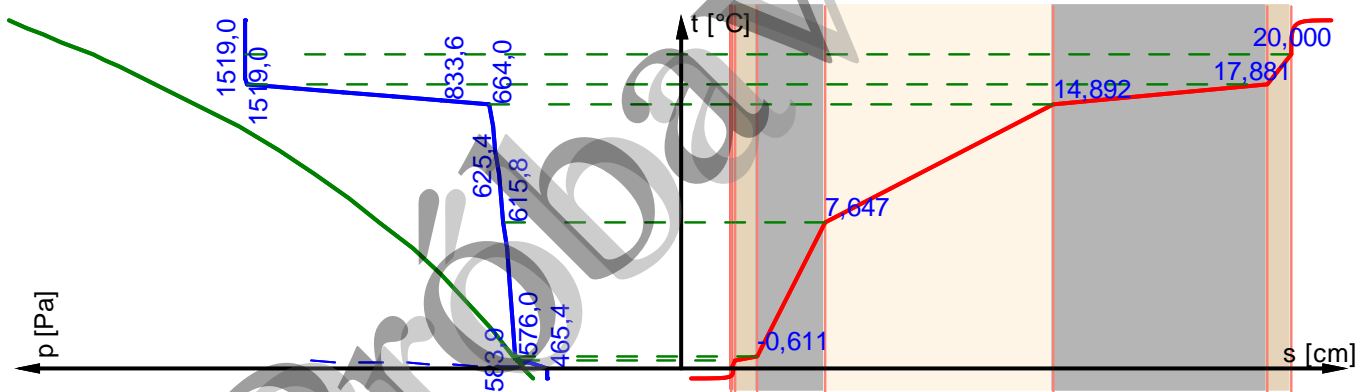
Mellékletek

Határoló szerkezetek

Rétegrend neve:	Eredetil_tet
Típusa:	Lapostet
Rétegtervi h átbecsítási tényez :	0,744 W/m²K
Megengedett értéke:	0,170 W/m²K
A rétegtervi h átbecsítási tényez NEM MEGFELEL .	
Ered h átbecsítási tényez :	0,818 W/m²K
Felület:	1,000 m²
H mérséklet korrekciós tényez , μ :	1,000
H hidak hatását kifejez korrekciós tényez , ψ :	0,100
Küls felületi ellenállás:	0,040 m²K/W
Bels felületi ellenállás:	0,130 m²K/W
Fajlagos tömeg:	808,300 kg/m²
Fajlagos h tároló tömeg:	0,000 / 192,000 kg/m²

Rétegrend belülr I kifelé:

Réteg neve	d [cm]	[W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kgK]	[kg/m³]	[g/msMPa]	
TDK_Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
TDK_Monolit_vb_lemezfödém	19,000	2,500	1,020	1,000	2300,000	80,000	0,900
Kohósalak feltöltés	20,000	0,450	1,000	0,750	1500,000	0,044	0,900
Bitumoperlit 400	6,000	0,120	0,996	1,130	400,000	0,016	0,900
Cement, homok habarcs	2,000	1,000	0,995	1,000	1800,000	10,000	0,900
Oxidbitumenes lemez (általános)	0,300	0,120	1,000	0,000	1100,000	20000,000	0,900



Rétegrend neve:

Nem_jár_egy_EPS

Típusa:

Lapostet

Rétegtervi h átbecsátási tényez :

0,165 W/m²K

Megengedett értéke:

0,170 W/m²K

A rétegtervi h átbecsátási tényez megfelel .

Ered h átbecsátási tényez :

0,181 W/m²K

Felület:

1,000 m²

H mérséklet korrekciós tényez , μ :

1,000

H hidak hatását kifejez korrekciós tényez , ψ :

0,100

Küls felületi ellenállás:

0,040 m²K/W

Bels felületi ellenállás:

0,130 m²K/W

Fajlagos tömeg:

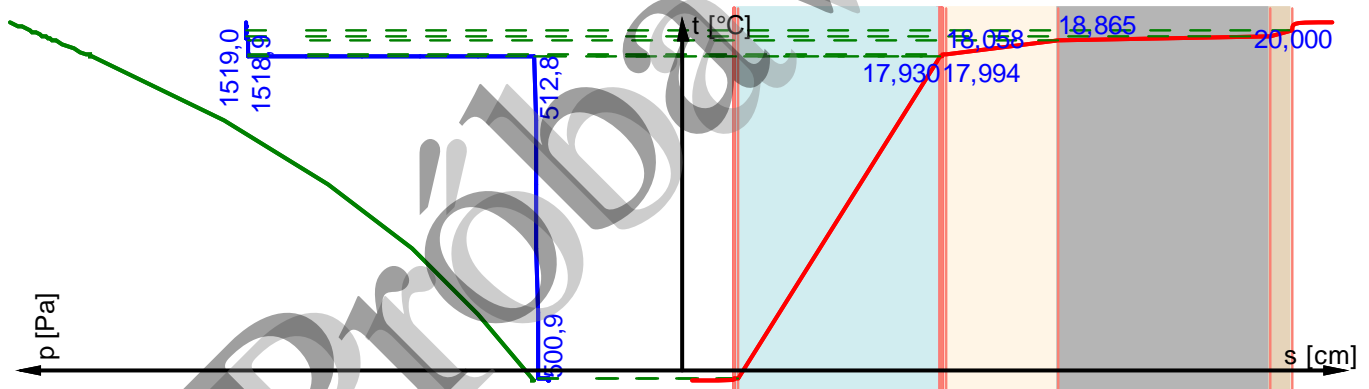
611,380 kg/m²

Fajlagos h tároló tömeg:

0,000 / 192,000 kg/m²

Rétegrend belülr I kifelé:

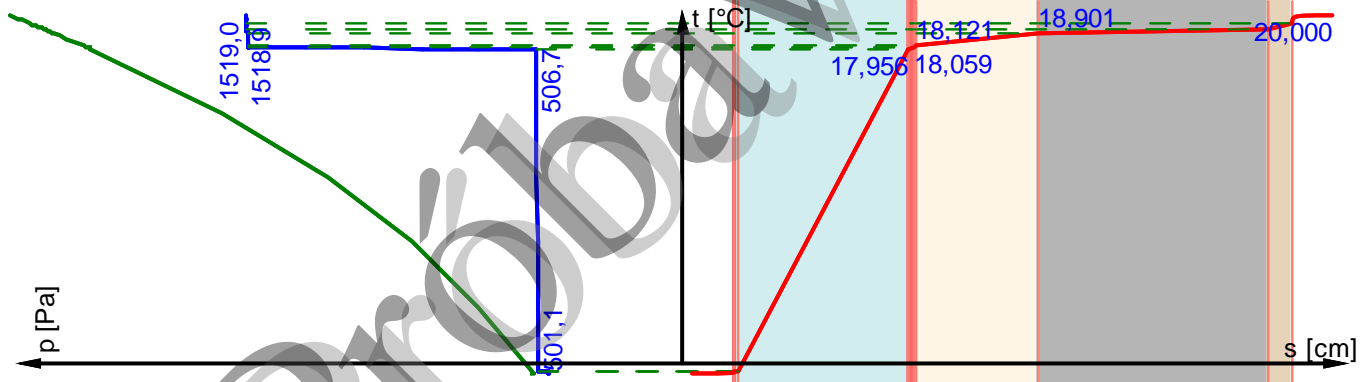
Réteg neve	d [cm]	[W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kgK]	[kg/m³]	[g/msMPa]	
TDK_Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
TDK_Monolit_vb_lemzfödém	19,000	2,500	1,023	1,000	2300,000	80,000	0,900
Kohósalak feltöltés	10,000	0,450	1,000	0,750	1500,000	0,044	0,900
Hideg bitumen máz alapozó-kell sít réteg	0,300	0,170	1,000	0,000	1050,000	0,000	0,900
Alu betétes oxidbitumenes lemez	0,300	0,170	1,000	0,000	1100,000	0,000	0,900
AT-N200 expandált polisztírolhab	18,000	0,033	1,000	1,460	32,000	100,000	0,900
PVC lemez	0,300	-	1,000	0,900	1390,000	18000,000	0,900



Rétegtrend neve:	Nem_jár_egy_PIR
Típusa:	Lapostet
Rétegtervi h átbecsátási tényez :	0,162 W/m²K
Megengedett értéke:	0,170 W/m²K
A rétegtervi h átbecsátási tényez megfelel .	
Ered h átbecsátási tényez :	0,178 W/m²K
Felület:	1,000 m²
H mérséklet korrekciós tényez , μ:	1,000
H hidak hatását kifejez korrekciós tényez , :	0,100
Küls felületi ellenállás:	0,040 m²K/W
Bels felületi ellenállás:	0,130 m²K/W
Fajlagos tömeg:	613,420 kg/m²
Fajlagos h tároló tömeg:	0,000 / 192,000 kg/m²

Rétegtrend belülr I kifelé:

Réteg neve	d [cm]	[W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kgK]	[kg/m³]	[g/msMPa]	
TDK_Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
TDK_Monolit_vb_lemezfödém	19,000	2,500	1,023	1,000	2300,000	80,000	0,900
Kohósalak feltöltés	10,000	0,450	1,000	0,750	1500,000	0,044	0,900
Hideg bitumen máz alapozó-kell sít réteg	0,300	0,170	1,000	0,000	1050,000	0,000	0,900
Alu betétes oxidbitumenes lemez	0,500	0,170	1,000	0,000	1100,000	0,000	0,900
Poliuretán keményhab (PIR)	14,000	0,025	1,006	1,420	40,000	60,000	0,900
PVC lemez	0,300	-	1,000	0,900	1390,000	18000,000	0,900



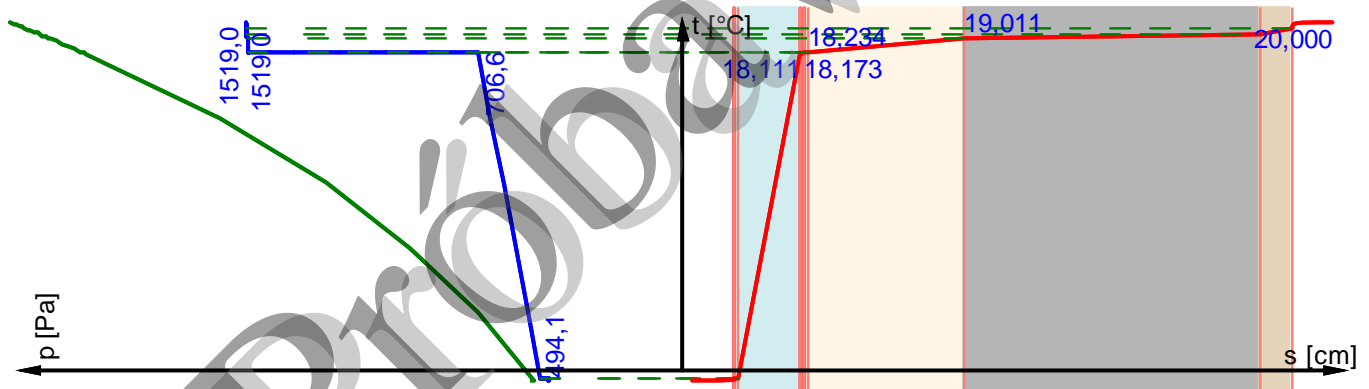
Mechanikus rögzít elemekre vonatkozó korrekció:

Dübelcsoport neve:	Dübelcsoport_1
Dübel típusa:	Hagyományos dübel
Teljes hossz [mm]:	300,000
Eltolás a küls síktól [mm]:	3,000
Mennyiség:	4
Átmér [mm]:	5,000
H vezetési tényez , [W/mK]:	0,140
$U_f = \frac{1}{\frac{1}{\lambda_f} + \frac{1}{\lambda_0} + \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2}} \cdot (R_1/R_{Th})^2$:	0,000

Rétegrend neve:	Nem_jár_egy_vákuumpanel
Típusa:	Lapostet
Rétegtervi h átbecsítési tényez : Megengedett értéke:	0,159 W/m²K 0,170 W/m²K
Ered h átbecsítési tényez :	A rétegtervi h átbecsítési tényez megfelel . 0,175 W/m²K
Felület:	1,000 m²
H mérséklet korrekciós tényez , μ:	1,000
H hidak hatását kifejez korrekciós tényez , :	0,100
Küls felületi ellenállás:	0,040 m²K/W
Bels felületi ellenállás:	0,100 m²K/W
Fajlagos tömeg:	613,620 kg/m²
Fajlagos h tároló tömeg:	0,000 / 192,000 kg/m²

Rétegrend belülr I kifelé:

Réteg neve	d [cm]	[W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kgK]	[kg/m³]	[g/msMPa]	
TDK_Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
TDK_Monolit_vb_lemezfödém	19,000	2,500	1,023	1,000	2300,000	80,000	0,900
Kohósalak feltöltés	10,000	0,450	1,000	0,750	1500,000	0,044	0,900
Hideg bitumen máz alapozó-kell sít réteg	0,300	0,170	1,000	0,000	1050,000	0,000	0,900
Alu betétes oxidbitumenes lemez	0,300	0,170	1,000	0,000	1100,000	0,000	0,900
Kingspan_OPTIM-R_vákuumpanel	4,000	0,007	1,000	0,800	200,000	10000,000	0,900
PVC lemez	0,300	-	1,000	0,900	1390,000	18000,000	0,900



Mechanikus rögzít elemekre vonatkozó korrekció:

Dübelcsoport neve:	Dübelcsoport_1
Dübel típusa:	Hagyományos dübel
Teljes hossz [mm]:	200,000
Eltolás a küls síktól [mm]:	3,000
Mennyiség:	4
Átmér [mm]:	5,000
H vezetési tényez , [W/mK]:	0,140
$U_f = \frac{1}{\sum R_i} + \frac{1}{R_{T,h}}$	0,000

Rétegrend neve:

Nem_jár_egy_k zetgyapot

Típusa:

Lapostet

Rétegtervi h átbecsátási tényez :

0,157 W/m²K

Megengedett értéke:

0,170 W/m²K

A rétegtervi h átbecsátási tényez megfelel .

Ered h átbecsátási tényez :

0,173 W/m²K

Felület:

1,000 m²

H mérséklet korrekciós tényez , μ :

1,000

H hidak hatását kifejez korrekciós tényez , ψ :

0,100

Küls felületi ellenállás:

0,040 m²K/W

Bels felületi ellenállás:

0,130 m²K/W

Fajlagos tömeg:

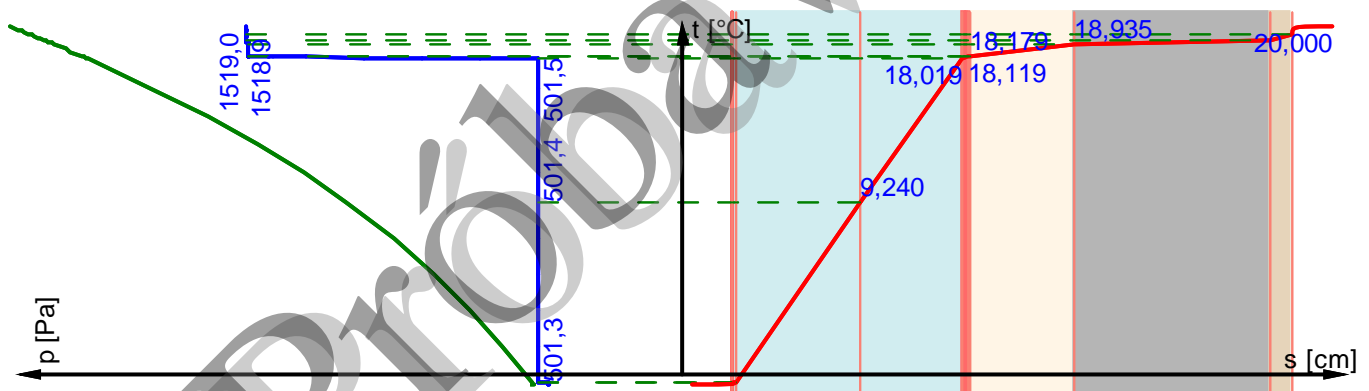
644,120 kg/m²

Fajlagos h tároló tömeg:

0,000 / 192,000 kg/m²

Rétegrend belülr I kifelé:

Réteg neve	d [cm]	[W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kgK]	[kg/m³]	[g/msMPa]	
TDK_Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
TDK_Monolit_vb_lemzfödém	19,000	2,500	1,023	1,000	2300,000	80,000	0,900
Kohósalak feltöltés	10,000	0,450	1,000	0,750	1500,000	0,044	0,900
Hideg bitumen máz alapozó-kell sít réteg	0,300	0,170	1,000	0,000	1050,000	0,000	0,900
Alu betétes oxidbitumenes lemez	0,500	0,170	1,000	0,000	1100,000	0,000	0,900
ROOFROCK_40	10,000	0,038	1,029	0,840	165,000	1,000	0,900
Monrock Max E	12,000	0,038	0,990	0,840	165,000	1,000	0,900
PVC lemez	0,300	-	1,000	0,900	1390,000	18000,000	0,900



Rétegrend neve:

Nem_jár_egy_farost

Típusa:

Lapostet

Rétegtervi h átbecsátási tényez :

0,160 W/m²K

Megengedett értéke:

0,170 W/m²K

A rétegtervi h átbecsátási tényez megfelel .

Ered h átbecsátási tényez :

0,176 W/m²K

Felület:

1,000 m²

H mérséklet korrekciós tényez , μ :

1,000

H hidak hatását kifejez korrekciós tényez , :

0,100

Küls felületi ellenállás:

0,040 m²K/W

Bels felületi ellenállás:

0,130 m²K/W

Fajlagos tömeg:

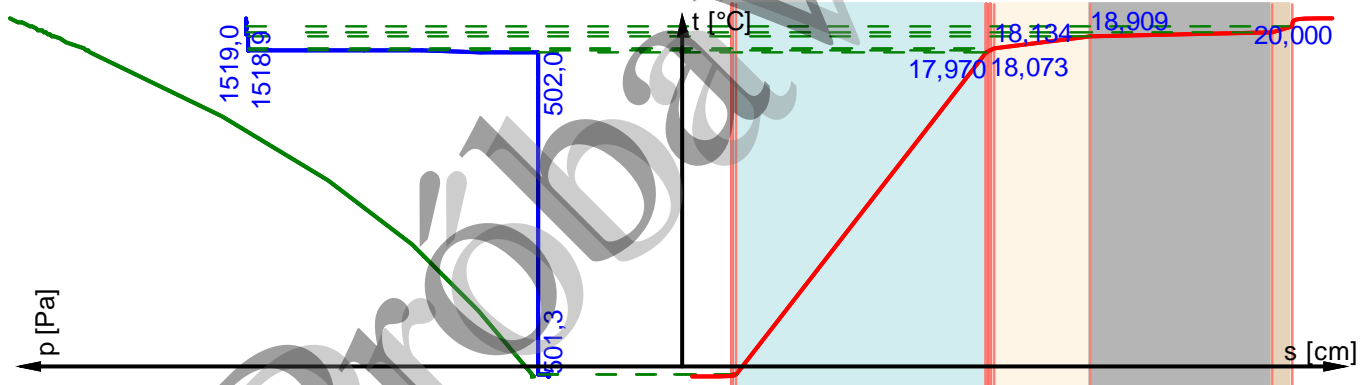
670,220 kg/m²

Fajlagos h tároló tömeg:

0,000 / 192,000 kg/m²

Rétegrend belülr I kifelé:

Réteg neve	d [cm]	[W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kgK]	[kg/m³]	[g/msMPa]	
TDK_Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
TDK_Monolit_vb_lemeszödém	19,000	2,500	1,023	1,000	2300,000	80,000	0,900
Kohósalak feltöltés	10,000	0,450	1,000	0,750	1500,000	0,044	0,900
Hideg bitumen máz alapozó-kell sít réteg	0,300	0,170	1,000	0,000	1050,000	0,000	0,900
Alu betétes oxidbitumenes lemez	0,500	0,170	1,000	0,000	1100,000	0,000	0,900
STEICO_special_farost	26,000	0,046	1,004	2,100	240,000	4,000	0,900
PVC lemez	0,300	-	1,000	0,900	1390,000	18000,000	0,900



Mechanikus rögzít elemekre vonatkozó korrekció:

Dübelcsoport neve:

Dübelcsoport_1

Dübel típusa:

Hagyományos dübel

Teljes hossz [mm]:

420,000

Eltolás a küls síktól [mm]:

3,000

Mennyiség:

4

Átmér [mm]:

5,000

H vezetési tényez , [W/mK]:

0,140

$$U_f = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{d_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_e}} \cdot \left(\frac{R_1}{R_{Th}} \right)^2$$

0,000

Rétegtrend neve:

Nem_jár_egy_szalma

Típusa:

Lapostet

Rétegtervi h átbecsátási tényez :

0,167 W/m²K

Megengedett értéke:

0,170 W/m²K

A rétegtervi h átbecsátási tényez megfelel .

Ered h átbecsátási tényez :

0,183 W/m²K

Felület:

1,000 m²

H mérséklet korrekciós tényez , μ :

1,000

H hidak hatását kifejez korrekciós tényez , ψ :

0,100

Küls felületi ellenállás:

0,040 m²K/W

Bels felületi ellenállás:

0,130 m²K/W

Fajlagos tömeg:

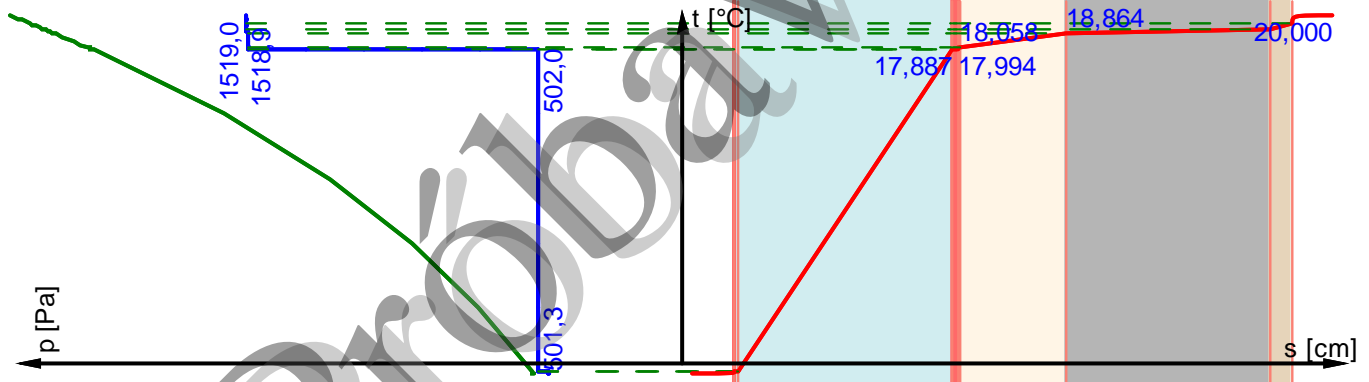
639,820 kg/m²

Fajlagos h tároló tömeg:

0,000 / 192,000 kg/m²

Rétegtrend belülr I kifelé:

Réteg neve	d [cm]	[W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kgK]	[kg/m³]	[g/msMPa]	
TDK_Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
TDK_Monolit_vb_lemezfödém	19,000	2,500	1,023	1,000	2300,000	80,000	0,900
Kohósalak feltöltés	10,000	0,450	1,000	0,750	1500,000	0,044	0,900
Hideg bitumen máz alapozó-kell sít réteg	0,300	0,170	1,000	0,000	1050,000	0,000	0,900
Alu betétes oxidbitumenes lemez	0,500	0,170	1,000	0,000	1100,000	0,000	0,900
W-HEAT_szalmatábla.	20,000	0,037	1,004	1,000	160,000	5,000	0,900
PVC lemez	0,300	-	1,000	0,900	1390,000	18000,000	0,900



Rétegrend neve:

Zöldtet _XPS

Típusa:

Lapostet

Rétegtervi h átbecsátási tényez :

0,155 W/m²K

Megengedett értéke:

0,170 W/m²K

A rétegtervi h átbecsátási tényez megfelel .

Ered h átbecsátási tényez :

0,171 W/m²K

Felület:

1,000 m²

H mérséklet korrekciós tényez , μ :

1,000

H hidak hatását kifejez korrekciós tényez , :

0,100

Küls felületi ellenállás:

0,040 m²K/W

Bels felületi ellenállás:

0,130 m²K/W

Fajlagos tömeg:

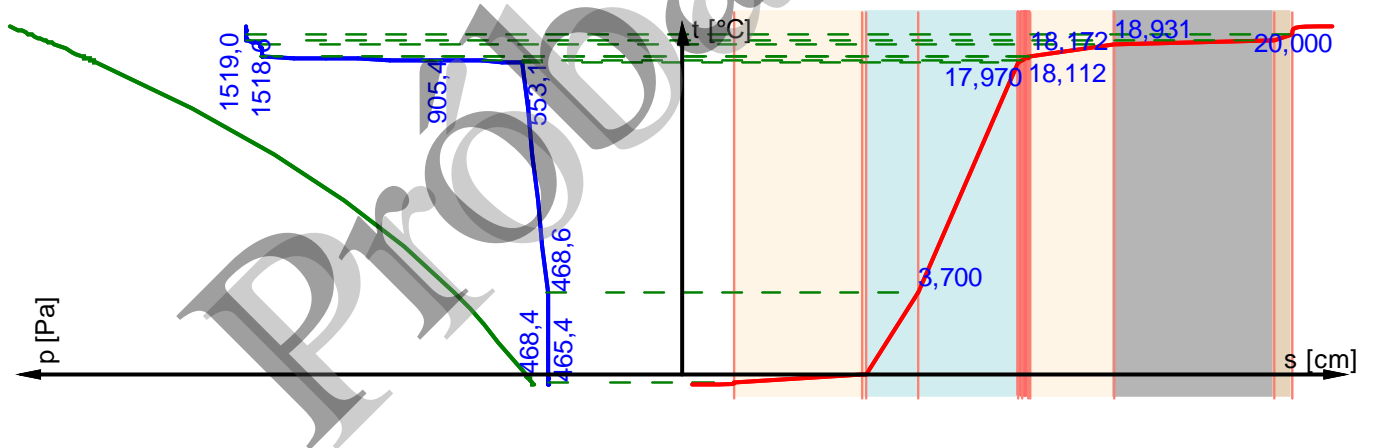
885,050 kg/m²

Fajlagos h tároló tömeg:

0,000 / 192,000 kg/m²

Rétegrend belülr I kifelé:

Réteg neve	d [cm]	[W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kgK]	[kg/m ³]	[g/msMPa]	
TDK_Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
TDK_Monolit_vb_lemeszödém	19,000	2,500	1,023	1,000	2300,000	80,000	0,900
Kohósalak feltöltés	10,000	0,450	1,000	0,750	1500,000	0,044	0,900
Hideg bitumen máz alapozó-kell sít réteg	0,300	0,170	1,000	0,000	1050,000	0,000	0,900
Elastomer bitumenes lemez	0,500	0,120	1,000	0,000	1100,000	0,000	0,900
Plastomer bitumenes lemez	0,500	0,120	1,000	0,000	1100,000	20000,000	0,900
TOP 30 Premium SF 10 cm-t l	12,000	0,029	1,000	1,400	30,000	200,000	0,900
OÁZIS_felületszivárgó_EPS	6,000	0,040	1,000	1,460	30,000	1,000	0,900
Geotextília 500 g/m ²	0,600	-	1,000	0,000	0,500	50,000	0,900
Termett talaj	15,000	1,160	1,000	0,840	1800,000	0,052	0,380



Rétegrend neve:

Zöldtet _farost

Típusa:

Lapostet

Rétegtervi h átbecsátási tényez :

0,162 W/m²K

Megengedett értéke:

0,170 W/m²K

A rétegtervi h átbecsátási tényez megfelel .

Ered h átbecsátási tényez :

0,179 W/m²K

Felület:

1,000 m²

H mérséklet korrekciós tényez , μ :

1,000

H hidak hatását kifejez korrekciós tényez , :

0,100

Küls felületi ellenállás:

0,040 m²K/W

Bels felületi ellenállás:

0,130 m²K/W

Fajlagos tömeg:

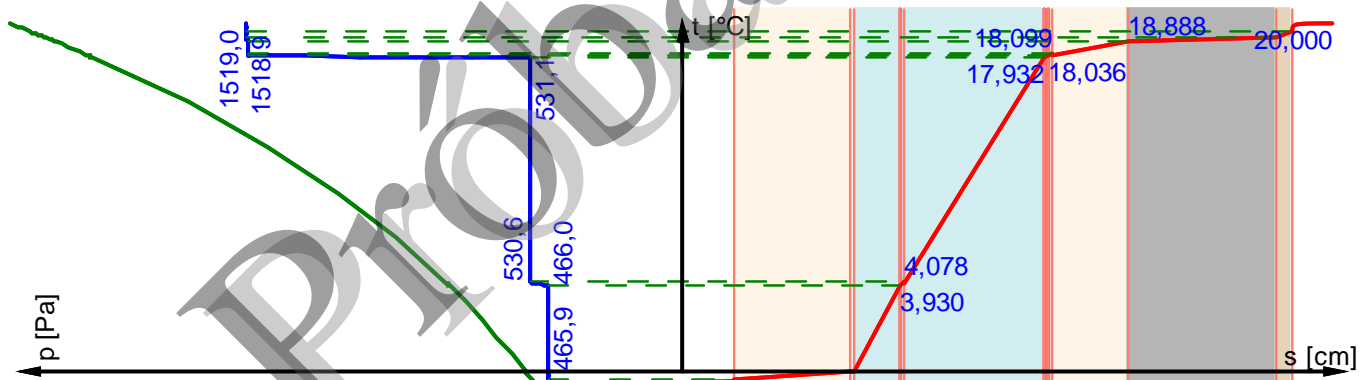
924,650 kg/m²

Fajlagos h tároló tömeg:

0,000 / 192,000 kg/m²

Rétegrend belülr I kifelé:

Réteg neve	d [cm]	[W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kgK]	[kg/m³]	[g/msMPa]	
TDK_Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
TDK_Monolit_vb_lemezfödém	19,000	2,500	1,023	1,000	2300,000	80,000	0,900
Kohósalak feltöltés	10,000	0,450	1,000	0,750	1500,000	0,044	0,900
Hideg bitumen máz alapozó-kell sít réteg	0,300	0,170	1,000	0,000	1050,000	0,000	0,900
Alu betétes oxidbitumenes lemez	0,500	0,170	1,000	0,000	1100,000	0,000	0,900
STEICO_special_farost	18,000	0,046	1,012	2,100	240,000	4,000	0,900
Plastomer bitumenes lemez	0,500	0,120	1,000	0,000	1100,000	20000,000	0,900
OÁZIS_felületszivárgó_EPS	6,000	0,040	1,000	1,460	30,000	1,000	0,900
Geotextília 500 g/m²	0,600	-	1,000	0,000	0,500	50,000	0,900
Termett talaj	15,000	1,160	1,000	0,840	1800,000	0,052	0,380



Rétegtrend neve:

Zöldtet _üveghab

Típusa:

Lapostet

Rétegtervi h átbecsátási tényez :

0,156 W/m²K

Megengedett értéke:

0,170 W/m²K

A rétegtervi h átbecsátási tényez megfelel .

Ered h átbecsátási tényez :

0,171 W/m²K

Felület:

1,000 m²

H mérséklet korrekciós tényez , μ :

1,000

H hidak hatását kifejez korrekciós tényez , :

0,100

Küls felületi ellenállás:

0,040 m²K/W

Bels felületi ellenállás:

0,130 m²K/W

Fajlagos tömeg:

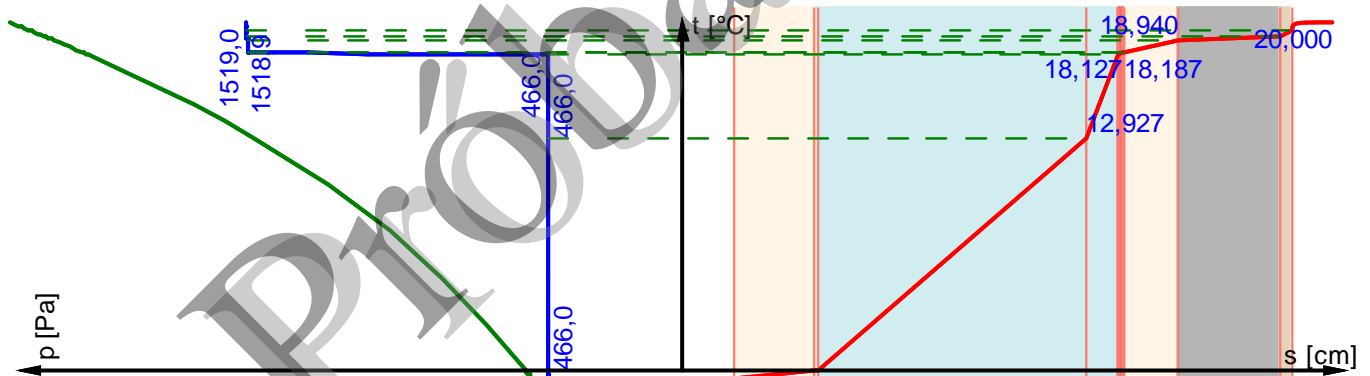
952,050 kg/m²

Fajlagos h tároló tömeg:

0,000 / 192,000 kg/m²

Rétegtrend belülr I kifelé:

Réteg neve	d [cm]	[W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kgK]	[kg/m³]	[g/msMPa]	
TDK_Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
TDK_Monolit_vb_lemezfo dé m	19,000	2,500	1,023	1,000	2300,000	80,000	0,900
Kohósalak feltöltés	10,000	0,450	1,000	0,750	1500,000	0,044	0,900
Hideg bitumen máz alapozó-kell sít réteg	0,300	0,170	1,000	0,000	1050,000	0,000	0,900
Alu betétes oxidbitumenes lemez	0,600	0,170	1,000	0,000	1100,000	0,000	0,900
OÁZIS_felületszivárgó_EPS	6,000	0,040	1,000	1,460	30,000	1,000	0,900
Energocell_üveghab_granul átum_1	50,000	0,120	0,998	1,000	150,000	0,001	0,900
Geotextília 500 g/m2	0,600	-	1,000	0,000	0,500	50,000	0,900
Termett talaj	15,000	1,160	1,000	0,840	1800,000	0,052	0,380



Rétegrend neve:

Típusa:

Rétegtervi h átbecsátási tényez :

Megengedett értéke:

Eredeti_fal

Homlokzati fal

1,477 W/m²K

0,240 W/m²K

A rétegtervi h átbecsátási tényez NEM MEGFELEL .

Figyelembe vett korrekció:

Inhomogenitás

Ered h átbecsátási tényez :

1,847 W/m²K

Felület:

1,000 m²

H mérséklet korrekciós tényez , μ :

1,000

H hidak hatását kifejez korrekciós tényez , :

0,250

Küls felületi ellenállás:

0,040 m²K/W

Bels felületi ellenállás:

0,130 m²K/W

Fajlagos tömeg:

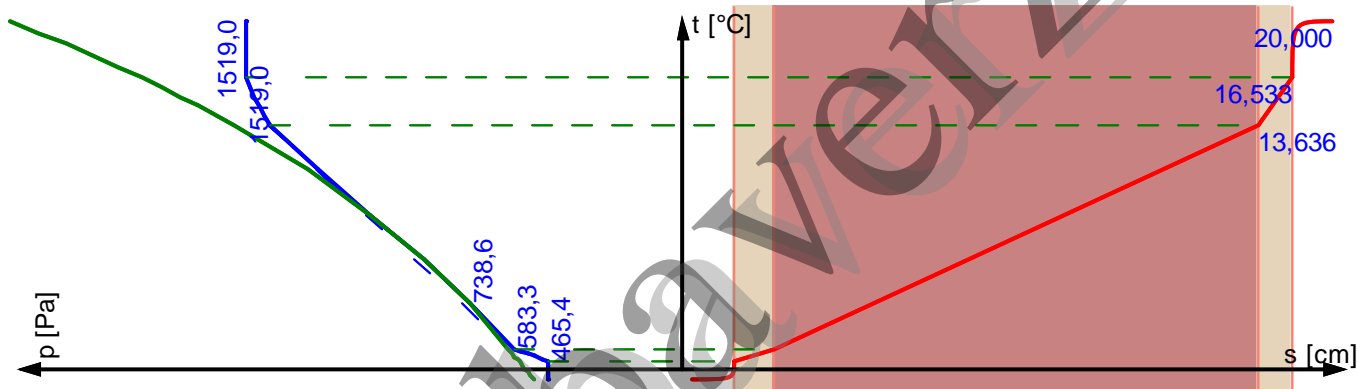
469,250 kg/m²

Fajlagos h tároló tömeg:

0,000 / 120,000 kg/m²

Rétegrend belül I kifelé:

Réteg neve	d [cm]	[W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kgK]	[kg/m ³]	[g/msMPa]	
TDK_Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
B30 kitölt fal	30,000	0,580	1,006	0,920	1400,000	0,044	0,900
Mészvakolat	2,500	0,810	0,995	0,920	1650,000	0,024	0,900



Auricon Energetic 3.7.2 • Jogosult felhasználó:

Rétegrend neve:

HomI_EPS

Típusa:

Homlokzati fal

Rétegtervi h átbecsátási tényez :

0,229 W/m²K

Megengedett értéke:

0,240 W/m²K

A rétegtervi h átbecsátási tényez megfelel .

Figyelembe vett korrekció:

Inhomogenitás

Ered h átbecsátási tényez :

0,263 W/m²K

Felület:

1,000 m²

H mérséklet korrekciós tényez , μ :

1,000

H hidak hatását kifejez korrekciós tényez , :

0,150

Küls felületi ellenállás:

0,040 m²K/W

Bels felületi ellenállás:

0,130 m²K/W

Fajlagos tömeg:

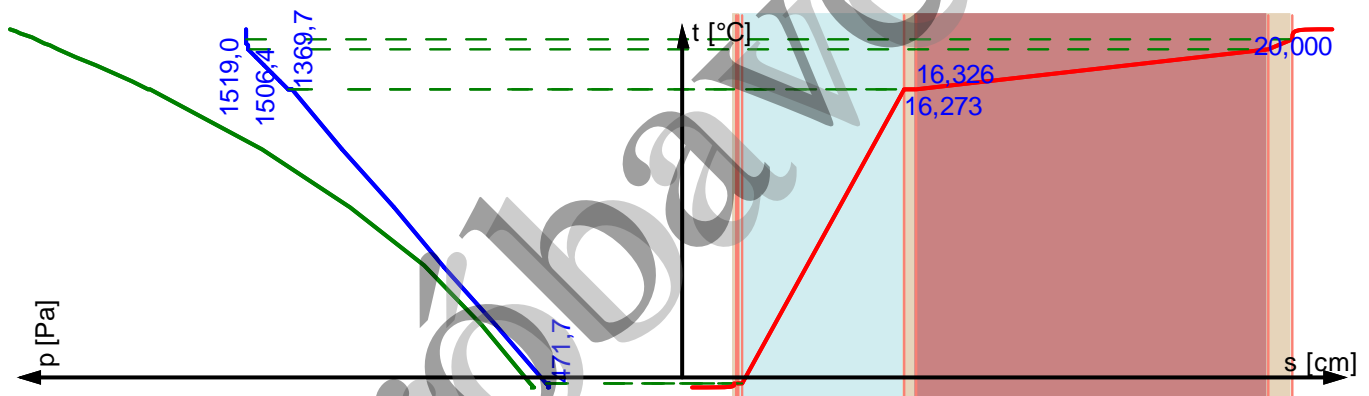
455,178 kg/m²

Fajlagos h tároló tömeg:

0,000 / 120,000 kg/m²

Rétegrend belül I kifelé:

Réteg neve	d [cm]	[W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kgK]	[kg/m³]	[g/msMPa]	
TDK_Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
B30 kitölt fal	30,000	0,580	1,012	0,920	1400,000	0,044	0,900
LB-KNAUF Thermofix ragasztóhab.	1,000	0,930	1,000	0,880	1510,000	11,000	0,900
Austrotherm_AT-H80_EPS	14,000	0,038	1,000	1,460	25,000	60,000	0,900
LB-KNAUF Küls alapvakolat	0,300	0,790	0,994	0,880	1626,000	12,000	0,900
LB-KNAUF Nemesvakolat	0,200	0,990	0,994	0,880	1850,000	12,000	0,900



Mechanikus rögzít elemekre vonatkozó korrekció:

Dübelcsoport neve:

Dübelcsoport_1

Dübel típusa:

Hagyományos dübel

Teljes hossz [mm]:

200,000

Eltolás a küls síktól [mm]:

5,000

Mennyiség:

6

Átmér [mm]:

5,000

H vezetési tényez , [W/mK]:

0,140

$$U_f = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{f,ext}} + \frac{d_0}{\lambda_f} + \frac{1}{\alpha_{f,int}}} \cdot (R_{1}/R_{T,h})^2$$

0,000

Auricon Energetic 3.7.2 • Jogosult felhasználó:

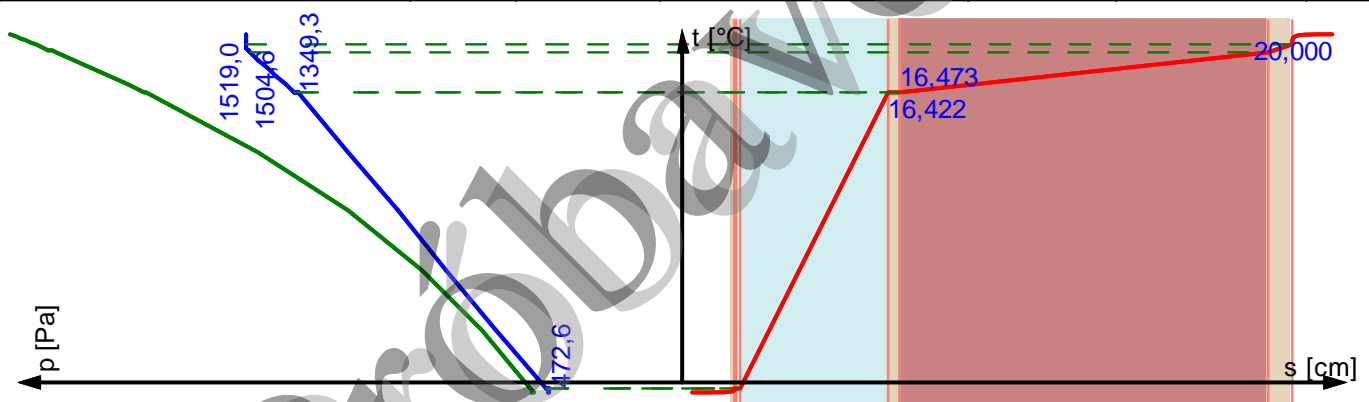
Rétegrend neve: Homl_G_EPS
 Típusa: Homlokzati fal
 Rétegtervi h átbecsátási tényez : 0,220 W/m²K
 Megengedett értéke: 0,240 W/m²K

A rétegtervi h átbecsátási tényez megfelel .

Figyelembe vett korrekció: Inhomogenitás
 Ered h átbecsátási tényez : 0,253 W/m²K
 Felület: 1,000 m²
 H mérséklet korrekciós tényez , μ : 1,000
 H hidak hatását kifejez korrekciós tényez , : 0,150
 Küls felületi ellenállás: 0,040 m²K/W
 Bels felületi ellenállás: 0,130 m²K/W
 Fajlagos tömeg: 454,678 kg/m²
 Fajlagos h tároló tömeg: 0,000 / 120,000 kg/m²

Rétegrend belül I kifelé:

Réteg neve	d [cm]	[W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kgK]	[kg/m³]	[g/msMPa]	
TDK_Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
B30 kitölt fal	30,000	0,580	1,012	0,920	1400,000	0,044	0,900
LB-KNAUF Thermofix ragasztóhab.	1,000	0,930	1,000	0,880	1510,000	11,000	0,900
Austrotherm_GRAFIT_Reflex	12,000	0,031	1,000	1,460	25,000	60,000	0,900
LB-KNAUF Küls alapvakolat	0,300	0,790	0,994	0,880	1626,000	12,000	0,900
LB-KNAUF Nemesvakolat	0,200	0,990	0,994	0,880	1850,000	12,000	0,900



Mechanikus rögzít elemekre vonatkozó korrekció:

Dübelcsoport neve: Dübelcsoport_1
 Dübel típusa: Hagyományos dübel
 Teljes hossz [mm]: 180,000
 Eltolás a küls síktól [mm]: 5,000
 Mennyiség: 6
 Átmér [mm]: 5,000
 H vezetési tényez , [W/mK]: 0,140
 $U_f = \frac{1}{\frac{1}{h_f} + \frac{d_0}{\lambda_f} + \frac{R_{T,h}}{n_f}} (R_1/R_{T,h})^2$: 0,000

Rétegrond neve:

Homl_vákuumpanel

Típusa:

Homlokzati fal

Rétegrtervi h átocsátási tényez :

0,235 W/m²K

Megengedett értéke:

0,240 W/m²K

A rétegrtervi h átocsátási tényez megfelel .

Figyelembe vett korrekció:

Inhomogenitás

Ered h átocsátási tényez :

0,271 W/m²K

Felület:

1,000 m²

H mérséklet korrekciós tényez , μ :

1,000

H hidak hatását kifejez korrekciós tényez , :

0,150

Küls felületi ellenállás:

0,040 m²K/W

Bels felületi ellenállás:

0,130 m²K/W

Fajlagos tömeg:

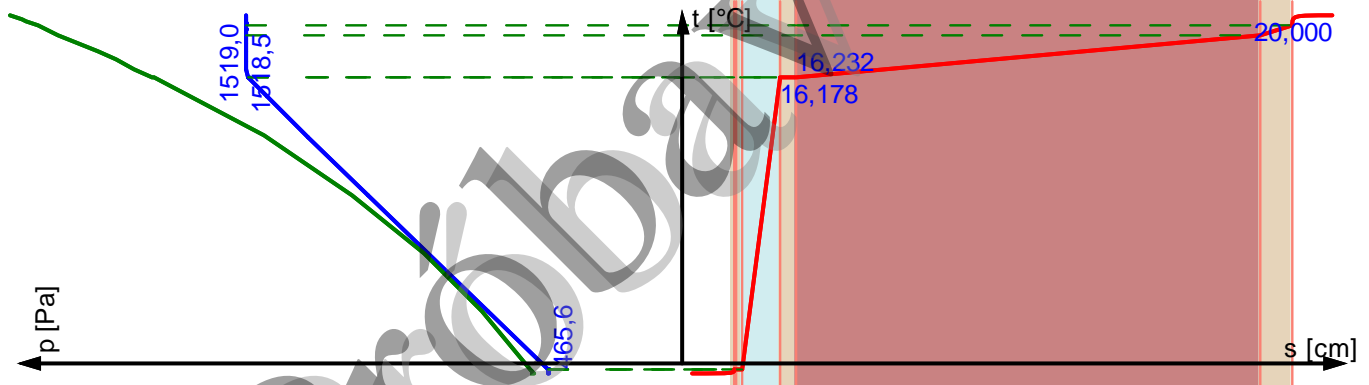
456,678 kg/m²

Fajlagos h tároló tömeg:

0,000 / 120,000 kg/m²

Rétegrond belül I kifelé:

Réteg neve	d [cm]	[W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kgK]	[kg/m³]	[g/msMPa]	
TDK_Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
B30 kitölt fal	30,000	0,580	1,013	0,920	1400,000	0,044	0,900
LB-KNAUF Thermofix ragasztóhab.	1,000	0,930	1,000	0,880	1510,000	11,000	0,900
Kingspan_OPTIM-R_vákuumpanel	2,500	0,007	1,000	0,800	200,000	10000,000	0,900
LB-KNAUF Küls alapvakolat	0,300	0,790	0,994	0,880	1626,000	12,000	0,900
LB-KNAUF Nemesvakolat	0,200	0,990	0,994	0,880	1850,000	12,000	0,900



Mechanikus rögzít elemekre vonatkozó korrekció:

Dübelcsoport neve:

Dübelcsoport_1

Dübel típusa:

Hagyományos dübel

Teljes hossz [mm]:

100,000

Eltolás a küls síktól [mm]:

5,000

Mennyiség:

6

Átmér [mm]:

5,000

H vezetési tényez , [W/mK]:

0,140

$$U_f = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{f1}} + \frac{d_f}{\lambda_f} + \frac{1}{\alpha_{f2}}} + \frac{1}{\alpha_{T,h}} \quad (R_{1}/R_{T,h})^2:$$

0,000

Auricon Energetic 3.7.2 • Jogosult felhasználó:

Rétegrend neve:

Homl_k zetgyapot

Típusa:

Homlokzati fal

Rétegtervi h átbecsátási tényez :

0,219 W/m²K

Megengedett értéke:

0,240 W/m²K

A rétegtervi h átbecsátási tényez megfelel .

Figyelembe vett korrekció:

Inhomogenitás

Ered h átbecsátási tényez :

0,252 W/m²K

Felület:

1,000 m²

H mérséklet korrekciós tényez , μ :

1,000

H hidak hatását kifejez korrekciós tényez , :

0,150

Küls felületi ellenállás:

0,040 m²K/W

Bels felületi ellenállás:

0,130 m²K/W

Fajlagos tömeg:

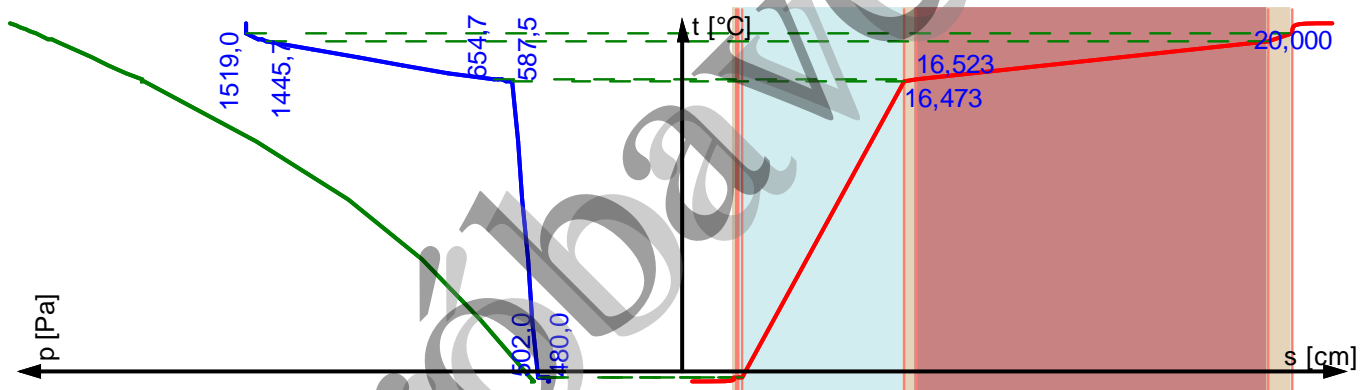
470,578 kg/m²

Fajlagos h tároló tömeg:

0,000 / 120,000 kg/m²

Rétegrend belül I kifelé:

Réteg neve	d [cm]	[W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kgK]	[kg/m³]	[g/msMPa]	
TDK_Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
B30 kitölt fal	30,000	0,580	1,012	0,920	1400,000	0,044	0,900
LB-KNAUF Thermofix ragasztóhab.	1,000	0,930	1,000	0,880	1510,000	11,000	0,900
FRONTROCK_SUPER_	14,000	0,036	1,004	1,030	135,000	1,000	0,900
LB-KNAUF Küls alapvakolat	0,300	0,790	0,994	0,880	1626,000	12,000	0,900
LB-KNAUF Nemesvakolat	0,200	0,990	0,994	0,880	1850,000	12,000	0,900



Mechanikus rögzít elemekre vonatkozó korrekció:

Dübelcsoport neve:

Dübelcsoport_1

Dübel típusa:

Hagyományos dübel

Teljes hossz [mm]:

200,000

Eltolás a küls síktól [mm]:

5,000

Mennyiség:

6

Átmér [mm]:

5,000

H vezetési tényez , [W/mK]:

0,140

$$U_f = \frac{1}{\sum R_{f,i}} + \frac{1}{R_{T,h}}$$

0,000

Rétegtrend neve:

Homl_fagyapot

Típusa:

Homlokzati fal

Rétegtervi h átbecsátási tényez :

0,234 W/m²K

Megengedett értéke:

0,240 W/m²K

A rétegtervi h átbecsátási tényez megfelel .

Ered h átbecsátási tényez :

0,269 W/m²K

Felület:

1,000 m²

H mérséklet korrekciós tényez , μ :

1,000

H hidak hatását kifejez korrekciós tényez , :

0,150

Küls felületi ellenállás:

0,040 m²K/W

Bels felületi ellenállás:

0,130 m²K/W

Fajlagos tömeg:

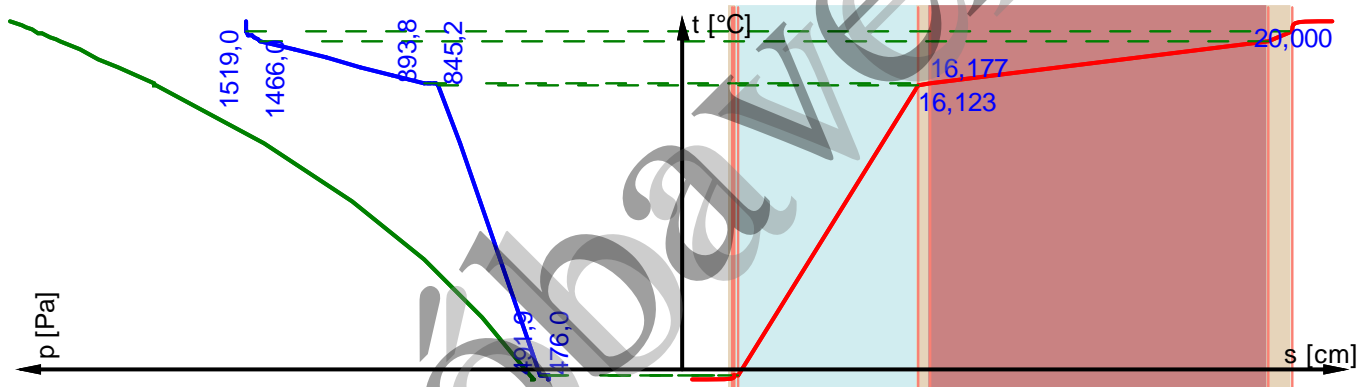
488,478 kg/m²

Fajlagos h tároló tömeg:

0,000 / 120,000 kg/m²

Rétegtrend belülr I kifelé:

Réteg neve	d [cm]	[W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kgK]	[kg/m³]	[g/msMPa]	
TDK_Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
B30 kitölt fal	30,000	0,580	1,012	0,920	1400,000	0,044	0,900
LB-KNAUF Thermofix ragasztóhab.	1,000	0,930	1,000	0,880	1510,000	11,000	0,900
STEICO_Protect_M	16,000	0,046	1,002	2,100	230,000	5,000	0,900
LB-KNAUF Küls alapvakolat	0,300	0,790	0,994	0,880	1626,000	12,000	0,900
LB-KNAUF Nemesvakolat	0,200	0,990	0,994	0,880	1850,000	12,000	0,900



Auricon Energetic 3.7.2 • Jogosult felhasználó:

Rétegrend neve:

Homlv_kender

Típusa:

Homlokzati fal

Rétegtervi h átbecsátási tényez :

0,234 W/m²K

Megengedett értéke:

0,240 W/m²K

A rétegtervi h átbecsátási tényez megfelel .

Figyelembe vett korrekció:

Inhomogenitás

Ered h átbecsátási tényez :

0,269 W/m²K

Felület:

1,000 m²

H mérséklet korrekciós tényez , μ :

1,000

H hidak hatását kifejez korrekciós tényez , :

0,150

Küls felületi ellenállás:

0,040 m²K/W

Bels felületi ellenállás:

0,130 m²K/W

Fajlagos tömeg:

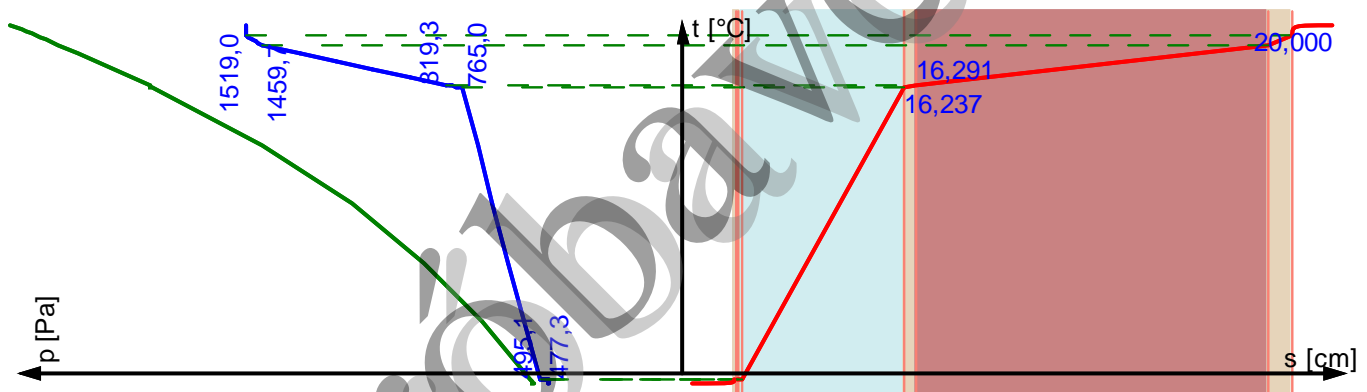
465,678 kg/m²

Fajlagos h tároló tömeg:

0,000 / 120,000 kg/m²

Rétegrend belül I kifelé:

Réteg neve	d [cm]	[W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kgK]	[kg/m³]	[g/msMPa]	
TDK_Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
B30 kitölt fal	30,000	0,580	1,012	0,920	1400,000	0,044	0,900
LB-KNAUF Thermofix ragasztóhab.	1,000	0,930	1,000	0,880	1510,000	11,000	0,900
STEICO_KONOPE_kender	14,000	0,039	1,004	1,600	100,000	3,900	0,900
LB-KNAUF Küls alapvakolat	0,300	0,790	0,994	0,880	1626,000	12,000	0,900
LB-KNAUF Nemesvakolat	0,200	0,990	0,994	0,880	1850,000	12,000	0,900



Mechanikus rögzít elemekre vonatkozó korrekció:

Dübelcsoport neve:

Dübelcsoport_1

Dübel típusa:

Hagyományos dübel

Teljes hossz [mm]:

200,000

Eltolás a küls síktól [mm]:

5,000

Mennyiség:

6

Átmér [mm]:

5,000

H vezetési tényez , [W/mK]:

0,140

$$U_f = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{f,ext}} + \frac{d_0}{\lambda_f} + \frac{1}{\alpha_{f,int}}} \cdot \left(\frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2$$

0,000

Auricon Energetic 3.7.2 • Jogosult felhasználó:

Rétegrend neve: Homl_szalma
 Típusa: Homlokzati fal
 Rétegtervi h átbecsátási tényez : 0,218 W/m²K
 Megengedett értéke: 0,240 W/m²K

A rétegtervi h átbecsátási tényez megfelel .

Ered h átbecsátási tényez : 0,251 W/m²K

Felület: 1,000 m²

H mérséklet korrekciós tényez , μ : 1,000

H hidak hatását kifejez korrekciós tényez , : 0,150

Küls felületi ellenállás: 0,040 m²K/W

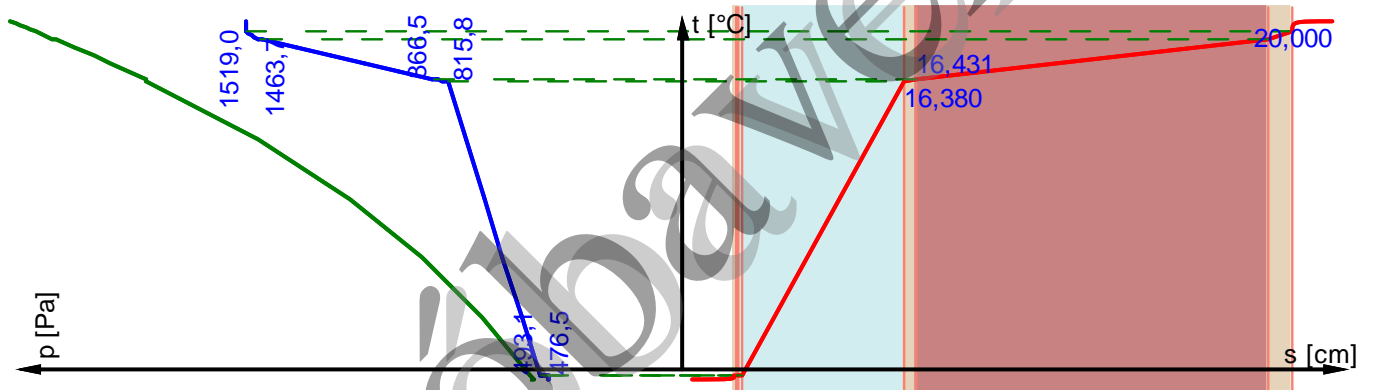
Bels felületi ellenállás: 0,130 m²K/W

Fajlagos tömeg: 474,078 kg/m²

Fajlagos h tároló tömeg: 0,000 / 120,000 kg/m²

Rétegrend belülr I kifelé:

Réteg neve	d [cm]	[W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kgK]	[kg/m³]	[g/msMPa]	
TDK_Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
B30 kitölt fal	30,000	0,580	1,012	0,920	1400,000	0,044	0,900
LB-KNAUF Thermofix ragasztóhab.	1,000	0,930	1,000	0,880	1510,000	11,000	0,900
W-HEAT szalmatábla.	14,000	0,037	1,002	1,000	160,000	5,000	0,900
LB-KNAUF Küls alapvakolat	0,300	0,790	0,994	0,880	1626,000	12,000	0,900
LB-KNAUF Nemesvakolat	0,200	0,990	0,994	0,880	1850,000	12,000	0,900



Rétegtrend neve:

Bevonat_nanoker_bev_mért

Típusa:

Homlokzati fal

Rétegtervi h átbecsátási tényez :

1,105 W/m²K

Megengedett értéke:

0,240 W/m²K

A rétegtervi h átbecsátási tényez NEM MEGFELEL .

Ered h átbecsátási tényez :

1,381 W/m²K

Felület:

1,000 m²

H mérséklet korrekciós tényez , μ :

1,000

H hidak hatását kifejez korrekciós tényez , :

0,250

Küls felületi ellenállás:

0,040 m²K/W

Bels felületi ellenállás:

0,130 m²K/W

Fajlagos tömeg:

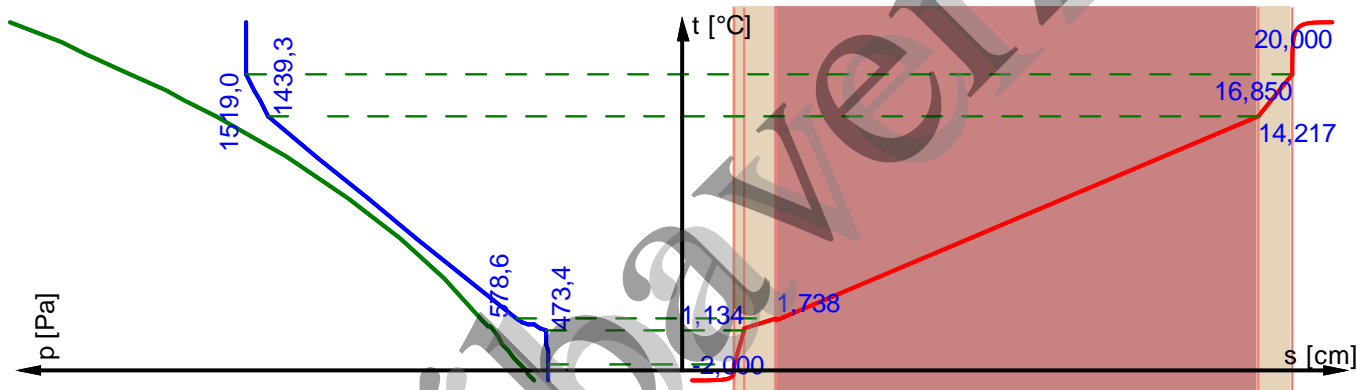
463,222 kg/m²

Fajlagos h tároló tömeg:

0,000 / 120,000 kg/m²

Rétegtrend belülr I kifelé:

Rétegtrend neve	d [cm]	[W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kgK]	[kg/m³]	[g/msMPa]	
TDK_Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
B30 kitölt fal	30,000	0,580	1,007	0,920	1400,000	0,044	0,900
Mészvakolat	2,000	0,810	0,996	0,920	1650,000	0,024	0,900
Nanokerámiás_bevonat_mért	0,600	0,069	0,988	1,080	370,280	2,000	0,910



Rétegrend neve:

Bevonat_nanoker_bev_TSM

Típusa:

Homlokzati fal

Rétegtervi h átbecsátási tényez :

0,238 W/m²K

Megengedett értéke:

0,240 W/m²K

A rétegtervi h átbecsátási tényez megfelel .

Ered h átbecsátási tényez :

0,298 W/m²K

Felület:

1,000 m²

H mérséklet korrekciós tényez , μ :

1,000

H hidak hatását kifejez korrekciós tényez , ψ :

0,250

Küls felületi ellenállás:

0,040 m²K/W

Bels felületi ellenállás:

0,130 m²K/W

Fajlagos tömeg:

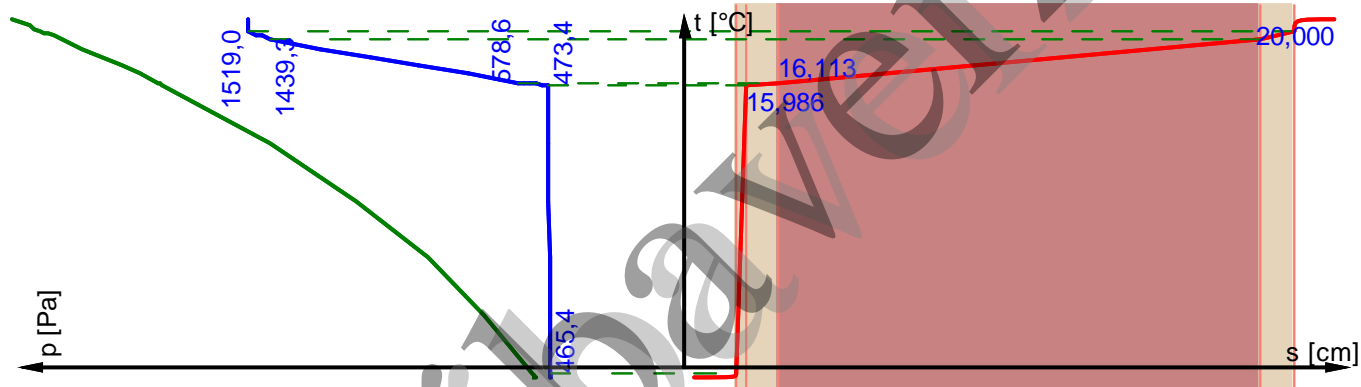
463,222 kg/m²

Fajlagos h tároló tömeg:

0,000 / 120,000 kg/m²

Rétegrend belülr I kifelé:

Réteg neve	d [cm]	[W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kgK]	[kg/m³]	[g/msMPa]	
TDK_Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
B30 kitölt fal	30,000	0,580	1,012	0,920	1400,000	0,044	0,900
Mészvakolat	2,000	0,810	1,007	0,920	1650,000	0,024	0,900
Nanokerámiás_bevonat_TS M_Ceramic	0,600	0,002	1,003	1,080	370,280	2,000	0,910



Rétegtrend neve:

Bevonat_Aeroqél_vak

Típusa:

Homlokzati fal

Rétegtervi h átbecsátási tényez :

0,229 W/m²K

Megengedett értéke:

0,240 W/m²K

A rétegtervi h átbecsátási tényez megfelel .

Ered h átbecsátási tényez :

0,286 W/m²K

Felület:

1,000 m²

H mérséklet korrekciós tényez , μ :

1,000

H hidak hatását kifejez korrekciós tényez , ψ :

0,250

Küls felületi ellenállás:

0,040 m²K/W

Bels felületi ellenállás:

0,130 m²K/W

Fajlagos tömeg:

453,910 kg/m²

Fajlagos h tároló tömeg:

0,000 / 120,000 kg/m²

Rétegtrend belülr I kifelé:

Réteg neve	d [cm]	[W/mK]	$F_T * F_M * F_A$	c [kJ/kgK]	[kg/m³]	[g/msMPa]	
TDK_Perlitvakolat	2,000	0,180	1,022	1,000	400,000	6,000	0,900
B30 kitölt fal	30,000	0,580	1,012	0,920	1400,000	0,044	0,900
Fixit_222	10,000	0,028	1,001	0,920	220,000	4,000	0,900
Ragasztóhabarcs	0,800	0,800	0,994	1,000	1,250	10,000	0,900
Fed vakolat_mész	0,300	0,990	1,007	0,880	1300,000	0,020	0,900

