

# **DIPLOMADOLGOZAT**

**Biró Zoltán**  
**SJ7F7S**  
**Létesítménymérnök Msc.**

**Gödöllő**  
**2023**



**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem**  
**Szent István Campus**  
**Létesítménymérnöki Szak**

**Budapest XIV. kerület, Nagy Lajos Király útja 86-90. szám  
alatti társasház homlokzati szigetelésének megválasztása**

**Belső konzulens:** Benécs József István  
Tanszéki munkatárs

**Külső konzulens:** Dobos Dániel  
Ügyvezetőhelyettes  
Hano-Plan Kft.

**Készítette:** **Biró Zoltán**  
SJ7F7S  
Levelező

**Intézet/Tanszék:** **Műszaki Intézet**

**Gödöllő**  
**2023**

**MŰSZAKI INTÉZET LÉTESÍTMÉNYMÉRNÖK MESTERSZAK**  
**Létesítményüzemeltető – energetika specializáció**

**DIPLOMADOLGOZAT**  
feladatlap

*Biró Zoltán (SJ7F7S)*

részére

A diplomadolgozat címe:

**Budapest XIV. kerület, Nagy Lajos Király útja 86-90. szám alatti társasház homlokzati szigetelésének megválasztása**

**Feladatkiírás:**

A diplomadolgozatban a vizsgált társasház homlokzati szigetelésének megválasztását tűztem ki célul. A kiindulási adataim a rendelkezésre álló szinti alaprajzok, valamint a társasház szerkezetének adatai. Dolgozatban megvizsgálom, hogy a jelenleg általánosan elterjedt és elérhető szigetelőanyagok közül, melyik típusra és vastagságra van szükség, hogy teljesüljön a jelenlegi U érték előírása. Valamint a jövőre vonatkozó becslést is elvégzek.

**Közreműködő tanszék:** Épületgépészeti és Energetikai Tanszék

**Külső konzulens:** *Dobos Dániel, ügyvezetőhelyettes, Hano-Plan Kft., 1066 Budapest, Lovag u. 6.*

**Belső konzulens:** *Benécs József István tanszéki munkatárs, MATE, Műszaki Intézet*

**Beadási határidő:** 2023. május 3.

Gödöllő, 2023. április hó 23 nap

**Jóváhagyom**

(tanszékvezető)

(szakfelelős)

**Átvettem**

(hallgató)

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Gödöllő, 2022. április hó 28 nap

(külső konzulens)

## Tartalomjegyzék

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Bevezetés .....   | 1  |
| 2     | Irodalom feldolgozás .....                              | 1  |
| 2.1   | Magyarország energiafelhasználása.....                  | 1  |
| 2.2   | Nemzeti Energiastratégia .....                          | 4  |
| 2.3   | Nemzeti Épületenergetikai Stratégia.....                | 5  |
| 2.4   | Hőszigetelés fontossága és elméleti alapja .....        | 7  |
| 2.4.1 | Hőátvitel .....   | 8  |
| 2.5   | Szigetelőanyagok .....                                  | 9  |
| 2.5.1 | Növényi eredetű.....                                    | 9  |
| 2.5.2 | Állati eredetű .....                                    | 12 |
| 2.5.3 | Mesterséges.....  | 12 |
| 2.5.4 | Ömlesztett.....   | 14 |
| 2.5.5 | Műanyag .....   | 14 |
| 2.5.6 | Modern szigetelőanyagok.....                            | 14 |
| 2.6   | Hőhidak.....  | 16 |
| 2.7   | Hőátbocsájtási tényező követelményeinek alakulása ..... | 19 |
| 3     | Létesítmény ismertetése.....                            | 21 |
| 4     | Módszertan .....  | 22 |
| 4.1   | Számítás menete.....                                    | 22 |
| 4.2   | Felhasznált képletek.....                               | 24 |
| 5     | Meglévő állapot .....                                   | 24 |
| 5.1   | Homlokzat.....  | 24 |
| 5.2   | Nyílászárók .....                                       | 26 |
| 5.3   | Pincefödém.....   | 29 |
| 5.4   | Tetőfödém .....   | 29 |

|     |                                |    |
|-----|--------------------------------|----|
| 6   | Vizsgált anyagok .....         | 30 |
| 6.1 | Austrotherm AT-H80.....        | 31 |
| 6.2 | Austrotherm GRAFIT 80 .....    | 32 |
| 6.3 | Rockwool Fixrock FB1 .....     | 33 |
| 7   | Eredmények.....                | 34 |
| 7.1 | Hőátbocsájtási tényező.....    | 34 |
| 7.2 | Fűtési igény.....              | 37 |
| 8   | Költségek vizsgálata .....     | 40 |
| 9   | Jövőre vonatkozó becslés ..... | 45 |
| 10  | Következtetések.....           | 56 |
| 11  | Összefoglalás.....             | 57 |
| 12  | Summary.....                   | 59 |
| 13  | Irodalomjegyzék .....          | 61 |

## 1 Bevezetés

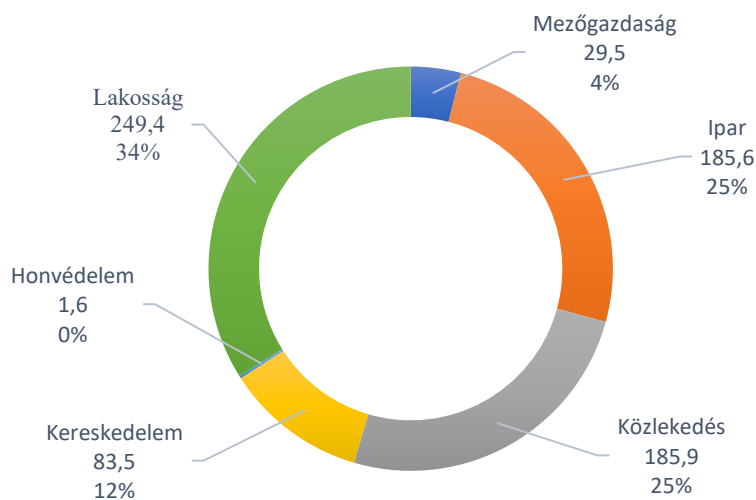
Dolgozatomban egy társasház, optimális homlokzati szigetelés vastagságának meghatározását tűztem ki célul, a hatályos műszaki szabályozások és becsült beruházási költségek figyelembevételével.

Bár a társasház teljes energetikai és hatékony korszerűsítése megkívánná, hogy a homlokzati szigetelés mellett számítva legyen a pincefödém, lábazat és tetőfödém, valamint a teljes fűtés és HMV rendszer korszerű kialakítása, de a feladat nagysága túlmutat jelen dolgozat követelményein, így a dolgozatomban, csak a homlokzati szigetelés kérdéskörével fogok foglalkozni. Mivel a fűtés és HMV készítése lakásonként egyénileg megoldott és egyéni tulajdonosok felelősségi körébe tartozó, a társasház üzemeltetésének, csak a szerkezeti elemek szigetelése lehet opció. Ezen lehetőségek közül a homlokzat teszi ki a költségek nagy részét, ezért esett a választásom ezen szerkezeti elem szigetelési lehetőségének a vizsgálatára.

## 2 Irodalom feldolgozás

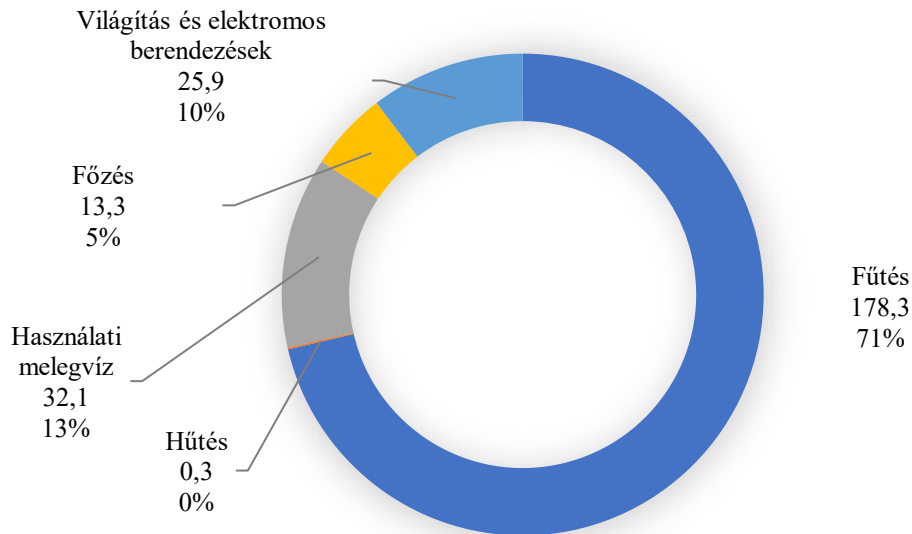
### 2.1 Magyarország energiafelhasználása

A Központi Statisztikai Hivatal (KSH) adatai szerint 2020-ban Magyarország teljes energiafelhasználásnak ~34% - át a lakossági energiafelhasználása tette ki. A fenti közel 34% -al a teljes végfelhasználásból (735,5 PJ) a lakosság használta el a legtöbb energiát (249,4 PJ), összehasonlításként az ipar (186,6 PJ) és a közlekedés (185,9 PJ) használt el nagyságrendileg hasonló energiát, mint ahogy az alábbi ábrából is kiolvasható (KSH, Végző energiafelhasználás, 2022):



1. ábra: Magyarország végső energiafelhasználása 2020-ban [PJ] (KSH adatai alapján)

Szintén a KSH adatai közül a lakossági végfelhasználást vizsgáljuk, akkor látható, hogy a végfelhasználás ~71 % fűtésre használódik el (KSH, A háztartások végső energiafelhasználása felhasználási célok szerint, 2022):



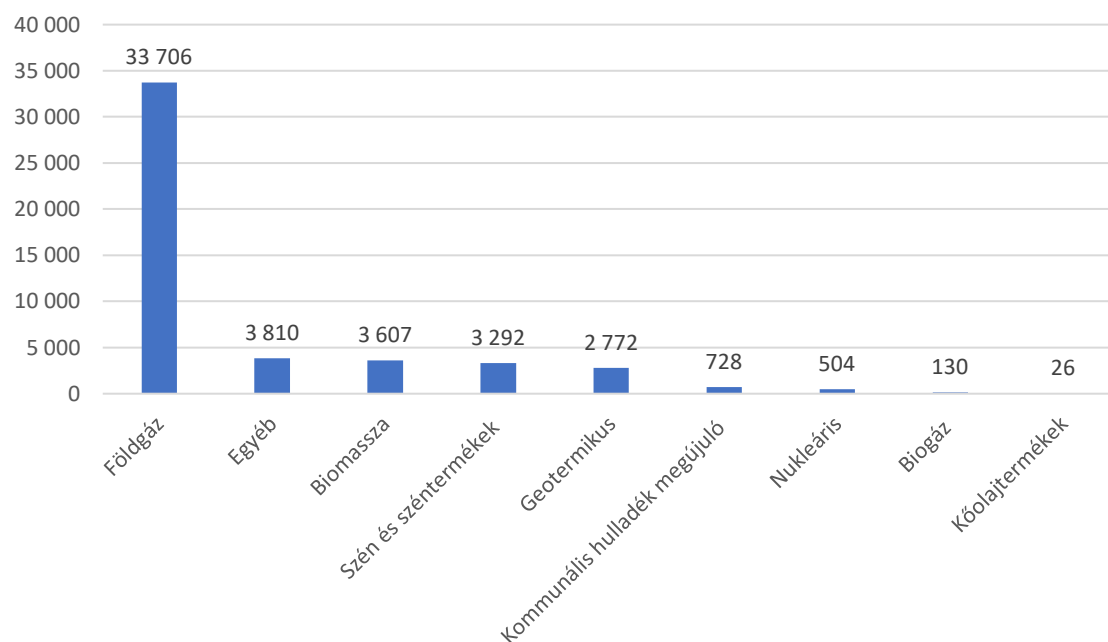
2. ábra: Háztartások végső energiafelhasználása felhasználási célok szerint 2020-ban a KSH adatai alapján [PJ]

Ennél a pontnál érdemes megvizsgálni, hogy az a 178,3PJ, amit a lakosság végfelhasználásként elhasznál miből is tevődik össze. A Magyar Energetikai és Közműszabályozási Hivatal (MEKH) statisztikája szerint a következőképpen alakul a fűtésre elhasznált energia összetétele a (MEKH, 8.1 Háztartások végső energia felhasználása Magyarországon, felhasználási célok szerint, 2015 - 2021, 2022) alapján:

1. táblázat: Háztartások végső energiafelhasználása fűtési célra 2020-ban

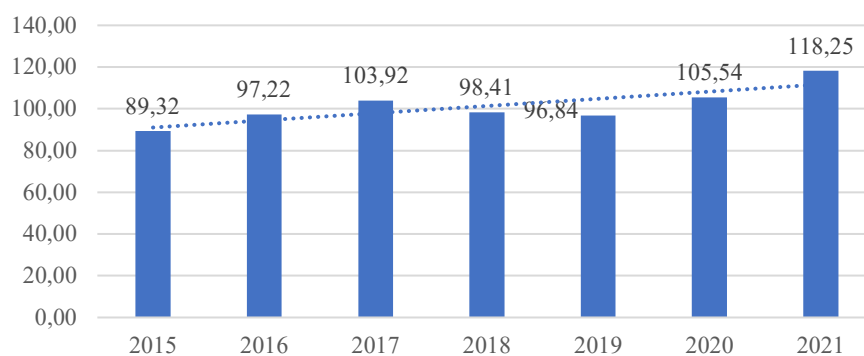
| Energiahordozó       | Energiafelhasználás (PJ) | Energiafelhasználás (%) |
|----------------------|--------------------------|-------------------------|
| Villamos energia     | 2,87                     | 1,61                    |
| Távhő                | 14,48                    | 8,12                    |
| Földgáz              | 105,54                   | 59,19                   |
| Szén és széntermékek | 2,36                     | 1,32                    |
| Kőolajtermékek       | 0,10                     | 0,05                    |
| Megújulók            | 52,97                    | 29,71                   |
| Összesen:            | 178,31                   | 100,00                  |

Az adatokból világosan kiolvasható, hogy legnagyobb mértékben fűtési célra a földgáz használja lakosság valamivel több mint 59%-kal. Valamint az is látható, hogy a lakóépületek szigetelésével legnagyobb mértékben a földgáz felhasználását lehet elsődlegesen csökkenteni. Ez a megállapítás vonatkozik a távhővel ellátott lakóépületekre is, hiszen a MEKH adatai szerint a hőenergia termelésben is a legnagyobb mértékben földgáz kerül felhasználásra (MEKH, Hőenergiatermelés, 2014 - 2021, 2022):



3. ábra: Hőenergia termelés 2020-ban a MEKH adatai alapján [TJ]

Hosszabb távon vizsgálva az ország és azon belül a fűtésre felhasznált földgáz energiamennyiséget az látszik, hogy a 2015 és 2021 közötti időszakban emelkedett (MEKH, 8.1 Háztartások végső energia felhasználása Magyarországon, felhasználási célok szerint, 2015 - 2021, 2022):



4. ábra: Fűtési célra elhasznált földgáz mennyisége a MEKH adatai alapján [PJ]



Magyarországon a felhasználás fedezete főleg importból történik. 2020-ban a MEKH adatai szerint ~55PJ földgáz termelt ki az ország, valamint ~277PJ energiát importált (MEKH, Éves földgázmérleg, 2023). A fenti adatokból jól látszik, hogy az ország importja meghatározó a földgázmérlegben, illetve emiatt nagyon nagy kitettsége van a világpiaci és világpolitikai hatásoknak.

## 2.2 Nemzeti Energiastratégia

Ennek okán is készült el a Nemzeti Energiastratégia 2030 2011-ben mely hatályon kívül helyezte az akkor érvényben lévő 40/2008 (IV. 17.) energiapolitikai határozatot (Wikipedia, 2022). A Nemzeti Energiastratégia 2030 szerint 4 célt kell megvalósítani, melyekkel az ország biztonságos energiaellátása és gazdasági versenyképessége biztosítható (Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, 2012).

Ezek a célok a következők a Nemzeti Energiastratégia szerint:

1. energiahatékonysági intézkedések
2. megújuló energiaforrások arányának növelése
3. megújuló és alternatív hőtermelés elterjesztése
4. közlekedési szektor CO<sub>2</sub> kibocsátásának csökkentése

Ezen célok megvalósításához az Energiastratégia alapján a következő feladatokat kell elvégezni (Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, 2012):

- Energiatakarékosság:
- Megújuló energiatermelés növelése
- Erőmű-korszerűsítés
- Távfűtés és egyéni hőenergiaelőállítás korszerűsítése
- Közlekedés energiahatékonyságának növelése
- Ipar és mezőgazdaság zölddé és megújulóvá tétele
- Hulladékok energetikai célú hasznosítása
- Állami befolyás erősítése

A stratégia szerint a fenti feladatok és célok teljesüléséhez el kell érni, hogy az energiafelhasználás 2030-ra 1150 PJ -ra csökkenjen, amit főként az épületek energetikai korszerűsítésével kívánja elérni, valamint erőművek és hálózatok korszerűsítésével, illetve a felhasználók tudatosabbá tétele kívánatos. Ezek mellett a hőenergiatermelésben a megújuló részarányt 25%-ra kell növelni (Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, 2012).

Azonban az Energiastratégiában a dolgozat szempontjából fontos témakör az energiahatékonyság és épületenergetika kérdése. Az Energiastratégia szerint a fűtőkorszerűsítés és nyílászáró cserék önmagában 15 – 20 % -os megtakarítást eredményeznek, mely beruházások könnyen, relatíve olcsón és gyorsan megtérülnek. Továbbá 85%-os megtakarítást lehet elérni az Energiastratégia szerint a mélyfelújítással, viszont ennek külön finanszírozást kell kidolgozni (Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, 2012). A Nemzeti Energiastratégia maga nem tér ki részletesebben az épületenergetikai kérdéskörre, viszont 2015-re elkészült az energiahatékonyságon belül a Nemzeti Épületenergetikai Stratégia.

### 2.3 Nemzeti Épületenergetikai Stratégia

Magyarország épületállományának energetikai állapotát több program is vizsgálta. Ezek közül a legelső, amely átfogó elemzést készített a Neagajoule 2020 projekt volt 2011-ben mely egy 2010-es felmérésen alapult. Ezt követően a 2014 és 2015 években a Nemzeti Épületenergetikai Stratégia és a TABULA – EPISCOPE programok következtek. Valamint az utóbbi kettő program továbbfejlesztett változata a KEOP-7.9.0/12-2013-0019 volt (Dr. Csoknyai & Dr. Horváth, 2020).

A Nemzeti Épületenergetikai Stratégia keretében a KSH 2011 – es népszámlálási adatait és az ÉMI szakértői általi helyszíni felmérésekben 20842 db épületet mértek fel. A felmérések alapján az épületeket 15 db típusba sorolták, majd az egyes típusokhoz hozzárendelték az eredeti fajlagos primerenergia fogyasztást, majd táblázatba foglalták (Nemzeti Épületenergetikai Stratégia, 2015):

2. táblázat: Épülettípusok osztályba sorolása (Nemzeti Épületenergetikai Stratégia, 2015)

|           | épülettípus                     | építési idő | falazat                            | felület-térfogat arány, m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> | Fajlagos primerenergia-felhasználás kWh/m <sup>2</sup> a |
|-----------|---------------------------------|-------------|------------------------------------|--|--|
| 1. típus  | családi ház 80 m2 alatt         | -1945       |                                    | 1,52   | 551  |
| 2. típus  | családi ház 80 m2 felett        | -1945       |                                    | 1,18   | 408  |
| 3. típus  | családi ház 80 m2 alatt         | 1946-1980   |                                    | 1,26   | 517  |
| 4. típus  | családi ház 80 m2 felett        | 1946-1980   |                                    | 1,14   | 405  |
| 5. típus  | családi ház                     | 1981-1990   |                                    | 0,96   | 336  |
| 6. típus  | családi ház                     | 1991-2000   |                                    | 0,92   | 227  |
| 7. típus  | családi vagy sorház (1-3 lakás) | 2001 után   |                                    | 1,1  | 173  |
| 8. típus  | társasház 4-9 lakással          | -2000       |                                    | 0,53   | 312  |
| 9. típus  | társasház 4-9 lakással          | 2001 után   |                                    | 0,64   | 125  |
| 10. típus | társasház 10 vagy több lakással | -1945       |                                    | 0,61   | 344  |
| 11. típus | társasház 10 vagy több lakással | 1946-2000   | tégla, egyéb                       | 0,51   | 299  |
| 12. típus | társasház 10 vagy több lakással |             | közép-vagy nagyblokk, öntött beton | 0,46   | 244  |
| 13. típus | társasház 10 vagy több lakással | 1946 - 1980 | panel                              | 0,36   | 218  |
| 14. típus | társasház 10 vagy több lakással | 1981-       | panel                              | 0,39   | 200  |
| 15. típus | társasház 10 vagy több lakással | 2001 után   |                                    | 0,41   | 100  |

A típusba sorolásra azért volt szükség, mert így minden típusra el lehetett készíteni egy – egy felújítási változatot:

3. táblázat: Felújításra vonatkozó eredmények (Nemzeti Épületenergetikai Stratégia, 2015)

| Típus sorszám | Épülettípus                     | Építési idő | Falazat                            | Meglévő állapot primerenergia-felhasználás kWh/m <sup>2</sup> /a | "Költségoptimum" felújítás primerenergia-felhasználás kWh/m <sup>2</sup> /a |
|---------------|---------------------------------|-------------|------------------------------------|--|---|
| 1. típus      | családi ház 80 m2 alatt         | -1945       |                                    | 551  | 140   |
| 2. típus      | családi ház 80 m2 felett        | -1945       |                                    | 408  | 128   |
| 3. típus      | családi ház 80 m2 alatt         | 1946-1980   |                                    | 517  | 139   |
| 4. típus      | családi ház 80 m2 felett        | 1946-1980   |                                    | 405  | 135   |
| 5. típus      | családi ház                     | 1981-1990   |                                    | 336  | 109   |
| 6. típus      | családi ház                     | 1991-2000   |                                    | 227  | 114   |
| 7. típus      | családi vagy sorház (1-3 lakás) | 2001 után   |                                    | 173  | 123   |
| 8. típus      | társasház 4-9 lakással          | -2000       |                                    | 312  | 111   |
| 9. típus      | társasház 4-9 lakással          | 2001 után   |                                    | 125  | 99  |
| 10. típus     | társasház 10 vagy több lakással | -1945       |                                    | 344  | 99  |
| 11. típus     | társasház 10 vagy több lakással | 1946-2000   | tégla, egyéb                       | 299  | 95  |
| 12. típus     | társasház 10 vagy több lakással |             | közép-vagy nagyblokk, öntött beton | 244  | 85  |
| 13. típus     | társasház 10 vagy több lakással | 1946 -1980  | panel                              | 218  | 84  |
| 14. típus     | társasház 10 vagy több lakással | 1981-       | panel                              | 200  | 80  |
| 15. típus     | társasház 10 vagy több lakással | 2001 után   |                                    | 100  | 80  |
| 16. típus     | ÚJ ÉPÜLET, 1-2 lakás            | 2013-tól    | C/B kategóriás                     | 143  | nincs felújítás   |
| 17. típus     | ÚJ ÉPÜLET, átlag 12 lakás       | 2013-tól    | C/B kategóriás                     | 112  | nincs felújítás   |

A Stratégia által számolt energiafelhasználás csökkenésből kiolvasható, hogy egy energetikai korszerűsítés az épületet jobb energetikai tudja helyezni. Ezt támasztja alá a Takarékbank 2022-ben megjelent tanulmánya, mely a Nemzeti Épületenergetikai Stratégiára épül és a fenti típus lakóépületekhez energetikai besorolást rendelt hozzá. Ebből a hozzárendelésből a következő következtetések vonhatók le (Energetikai szempontból elavult a magyar lakásállomány 90 százaléka, 2022):

- Kiemelkedően rossz, a rossz és a gyenge kategóriába tartozik a lakásállomány 60%-a
- Átlagosat megközelítő, átlagos, vagy az átlagon felüli kategóriába sorolható a lakásállomány 30%-a
- A legmagasabb kategóriákba viszont csak a lakásállomány 10 %-a sorolható.

Az osztályba sorolást elvégezték a felújítás utáni állapotra, melyből látszik, hogy a felújításokkal a lakásállomány helyzete drasztikusan javulna, és akár korszerű vagy korszerűt megközelítő kategória is elérhető, mint ahogy az alábbi ábra is mutatja (Energetikai szempontból elavult a magyar lakásállomány 90 százaléka, 2022):

4. táblázat: Lakások eredeti és felújítás utáni energiafogyasztása és osztályba sorolása (Energetikai szempontból elavult a magyar lakásállomány 90 százaléka, 2022)

| Építlet típus | Építési idő                          | Falazat  | Fajlagos primerenergia-felhasználás kWh/m <sup>2</sup> a | Feltételezett energiasztály * | Fajlagos primerenergia-felhasználás költségoptimum felújítás után kWh/m <sup>2</sup> a | Feltételezett energiasztály felújítás után** |
|---------------|--------------------------------------|--|--|-------------------------------|--|--|
| 1.            | családi ház 80 m <sup>2</sup> alatt  | -1945  | 551  | II                            | 140  | DD   |
| 2.            | családi ház 80 m <sup>2</sup> felett | -1945  | 408  | II                            | 128  | CC   |
| 3.            | családi ház 80 m <sup>2</sup> alatt  | 1946-1980  | 517  | II                            | 139  | DD   |
| 4.            | családi ház 80 m <sup>2</sup> felett | 1946-1980  | 405  | II                            | 135  | DD   |
| 5.            | családi ház                          | 1981-1990  | 336  | HH                            | 109  | CC   |
| 6.            | családi ház                          | 1991-2000  | 277  | FF                            | 114  | CC   |
| 7.            | családi vagy sorház (1-3 lakás)      | 2001 után  | 173  | EE                            | 123  | CC   |
| 8.            | társasház 4-9 lakással               | -2000  | 312  | HH                            | 111  | CC   |
| 9.            | társasház 4-9 lakással               | 2001 után  | 125  | CC                            | 99   | CC***  |
| 10.           | társasház 10 vagy több lakással      | -1945  | 344  | HH                            | 99   | CC***  |
| 11.           | társasház 10 vagy több lakással      | 1946-2000  | 299  | GG                            | 95   | CC***  |
| 12.           | társasház 10 vagy több lakással      |  |  |                               |  |  |
|               |                                      | tégla, egyéb közép- vagy nagyb্লök, öntött beton | 244  | FF                            | 85   | CC***  |
| 13.           | társasház 10 vagy több lakással      | 1946-1980  | 218  | FF                            | 84   | CC***  |
| 14.           | társasház 10 vagy több lakással      | 1981-  | 200  | EE                            | 80   | CC***  |
| 15.           | társasház 10 vagy több lakással      | 2001 után  | 100  | CC                            | 80   | CC***  |
| 16.           | Új épület, 1-2 lakás                 | 2013-tól   | C/B kategória  | DD vagy jobb                  | nincs felújítás  | DD vagy jobb                                 |
| 17.           | Új épület, átlag 12 lakás            | 2013-tól   | C/B kategória  | CC vagy jobb                  | nincs felújítás  | CC***  |

## 2.4 Hőszigetelés fontossága és elméleti alapja

A fenti statisztikai adatokból már tudjuk, hogy lakossági primerenergia ~71 % -a fűtésre használandó el. Mivel az épületeink fűtése túlnyomó részben fosszilis tüzelőanyagok elégetésével történik, így jelentős mennyiségű CO<sub>2</sub> és más üvegházhatást okozó gázok szabadulnak fel, melyek hozzájárulnak a klímaváltozáshoz. Ráadásul szén-dioxid kibocsájtás globálisan 40 % -al nőtt 20 év alatt (Paraschiv, Spiru et al., 2021). 2015 végén megszületett a Párizsi klíma egyezmény mely kimondja, hogy a globális melegedésnek +1,5°C alatt kell maradnia, valamint el kell érni, hogy a kibocsájtás növekedése megálljon (Faragó, 2016). Valamint az Európai Unió is elkötelezte magát a karbonsemlegesség mellett a 2050-ig szóló stratégiájában (Európai Bizottság, 2020). De az épületek energiaigénye nem csak a fűtésre korlátozódik, Soares szerint az épület energiafogyasztása az épület teljes életciklusa alatt összesen elfogyasztott energiát jelenti. Mely tartalmazza gyártást, építést, valamint az épületben lévők energiafogyasztását (Soares, N et al., 2017). Az emberek növekvő energiaigényének kielégítéséhez elengedhetetlen, hogy csökkenjen az épületek energiafelhasználása, amelyet többek közt az épület falain keresztüli hőáramlás csökkentésével és a falak hőátvitelének növelésével lehet megoldani. Paraschiv tanulmánya szerint 13 – 16 % lehet csökkenteni az épület energiaigényét megfelelő hőszigeteléssel (Paraschiv, Spiru et al., 2021).

### 2.4.1 Hőátvitel

Épületeinket kívülről sok hatás éri, ilyen a napsugárzás, szél, csapadék, hőmérsékletingadozás. Ezen esetekben az épület falai reagálnak a környezetre, például felmelegednek vagy lehűlnek. Ha belső térben melegebb van, mint a külső térben a hőegyensúly megteremtése érdekében hőáramlás jön létre. Ez a hőáramlás a belső és külső tér közötti falon fog létrejönni. A hőtranszport során három folyamatot lehet megkülönböztetni (Dr. Beke, 2000):

- Hővezetést
- Hőátadást
- Hősugárzást

Épület szigetelés esetében főként a hővezetésről, illetve a hőátadásról beszélhetünk. Instacioner állapotban a hőáram egyenlete:

$$\dot{Q} = -\lambda * \frac{\partial t}{\partial n} * A \text{ [W]}$$

Ahol:

$$\frac{\partial t}{\partial n} = \text{hőmérsékletgradiens}$$

$$\lambda = \text{hővezetési tényező [W/mK]}$$

$$A = \text{felület [m}^2\text{]}$$

A hővezetési tényező egy arányossági tényező, mely megadja „az izotermikus felületre merőleges 1m vastag 1 m<sup>2</sup> felületén egységnyi idő alatt 1 K hőmérséklet-különbség hatására vezetéssel átáramlott hőmennyiséget.” (Dr. Beke, 2000)

$$\lambda = \frac{Q}{A * \tau * \text{grad}t} \left[ \frac{W}{mK} \right]$$

A hővezetési tényező ismeretével ki lehet számolni egyrétegű sík fal hővezetését az alábbi képlettel (Dr. Beke, 2000):

$$Q = \lambda * \frac{t_2 - t_1}{\delta} * A * \tau \text{ [kJ]}$$

Többrétegű fal esetén pedig (Dr. Beke, 2000):

$$Q = \frac{t_2 - t_1}{\sum_{i=1}^z \frac{\delta_i}{\lambda_i}} A * \tau$$

## 2.5 Szigetelőanyagok

Az épületek szigetelésére már az első épületek felépítésekor igény volt, igaz akkor még nem beszélhetünk magáról a szigetelésről különálló elemként, hanem magával az épülethatároló elemmel szemben volt követelmény a hőszigetelés. A kezdeti szakaszban bőrt, gyapjút és növényi anyagokat használtak, majd a gazdálkodás és az állandósult települések megjelenésével, olyan építőanyagokat kerestek, amelyek tartósabbak az időjárással szemben. Ekkor kezdték alkalmazni föld, a fa és kő anyagokat (Bozsaky, Természetes és mesterséges hőszigetelő anyagok összehasonlító vizsgálatai és elemzése, 2011).

Épületenergetikai szempontból akkoriban a földházak voltak a legkedvezőbbek, mivel a vastag földborításnak köszönhetően a külső hőingadozás nem érintette a belső hőmérsékletet, köszönhetően a vastag hőtároló tömegnek is. Ilyen házak megtalálhatóak Oroszországban, Írországban, Skóciában is. (Bozsaky, Földbeágyazott lakóépületek, 2010)



5. ábra: Földház Írországban (Vista, 2011).

### 2.5.1 Növényi eredetű

A hőszigetelő anyagok ismerete és használata a 19. században nagy fejlődésen ment keresztül. A korábban használatos természetes anyagok helyett, olyan anyagokra tértek át, amelyek a természetes anyagokból készített gyártás útján előállított hőszigetelő anyagok voltak, többek között nádpalló, hamuval töltött téglák. A trópusi vidékeken élő lakosok évezredek óta éltek tengeri fű vagy nádból épített házakban. Mindkét anyag kiváló

hőszigetelő tulajdonsággal rendelkeznek. Mérsékelt éghajlati övben élő emberek elsősorban tetőfedésre nádat alkalmaztak, a szalmatető a gabonatermelés elterjedésével vált népszerűvé. A szalma és a nád is jó szigetelő az üregek szárának köszönhetően, ezért ez a technológia széles körben terjedt. A későbbiek során a természetes anyagokat feldolgozták és belőlük szigetelő lemezeket állítottak elő. Azonban ezek nem bizonyultak teljesen megbízhatónak, hiszen a csapadékot át engedték, sőt magukban tartották. Emiatt különféle állagvédelemmel próbálkoztak, azonban ezek a termékek sem hozták az elvárt minőséget. Nádpallók alkalmazása az anyag rosszabb nedvszívó képessége miatt terjedt el (Déry, Történeti anyagtan, 2000).

A szalmát az emberiség korán felismerte, mint építőanyagot, de elsőként csak tetők fedésére használták. Az 1800-as évek közepén a bálázógép feltalálása után lehetőség nyílt már falazatként is használni a szalmát. Az első szalmaházakat az amerikai Nebraska településen építették az 1800-as évek végén. Lakóházakat, iskolákat, templomokat is építettek szalmából (Déry, Történeti anyagtan, 2000).

Szigetelőlemezként Theodor Dieden fejlesztette ki Svédországban, majd Stromit néven Torsten Mossesson hozta forgalomba az 1940-es években (Morley, 2000)

Ahol fát vágnak, ott hullik a forgács, tartja a köztudott bölcsesség. A fa, illetve az abból keletkező faforgács és fűrészpor jótékony szigetelő hatását a 20. század elején felismerték és használták. Mivel ezek az anyagok folyamatosan nagy mennyiség rendelkezésre álltak, így az olcsóak voltak. Mivel a faforgácsot és a fűrészport kettő papírréteg közé tették, ezért a hő és vízállósága nagyon gyenge volt, ezért nem tudott igazán széles körben elterjedni (Novák, 2008).



6. ábra: Faforgács szigetelés a Veblen Ház-ban (Hiltner, 2022).

A fenti fa alapú anyagokkal ellentétben, a szintén fa alapú fagyapot az 1930-s években el tudott terjedni. Az első típusokhoz magnezit kötőanyagot használtak, de így az anyag tűzveszélyes volt. A kötőanyag cementre való cserélése kiküszöbölte, ezt a hátrányt, amely után alkalmassá vált az építőipari felhasználásra. A fagyapot első felhasználása a 19. századra tehető amikor Lengyelországban készítettek takarókat vegyi eljárással, majd az első fagyapot alapú szigetelő terméket Ausztriában a Heraklith nevű cég készítette (Plundstein, 2007).

Az ókori rómaiak a lábbelik bélését parafával egészítettek ki, majd később már házuk szigetelőanyagaként is használták. A középkorban Spanyol és Portugál szerzetesek szigetelték a kolostoraik belső falát. Az 1870-es években parafaszigetelő lemezek már készültek, de hátrányuk volt, hogy vakolni nem lehetett, ezért tapétát ragasztottak rá, viszont a tapétázással megszűnt a parafa levegőzése és páralecsapódás alakult ki. A 20. századra viszont már előnyösebb szigetelőlapok jelentek meg, és rendszerint épületgépészeti szigetelőanyagként használták (Déry, Öt könyv a régi építészetéről. Gyakorlati műemlékvédelem 5., 2010).

Az 1920-as években Skandináviában és Siddiqui szerint már 1919-ban Kanadában (Siddiqui, 1989) is megjelentek a cellulóz szigetelések, melyek újrahasznosított papírból, illetve erdőgazdálkodási melléktermékből készültek. Favázás lakóépületek és padlások, tetők szigetelésére alkalmazták (Novák, 2008). Napjainkban is előszeretettel használják a cellulózt főleg padlások és tetők szigetelésére. Főként a jó hő- és akusztikai tulajdonságai miatt és nem melleleg amiatt is, mert környezetbarát. Hátránya a gyúlékonyság és gombásodás. Ezen negatív hatások kivédésére, illetve csökkentésére tűzgátló és penészedésgátló anyagot kevernek. Két féle formában lehet hozzájutni, ömlesztve, illetve táblásan. Az ömlesztetszigetelés esetén kétféle módszer létezik. Az egyik a laza töltés, amikor egy fűvóberendezés segítségével tömlőn keresztül befúvással a tető vagy falüregbe. Ennek a technikának a hátránya, hogy ülepedés után a nem megfelelő egyenletes vastagságban befűjt szigetelés üregeket képez és hőhíd alakulhat ki (The Cellulose Insulation Manufacturers Association, 1998). A másik módszer pedig a nedves szigetelés, ez esetben az előzőekben használt fűvóberendezés mellé, külön szivattyúval víz permetet keverve fűjják a szigetelni kívánt területre a szigetelőanyagot. Előnye, hogy a víz jobb tapadást biztosít a cellulóz szálaknak, valamint vízzel kevert ragasztóanyagot is hozzá lehet adagolni. Hátránya, hogy a száradási idő változhat a környezet és a szigetelés vastagságától függően (Hurtado et al., 2016).





7. ábra: Cellulóz szigetelés kivitelezése (Valley Insulation, 2022)

### 2.5.2 Állati eredetű

Az állati bőr, gyapjú és szőrmékből készült szigetelőanyagok a legősibb anyagok közé tartoznak. Kunyhók, sátrak szigetelésére a gyapjút használták, illetve még napjainkban is készülnek gyapjúpaplan szigetelőanyagok. Előnyük, hogy jó tűzgátló hatású, jó hőszigetelő, valamint páraáteresztő is (Bozsaky, Természetes és mesterséges hőszigetelő anyagok összehasonlító vizsgálatai és elemzése, 2011).

Állati eredetű szigetelőanyagok közé tartozik még a szárított trágya, melyet még a középkorban, főleg vesszőből és kőből készült épületek szigetelésére használták (Déry, Öt könyv a régi építészetéről. Gyakorlati műemlékvédelem 5., 2010)

### 2.5.3 Mesterséges

Az ipari forradalom hatására megjelentek a különböző mesterséges szigetelőanyagok is. Mivel jobb tulajdonságokkal rendelkeztek, mint a természetes anyagok, így azok háttérbe szorultak. (Bozsaky, Természetes és mesterséges hőszigetelő anyagok összehasonlító vizsgálatai és elemzése, 2011)

Az egyik ilyen mesterséges szigetelőanyag az azbeszt. A természetben ugyan megtalálható ásványi anyag formájában, melyet már az ókori görögök és rómaiak is használtak különféle eszközökhöz. Neve a görög „asbestos” szóból ered, mely kiolthatatlant jelent. Szigetelésre először Finnországban alkalmazták. (Bozsaky, Természetes és mesterséges hőszigetelő anyagok összehasonlító vizsgálatai és elemzése, 2011). Az ipari forradalom után az azbesztet főként a gyáripárban alkalmazták, többek között kazánok, kémények szigetelésére. Ezek mellett körülbelül 3000 különböző terméket készítettek belőle. Építőipárban tetőszigetelésre,

hang és csőszigetelésre alkalmaztak (Bolan et al., 2023). 1900-as évek elején az Egyesült Királyságban és Franciaországban a gyárakban dolgozó munkások tüdőjében tüdőfibrózist mutattak ki, majd később pontos okként az azbesztet tették felelőssé (Murray, 1990). Mára az azbeszt betiltott anyag, az azbesztet tartalmazó épületek bontásakor külön biztonsági intézkedéseket kell alkalmazni.

Edward Perry 1840-ben alkotta meg az első ásványgyapot szigetelést ipari technológiával. Ezután először Németországban majd Egyesül Államokban kezdett el megjelenni az 1870-es években. Charles Corydon Hall az Egyesül Államokban kezdte el gyártani az ásványgyapotot mészkőből. A ma is használatos gyártási eljárás során az alapanyagokat megolvasztják 1500 – 1600 °C -on, majd 6-10µm átmérőjű szálakat készítenek belőle, ezzel egyidőben hozzáadják a kötőanyagot is. (Bozsaky, Természetes és mesterséges hőszigetelő anyagok összehasonlító vizsgálatai és elemzése, 2011)

Bár az üvegyártás technológiáját az emberiség már régóta ismeri az üvegyapot gyártása az 1930-as évekre tehető. Russel Games Slayter gyártotta először a szigetelőanyagot. Az üvegyapot gyártása során az 50-60 %-ban újrahasznosított üveghez hozzáadják a mészkő, kvarchomok és dolomit keverékét, majd 1400 – 1500 °C-on olvasztanak. A szálképzés és a kötőanyag hozzáadása hasonló az ásványgyapotéval (Bozsaky, The development of thermal insulation materials from the beginnings, 2010).

#### **2.5.4 Ömlesztett**

A magyarországi házigyári panel épületek általános szigetelő anyaga volt a kohósalak. Olcsó ára miatt sok helyen alkalmazták. Hátránya a nagy önsúly, valamint a nedvszívó képessége, ezért alkalmazása esetén páraszellőzést kellett alkalmazni (Déry, Öt könyv a régi építészetéről. Gyakorlati műemlékvédelem 5., 2010).

A perlit egy vulkanikus üvegközet, melyet, ha 900 – 1200 °C közé melegítenek a benne tárolt vízgőz távozik és többszörösére tágul. A duzzadás hatására alacsony súlyhoz és térfogatsűrűséghez nagy felület társul. Előnye a jó hang és hőszigetelés és a tűzállóság. Előnyös tulajdonságai miatt különböző felhasználási területeken alkalmazzák, mint például a talaj levegőztetés és vízelvezetésének javításához (Singh & Grag, 1991). Az építőiparban az 1800-as évek óta használják szigetelőanyag mellett még adalékanyagként is (Rashad, 2016).

#### **2.5.5 Műanyag**

Az 1950-es évek a hőszigetelő anyagok tekintetében gyökeres változást hozott a műanyag megjelenése, amelyek gyakorlatilag viharos gyorsasággal szorította a természetes anyagokat. 1839-ben Eduard Simon jött rá, hogy a Styrax növényből nyert gyanta szabad levegőre téve sűrű anyaggá válik. Desztilláció segítségével a gyantából folyadékot készített, amit sztirolnak nevezett el. 1930-ban a német BASF vállalat két kutatója sikeresen hajtott végre polimerizációt, amely során polisztirol gyöngyöt hoztak létre. Ettől kezdve sikeresen megindult a polisztirol nagyüzemi gyártása (Bozsaky, Természetes és mesterséges hőszigetelő anyagok összehasonlító vizsgálatai és elemzése, 2011).

A BASF 1950-ben a polisztirolhoz pentán gázt kevert, amit kemencében expandáltak. Expandálás közben a polisztirol és pentán keverékéhez vízgőzt adtak, mely során a pentán segítségével a polisztirol gyöngyök 20 – 50 szeresére duzzadtak. Az így kapott duzzadt anyagot pihentették, majd gőzölésnek vetették alá. Így megkapták a legelső Expandált polisztirol tömböt, ami egyszerűen csak EPS-nek hívunk. (Bozsaky, The development of thermal insulation materials from the beginnings, 2010).

#### **2.5.6 Modern szigetelőanyagok**

A technológiai fejlődés nem áll le, folyamatosan alkotnak újabbnál – újabb hőszigetelő anyagokat.

A vákuum szigetelőanyagok (VIP) 4 – 5 -szer kisebb vastagságot igényelnek, mint a hagyományos EPS szigetelések, mivel a hőellenállásuk nagyságrendekkel nagyobb (Alam et al., 2011). Elsőként a hűtőgépekhez alkalmazták, több tanulmány is született a hűtőgépek energiamegtakarításával kapcsolatban, Thiessen szerint a hűtőgép 56% -os lefedése VIP panelekkel, az 21%-os energiamegtakarítást jelent (Thiessen et al., 2018). A vákuumpanel egy magból és a körül lévő burkolatból és szárítószerkezből áll (Alam et al., 2011). A mag anyagának füstölt szilícium-dioxidot használnak legtöbbször (Wang et al., 2007). A magot egy többrétegű bevonattal védik a környezeti hatásoktól, valamint a mag belsejébe gettereket és szárítószer helyeznek, hogy abszorbeálják a magba bejutott vízgőz és gázokat (Alam et al., 2011). Mint ahogy a VIP felépítése 8.ábrán látható:



8. ábra: Vákuumpanel felépítése (EMPA et al., 2005)

A vákuumpanel hátránya, hogy nagyon sérülékeny a védőfóliát átszúrás ellen védeni kell, idővel a hőteljesítmény csökken, hőhidat okoz a burkolata, valamint a helyszínen nem lehet vágni (Baetens et al., 2010).

A VIP hőszigetelés mellett az Aerogélek képviselik a legkorszerűbb szigetelőanyagokat. Az aerogélt 1930-ban fedezte fel Kistler (Baetens et al., 2011), majd 1980-ban biztonságossá tették a gyártását. A 2000-es években pedig a NASA mutatott érdeklődést az anyag irányába. Az aerogélek szilícium-dioxidból készülnek, melyben térhálós szerkezetnek köszönhetően sok 5 – 70 nm átmérőjű levegőpórusok találhatóak. Ennek köszönhetően rendkívül jó hő és hangszigetelő anyag, de pont a nagy pórusszám miatt nagyon törékeny (Baetens et al., 2011). Az eddig említett statikus szigetelőanyagok mellett ma már a dinamikus szigetelés megvalósítása is már elérhető közelségbe került. A dinamikus szigetelés megadja a lehetőséget, hogy a hőátadási sebességet szabályozni lehessen, még pedig úgy, hogy a dinamikus szigetelés hőcserélőként funkcionál így a kiszellőztetett levegő előmelegíthető és

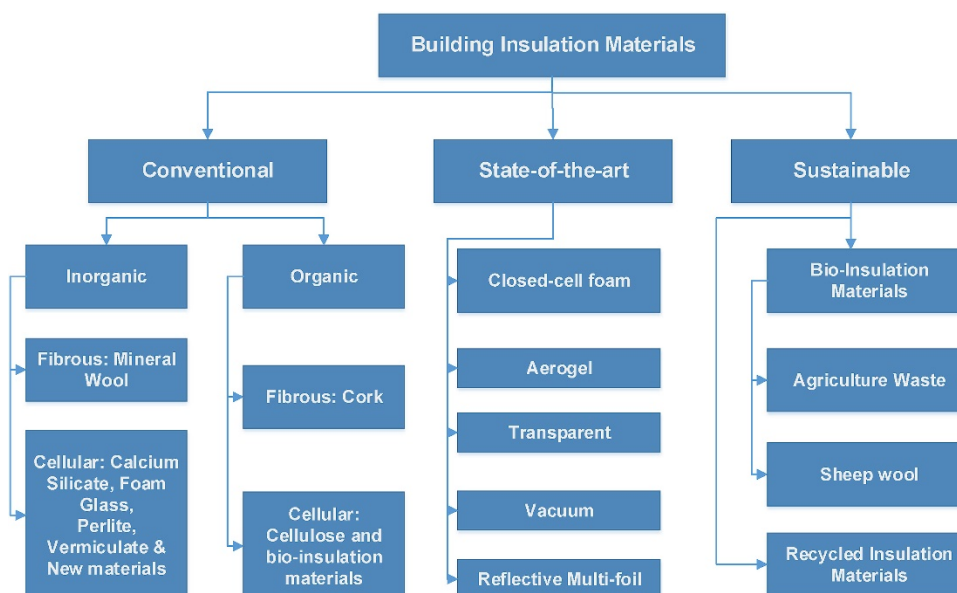
előhűthető. Fawaier és Bokor szerint a dinamikus szigetelés egy mondatban: „Dinamikus szigetelés = hagyományos szigetelés + dinamikus hőcsere az épület burkolatán belül.” A dinamikus szigetelést még a 19.század közepén vizsgálta Pettenkoffer, az 1980-as években pedig Norvégiában megfelelő beépítéssel nullás U értéket elérni. Hőcsereelő közegként alkalmazható a levegő vagy víz, vagy gáz. De alkalmazható multilayer és thermo dióda is (Fawaier & Bokor, 2022).

A fenti szigetelőanyagok mellett természetesen folyamatosak a kutatások a minél jobb szigetelési mód megtalálásához.

A lehetséges jövőbeni szigetelések felsorolászerűen Jelle alapján (Jelle, 2011):

- Vákuumszigetelő anyag (VIM)
- Gázszigetelőanyag (GIM)
- Nano szigetelő anyag (NIM)

Az ebben a fejezetben tárgyalt szigetelő anyagok csoportosítását a 9.ábra mutatja:



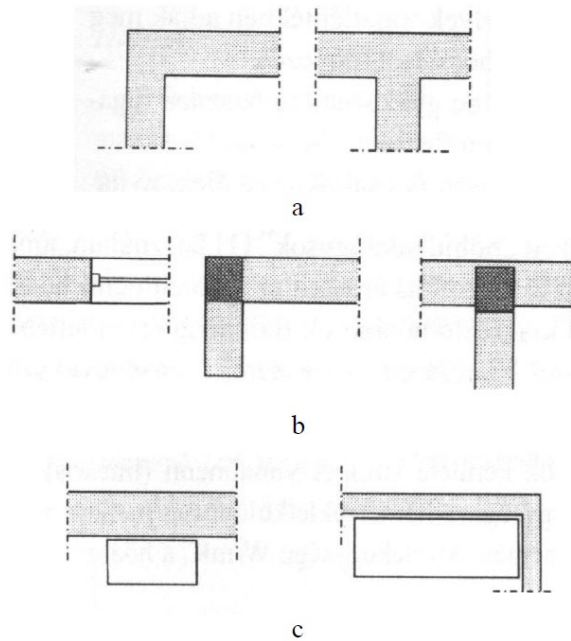
9. ábra: Szigetelőanyagok csoportosítása (Kumar et al., 2020)

## 2.6 Hőhidak

Hőhidak hatására a falazatban az 1 dimenziós hőáramokat felváltja a több dimenziós hőáram.

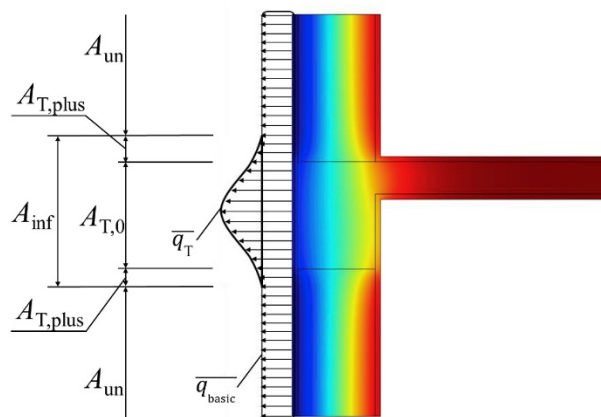
A több dimenziós hőáram a következők miatt alakulhat ki Kalmár szerint (Kalmár, 2003):

- geometriai változás: sarkok, födémcsatlakozások
- anyagváltozás: oszlopok, nyílászárók
- árnyékolás légmozgás akadályozása: bútorozás



10. ábra: Hőhidak kialakulásának okai Kalmár szerint (Kalmár, 2003)

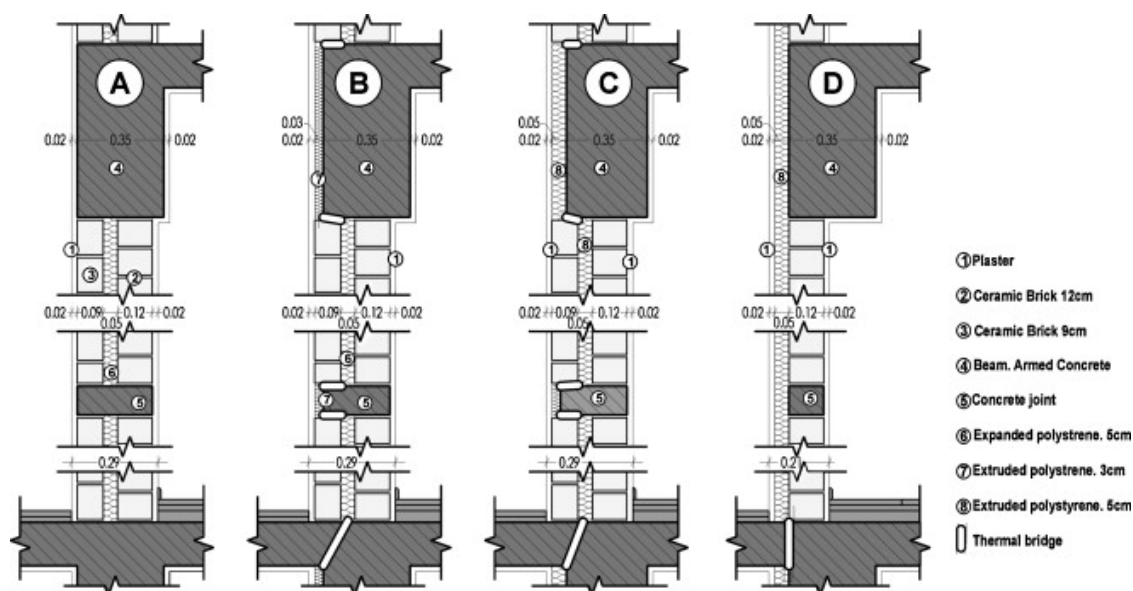
A hőhidakat megszüntetni nem lehet, szigeteléssel csak a hőhíd hatását lehet csökkenteni. A hőhidak hatására a belső felület hőmérséklete kisebb lehet (11.ábra), mint a falazat általános hőmérséklete, amely párakicsapódáshoz és penészesedéshez vezethet. Valamint a szerkezeten áthaladó hőáramok nagyobbak lesznek így az épület több energiát fog felhasználni (Dr. Harmathy, 2020).



11. ábra: Hőmérséklet és hőmérsékletkülönbség alakulása hőhíd hatására (Lu et al, 2020)

A hőhidak hatásának vizsgálatát és modellezését jónéhány tanulmány elvégezte. Theodosiou és Agis például kimutatta, hogy jelentős eltérés keletkezik a fűtési igényben, ha a hőhidak hatását figyelmen kívül hagyjuk. Elemzésükben Thesszaloniki városában található három szintes dupla téglafalazatú apartman házat vizsgáltak. Tanulmányukban négy különböző forgatókönyvet analizáltak. Az „A” eset egy részben szigetelt állapot, de inkább

mondhatni nem szigetelt állapotról lehet beszélni. „B” esetben a falazatot 3cm vastag szigeteléssel látták el, amely megfelel az általános görög gyakorlatnak, a „C” esetben 5 cm vastag szigetelést vizsgáltak. Az „A”, „B” és „C” scenáriókban a szigetelés a teherhordó elemeknél kívülre helyezték („A” esetben ez irreleváns”) és a téglafalazat szigetelését a dupla falazat közé helyezték. A „D” esetben szintén 5cm vastag szigetelést használtak, viszont azt kívülre helyezték fel a téglafalazaton is, így csökkentve a hőhidak hatását. A szimulációt és számítások TRNSYS 16 szoftverrel végezték, amelyeket elvégeztek a hőhid hatások figyelembevételével és anélkül is. A közzétett eredményükből jól látható, hogy a legalsó és a legfelső szint szenved el a legnagyobb hővesztéséget. Ami várakozásoknak megfelel, mivel ez a két szint, ami nagyobb felületen érintkezik a külső környezettel. Valamint az eredményekből kitűnik, hogy „D” eset kivételével 35%-kal nagyobbak a tényleges hővesztések a becsülnél, amely az energia költségekben megmutatkozott. Tanulmányukban megállapították még, hogy a fűtési igények 30%-kal magasabbak a valóságban, mint a becsült érték, amely környezeti hatásban és üzemeltetési költségben nem elhanyagolható különbség (Theodosiou & Agis, 2008).



12. ábra: A vizsgált négy forgatókönyv (Theodosiou & Agis, 2008)

Egy másik tanulmány Kanadában vizsgált egy 30 emeletes nagy hőtömegű épületet 3D dinamikus modellezéssel. A tanulmány 7 különböző hőhidcsomópontot vizsgált meg: közbenső födém (1), közbenső fal / ablak (2), erkély (3), erkély – tolóajtó (4) válaszfal (5), tető (6), közbenső födém alulról (7). Minden csomópont esetében kétféle esetet vizsgáltak. Egyik a gyenge, amely során a szigetelést a belső oldalra helyezik, másik a továbbfejlesztett, amikor a szigetelést a fal külső oldalára rakják. Három módszerrel modellezték a hőhidakat, ezek az egyenértékű U- érték, az ekvivalens fal módszer és a 3D dinamikus modellezési módszer. Az eredményekből a következő következtetéseket lehet levonni:

- Az egyenértékű U-módszer 13 %-kal túlbecsüli a fűtési és 10 %-kal alábecsüli a hűtési igényeket.
- Megfigyelhető, hogy minél nagyobb a hőtömeg és a hőhidak mennyisége annál nagyobb a különbség az ekvivalens U érték és a 3D dinamikus modellezés között (Hua & Baba, 2017).

## **2.7 Hőátbocsájtási tényező követelményeinek alakulása**

A hőátbocsájtási tényező követelmény értékei az idők során változtak. A jelenleg érvényben lévő 7/2006 TNM rendelet szerint homlokzati falra 0,24 W/m<sup>2</sup>K értéket állapított meg (7/2006 (V.24). TNM rendelet). A hőtechnikai követelmények történetében 1965-ig nem volt meghatározva a hőátbocsájtási tényező értéke. Addig az 1934-es Építési Zsebkönyv volt az irányadó követelmény, melyben a párakicsapódás megelőzése szerepelt, ami gyakorlatilag 1,68 W/m<sup>2</sup>K értéknek felelt meg (Ravago building solution Hungary Kft., dátum nélk.).

1965-ben a ME-30-65: „Épületek és épületszerkezetek hőtechnikai méretezése (Szokványos használatú épületek)” című műszaki előírásban jelent meg először a hőátbocsájtási tényezőre maximális érték. Ebben az előírásban a 3 féle hőátbocsájtási tényezőt adtak meg a szerkezet tömegével összefüggésben. Ha az épület tömege >300 kg/m<sup>2</sup> akkor a hőátbocsájtási tényező értéke 1,20 kcal/m<sup>2</sup>, ó, C, ami megfelel 1,39 W/m<sup>2</sup>K-es U értéknek, ha 300 – 700 kg/m<sup>2</sup> között volt, akkor 1,33 kcal/m<sup>2</sup>, ó, C vagyis 1,54 W/m<sup>2</sup>K, azonban, ha az épület tömege meghaladta a 700 kg/m<sup>2</sup>-ot, akkor 1,41 kcal/m<sup>2</sup>, ó, C volt a követelményérték, ami 1,64 W/m<sup>2</sup>K felelt meg. Az előírás annyi kiegészítéssel élt, hogy a követelmény értékek akkor használhatóak, ha épület szerkezete nem ismert (MEGSZ, 2010).

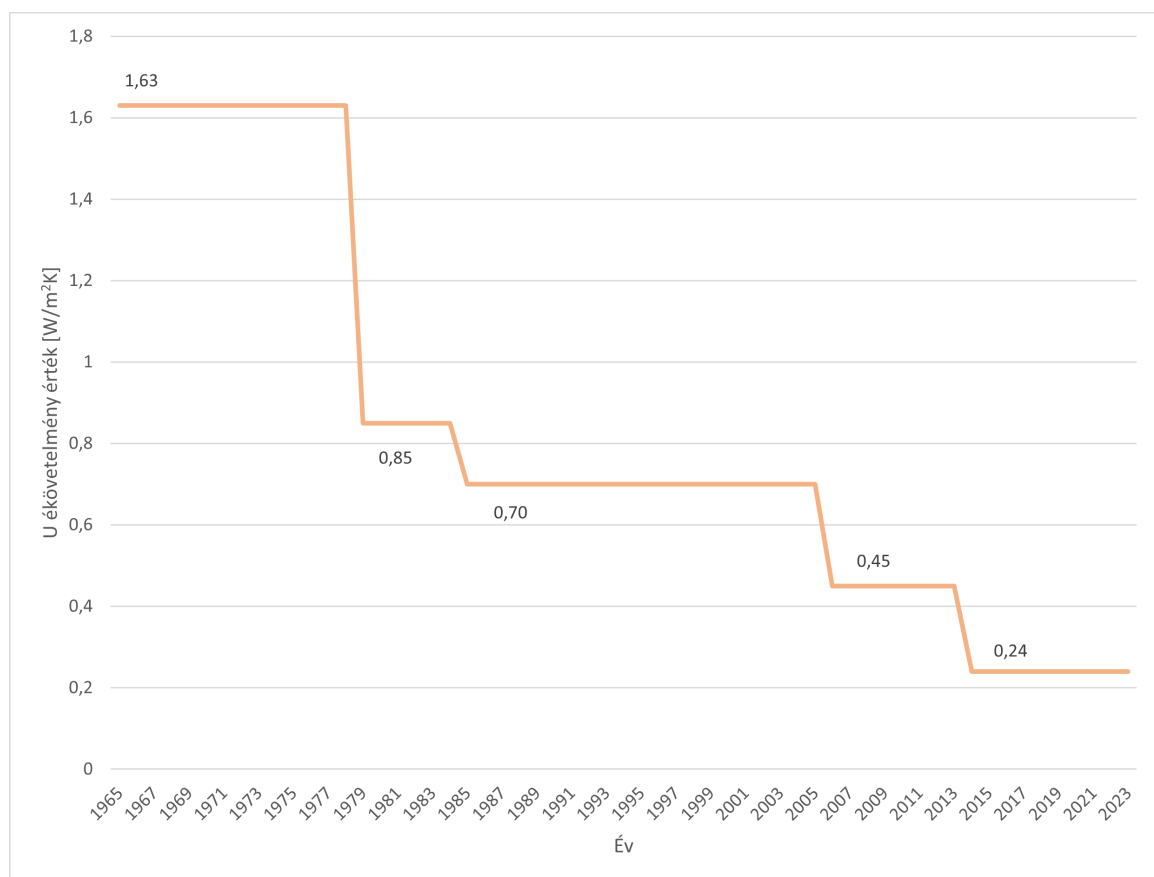
1979-ben az MSZ-04-140-2:1979 „Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai. Hőtechnikai méretezés” című szabvány megjelenésével megjelent az első kötelező érvényű szabályozás. A hőátbocsájtási tényező értékét 0,85 W/m<sup>2</sup>K-ben határozták



meg amelyet az 1985-ben a szabvány módosításával  $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$  értékre módosították. 1991-ben újra módosították a szabványt, de ebben a módosításban nem szigorították a követelmény értékén, ellenben az addig alkalmazott gyakorlatot megváltoztatva az egész épületre adott fajlagos hőveszteség értéket, valamint a hőhidak hatását is belevette a számításba (Horváth, 2017).

2006-ban a 7/2006 TNM rendelet kihirdetésével tovább csökkent a hőátbocsájtási tényező a szerkezetekre vonatkozóan. A homlokzati falakra  $0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$  lett meghatározva (Ravago building solution Hungary Kft., dátum nélk.). Ez az érték már majdnem a fele az legelső 1979-es követelménynek.

A 2014-es Európai Unió csatlakozás után meg kellett felelni a 2010/31/EU európai parlamenti és tanácsi irányelv 2. cikk 2. és 19. pontjának, 4. cikkének és 9. cikk (1) bekezdésének, így a 20/2014. (III. 7.) BM rendelet módosította a hatályban lévő 7/2006 TNM rendeletet, amelyben a homlokzati falakra  $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$  értéket állapított meg, mely a mai napig hatályban van (Közigazgatási és Igazságügyi Minisztérium, 2014).



13. ábra: U követelményérték változása az idő függvényében

### 3 Létesítmény ismertetése

A létesítmény Budapest XIV. kerület Nagy Lajos király útja 86-90 szám alatt található. A társasházat 1968-ban építették, síkalapozással, blokkos csúsztatott zsalus technológiával készült falszerkezettel. Valamint előregyártott vasbeton födémszerkezettel, lapostetőszerkezettel és lágyfedéssel. A lakóház 2430 m<sup>2</sup> alapterületen helyezkedik el, 9 darab lépcsőházzal és víz, gáz, elektromos és csatorna bekötéssel rendelkezik. A pincében 24 db a földszinten 27 darab és az emeleteken összesen 108 darab helyiség található. A pincékben kerültek kialakításra a szárítók, közös tárolók és a transzformátor helyiség. Szintenként 3 lakás található. Minden lakás fűtése egyedileg megoldott, eredeti kialakításban a fűtés gázkonvektorokkal, a melegvíz előállítás pedig átfolyós vízmelegítővel történik.



*14. ábra: A társasház DK-i homlokzata*

Az épületen 2021-ben felújítás történt, melynek keretében a közös területeken teljes mértékben, a lakás területeken pedig nagy részben nyílászárócsere történt. Egyéb energetikai felújítás a közös területeken nem történt, viszont magán beruházások tekintetében a

gázkonvektorokat és vízmelegítőket kombi cirkó kazánokkal váltották ki. Ezen beruházások nyomai látszódnak a homlokzaton is, de nagyrészen megmaradt az eredeti kialakítás.

A földszinten kialakításra került egy 35,4 m<sup>2</sup>, 34,9 m<sup>2</sup> és egy 67,5 m<sup>2</sup> lakás, valamint szemét és kocsitároló. Az emelteken kialakításra került egy 55,4 m<sup>2</sup>, 46,9 m<sup>2</sup> és egy 50,6 m<sup>2</sup> alapterületű lakás. Az emeleti 50,6 m<sup>2</sup>-es lakáshoz tartozik egy 4,86 m<sup>2</sup>-es loggia.

## **4 Módszertan**

### **4.1 Számítás menete**

Az optimumot az éves nettó fűtési hőigény és a beruházási költségek összevetésével választottam ki. Fontos megjegyezni, hogy a beruházási költséget csak és kizárólag a hőszigetelő anyagra, illetve a szükséges dübelek mennyiségére számoltam ki. A szigeteléshez használt egyéb anyagok, mint például élvédők, ragasztóanyagok és hálók anyagbekerülési értékével, valamint a szigetelés munkadíjával nem számoltam. Részben azért, mert ezen tételek a homlokzat hőszigetelő képességét jelentős mértékben nem befolyásolják, részben pedig, bár a beruházási költségeket jelentősen növelik, függetlenek a szigetelés vastagságától. Mind a fűtési hőigényt, mind a beruházási költséget az általam választott 3 szigetelő anyaggal, a gyártó által elérhetővé tett vastagságban.

Először a meglévő épület szerkezeteket létrehoztam, majd az épület helyiségeit is. Miután az épület mérete relatíve nagy és a lépcsőházak ismétlődnek, így csak egy lépcsőházat vittem fel, és ez az egy kiterjesztésével végeztem el a vizsgálatot.

A számításokat a Rétegtervi hőátbocsájtási tényező számításával kezdtem. Mivelhogy a szigetelés rögzítéséhez használt dübelek hőhidat képeznek és növelik a szerkezet hőátbocsájtását, ezért számolnom kellett a dübelek hatásával is ezért felvettem a dübelek pontszerű hőhidveszteségi tényezőjét. A tényező értékének kiszámításához a kiválasztott dübeltípus adatlapja alapján meghatároztam a dübel U értékét, majd ezt az értéket szoroztam a dübelek négyzetméterenkénti darabszámával. A kapott értéket még módosítottam a hőhidak hatását kifejező tényezővel. Az így kapott tényezővel tudtam a továbbiakban számolni.

Ezután kiszámoltam a Fajlagos hőveszteség tényezőt (q). A tényező számításához szükséges sugárzási nyereségeket, a WinWatt által számolt értékeket használtam. A hőveszteség tényező után számíthattam a Fűtési nettó éves hőigényt (Q<sub>F</sub>).

Mivelhogy a WinWatt programban és a számítások során is 1 lépcsőházat vizsgáltam, ezért figyelembe kellett vennem a többi lépcsőházat is. A számításokat emiatt 2 részre bontottam. Egyik része az olyan lépcsőházak, amelyek az épület 2 szélén helyezkednek el. Ezek

rendelkeznek plusz egy-egy homlokzati felülettel, amelyek mind az energetikai, mind a beruházási számításokra hatással vannak. Ezért kiszámoltam a fűtési igényt a két szélső lépcsőházra, valamint a maradék 7 közbenső lépcsőházra is, amelyeknél már azt a plusz egy homlokzati felületet nem vettem figyelembe. Az így kapott értékeket alkalmaztam az összes lépcsőházra az elhelyezkedés függvényében, majd ezen értékeket összeadva megkaptam az épület teljes egészére vonatkozó Fűtési nettó éves hőigényt.

A beruházás számításához szükségem volt a szigetelni kívánt teljes területre, valamint az egyes anyagok áraira, a vastagság függvényében. Viszont a költségeket már csak azokra az anyagokra és vastagságra számoltam, amelyekkel a homlokzat teljesíti a hőátbocsájtási tényező követelményértékét. A homlokzati területet a már említett metodikával számoltam ki, miszerint 1 lépcsőházat vettem mintának és beszoroztam a többi lépcsőházzal, ügyelve a lépcsőházak elhelyezkedésére és homlokzati felületük nagyságára.

Legyűjtöttem a szigetelő anyagok gyártó által meghatározott négyzetméterre eső árait, majd megszoroztam a teljes területtel. Ezzel megkaptam az egész épület szigetelési anyagának, az árát. De korábban számoltam a dűbelekkel, ezért itt sem lehetett kihagyni, tekintve, hogy 6 darab dűbellel számoltam négyzetméterenként. A dűbelek hosszának kiválasztásánál minimum 5 cm-es ráhagyást alkalmaztam a szigetelés vastagságától. Így szintén legyűjtöttem a dűbelek árait a hosszok figyelembevételével, majd megszoroztam a szükséges darabszámmal. A kapott értéket pedig hozzáadtam a szigetelőanyag költségéhez.

Így megkaptam az épületre a teljes szigetelőanyag és dűbelezés költségét, mellyel összevethetővé váltak különböző anyagok és vastagságok a fűtési igény és költség függvényében.

Az optimális vastagság meghatározásakor szempont volt a minél olcsóbb bekerülési érték melletti minél nagyobb fűtési igény csökkenés.

## 4.2 Felhasznált képletek

A dolgozatban használt főbb képletek a következők:

Hőátbocsátási tényező:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_e} + \sum \frac{d_j}{\lambda_{j,be}} + \frac{1}{\alpha_i}} \quad [W / m^2 K]$$

Beépítési hővezetési tényező:

$$\lambda_{be} = \lambda \cdot (1 + \kappa) \quad [W / mK]$$

Fajlagos hőveszteség tényező:

$$q = \frac{1}{V} \left( \sum AU + \sum l\Psi - \frac{Q_{sd} + Q_{sid}}{72} \right)$$

Fűtési nettó energiaigény:

$$Q_F = 72V(q + 0,35n)\sigma - 4,4A_Nq_b \quad [kWh/a]$$

## 5 Meglévő állapot

Mivel az épületről pontos rétegrenði tervek nem állnak rendelkezésre, így a szerkezeteket megpróbáltam az akkori általános építőipari megoldások szerint felvenni.

### 5.1 Homlokzat

A homlokzatot összesen 33 cm vastag szerkezetként vettem fel, melyből 30 cm vasbeton falszerkezet adja rajta 3 cm cementvakolattal. Meglévő állapot szerint az épületen a vakolat sok helyen lehullott. A lehullott területek vakolással javítva lettek (3.ábra).



*15. ábra: Javított homlokzat a legfelső szinten*

A homlokzat szerkezetéből adódóan tényezők a következőképpen alakulnak (1. melléklet):

- Külső oldali hőátadási tényező:  $24 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Belső oldali hőátadási tényező:  $8 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Vasbeton hővezetési tényezője:  $1,55 \text{ W/mK}$
- Cementvakolat hővezetési tényezője:  $0,93 \text{ W/mk}$
- Rétegtervi hőátbocsájtási tényező:  $2,63 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Hőhidak hatását kifejező korrekciós tag: 30%
- **Hőátbocsájtási tényező:  $3,419 \text{ W/m}^2\text{K}$**

## 5.2 Nyílászárók

Az épületen a nyílászáró felújítást követően PVC tokozásúak kerültek beépítésre. A közös területeken teljesen, a magán terekben pedig részlegesen, de nagy részben cserélve lettek. Ahol nem történt felújítás, ott ma is látható az egyrétegű üvegezésű fa tokkal ellátott nyílászáró.

Méretben a magántulajdonokhoz 3 féle nyílászáró tartozik:

- 1 szárnyú: 1,0x2,1m
- 2. szárnyú: 1,8x2,1m
- 3 szárnyú: 2,38x2,1m

Valamint szintenként egy lakáshoz tartozik loggia, amelyre egy teli üvegezésű ajtón keresztül lehet kijutni. Ahol volt nyílászáró csere, ott ezeket az ajtókat is cserélték.

Mind a négy típusú nyílászáró üvegezését levegő töltésű 4-16-4 típusra állítottam be. A tokozást PVC 60mm-es 3 kamrásra állítottam, alumínium távtartókkal. Az árnyékolás külső redőnyökkel megoldott.

Ezekkel az adatokkal az üvegezési arány, az üvegezés g értéke és a Hőátbocsájtási tényező a következőképpen alakult:

5. táblázat: Lakások nyílászáróinak adatai (1.melléklet):

| Nyílászáró típusa | Üvegezési arány [%] | Üvegezés g értéke | Hőátbocsájtási tényező [W/m <sup>2</sup> K] |
|-------------------|---------------------|-------------------|---|
| 1 szárnyú         | 67                  | 0,780             | 2,67  |
| 2 szárnyú         | 77                  | 0,780             | 2,71  |
| 3 szárnyú         | 81                  | 0,780             | 2,73  |
| Loggia ajtó       | 80                  | 0,783             | 2,57  |

A lakások mellett a lépcsőházon is találhatóak nyílászárók. Minden lépcsőházba 2 ajtón lehet bejutni (Bejárati oldalon és udvarbejárati oldalon). Az emeleteken pedig a lépcsőház egyik oldala homlokzati üvegezésű (4. ábra).



*16. ábra: Bejárati nyílászáró*



*17. ábra: Lépcsőházak és udvarbejárati nyílászárók*





18. ábra: Udvarbejárati ajtó

6. táblázat: Lépcsőházi nyílászárók adatai (1. melléklet):

| Nyílászáró    | Üvegezési arány [%] | Üvegezés g értéke | Hőátbocsájtási tényező [W/m <sup>2</sup> K] |
|---------------|---------------------|-------------------|---|
| Bejárati      | 78                  | 0,780             | 2,71  |
| Udvarbejárati | 81                  | 0,780             | 2,69  |
| Homlokzati    | 82                  | 0,780             | 2,74  |

A nyílászárók jelen beállításokkal nem felelnek meg a megengedett értéknek (1,15 W/m<sup>2</sup>K). Mivel nem található a nyílászárókról tanúsítvány, így ezeket az adatokat elfogadottnak tekintem és számolok velük tovább.

### 5.3 Pincefödém

Pincefödémnek egy általános pincefödém rétegrendet állítottam be, mivel nem található pontos rétegrendi meghatározás.

A rétegrend a következő fentről lefelé:

- kohósalak beton: 5 cm
- vasbeton: 14 cm
- mészvakolat: 1,5 cm

Miután pincefödémről van szó, ezért kiegészítő adatként beállítottam túloldali hőmérsékletet:

- télen: 5 °C
- nyáron: 20 °C

Így a tényezők a következőképpen alakultak:

- Külső oldali hőátadási tényező: 8 W/m<sup>2</sup>K
- Belső oldali hőátadási tényező: 8 W/m<sup>2</sup>K
- Kohósalak beton hővezetési tényezője: 0,47 W/mK
- Vasbeton hővezetési tényezője: 1,55 W/mK
- Mészvakolatvakolat hővezetési tényezője: 0,81 W/mk
- Rétegrendi hőátbocsájtási tényező: 1,97 W/m<sup>2</sup>K
- **Hőátbocsájtási tényező: 2,17 W/m<sup>2</sup>K**

### 5.4 Tetőfödém

A pincefödémhez hasonlóan a tetőfödémről sem áll rendelkezésre pontos rétegrend. Ezért ennél a szerkezetnél is egy általános rétegrendet vettem alapul:

- Bitumenkenés: 2 cm
- Kőszivacs: 2 cm
- Kohósalak beton: 5 cm
- Vasbeton: 12 cm

Ahogy a homlokzat úgy a tető födém is „külső” szerkezeti elem, kiegészítő adatokra most nem volt szükség így a tényezők a következőképpen alakultak:

- Külső oldali hőátadási tényező: 24 W/m<sup>2</sup>K
- Belső oldali hőátadási tényező: 10 W/m<sup>2</sup>K
- Bitumenkenés hővezetési tényezője: - W/mK
- Kőszivacs hővezetési tényezője: 0,174 W/mK
- Kohósalak beton hővezetési tényezője: 0,7 W/mK

- Vasbeton hővezetési tényezője: 1,55 W/mK
- Rétegtervi hőátbocsájtási tényező: 2,61 W/m<sup>2</sup>K
- **Hőátbocsájtási tényező: 3,007 W/m<sup>2</sup>K**

## 6 Vizsgált anyagok

A megfelelően megválasztott homlokzati szigeteléssel, a fűtési költségek jelentősen csökkenhetnek, az épület klímája kedvezően változik, kiegyenlítettebb lesz a falazat hőmérséklete, valamint megszűnnek az épületfizikai károsodáshoz vezető okok.

A hőszigetelési anyagok kiválasztásánál a gyártó által megadott hővezetési tényezőt vettem alapul. A kutakodásom során a gyártók termékei és árai között jelentős különbséget nem találtam, így a kiválasztott anyagok márkái csupán jó mérnöki hasra-ütéssel alakultak ki. Természetesen a számított adatok megfeleltethetőek más gyártók egyező műszaki tartalommal bíró termékeivel.

A vizsgálatba 3 féle hőszigetelési anyagot vontam be, amelyekből egyik kőzetgyapot, másik kettő pedig polisztirol alapú:

- Expandált polisztirolhab (EPS): Rendkívül jó hő- és páratechnikai szempontból, hőszigetelő képessége az idő múlásával sem csökken. Könnyen vágható, formázható és elhelyezhető, így a munka egyszerű ezzel a termékkel.
- Kőzetgyapot: Alapanyaga bazalt, a polisztirol habhoz hasonlóan kiváló a hő és páratechnikai szempontból, valamint hangszigetelő képessége is jó. Viszonylag keveset használt anyag, rendszerint padlásfödém szigetelésre használják. Viszonylag drága maga az anyag, illetve a kiegészítői is. Nehezebb, mint a polisztirolhab, ezért a nehezkesebb vele a munka, valamint képzett szakembert kíván a felrakása.

## 6.1 Austrotherm AT-H80



19. ábra: Austrotherm AT-H80 (forrás: [www.austrotherm.hu](http://www.austrotherm.hu))

Az Austrotherm AT-H80-as EPS hőszigetelés expandált polisztirol habból készült (EPS), egyik leggyakoribb szigetelőanyag.

Táblákban gyártják, egy tábla mérete 1000 x 500 mm, árusítása csomagokban történik. A szigetelőanyag vastagságától függ, hogy egy csomagban hány darab tábla van és hogy egy csomag mennyi négyzetméterre elég. A vastagsága a gyártó szerint 20 és 320 mm között változhat. Hővezetési tényezője: 0,038 W/m\*K

7. táblázat: Austrotherm AT-H80 elérhető vastagságai (forrás: [www.austrotherm.hu](http://www.austrotherm.hu))

| Vastagság (mm) | m <sup>2</sup> /csomag | db/csomag |
|----------------|------------------------|-----------|
| 20             | 12                     | 24        |
| 30             | 8                      | 16        |
| 40             | 6                      | 12        |
| 50             | 5                      | 10        |
| 60             | 4                      | 8         |
| 70             | 3,5                    | 7         |
| 80             | 3                      | 6         |
| 100            | 2,5                    | 5         |
| 120            | 2                      | 4         |
| 140            | 1,5                    | 3         |
| 150            | 1,5                    | 3         |
| 160            | 1,5                    | 3         |
| 180            | 1                      | 2         |
| 200            | 1                      | 2         |
| 220            | 1                      | 2         |
| 240            | 1                      | 2         |
| 250            | 1                      | 2         |
| 260            | 0,5                    | 1         |
| 280            | 0,5                    | 1         |
| 300            | 0,5                    | 1         |
| 320            | 0,5                    | 1         |

## 6.2 Austrotherm GRAFIT 80



20. ábra: Austrotherm GRAFIT 80 (forrás: [www.austrotherm.hu](http://www.austrotherm.hu))

Az Austrotherm GRAFIT 80-as hasonlóan az AT-H80-as szigetelő anyaghoz expandáld polisztirolhabból készült, azzal a különbséggel, hogy az egyik adalékanyaga grafit. Ez jelentősen javítja a hővezetési tényezőjét, viszont semmi másban nem tér el az előző anyagtól.

Hővezetési tényező: 0,031 W/m\*K

8. táblázat: Austrotherm GRAFIT 80 elérhető vastagságai (forrás: [www.austrotherm.hu](http://www.austrotherm.hu))

| Vastagság (mm) | m <sup>2</sup> /csomag | db/csomag |
|----------------|------------------------|-----------|
| 20             | 12,0                   | 24        |
| 30             | 8,0                    | 16        |
| 40             | 6,0                    | 12        |
| 50             | 5,0                    | 10        |
| 60             | 4,0                    | 8         |
| 80             | 3,0                    | 6         |
| 10             | 2,5                    | 5         |
| 120            | 2,0                    | 4         |
| 140            | 1,5                    | 3         |
| 150            | 1,5                    | 3         |
| 160            | 1,5                    | 3         |
| 180            | 1,0                    | 2         |
| 20             | 1,0                    | 2         |
| 220            | 1,0                    | 2         |
| 240            | 1,0                    | 2         |
| 250            | 1,0                    | 2         |
| 260            | 0,5                    | 1         |
| 280            | 0,5                    | 1         |
| 300            | 0,5                    | 1         |

### 6.3 Rockwool Fixrock FB1



21. ábra: Rockwool Fixrock FB1 (forrás: rockwool.com)

A Rockwool Fixrock FB1 kőzetgyapot alapanyagú, egy oldali fekete üvegfátyol kasírozású. Az EPS termékekhez hasonlóan táblákban gyártják, és csomagban forgalmazzák. Ennél a terméknél is függ az anyag vastagságától, hogy 1 csomag hány négyzetméterre elég. A táblák mérete 1000 x 600 mm, vastagsága 50 – 200 mm-ig terjed.

Hővezetési tényező: 0,039 W/m\*K

9. táblázat: Rockwool Fixrock FB1 elérhető vastagságai (forrás: rockwool.com)

| Vastagság (mm) | m <sup>2</sup> /csomag |
|----------------|------------------------|
| 50             | 7                      |
| 80             | 4,8                    |
| 100            | 3,6                    |
| 120            | 3                      |
| 140            | 2,4                    |
| 150            | 2,4                    |
| 180            | 1,8                    |
| 200            | 1,8                    |

A kiválasztott szigetelőanyagok bemutatása után a számítási eredmények bemutatásával folytatom.

## 7 Eredmények

### 7.1 Hőátbocsájtási tényező

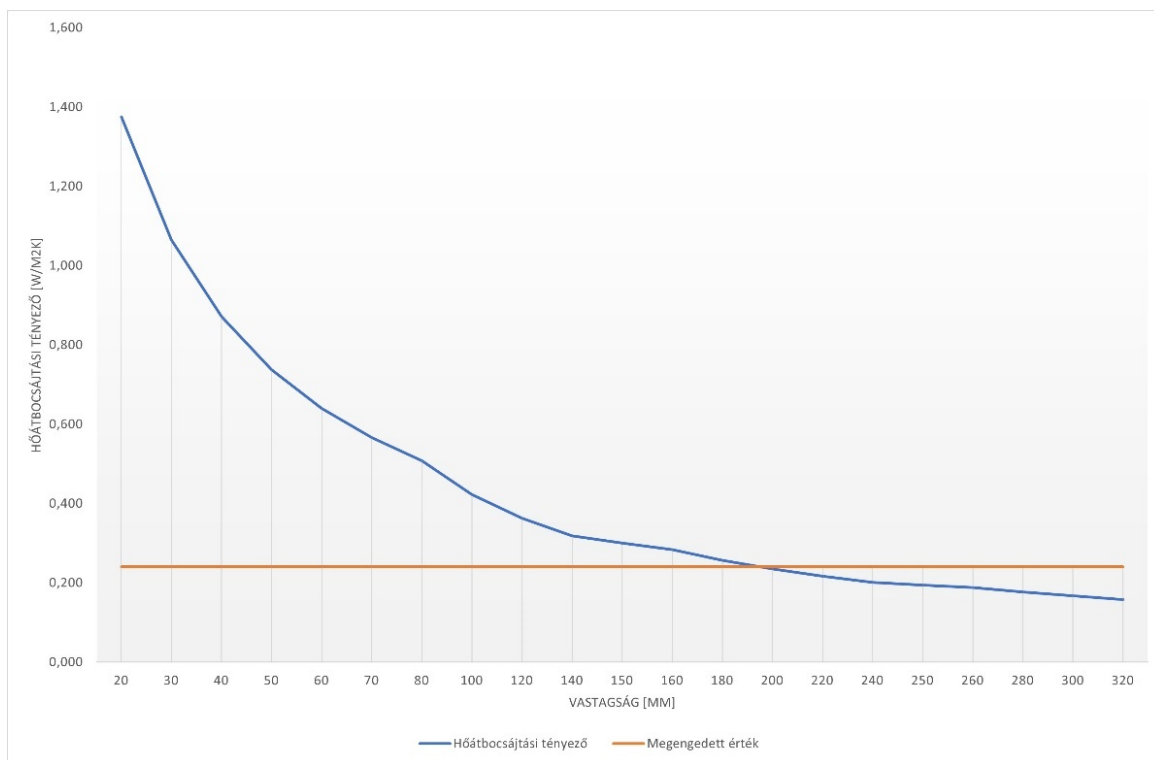
Mint már fentebb említettem, az összehasonlítás egyik paramétere a fűtési igény meghatározása. Ennek első lépése, hogy az adott szigetelőanyaggal kiegészítve meghatározzam a szerkezet hőátbocsájtási tényezőjét, minden elérhető vastagságra. Erre azért van szükség, hogy kiderüljön, hogy melyik vastagsággal éri el a szerkezet a 7/2006-os TNM rendeletben meghatározott  $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$  megengedett értéket. Amelyik vastagságú anyag nem éri el a rendeletben megengedett értéket, azzal a továbbiakban nem számolok.

A hőátbocsájtási tényezőnél figyelembe vettem a dűbelezés pontszerű korrekció értékét, valamint a hőhidak hatását kifejező tényezőjét is.

Az értékeket táblázatba és diagramba foglaltam:

10. táblázat: Austrotherm AT-H80 hőátbocsájtási tényező értéke vastagságonként

| Vastagság [mm] | Vastagság [m] | Hővezetési tényező [W/mK] | Hőátbocsájtási tényező [W/m <sup>2</sup> K] |
|----------------|---------------|---------------------------|---|
| 20             | 0,02          | 0,038                     | <b>1,375</b>                                |
| 30             | 0,03          | 0,038                     | <b>1,065</b>                                |
| 40             | 0,04          | 0,038                     | <b>0,871</b>                                |
| 50             | 0,05          | 0,038                     | <b>0,738</b>                                |
| 60             | 0,06          | 0,038                     | <b>0,640</b>                                |
| 70             | 0,07          | 0,038                     | <b>0,566</b>                                |
| 80             | 0,08          | 0,038                     | <b>0,508</b>                                |
| 100            | 0,1           | 0,038                     | <b>0,423</b>                                |
| 120            | 0,12          | 0,038                     | <b>0,363</b>                                |
| 140            | 0,14          | 0,038                     | <b>0,318</b>                                |
| 150            | 0,15          | 0,038                     | <b>0,300</b>                                |
| 160            | 0,16          | 0,038                     | <b>0,284</b>                                |
| 180            | 0,18          | 0,038                     | <b>0,257</b>                                |
| 200            | 0,2           | 0,038                     | <b>0,235</b>                                |
| 220            | 0,22          | 0,038                     | <b>0,217</b>                                |
| 240            | 0,24          | 0,038                     | <b>0,201</b>                                |
| 250            | 0,25          | 0,038                     | <b>0,195</b>                                |
| 260            | 0,26          | 0,038                     | <b>0,188</b>                                |
| 280            | 0,28          | 0,038                     | <b>0,177</b>                                |
| 300            | 0,3           | 0,038                     | <b>0,167</b>                                |
| 320            | 0,32          | 0,038                     | <b>0,158</b>                                |

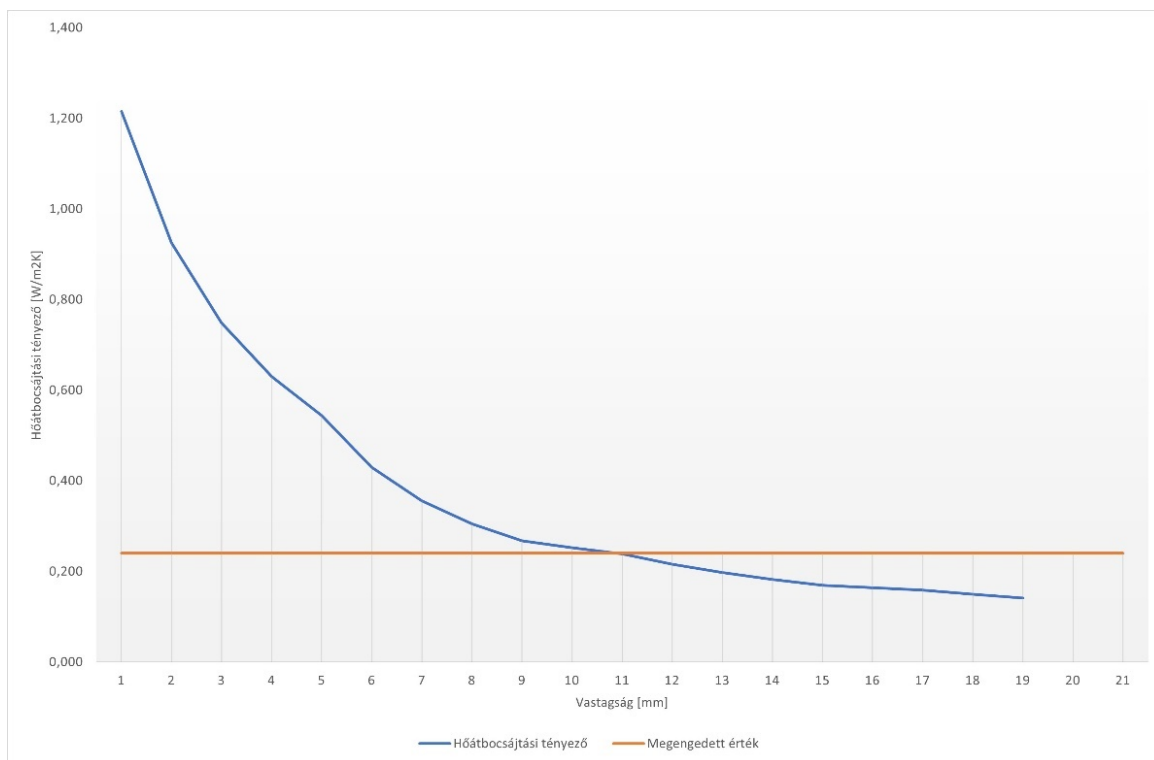


22. ábra: Austrotherm AT-H80 hőátbocsájtási tényező értéke vastagságonként

11. táblázat: Austrotherm GRAFIT 80 hőátbocsájtási tényező értéke vastagságonként

| Vastagság [mm] | Vastagság [m] | Hővezetési tényező [W/mK] | Hőátbocsájtási tényező [W/m²K] |
|----------------|---------------|---------------------------|--------------------------------|
| 20             | 0,02          | 0,031                     | <b>1,215</b>                   |
| 30             | 0,03          | 0,031                     | <b>0,925</b>                   |
| 40             | 0,04          | 0,031                     | <b>0,749</b>                   |
| 50             | 0,05          | 0,031                     | <b>0,630</b>                   |
| 60             | 0,06          | 0,031                     | <b>0,544</b>                   |
| 80             | 0,08          | 0,031                     | <b>0,430</b>                   |
| 100            | 0,1           | 0,031                     | <b>0,356</b>                   |
| 120            | 0,12          | 0,031                     | <b>0,305</b>                   |
| 140            | 0,14          | 0,031                     | <b>0,268</b>                   |
| 150            | 0,15          | 0,031                     | <b>0,252</b>                   |
| 160            | 0,16          | 0,031                     | <b>0,239</b>                   |
| 180            | 0,18          | 0,031                     | <b>0,216</b>                   |
| 200            | 0,2           | 0,031                     | <b>0,198</b>                   |
| 220            | 0,22          | 0,031                     | <b>0,183</b>                   |
| 240            | 0,24          | 0,031                     | <b>0,170</b>                   |
| 250            | 0,25          | 0,031                     | <b>0,164</b>                   |
| 260            | 0,26          | 0,031                     | <b>0,159</b>                   |
| 280            | 0,28          | 0,031                     | <b>0,149</b>                   |
| 300            | 0,3           | 0,031                     | <b>0,141</b>                   |

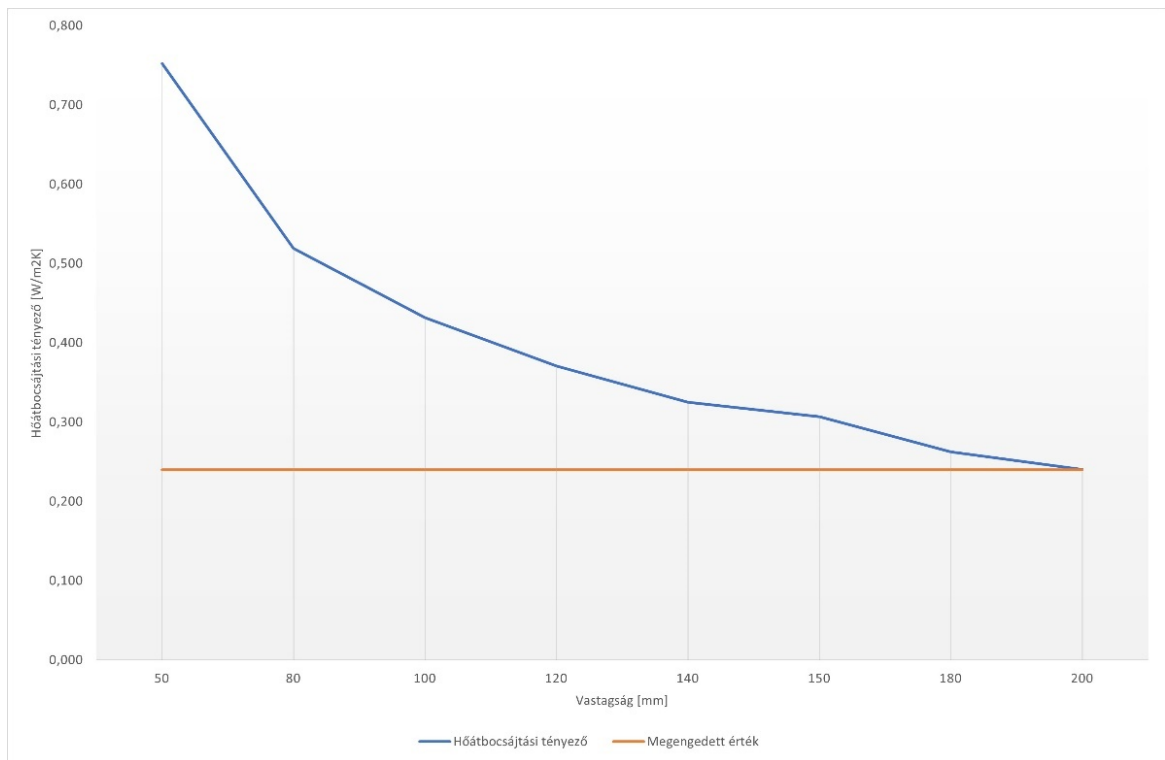




23. ábra: Austrotherm GRAFIT 80 hőátbocsájtási tényező értéke vastagságonként

12. táblázat: Rockwool Fixrock FBI hőátbocsájtási tényező értéke vastagságonként

| Vastagság [mm] | Vastagság [m] | Hővezetési tényező [W/mK] | Hőátbocsájtási tényező [W/m²K] |
|----------------|---------------|---------------------------|--------------------------------|
| 5              | 0,05          | 0,039                     | <b>0,752</b>                   |
| 8              | 0,08          | 0,039                     | <b>0,519</b>                   |
| 10             | 0,1           | 0,039                     | <b>0,432</b>                   |
| 12             | 0,12          | 0,039                     | <b>0,371</b>                   |
| 14             | 0,14          | 0,039                     | <b>0,325</b>                   |
| 15             | 0,15          | 0,039                     | <b>0,307</b>                   |
| 18             | 0,18          | 0,039                     | <b>0,263</b>                   |
| 20             | 0,2           | 0,039                     | <b>0,240</b>                   |



24. ábra: Rockwool Fixrock FBI hőátbocsájtási tényező értéke vastagságonként

A számításokból látszik, hogy a megengedett értéket, háromból 2 szigetelőanyag tudja teljesíteni. A közetgyapot szigetelés a meglévő szerkezet hatékony szigetelésére nem alkalmas.

Ezért a további számításokban az Austrotherm AT-H80 és Austrotherm GRAFIT 80-as szigetelőanyagokat fogok vizsgálni.

A számításokból látható, hogy míg a sima EPS szigetelőanyagból legalább 200 mm vastag anyag szükséges, addig a grafitral kevert EPS szigetelőanyagból elég a 160 mm vastag is. Ez a számítás is jól mutatja, hogy a grafitral kevert EPS sokkal jobb szigetelést biztosít.

## 7.2 Fűtési igény

A fűtési igény számításához ki kell számítani a fajlagos hőveszteség tényezőt. A tényező számításához használt U értéket az előzőleg kiszámított értékeket vettem alapul, és vastagságonként kiszámoltam a hőveszteség tényezőt.

A számításba csak azokat a vastagságokat vettem figyelembe, amelyek hőátbocsájtási tényezője a megengedett érték alatt maradt.

Mivel a fűtési igényeket egy lépcsőházra számoltam ki, így ki kell terjeszteni a maradék lépcsőházakra. A szélső és közbenső lépcsőházakra külön-külön számoltam fűtési igényt, majd a végén összegeztem.

13. táblázat: Fűtési igény az Austrotherm AT-H80-as és GRAFIT 80-as szigetelőanyaggal a szélső lépcsőházakra

| AT-H 80        |                      | GRAFIT 80      |                      |
|----------------|----------------------|----------------|----------------------|
| Vastagság [mm] | Fűtési igény [kWh/a] | Vastagság [mm] | Fűtési igény [kWh/a] |
| 200            | 81 293               | 160            | 63 054               |
| 220            | 80 855               | 180            | 62 509               |
| 240            | 80 486               | 200            | 62 067               |
| 250            | 80 323               | 220            | 61 702               |
| 260            | 80 172               | 240            | 61 395               |
| 280            | 79 900               | 250            | 61 259               |
| 300            | 79 662               | 260            | 61 133               |
| 320            | 79 454               | 280            | 60 907               |
| -              | -                    | 300            | 60 710               |

14. táblázat: Fűtési igény az Austrotherm AT-H80-as és GRAFIT 80-as szigetelőanyaggal a közbenső lépcsőházakra

| AT-H 80        |                      | GRAFIT 80      |                      |
|----------------|----------------------|----------------|----------------------|
| Vastagság [mm] | Fűtési igény [kWh/a] | Vastagság [mm] | Fűtési igény [kWh/a] |
| 200            | 79 345               | 160            | 61 074               |
| 220            | 79 059               | 180            | 60 717               |
| 240            | 78 818               | 200            | 60 428               |
| 250            | 78 711               | 220            | 60 189               |
| 260            | 78 612               | 240            | 59 988               |
| 280            | 78 434               | 250            | 59 899               |
| 300            | 78 279               | 260            | 59 817               |
| 320            | 78 142               | 280            | 59 669               |
| -              | -                    | 300            | 59 540               |

A fűtési igény számításaiból jól látszik, hogy már azzal, hogy a grafitral kevert Austrotherm GRAFIT 80-as szigetelőanyagot használjuk, körülbelül 25 %-kal kisebb fűtési igény keletkezik, mint az Austrotherm AT-H80 esetében, ahogy az összegzett fűtési igény táblázat is mutatja:

15. táblázat: Austrotherm AT-H80-as szigeteléssel ellátott épület össze fűtési energiaigénye

| Lépcsőház    | Fűtési igény [kWh/a] vastagságonként [mm] |                |                |                |                |                |                |                |
|--------------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|              | 200                                       | 220            | 240            | 250            | 260            | 280            | 300            | 320            |
| 86A          | 81 293                                    | 80 855         | 80 486         | 80 323         | 80 172         | 79 900         | 79 662         | 79 454         |
| 86B          | 79 345                                    | 79 059         | 78 818         | 78 711         | 78 612         | 78 434         | 78 279         | 78 142         |
| 86C          | 79 345                                    | 79 059         | 78 818         | 78 711         | 78 612         | 78 434         | 78 279         | 78 142         |
| 88A          | 79 345                                    | 79 059         | 78 818         | 78 711         | 78 612         | 78 434         | 78 279         | 78 142         |
| 88B          | 79 345                                    | 79 059         | 78 818         | 78 711         | 78 612         | 78 434         | 78 279         | 78 142         |
| 88C          | 79 345                                    | 79 059         | 78 818         | 78 711         | 78 612         | 78 434         | 78 279         | 78 142         |
| 90A          | 79 345                                    | 79 059         | 78 818         | 78 711         | 78 612         | 78 434         | 78 279         | 78 142         |
| 90B          | 79 345                                    | 79 059         | 78 818         | 78 711         | 78 612         | 78 434         | 78 279         | 78 142         |
| 90C          | 81 293                                    | 80 855         | 80 486         | 80 323         | 80 172         | 79 900         | 79 662         | 79 454         |
| <b>Szum:</b> | <b>718 004</b>                            | <b>715 123</b> | <b>712 697</b> | <b>711 622</b> | <b>710 626</b> | <b>708 836</b> | <b>707 275</b> | <b>705 901</b> |

16. táblázat: Austrotherm GRAFIT 80 as szigeteléssel ellátott épület össze fűtési energiaigénye

| Lépcsőház    | Fűtési igény [kWh/a] vastagságonként [mm] |                |                |                |                |                |                |                |                |
|--------------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|              | 160                                       | 180            | 200            | 220            | 240            | 250            | 260            | 280            | 300            |
| 86A          | 63 054                                    | 62 509         | 62 067         | 61 702         | 61 395         | 61 259         | 61 133         | 60 907         | 60 710         |
| 86B          | 61 074                                    | 60 717         | 60 428         | 60 189         | 59 988         | 59 899         | 59 817         | 59 669         | 59 540         |
| 86C          | 61 074                                    | 60 717         | 60 428         | 60 189         | 59 988         | 59 899         | 59 817         | 59 669         | 59 540         |
| 88A          | 61 074                                    | 60 717         | 60 428         | 60 189         | 59 988         | 59 899         | 59 817         | 59 669         | 59 540         |
| 88B          | 61 074                                    | 60 717         | 60 428         | 60 189         | 59 988         | 59 899         | 59 817         | 59 669         | 59 540         |
| 88C          | 61 074                                    | 60 717         | 60 428         | 60 189         | 59 988         | 59 899         | 59 817         | 59 669         | 59 540         |
| 90A          | 61 074                                    | 60 717         | 60 428         | 60 189         | 59 988         | 59 899         | 59 817         | 59 669         | 59 540         |
| 90B          | 61 074                                    | 60 717         | 60 428         | 60 189         | 59 988         | 59 899         | 59 817         | 59 669         | 59 540         |
| 90C          | 63 054                                    | 62 509         | 62 067         | 61 702         | 61 395         | 61 259         | 61 133         | 60 907         | 60 710         |
| <b>Szum:</b> | <b>553 624</b>                            | <b>550 038</b> | <b>547 131</b> | <b>544 727</b> | <b>542 706</b> | <b>541 812</b> | <b>540 984</b> | <b>539 497</b> | <b>538 202</b> |

Az egész épületet figyelembe véve, össze lehet vetni a tényleges fűtési igény csökkenést.

17. táblázat: Épület meglévő fűtési energiaigénye

| Lépcsőház   | Fűtési igény<br>[kWh/a] |
|-------------|-------------------------|
| 86A         | 157 612                 |
| 86B         | 129 276                 |
| 86C         | 129 276                 |
| 88A         | 129 276                 |
| 88B         | 129 276                 |
| 88C         | 129 276                 |
| 90A         | 129 276                 |
| 90B         | 129 276                 |
| 90C         | 157 612                 |
| <b>Szum</b> | <b>1 220 154</b>        |

A táblázatokból kiderül, hogy a fűtési energiaigényt, az Austrotherm AT-H80-as szigetelőanyaggal közel 40 %-kal, az Austrotherm GRAFIT 80-as szigeteléssel pedig közel 55 %-kal sikerült csökkenteni.

## 8 Költségek vizsgálata

A beruházás költség számításánál számítottam a szigetelőanyag bekerülési költségét, illetve a szükséges mennyiségű dübelek árát. A munkadíjat és egyéb kiegészítő anyagot nem számoltam, részben mert ezek a kiegészítő anyagok a költséget jelentős mértékben nem emelik, másrészt a jelen helyzetben a munkadíjak, mondhatni percről perce változnak, valamint fontos tényező az álványozhatóság szempontjából a szigetelőanyag vastagsága, amely befolyásolja az árat is.

Alapfelvetésem, hogy azt az anyagot érdemes választani, amely a legnagyobb megtakarítást hozza, a legkisebb befektetés mellett. Ehhez összevetem, hogy melyik anyagnak és vastagságnak mekkora a bekerülési értéke.

18. táblázat: Austrotherm AT-H80-as szigetelés bekerülési értéke, dübelek nélkül és dübelekkel számolva

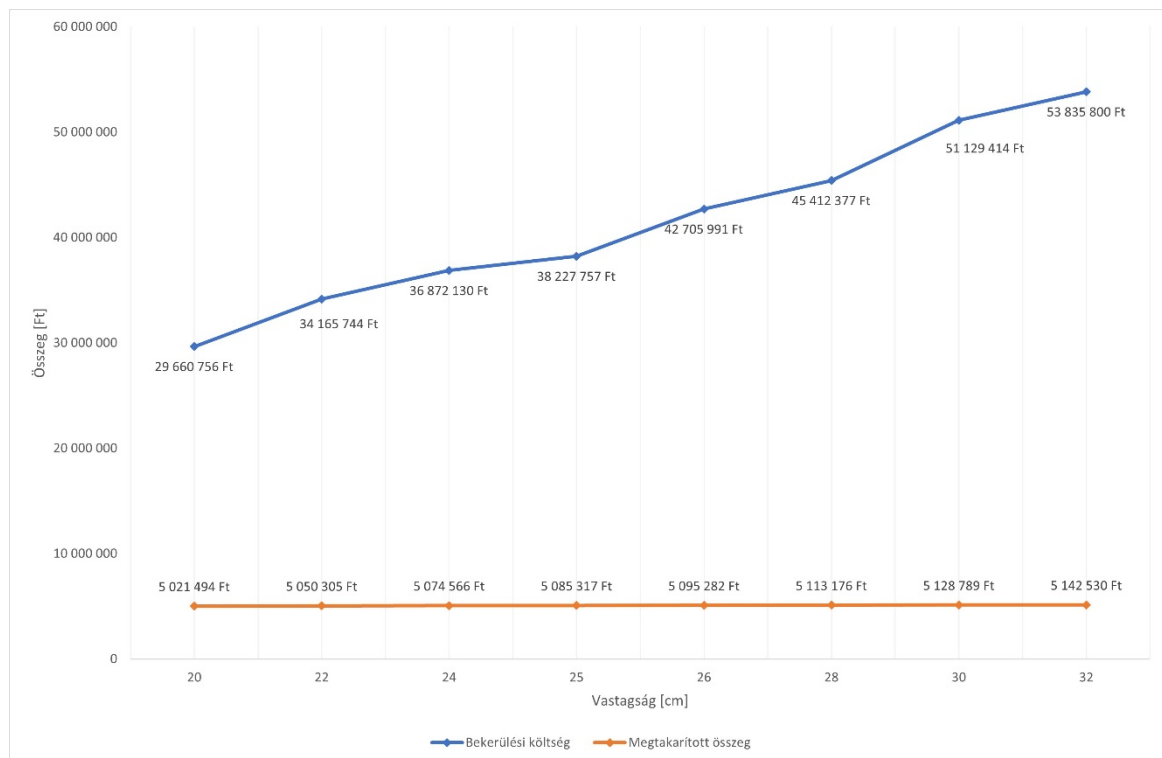
| Vastagság<br>[mm] | Ft/m <sup>2</sup> | Ár (dübelek nélkül)<br>[Ft] | Ár (dübelekkel)<br>[Ft] |
|-------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 200               | 11 125            | 27 076 025                  | <b>29 660 756</b>       |
| 220               | 12 238            | 29 784 844                  | <b>34 165 744</b>       |
| 240               | 13 350            | 32 491 230                  | <b>36 872 130</b>       |
| 250               | 13 907            | 33 846 857                  | <b>38 227 757</b>       |
| 260               | 14 463            | 35 200 049                  | <b>42 705 991</b>       |
| 280               | 15 575            | 37 906 435                  | <b>45 412 377</b>       |
| 300               | 16 688            | 40 615 254                  | <b>51 129 414</b>       |
| 320               | 17 800            | 43 321 640                  | <b>53 835 800</b>       |

19. táblázat: Austrotherm GRAFIT 80-as szigetelés bekerülési értéke, dübelek nélkül és dübelekkel számolva

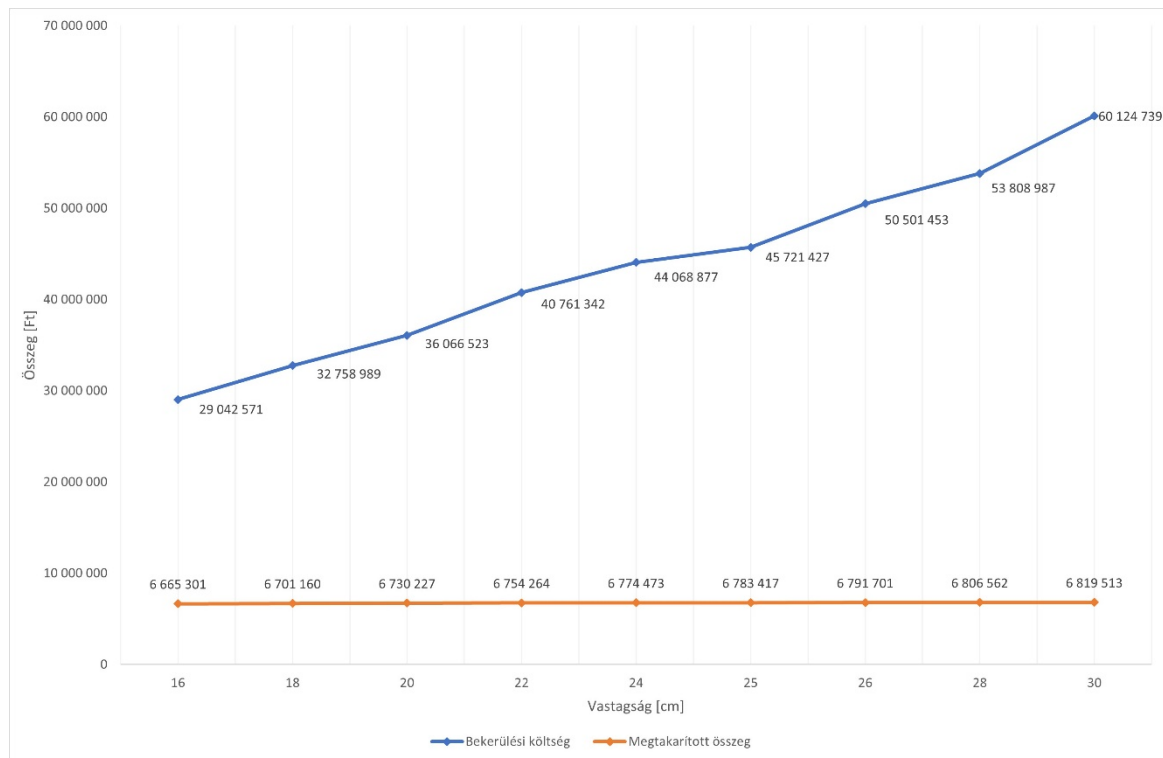
| Vastagság [mm] | Ft/m <sup>2</sup> | Ár (dübelek nélkül) [Ft] | Ár (dübelekkel) [Ft] |
|----------------|-------------------|--------------------------|----------------------|
| 160            | 10 871            | 26 457 840               | <b>29 042 571</b>    |
| 180            | 12 230            | 29 765 374               | <b>32 758 989</b>    |
| 200            | 13 589            | 33 072 908               | <b>36 066 523</b>    |
| 220            | 14 948            | 36 380 442               | <b>40 761 342</b>    |
| 240            | 16 307            | 39 687 977               | <b>44 068 877</b>    |
| 250            | 16 986            | 41 340 527               | <b>45 721 427</b>    |
| 260            | 17 666            | 42 995 511               | <b>50 501 453</b>    |
| 280            | 19 025            | 46 303 045               | <b>53 808 987</b>    |
| 300            | 20 384            | 49 610 579               | <b>60 124 739</b>    |

A beruházás szempontjából egyik legfontosabb mutató megtérülési idő. Ezért először ki kell számolni, hogy a szigetelési változatok mennyi energiacsökkentést tesznek lehetővé.

Mivel általánosságban elmondható, hogy 1m<sup>3</sup> gáz megegyezik körülbelül 10 kWh energiával, ezért a teljes épület nettó fűtési igényét – mindhárom esetben - felszoroztam 10-zel, így megkaptam, hogy hány m<sup>3</sup> gázt kell felhasználni, hogy az épület fűtési nettó igénye teljesítve legyen. Az alábbi ábrák mutatják, hogy a vizsgált két szigetelés variációban mennyi a szigeteléshez szükséges szigetelőanyag és dübelek összköltsége, és a hozzájuk tartozó megtakarítás összegét, szigetelési vastagságonként.



25. ábra: ATH-80 bekerülési költség és a megtakarított költség alakulása



26. ábra: Grafit 80 bekerülési költség és a megtakarított összeg alakulása

A fenti kettő ábrából kiolvasható, hogy az Austrotherm Grafit-80 - as azonos szigetelés vastagság mellett körülbelül 20% -al drágább a beruházási költsége, viszont 25%-kal több a megtakarítás összege az Austrotherm ATH-80-as szigetelőanyaghoz képest éves szinten. Miután az éves megtakarítás meghatározásra került, a megtérülési idő is meghatározható. A megtérülési időt, mind statikusan mind dinamikusan kiszámoltam, azokra az esetekre, ahol a legkisebb költség mellett a legnagyobb megtakarítást eredményez. Ez alapján az Austrotherm ATH-80-as esetében a 20 cm-es az Austrotherm Grafit80 esetében a 16cm-es szigetelés vastagság esetén érdemes megtérülést számítani.

A statikus megtérülés számítás esetében a beruházási költséget ( szigetelőanyag és dűbelek költsége) hasonlítottam az egyes években megtakarított összeghez, mégpedig úgy, hogy az éves megtakarításokat egyes évekre kivetítve folytatólagosan összeadtam, mindaddig, amíg az összeadott megtakarított összeg el nem éri, és / vagy meg nem haladja a beruházási költséget.

A számítások elvégzése után, az Austrotherm ATH-80-as esetében 7 év, az Austrotherm Grafit 80-as esetében pedig 6 év a megtérülési idő. Mint ahogy az alábbi táblázatok mutatják:

27. ábra: Austrotherm ATH-80 megtérülési idő számítása statikus módszerrel

| Év | Beruházási költség [Ft] | Megtakarított összeg [Ft] | Halmazott összeg [Ft] |
|----|-------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 1  | 29 660 756              | 0                         | 0                     |
| 2  |                         | 5 021 494                 | 5 021 494             |
| 3  |                         | 5 021 494                 | 10 042 988            |
| 4  |                         | 5 021 494                 | 15 064 482            |
| 5  |                         | 5 021 494                 | 20 085 976            |
| 6  |                         | 5 021 494                 | 25 107 470            |
| 7  |                         | 5 021 494                 | <b>30 128 964</b>     |

28. ábra: Austrotherm Grafit 80 megtérülési idő számítása statikus módszerrel

| Év | Beruházási költség [Ft] | Megtakarított összeg [Ft] | Halmazott összeg [Ft] |
|----|-------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 1  | 29 042 571              | 0                         | 0                     |
| 2  |                         | 6 665 301                 | 6 665 301             |
| 3  |                         | 6 665 301                 | 13 330 601            |
| 4  |                         | 6 665 301                 | 19 995 902            |
| 5  |                         | 6 665 301                 | 26 661 203            |
| 6  |                         | 6 665 301                 | <b>33 326 504</b>     |

A fenti táblázatokból már látható, hogy az Austrotherm Grafit 80-as 16 cm-es szigetelőanyag beruházási költsége ~ 600 ezer forinttal kerül kevesebbe, viszont ezzel a termékkel való beruházás 1 évvel hamarabb térül meg, ráadásul 6 év alatt ~ 3 millió forinttal több energiaköltséget takarít meg, mint az Austrotherm ATH-80 20 cm-es szigetelőanyag. így várhatóan előnyös választás az optimum megválasztására, mert kisebb beruházási költség mellett, nagyobb megtakarítást lehet elérni.

A statikus megtérülés hátránya, hogy csak a jelenre fókuszál. Tehát a jelenkori befektetést a jelenkori megtérüléssel számol és nem veszi figyelembe a pénz értékét, különböző idősíkokban. Ezen okoknál fogva a statikus számítás nem lehet teljesen pontos. Ezért a megtérülési időt kiszámoltam dinamikusan is.

A dinamikus megtérülés számításnál már nem csak a beruházás és megtérülés halmazott összegét kell viszonyítani egymáshoz, hanem a pénz jelenértékét is figyelembe kell venni. Ezt az úgynevezett diszkont tényezővel teszem meg, amely függ az aktuális kamat tényezőtől és az adott évek számától. Mind a beruházás költségét, mind a megtakarítást diszkontálom a diszkont tényezővel, így megkapom a beruházás és megtérülés jelenlegi értékét „x” évre vetítve. A diszkont tényezőt a Magyar Nemzeti Bank által meghatározott jelenleg aktuális kamat alapján vettem figyelembe, amely a dolgozat írásakor 13% (MNB, 2023).



Ezután a statikus módszerhez hasonlóan a megtakarított nyereséget folytatólagosan összeadom mindaddig, amíg az el nem éri vagy meg nem haladja a beruházás jelentértékének az összegét.

20. táblázat: Austrotherm ATH-80 megtérülési idő számítása dinamikus számítással

| Év | Beruházás  | Megtérülés | Diszkont tényező | Beruházás jelenértéke | Nyereség jelenértéke | Halmozott nyereség |
|----|------------|------------|------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|
| 1  | 29 660 756 | 0          | 0,885            | 26 248 457            |                      |                    |
| 2  |            | 5 021 494  | 0,783            |                       | 3 932 566            | 3 932 566          |
| 3  |            | 5 021 494  | 0,693            |                       | 3 480 147            | 7 412 714          |
| 4  |            | 5 021 494  | 0,613            |                       | 3 079 776            | 10 492 490         |
| 5  |            | 5 021 494  | 0,543            |                       | 2 725 466            | 13 217 956         |
| 6  |            | 5 021 494  | 0,480            |                       | 2 411 917            | 15 629 872         |
| 7  |            | 5 021 494  | 0,425            |                       | 2 134 439            | 17 764 312         |
| 8  |            | 5 021 494  | 0,376            |                       | 1 888 885            | 19 653 196         |
| 9  |            | 5 021 494  | 0,333            |                       | 1 671 579            | 21 324 776         |
| 10 |            | 5 021 494  | 0,295            |                       | 1 479 274            | 22 804 049         |
| 11 |            | 5 021 494  | 0,261            |                       | 1 309 092            | 24 113 141         |
| 12 |            | 5 021 494  | 0,231            |                       | 1 158 488            | 25 271 629         |
| 13 |            | 5 021 494  | 0,204            |                       | 1 025 211            | <b>26 296 840</b>  |

21. táblázat: Austrotherm Grafit 80 megtérülési idő számítása dinamikus számítással

| Év | Beruházás  | Megtérülés | Diszkont tényező | Beruházás jelenértéke | Nyereség jelenértéke | Halmozott nyereség |
|----|------------|------------|------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|
| 1  | 29 042 571 | 0          | 0,885            | 25 701 390            |                      |                    |
| 2  |            | 6 665 301  | 0,783            |                       | 5 219 908            | 5 219 908          |
| 3  |            | 6 665 301  | 0,693            |                       | 4 619 388            | 9 839 296          |
| 4  |            | 6 665 301  | 0,613            |                       | 4 087 954            | 13 927 250         |
| 5  |            | 6 665 301  | 0,543            |                       | 3 617 658            | 17 544 908         |
| 6  |            | 6 665 301  | 0,480            |                       | 3 201 467            | 20 746 375         |
| 7  |            | 6 665 301  | 0,425            |                       | 2 833 157            | 23 579 532         |
| 8  |            | 6 665 301  | 0,376            |                       | 2 507 219            | <b>26 086 751</b>  |

Mint ahogy a statikus és a dinamikus számítási módszernél is az Austrotherm Grafit 80 16 cm -es szigetelőanyag megtérülési ideje a rövidebb. Viszont az utóbbi esetben jelentősen rövidebb. Az Austrotherm ATH-80 20 cm-es szigetelőanyag megtérülési ideje a dinamikus számítás alapján 13 év, míg az Austrotherm Grafit 80 16 cm-es szigetelőanyag megtérülési ideje csupán 8 év.

Fenti számítások alapján műszakilag és gazdaságilag az Austrotherm Grafit 80 16 cm-es szigetelőanyaga a megfelelő választás lehet a társasház szigetelésére, ha az csak az anyagköltségeket és a szigeteléssel megtakarított energia összegét vesszük figyelembe, valamint a jelenleg érvényben lévő követelményeket.

## 9 Jövőre vonatkozó becslés

Azonban egy épület felújítása elsődlegesen a jelenkori követelményeknek megfelelően . Mivel egy épület élettartama legalább 50 év, valamint egy homlokzati szigetelés minimum 30 évig különösebb probléma és beruházás nélkül, így joggal merülhet fel a kérdés, hogy vajon helyt áll-e a megválasztott szigetelés, ha a jövőbeni szabályozások csökkentik, avagy növelik a hőátbocsájtási tényező értékét.

A jövőbeni követelmény becsléséhez regressziószámítást alkalmaztam. A regressziószámítás vagy regresszióanalízis a statisztikában használt eljárás, mely számítás során egy adatsor ismert elemei kapcsolatából fel lehet írni egy függvényt, majd ezzel a függvénnyel jövőre vonatkozó becslést lehet tenni.

Az analízis során először kigyűjtöttem, hogy mikor és hogyan változott a hőátbocsájtási tényező követelményértéke, majd táblázatba foglaltam:

22. táblázat: Hőátbocsájtási tényező követelmény értékének változása az évek függvényében

| Év   | U követelmény érték [W/m <sup>2</sup> K] |
|------|--|
| 1965 | 1,63                                     |
| 1980 | 0,85                                     |
| 1985 | 0,7                                      |
| 2006 | 0,45                                     |
| 2014 | 0,24                                     |

A táblázatból a tendencia egyértelműen látszik, minden egyes újabb követelmény szigorúbb értéket határozott meg. Ezekből az adatokból regresszió analízissel felírható az adatok közötti kapcsolat függvénye, amely felhasználásával becsülhető adott évre a hőátbocsájtási tényező. Megjegyzendő, hogy ez a módszer egy erős becslést ad az adott évre, amely eltérhet a becsült értékből akár szigorúbb, akár enyhébb irányban is. Az adatok közötti kapcsolatot először lineárisnak feltételeztem, ezért a függvény felírásához a következő metódust alkalmaztam.

Először felírtam a lineáris regresszió egyenes egyenletét, és az egyenlet tagjainak a kiszámítási módjait:

$$y = b_0 + b_1 * x$$

$$b_1 = \frac{\sum dx * dy}{\sum d^2 x}$$

$$b_0 = \bar{y} - b_1 * \bar{x}$$

A fenti tagok kiszámításához, ki kellett számolnom mind az évek mind a hőátbocsájtási tényezők átlagát, de előtte éltem azzal az egyszerűsítéssel, hogy az Éveket elneveztem x változónak, az U értékét pedig y változónak, így a könnyebb átláthatóság és értelmezhetőség miatt:

$$\bar{x} = 1990$$

$$\bar{y} = 0,774 \text{ W/m}^2\text{K}$$

ezután már kiszámíthatóvá válik a  $b_1$  -es tag:

$$b_1 = \frac{\sum dx * dy}{\sum d^2 x} = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y})}{\sum(x_i - \bar{x})^2} = -0,025$$

Valamint a  $b_0$  tag is:

$$b_0 = \bar{y} - b_1 * \bar{x} = 50,826$$

A számítások alapján a lineáris regresszió képlete:

$$y = -0,025 * x + 50,826$$

A függvény vizsgálatához a belső négyzetösszeg számítását (SSE) fogom alkalmazni, amely az illeszkedés pontatlanságát mutatja meg. A belső négyzetösszeg számítását az alábbi képlettel végeztem el:

$$SSE = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Az eltérés – négyzetösszeg számításához a felírt képlet alapján ki kell számolni reziduumokat. Reziduumok számításához a kiszámolt regresszió képletébe be kell

helyettesíteni az ismert adatokat, és a kapott eredmény beírható az Eltérés – négyzetösszeg képletébe:

23. táblázat: A reziduumok értékei

| Év   | U követelmény érték [W/m <sup>2</sup> K] | $\hat{y}$ |
|------|--|-----------|
| 1965 | 1,63                                     | 1,40      |
| 1980 | 0,85                                     | 1,03      |
| 1985 | 0,7                                      | 0,90      |
| 2006 | 0,45                                     | 0,37      |
| 2014 | 0,24                                     | 0,17      |

A fenti táblázat alapján az eltérés – négyzetösszeg értéke:

$$SSE = 0,13$$

A számolt értékek a következő módon alakultak:

24. táblázat: Számított értékek, lineáris esetben

| Kiindulási adatok |                        |                   |                   |                       |
|-------------------|------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|
| Év                | U [W/m <sup>2</sup> K] | $x_i - \bar{x}_i$ | $y_i - \bar{y}_i$ | $(x_i - \bar{x}_i)^2$ |
| 1965              | 1,63                   | -25               | 0,86              | 625                   |
| 1980              | 0,85                   | -10               | 0,08              | 100                   |
| 1985              | 0,7                    | -5                | -0,07             | 25                    |
| 2006              | 0,45                   | 16                | -0,32             | 256                   |
| 2014              | 0,24                   | 24                | -0,53             | 576                   |

Az évek és az U követelményértékek között nem csak lineáris kapcsolat lehet, hanem exponenciális is. Az exponenciális függvény kiszámítása után az SSE értékek összehasonlításával eldönthetővé válik, hogy melyik függvény illeszkedik jobban a kiindulási értékekre.

Az exponenciális függvény felírva:

$$y = b_0 * b_1^x$$

Az exponenciális függvényt a könnyebb számításhoz, tízes alapú logaritmus segítségével át lehet fordítani lineáris függvényé. Ebben az esetben az exponenciális függvényt a következőképpen lehet felírni:

$$\lg y = \lg b_0 + \lg b_1 * x$$

Mivel a kiindulási adatok, ugyan azok, mint az előző esetben, így az azokból számított átlagok is ugyanazok lesznek:

$$\bar{x} = 1990$$

$$\bar{y} = 0,774 \text{ W/m}^2\text{K}$$

A  $b_1$  és  $b_0$  tényezők logaritmikusan alakban felírva:

$$\lg b_1 = \frac{\sum dx * d \lg y}{\sum d^2 x}$$

$$\lg b_0 = \overline{\lg y} - \bar{x} * \lg b_1$$

A fenti egyenletekből az exponenciális függvény a kiszámolt tagokkal felírva:

$$y = 0,965 + 2 + e^{30 * x}$$

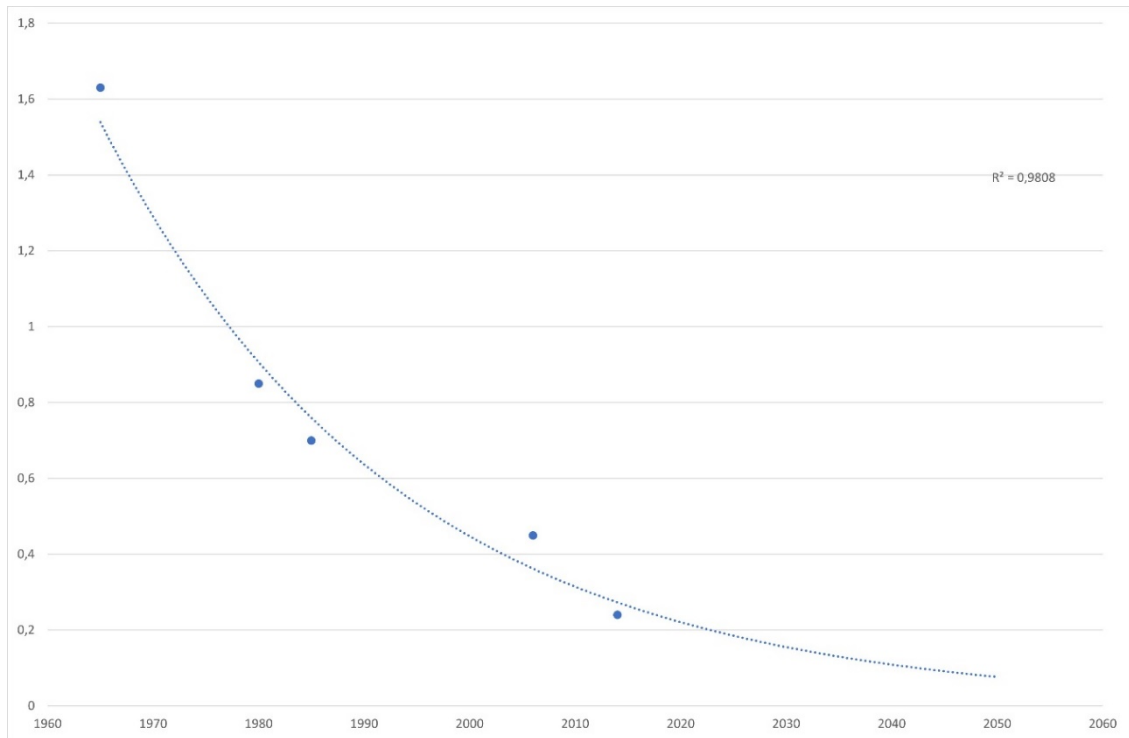
Az exponenciális egyenlet belső négyzetösszeg számított értéke:

| Év   | U követelmény érték [W/m <sup>2</sup> K] | $\hat{y}$ |
|------|--|-----------|
| 1965 | 1,63                                     | 1,54      |
| 1980 | 0,85                                     | 0,91      |
| 1985 | 0,7                                      | 0,76      |
| 2006 | 0,45                                     | 0,36      |
| 2014 | 0,24                                     | 0,27      |

$$\text{SSE} = 0,02$$

A belső négyzetösszeg értékeiből látható, hogy az exponenciális függvény jobban illeszkedik az adott pontokra, így a továbbiakban az exponenciális függvény számításával lehet a jövőre vonatkozó becsléseket tenni.

A számítások mellett a Microsoft Excel programban exponenciális trendvonal függvényt lehet számítani, ami az alábbi eredményt adja:



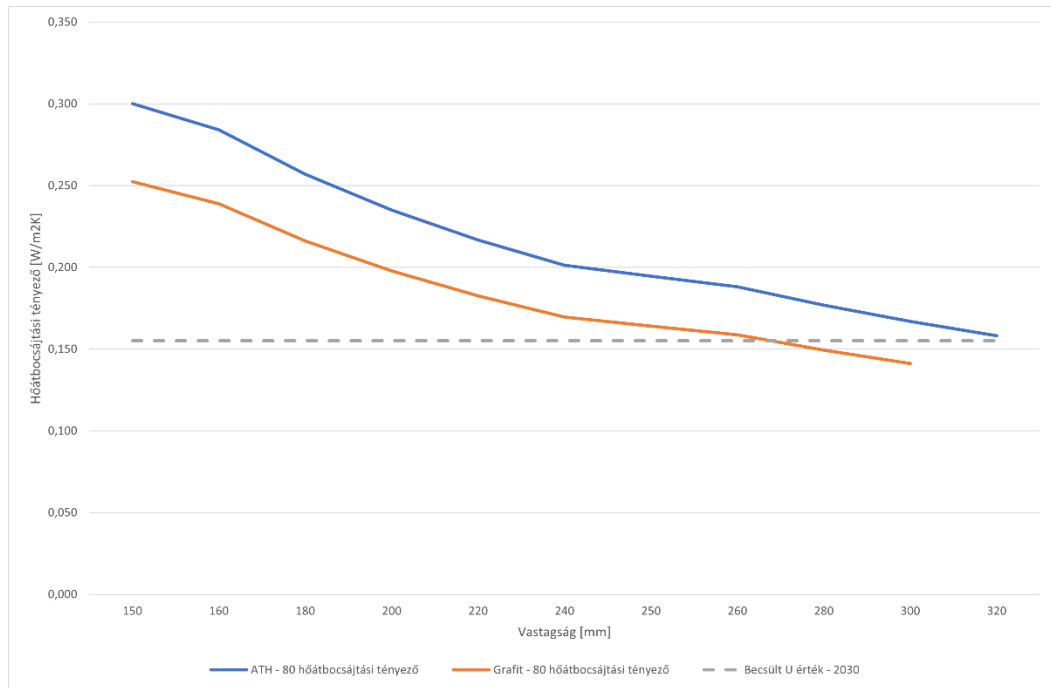
29. ábra: Exponenciális trendvonal

A felírt függvényből kiszámolható a jövőre vonatkozó becslés értékei, amelyek következőképpen alakultak:

25. táblázat: *Becsült U követelményértékek*

| Év   | U [W / m <sup>2</sup> K] |
|------|--------------------------|
| 2030 | 0,16                     |
| 2033 | 0,14                     |
| 2043 | 0,10                     |

A továbbiakban megvizsgálom, hogy az eddigi szigetelőanyagokkal. Ezért a 7-es és 8-as számú táblázatokban található hőátbocsájtási tényező értékeket veszem alapul. A táblázatokból jól látható, hogy mindkét szigetelőanyag csak a becslt 2030-as értéket tudja teljesíteni. Ráadásul az Austrotherm ATH – 80 típusú szigetelőanyagból csak a 32 cm vastagság teljesíti, az Austrotherm Grafit 80 típusból viszont már a 26 cm vastagság is elég a követelmény teljesítéséhez. Ahogyan az alábbi ábra mutatja:



30. ábra: Az ATH-80 és Grafit 80 szigetelőanyagok a 2030-as becsült U értékhez viszonyítva

Miután az előzőekben kiszámoltam a fűtési igényeket a most vizsgált, így az eredmények ismeretében csak a dinamikus megtérülést számítom a szóba vehető vastagságokkal és típusokkal.

A dinamikus megtérülés esetén is a dűbelek árával növelt anyagköltséget vettem beruházási költségnek, a megtakarításnak pedig a megtakarított fűtési igényt vettem alapul.

A megtérülési időnél szintén az Magyar Nemzeti Bank által meghatározott 13 %-os kamatot vettem figyelembe.

A fenti paraméterekkel a következőképpen alakultak a megtérülés idők:

26. táblázat: Austrotherm ATH-80 32cm anyag megtérülési ideje

| Év | Beruházás  | Megtérülés | Diszkont tényező | Beruházás jelenértéke | nyereség jelenértéke | Halmozott nyereség |
|----|------------|------------|------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|
| 1  | 53 835 800 | 0          | 0,885            | 47 642 301            |                      |                    |
| 2  |            | 5 142 530  | 0,783            |                       | 4 027 355            | 4 027 355          |
| 3  |            | 5 142 530  | 0,693            |                       | 3 564 031            | 7 591 386          |
| 4  |            | 5 142 530  | 0,613            |                       | 3 154 010            | 10 745 395         |
| 5  |            | 5 142 530  | 0,543            |                       | 2 791 159            | 13 536 554         |
| 6  |            | 5 142 530  | 0,480            |                       | 2 470 052            | 16 006 607         |
| 7  |            | 5 142 530  | 0,425            |                       | 2 185 887            | 18 192 494         |
| 8  |            | 5 142 530  | 0,376            |                       | 1 934 413            | 20 126 907         |
| 9  |            | 5 142 530  | 0,333            |                       | 1 711 870            | 21 838 777         |
| 10 |            | 5 142 530  | 0,295            |                       | 1 514 929            | 23 353 706         |
| 11 |            | 5 142 530  | 0,261            |                       | 1 340 645            | 24 694 351         |
| 12 |            | 5 142 530  | 0,231            |                       | 1 186 412            | 25 880 763         |
| 13 |            | 5 142 530  | 0,204            |                       | 1 049 922            | 26 930 685         |
| 14 |            | 5 142 530  | 0,181            |                       | 929 134              | 27 859 820         |
| 15 |            | 5 142 530  | 0,160            |                       | 822 243              | 28 682 063         |
| 16 |            | 5 142 530  | 0,141            |                       | 727 649              | 29 409 711         |
| 17 |            | 5 142 530  | 0,125            |                       | 643 937              | 30 053 648         |
| 18 |            | 5 142 530  | 0,111            |                       | 569 856              | 30 623 504         |
| 19 |            | 5 142 530  | 0,098            |                       | 504 297              | 31 127 801         |
| 20 |            | 5 142 530  | 0,087            |                       | 446 281              | 31 574 081         |



27. táblázat: Austrotherm Grafit 80 26cm anyag megtérülési ideje

| Év | Beruházás  | Megtérülés | Diszkont tényező | Beruházás jelenértéke | Megtérülés jelenértéke | Halmazott megtérülés |
|----|------------|------------|------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| 1  | 50 501 453 | 0          | 0,885            | 44 691 551            |                        |                      |
| 2  |            | 6 791 701  | 0,783            |                       | 5 318 898              | 5 318 898            |
| 3  |            | 6 791 701  | 0,693            |                       | 4 706 989              | 10 025 887           |
| 4  |            | 6 791 701  | 0,613            |                       | 4 165 477              | 14 191 365           |
| 5  |            | 6 791 701  | 0,543            |                       | 3 686 263              | 17 877 628           |
| 6  |            | 6 791 701  | 0,480            |                       | 3 262 180              | 21 139 807           |
| 7  |            | 6 791 701  | 0,425            |                       | 2 886 885              | 24 026 692           |
| 8  |            | 6 791 701  | 0,376            |                       | 2 554 765              | 26 581 457           |
| 9  |            | 6 791 701  | 0,333            |                       | 2 260 854              | 28 842 312           |
| 10 |            | 6 791 701  | 0,295            |                       | 2 000 756              | 30 843 067           |
| 11 |            | 6 791 701  | 0,261            |                       | 1 770 580              | 32 613 648           |
| 12 |            | 6 791 701  | 0,231            |                       | 1 566 885              | 34 180 533           |
| 13 |            | 6 791 701  | 0,204            |                       | 1 386 624              | 35 567 158           |
| 14 |            | 6 791 701  | 0,181            |                       | 1 227 101              | 36 794 259           |
| 15 |            | 6 791 701  | 0,160            |                       | 1 085 930              | 37 880 189           |
| 16 |            | 6 791 701  | 0,141            |                       | 961 000                | 38 841 189           |
| 17 |            | 6 791 701  | 0,125            |                       | 850 443                | 39 691 631           |
| 18 |            | 6 791 701  | 0,111            |                       | 752 604                | 40 444 236           |
| 19 |            | 6 791 701  | 0,098            |                       | 666 021                | 41 110 257           |
| 20 |            | 6 791 701  | 0,087            |                       | 589 399                | 41 699 656           |

Mint ahogy a 16 és 17. ábrákon látható a számított megtakarítási összegek nem emelkednek drasztikusan a vastagság növelésével. Ellenben a beruházási költségek több mint másfélszeresére nőttek. Ebből várható volt, hogy a megtérülés sokkal hosszabb folyamat lesz, mint a vékonyabb anyagok esetében.

A megtérülési számításokból jól kiolvasható, hogy mindkét vastagabb esetben a megtérülés gyakorlatilag nem valósul meg. 20 éves periódusban egyik vizsgált vastagság mellett sem térül meg a befektetett összeg, ráadásul a hosszútávú U értékcélokat sem teljesíti egyik anyag sem.

A hosszútávú célok eléréseben segít az új és jobb szigetelőképessegekkel rendelkező anyagok. Ilyen például a Vákuumpanel hőszigetelés, melynek a hővezetési tényezője sokkal alacsonyabb, mint az jelenleg elterjedt anyagoké ( $\lambda = 0,007 \text{ W/mK}$ ). Viszont jelenleg még nincs elterjedve és kevés gyártó készíti, így ára is ennek megfelelően drága. A magyarországi forgalmazók csak egyedi árajánlatot tudnak adni, viszont külföldi árak szerint a 20 mm -es  $\$56/\text{m}^2$ , a 30 mm-es pedig  $\$84,5/\text{m}^2$  a bekerülési költsége (Kyuman, Cho et al., 2014). Ezekből az árakból feltételezhető, hogy a megtérülés jelenleg itt is erősen kérdéses, de ez a

jövőben változhat is. A homlokzat U értékét kiszámoltam. Mivel a vákuumpaneleket nem dűbelekkel fogatják fel, így a dűbelek hatásával nem számoltam ebben az esetben. A vákuumpaneleket 10, 20, 30 és 40 mm-es vastagágokkal számoltam, így az U érték a következőképpen alakult:

28. táblázat: Vákuumpanel hőátbocsájtási tényező értéke vastagságonként

| Vastagság [mm] | Vastagság [mm] | Hővezetési tényező [W/mK] | Hőátbocsájtási tényező [W/m <sup>2</sup> K] |
|----------------|----------------|---------------------------|---|
| 10             | 0,01           | 0,0007                    | <b>0,082</b>                                |
| 20             | 0,02           | 0,0007                    | <b>0,041</b>                                |
| 30             | 0,03           | 0,0007                    | <b>0,028</b>                                |
| 40             | 0,04           | 0,0007                    | <b>0,021</b>                                |

Összevetve az eddigi vizsgált EPS és kőzetgyapot szigetelésekkel, a vákuumpanelekkal a homlokzati fal Rétegtervi hőátbocsájtási tényezője drasztikusan lecsökkent, sőt még a becsült 2043-as U értéket ( $\hat{U} = 0,10 \frac{W}{m^2K}$ ) is teljesíti.

Az előzőben eredményként kapott U értékekkel (25.táblázat) szintén kiszámoltam a szélső és közbenső lépcsőházak fűtési igényeit, majd összegeztem, így megkapva a teljes épület igényét. A számolt eredményeket az alábbi táblázatokban összegeztem:

29. táblázat: fűtési igény a szélső és közbenső lépcsőházra vákuumos szigeteléssel

| Szélső lépcsőház |                      | Közbenső lépcsőház |                      |
|------------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| Vastagság [mm]   | Fűtési igény [kWh/a] | Vastagság [mm]     | Fűtési igény [kWh/a] |
| 10               | 59 291               | 10                 | 58 536               |
| 20               | 58 321               | 20                 | 57 939               |
| 30               | 57 992               | 30                 | 57 737               |
| 40               | 57 827               | 40                 | 57 635               |

30. táblázat: Fűtési igény a teljes épületre vetítve vákuumos szigeteléssel

| Lépcsőház   | Fűtési igény [kWh/a] vastagságonként [mm] |         |         |         |
|-------------|---|---------|---------|---------|
|             | 10  | 20      | 30      | 40      |
| <b>86A</b>  | 59 291                                    | 58 321  | 57 992  | 57 827  |
| <b>86B</b>  | 58 536                                    | 57 939  | 57 737  | 57 635  |
| <b>86C</b>  | 58 536                                    | 57 939  | 57 737  | 57 635  |
| <b>88A</b>  | 58 536                                    | 57 939  | 57 737  | 57 635  |
| <b>88B</b>  | 58 536                                    | 57 939  | 57 737  | 57 635  |
| <b>88C</b>  | 58 536                                    | 57 939  | 57 737  | 57 635  |
| <b>90A</b>  | 58 536                                    | 57 939  | 57 737  | 57 635  |
| <b>90B</b>  | 58 536                                    | 57 939  | 57 737  | 57 635  |
| <b>90C</b>  | 59 291                                    | 58 321  | 57 992  | 57 827  |
| <b>Szum</b> | 528 336                                   | 522 216 | 520 142 | 519 098 |

Fűtési igény szempontjából a Grafit 80 EPS szigetelés legnagyobb vastagságánál is nagyobb megtakarítást eredményez, ami ellensúlyozza a magasabb bekerülési költséget.

A teljes fűtési igényeket összehasonlítva

Miután árak csak a 20 és 30 mm-es vastagságokra állnak rendelkezésre, így a megtérülési számításokat, csak erre a két vastagságra végeztem el, a számítást táblázatokba foglaltam (29.,30. táblázat). A vákuumpanelek árait az MNB április 28.-ai középárfolyamon váltottam át, ami szerint 1\$ = 339,35 Ft. Az árakat és a bekerülési költséget a 28. táblázatban összegeztem:

31. táblázat: Vákuumpanel bekerülési költsége

| Vastagság [mm] | Ár [\$/m <sup>2</sup> ] | Ár [Ft/m <sup>2</sup> ] | Bekerülési költség [Ft] |
|----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 20             | 56                      | 19004                   | 46 250 962              |
| 30             | 84,5                    | 28675                   | 69 789 398              |

Látható, hogy a bekerülési költség a 30-32 cm vastag EPS szigetelések bekerülési költségeivel vetekszik, viszont a megtakarításban bő 10 – 20 000 kWh/a energiamennyiséggel több érhető el. Így a magasabb árat a többlet megtakarítás kompenzálja, ami a megtérülésben is jól látható a hozadéka.

32. táblázat: 20mm vastag vákuumszigetelés megtérülés számítása

| Év | Beruházás  | Megtérülés | Diszkont tényező | Beruházás jelenértéke | Megtérülés jelenértéke | Halmozott megtérülés |
|----|------------|------------|------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| 1  | 46 250 962 | 0          | 0,885            | 40 930 055            |                        |                      |
| 2  |            | 6 979 379  | 0,783            |                       | 5 465 878              | 5 465 878            |
| 3  |            | 6 979 379  | 0,693            |                       | 4 837 060              | 10 302 937           |
| 4  |            | 6 979 379  | 0,613            |                       | 4 280 584              | 14 583 521           |
| 5  |            | 6 979 379  | 0,543            |                       | 3 788 127              | 18 371 648           |
| 6  |            | 6 979 379  | 0,480            |                       | 3 352 325              | 21 723 973           |
| 7  |            | 6 979 379  | 0,425            |                       | 2 966 659              | 24 690 633           |
| 8  |            | 6 979 379  | 0,376            |                       | 2 625 362              | 27 315 995           |
| 9  |            | 6 979 379  | 0,333            |                       | 2 323 329              | 29 639 324           |
| 10 |            | 6 979 379  | 0,295            |                       | 2 056 044              | 31 695 368           |
| 11 |            | 6 979 379  | 0,261            |                       | 1 819 508              | 33 514 876           |
| 12 |            | 6 979 379  | 0,231            |                       | 1 610 184              | 35 125 060           |
| 13 |            | 6 979 379  | 0,204            |                       | 1 424 941              | 36 550 001           |
| 14 |            | 6 979 379  | 0,181            |                       | 1 261 010              | 37 811 011           |
| 15 |            | 6 979 379  | 0,160            |                       | 1 115 938              | 38 926 949           |
| 16 |            | 6 979 379  | 0,141            |                       | 987 556                | 39 914 505           |
| 17 |            | 6 979 379  | 0,125            |                       | 873 943                | 40 788 449           |
| 18 |            | 6 979 379  | 0,111            |                       | 773 401                | 41 561 850           |
| 19 |            | 6 979 379  | 0,098            |                       | 684 426                | 42 246 276           |
| 20 |            | 6 979 379  | 0,087            |                       | 605 687                | 42 851 962           |
| 21 |            | 6 979 379  | 0,077            |                       | 536 006                | 43 387 968           |
| 22 |            | 6 979 379  | 0,068            |                       | 474 341                | 43 862 309           |
| 23 |            | 6 979 379  | 0,060            |                       | 419 771                | 44 282 080           |
| 24 |            | 6 979 379  | 0,053            |                       | 371 479                | 44 653 559           |
| 25 |            | 6 979 379  | 0,047            |                       | 328 742                | 44 982 302           |
| 26 |            | 6 979 379  | 0,042            |                       | 290 922                | 45 273 224           |
| 27 |            | 6 979 379  | 0,037            |                       | 257 454                | 45 530 678           |
| 28 |            | 6 979 379  | 0,033            |                       | 227 835                | 45 758 513           |
| 29 |            | 6 979 379  | 0,029            |                       | 201 624                | 45 960 136           |
| 30 |            | 6 979 379  | 0,026            |                       | 178 428                | 46 138 565           |
| 31 |            | 6 979 379  | 0,023            |                       | 157 901                | 46 296 466           |

33. táblázat: 30mm vastag vákuumszigetelés megtérülés számítása

| Év | Beruházás  | Megtérülés | Diszkont tényező | Beruházás jelenértéke | Megtérülés jelenértéke | Halmazott megtérülés |
|----|------------|------------|------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| 1  | 69 789 398 | 0          | 0,885            | 61 760 529            |                        |                      |
| 2  |            | 7 000 119  | 0,783            |                       | 5 482 120              | 5 482 120            |
| 3  |            | 7 000 119  | 0,693            |                       | 4 851 433              | 10 333 553           |
| 4  |            | 7 000 119  | 0,613            |                       | 4 293 304              | 14 626 857           |
| 5  |            | 7 000 119  | 0,543            |                       | 3 799 384              | 18 426 241           |
| 6  |            | 7 000 119  | 0,480            |                       | 3 362 287              | 21 788 528           |
| 7  |            | 7 000 119  | 0,425            |                       | 2 975 475              | 24 764 003           |
| 8  |            | 7 000 119  | 0,376            |                       | 2 633 164              | 27 397 166           |
| 9  |            | 7 000 119  | 0,333            |                       | 2 330 233              | 29 727 400           |
| 10 |            | 7 000 119  | 0,295            |                       | 2 062 153              | 31 789 553           |
| 11 |            | 7 000 119  | 0,261            |                       | 1 824 915              | 33 614 468           |
| 12 |            | 7 000 119  | 0,231            |                       | 1 614 969              | 35 229 436           |
| 13 |            | 7 000 119  | 0,204            |                       | 1 429 176              | 36 658 612           |
| 14 |            | 7 000 119  | 0,181            |                       | 1 264 757              | 37 923 369           |
| 15 |            | 7 000 119  | 0,160            |                       | 1 119 254              | 39 042 623           |
| 16 |            | 7 000 119  | 0,141            |                       | 990 490                | 40 033 114           |
| 17 |            | 7 000 119  | 0,125            |                       | 876 540                | 40 909 654           |
| 18 |            | 7 000 119  | 0,111            |                       | 775 699                | 41 685 354           |
| 19 |            | 7 000 119  | 0,098            |                       | 686 460                | 42 371 813           |
| 20 |            | 7 000 119  | 0,087            |                       | 607 486                | 42 979 300           |

A 20 mm-es vákuumpanel esetében jól látható, hogy 20 év alatt a beruházás 90%-a megtérül, és a 31. évre pedig a teljes beruházás, de a 30 mm vákuumpanelre ez már nem mondható el, mivel a 20. évre a beruházás durván 60 % -a térül meg, ami ezt jelenti, hogy 30 év alatt sem térül meg a teljes beruházás összege.

## 10 Következtetések

A feladatkidolgozás során megvizsgáltam az elérhető és elterjedt homlokzati szigetelő anyagokat, úgy, mint az EPS és a kőzetgyapot szigetelő anyagokat. A vizsgálat során a főleg az EPS szigeteléssel foglalkoztam, mivel a kőzetgyapot szigeteléssel nem lehetett megfelelni a jelenleg hatályos U követelményértéknek. Ezen számítások során világossá vált, hogy az Austrotherm Grafit 80-as terméket érdemes választani társasház homlokzatának szigetelésére a megtakarított energia és megtérülés függvényében. Ebből a szigetelőanyagból a 16 cm-es a legmegfelelőbb választás a műszaki és gazdasági szempontok alapján. Viszont ez a vastagság csak a jelenleg érvényben lévő 7/2006 TNM rendelet előírásait teljesíti, de a jövőbeni esetleges szigorúbb követelményeket ez a vastagság már nem tudja teljesíteni.

Viszont a jövőbeni követelményeknek is csak részlegesen lehet megfelelni, még a 26 cm vastag szigeteléssel is, mellyel a megtérülés szinte lehetetlen belátható időn belül.

Azonban az újabb és fejlettebb szigetelőanyagok közül a vákuumpanel szigeteléssel lehet biztosan lehet teljesíteni a jövőbeni követelményeket, valamint sokkal hatékonyabb energiamegtakarítást eredményez. Azonban magas bekerülési költség miatt a 25 éves élettartammal és a 20 mm -es vastagság esetében a 31 éves megtérülési idő szintén a nem megtérülő beruházások közé tartozik. De néhány év múlva mindenképpen érdemes lehet megfontolni az vákuumpannel, vagy hasonló hővezető képességgel rendelkező anyaggal való szigetelést.

## **11 Összefoglalás**

Dolgozatomban az irodalmi áttekintés során összegyűjtöttem az ország energiafogyasztásának összetételét az elérhető statisztikai adatok alapján, majd a Nemzeti Energia Stratégia és Nemzeti Épületenergetikai Stratégia áttekintésével folytattam. Ezután a szigetelés hatásit tekintetem át szakirodalmak felhasználásával, és a hőtranszport hőtani alapszámításait fejttem ki. Az alap elméleti háttér után a szigetelőanyagok áttekintésével foglalkoztam, mely során számba vettem a különböző alapanyagú anyagokat és kitekinttem a legújabb és a jövőbeni szigetelőanyagokra. A szigetelőanyagok áttekintése után a hőhidakkal foglalkoztam, mely során a hőhid definícióját tisztáztam, majd kettő szakirodalmi áttekintést ismerttettem. Legvégén pedig a hőátbocsájtási tényező értékeinek múltbeli változását tekintetem át.

Az irodalmi áttekintés után a feladatkidolgozással folytattam. Az épület, amelyet választottam a Budapest XIV. kerület Nagy Lajos király útja 86-90 szám alatt található. A társasház 1968-ban épült csúsztatottzsalus építési technológiával. Feladatkidolgozás során az épület homlokzatának szigetelési lehetőségét vizsgáltam meg. Három típusú szigetelőanyagot választottam ki. Ezek az Austrotherm ATH 80, Austrotherm Grafit 80 és Rockwool Fixrock FB1 típusú anyagokkal dolgoztam. A vizsgálatot a 7/2006 TMN rendeletnek követelményének megfeleltetésével kezdtem, mellyel kizártam azokat a vastagságokat, amelyekkel a homlokzat nem tudta teljesíteni a  $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$  -es  $U$  értéket. A megfelelt vastagságok az Austrotherm ATH 80 esetében a minim 200 mm -es, az Austrotherm Grafit 80 esetében a minimum 160 mm -es vastagság. A homlokzat a Rockwool Fixrock FB1 kőzetgyapot szigetelés egyik vastagságával sem tudott megfelelni. A legmegfelelőbb vastagság kiválasztását a megtérülési számításokkal választottam ki. Ehhez szükségem volt a szigetelés bekerülési költség számítására és a szigeteléssel megtakarított

összegre. Ezt a két eredmény összehasonlítva lehetett megtérülési számításokat végezni. A számítás eredményeképpen az Austrotherm Grafit 80 160 mm tűnik a legmegfelelőbb választásnak. A jelenkori követelményeknek megfeleltetést kiegészítettem jövőbeni követelmények becslésével, amihez regresszió számítást alkalmaztam. Ezek után elvégeztem az előzőekben ismertetett számításokat. A számítások után világossá vált, hogy a vastagabb EPS szigetelések nem megtérülő beruházások, így a jövőbeni követelményeket nem lehet ezekkel a szigetelőanyagokkal teljesíteni. Ezekután megvizsgáltam a Vákuumpanel hőszigetelést is, mellyel a jövőbeni követelményeket teljesíteni képes, de a jelenlegi ára magas beruházási költséget jelent, de kompenzálja, hogy magas megtakarítást eredményez már 20 mm vastag szigetelés esetén is. Ezzel együtt is a megtérülése erősen kétséges a számítások alapján, de egy jövőbeni szigetelési beruházásához megfontolandó ezen szigetelőanyag alkalmazása is, akár egy alacsonyabb és pontosabb beruházási költség esetén. Az pedig egy másik dolgozat témája lehet, hogy az éghajlatváltozás hatásai miatt valóban szükségesé válik-e majd a jövőben az U követelmény érték szigorítása, és az esetlegesen megváltozott éghajlati körülmények indokolják-e majdan a vastagabb szigetelés használatát.

## 12 Summary

In my thesis, during the literature review, I collected the composition of the country's energy consumption based on the available statistical data, and then continued with an overview of the National Energy Strategy and National Building Energy Strategy. Then I reviewed the effects of the insulation using specialist literature and explained the basic thermodynamic calculations of heat transport. After the basic theoretical background, I dealt with the overview of insulation materials, during which I took into account the materials of different raw materials and looked at the latest and future insulation materials. After reviewing insulation materials, I dealt with thermal bridges, during which I clarified the definition of thermal bridges, and then presented two literature reviews. Finally, I reviewed the values of the heat transfer coefficient.

After the literature review, I continued with the task development. The building I chose is the Budapest XIV. district is located at 86-90 Lajos Nagy út. The condominium was built in 1968 using sliding formwork construction technology. During task development, I examined the possibility of insulating the facade of the building. I selected three types of insulation material. I worked with Austrotherm ATH 80, Austrotherm Grafit 80 and Rockwool Fixrock FB1 materials. I started the test by complying with the requirements of TMN Decree 7/2006, with which I excluded the thicknesses with which the facade could not meet the U value of 0.24 W/m<sup>2</sup>K. The appropriate thicknesses are a minimum of 200 mm for Austrotherm ATH 80 and a minimum of 160 mm for Austrotherm Grafit 80. The facade could not match any thickness of the Rockwool Fixrock FB1 stone wool insulation. I chose the most suitable thickness using the payback calculations. For this, I needed to calculate the cost of insulation and the amount saved with insulation. By comparing these two results, it was possible to perform return calculations. As a result of the calculation, Austrotherm Grafit 80 160 mm seems to be the most appropriate choice. I supplemented compliance with current requirements by estimating future requirements, for which I used regression calculations. After that, I performed the calculations described above. After the calculations, it became clear that thicker EPS insulations are not profitable investments, so future requirements cannot be met with these insulation materials. After that, I also examined the Vacuum Panel thermal insulation, with which it can meet future requirements, but its current price means a high investment cost, but it is compensated by the fact that it results in high savings even in the case of 20 mm thick insulation. Even so, its return is highly doubtful based on the calculations, but the use of this insulating material should be considered for a future insulation investment, even in case of a lower and more accurate investment cost.



The topic of another thesis could be whether, due to the effects of climate change, it will really become necessary to tighten the value of the U requirement in the future, and whether the possibly changed climatic conditions will justify the use of thicker insulation.

### 13 Irodalomjegyzék

- 7/2006 (V.24). TNM rendelet. ( dátum nélk.). 7/2006 (V.24). *TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról.*
- Alam et al. (2011). Vacuum Insulation Panels (VIPs) for building construction industry – A review of the contemporary developments and future directions. *Applied Energy*, 88.évf(11), 3592 - 3602. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261911002753#s0010>
- Baetens et al. (2010. Február 2). Vacuum insulation panels for building applications: A review and beyond. *Energy and Buildings*, 41(2), 147 - 172. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778809002199#aep-section-id61>
- Baetens et al. (2011). Aerogel insulation for building applications: A state-of-the-art review. *Energy and Buildings*, 761 - 769. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778810004329#sec0010>
- Bolan et al. (2023. Július 10). Sustainable management of hazardous asbestos-containing materials: Containment, stabilization and inertization. *Science of The Total Environment*. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969723020752#bb0125>
- Bozsaky, D. (2010). Földbeágyazott lakóépületek. *Magyar Építőipar, LX. évf(3.szám)*, 109-115.
- Bozsaky, D. (2010). The development of thermal insulation materials from the beginnings. *37th IAHS World Congress of Housing*. Santander.
- Bozsaky, D. (2011). Természetes és mesterséges hőszigetelő anyagok összehasonlító vizsgálatai és elemzése. Győr.
- Déry, A. (2000). *Történeti anyagtan*. Budapest: Terc Kft.
- Déry, A. (2010). *Öt könyv a régi építészetéről. Gyakorlati műemlékvédelem 5*. Budapest: Terc Kft.
- Dr. Beke, J. (2000). *Műszaki hőtan mérnököknek*. Budapest: Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó.
- Dr. Csoknyai, T., & Dr. Horváth, M. (2020. 06 15). Lakossági épületenergetikai döntéstámogató kalkulátor. Budapest. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás: [https://renohub-h2020.eu//content/uploads/2020/09/D-2.3-Benchmark-handbook\\_14-09-2020-1.pdf](https://renohub-h2020.eu//content/uploads/2020/09/D-2.3-Benchmark-handbook_14-09-2020-1.pdf)

- Dr. Harmathy, N. (2020). Bevezetés az épületfizikába. Budapest: BME Építésmérnöki Kar, Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék. Forrás: [http://egt.bme.hu/EPFIZ/03\\_Hovedelem\\_hoatbocsatas\\_hohidak.pdf](http://egt.bme.hu/EPFIZ/03_Hovedelem_hoatbocsatas_hohidak.pdf)
- Dr. Kalmár, F. (2013). *A belső környezet minősége*. Budapest: Terc Kiadó Kft.
- EMPA et al. (2005. Szeptember). Vacuum Insulation Panels - Study on VIP-components and Panels for Service Life Prediction of VIP. [www.iea-ebc.org](http://www.iea-ebc.org). Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás: [https://www.iea-ebc.org/Data/publications/EBC\\_Annex\\_39\\_Report\\_Subtask-A.pdf](https://www.iea-ebc.org/Data/publications/EBC_Annex_39_Report_Subtask-A.pdf)
- Energetikai szempontból elavult a magyar lakásállomány 90 százaléka. (2022). Budapest: Takarékindeks. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás: <https://www.mbhindex.hu/sw/static/file/takarekindeks.hu-files-24-89680.pdf>
- Európai Bizottság. (2020). *2050-ig szóló, hosszú távú stratégia*. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás: [www.climate.ec.europa.eu](http://www.climate.ec.europa.eu): [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2050-long-term-strategy\\_hu](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2050-long-term-strategy_hu)
- Faragó, T. (2016). A párizsi klímátárgyalások eredményei. *Magyar Energetika*, 2016/1, 8-12. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás: [http://real.mtak.hu/62026/1/Parizs\\_Megallapodas\\_M\\_E\\_u.pdf](http://real.mtak.hu/62026/1/Parizs_Megallapodas_M_E_u.pdf)
- Fawaier, M., & Bokor, B. (2022. Szeptember 1). Dynamic insulation systems of building envelopes: A review. *Energy and Buildings*, 270. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877882200439X#b0270>
- Hiltner, S. (2022. Január 5). *The Veblen House*. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás: [www.veblenhouse.org](http://www.veblenhouse.org): <https://www.veblenhouse.org/2022/01/balsam-wool-early-form-of-insulation.html>
- Horváth, T. (2017). Épületenergetikai szabályozásunk körvonalai és előzményei. *Magyar Építőipar*, 5, 156 - 165.
- Hua, G., & Baba, F. (2017. Október). Effect of dynamic modeling of thermal bridges on the energy performance of residential buildings with high thermal mass for cold climates. *Sustainable Cities and Society*, 250 - 263. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670717304018>
- Hurtado et al. (2016. Február 1). A review on the properties of cellulose fibre insulation. *Building and Environment*, 170 - 177.
- Jelle, B. P. (2011). Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities. *Energy and*

- Buildings*, 43(10), 2549 - 2563. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811002295#sec0055>
- Kalmár, F. (2003). *Épületfizika*. Nyíregyháza: Studium Kft.
- Közigazgatási és Igazságügyi Minisztérium. (2014. Március 7). Magyar Közlöny. 35. Budapest. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás:  
<http://www.kozlonyok.hu/nkonline/mkpdf/hiteles/mk14035.pdf>
- KSH. (2022). *A háztartások végső energiafelhasználása felhasználási célok szerint*. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás: [www.ksh.hu](http://www.ksh.hu):  
[https://www.ksh.hu/stadat\\_files/ene/hu/ene0007.html](https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0007.html)
- KSH. (2022). *Végső energiafelhasználás*. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás: [www.ksh.hu](http://www.ksh.hu):  
[https://www.ksh.hu/stadat\\_files/ene/hu/ene0006.html](https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0006.html)
- Kumar et al. (2020). Comparative analysis of building insulation material properties and performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 131. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032120303294#sec2>
- Kyuman, Cho et al. (2014. Február). Assessment of the economic performance of vacuum insulation panels for housing projects. *Energy and Buildings*, 45 - 51. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813007901>
- Lu et al. (2020. Július). Optimized mitigation of heat loss by avoiding wall-to-floor thermal bridges in reinforced concrete buildings. *Journal of Building Engineering*. Forrás:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235271021932234X#sec2>
- MEGSZ. (2010). *A hőátbocsátási tényezők követelményértékei az elmúlt évtizedekben*. Forrás: [www.megsz.hu](http://www.megsz.hu):  
[http://www.megsz.hu/megsz/images/stories/energiaor/hoatbocsatasi\\_tenyezok.doc](http://www.megsz.hu/megsz/images/stories/energiaor/hoatbocsatasi_tenyezok.doc).
- MEKH. (2022). 8.1 Háztartások végső energia felhasználása Magyarországon, felhasználási célok szerint, 2015 - 2021. Budapest. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás:  
[http://www.mekh.hu/download/f/83/31000/8\\_1\\_haztartasok\\_felhasznalasa\\_eves\\_2015\\_2021.xlsx](http://www.mekh.hu/download/f/83/31000/8_1_haztartasok_felhasznalasa_eves_2015_2021.xlsx)
- MEKH. (2022). Hőenergiatermelés, 2014 - 2021. Budapest. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás:  
[http://www.mekh.hu/download/a/83/31000/5\\_1\\_hoenergia\\_termeles\\_eves\\_2014\\_2021.xlsx](http://www.mekh.hu/download/a/83/31000/5_1_hoenergia_termeles_eves_2014_2021.xlsx)

- MEKH. (2023). Éves földgázmérleg. Budapest. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás: [http://www.mekh.hu/download/3/55/31000/3\\_2\\_eves\\_foldgazmerleg\\_2014\\_2022e\\_2023\\_01\\_31.xlsx](http://www.mekh.hu/download/3/55/31000/3_2_eves_foldgazmerleg_2014_2022e_2023_01_31.xlsx)
- MNB. (2023). *MNB.hu*. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás: [www.mnb.hu](http://www.mnb.hu/Jegybanki_alapkamat_alakulasa): [https://www.mnb.hu/Jegybanki\\_alapkamat\\_alakulasa](https://www.mnb.hu/Jegybanki_alapkamat_alakulasa)
- Morley, M. (2000). *Building with structural insulated panels (SIPs) strength and energy efficiency through structural panel construction*. Newtown: Tauton Press.
- Murray, R. (1990). Asbestos: a chronology of its origins and health effects. *Occupational and Environmental Medicine*, 47. évf., 361 - 365.
- (2015). *Nemzeti Épületenergetikai Stratégia*. ÉMI Építésügyi Minőségellenőrző és Innovációs Nonprofit Kft.
- Nemzeti Fejlesztési Minisztérium. (2012). *Nemzeti Energiastatégia 2030*. Budapest: Nemzeti Fejlesztési Minisztérium. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás: <https://2010-2014.kormany.hu/download/4/f8/70000/Nemzeti%20Energiastat%3%A9gia%202030%20teljes%20v%C3%A1ltozat.pdf>
- Novák, Á. (2008). Természetes anyagú környezetbarát hőszigetelések – egészséges épületek. *Építész Spektrum*, 7.évf.(1), 41 - 46.
- Paraschiv, Lizica Simona et al. (2020. November 6). A web application for analysis of heat transfer through building walls and calculation of optimal insulation thickness. *Energy Report*, 6.évf, 343 - 353. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484720313111?pes=vor>
- Paraschiv, Spiru et al. (2021. November 5). Increasing the energy efficiency of a building by thermal insulation to reduce the thermal load of the micro-combined cooling, heating and power system. *Energy Reports*, 7. évf(5. melléklet), 286-298. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484721005874>
- Plundstein, M. (2007). *Dämmstoffarten*. München: Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG.
- Rashad, A. M. (2016). A synopsis about perlite as building material – A best practice guide for Civil Engineer. *Construction and Building Materials*, 338 - 353. Letöltés dátuma: 2023. 04 23, forrás: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095006181630928X#b0020>
- Ravago building solution Hungary Kft. (dátum nélk.). *MIÉRT NŐ A HŐSZIGETELÉS ÁTLAGVASTAGSÁGA?* Forrás: [www.ravagobuildingsolutions.com](http://www.ravagobuildingsolutions.com):

<https://ravagobuildingsolutions.com/hu/hu/1708/miert-no-a-hoszigeteles-atlagvastagsaga/>

- Siddiqui, S. A. (1989). *A Handbook on Cellulose Insulation*. USA: Krieger Publishing Company.
- Singh, M., & Grag, M. (1991). Perlite-based building materials — a review of current applications. *Construction and Building Materials*, 5.évf(2), 75 - 81. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0950061891900045>
- Soares, N et al. (2017). A review on current advances in the energy and environmental performance of buildings towards a more sustainable built environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(77 évf), 845-860. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117305270>
- The Cellulose Insulation Manufacturers Association. (1998). *CIMA Technical Bulletin #2: Standard Practice for Installing Cellulose Building Insulation*. Dayton.
- Theodosiou, T., & Agis, M. P. (2008). The impact of thermal bridges on the energy demand of buildings with double brick wall constructions. *Energy and Buildings*, 40(11), 2083 - 2089. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778808001321#aep-section-id16>
- Thiessen et al. (2018). A study on the effectiveness of applying vacuum insulation panels in domestic refrigerators. *International Journal of Refrigeration*, 96, 10 - 16. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140700718303281#sec0001>
- Valley Insulation. (2022. Január 17). *Cellulose Insulation FAQs*. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás: <https://valleyinsulationllc.com/>: <https://valleyinsulationllc.com/cellulose-insulation-faqs/>
- Vista. (2011). A kelták szigete - Írország. Budapest: Vista. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás: <https://vista.hu/magazin/a-keltak-szigete>
- Wang et al. (2007. November 4). VIP and their applications in buildings: a review. *Construction Materials*, 160(4), 145 - 153. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás: <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/full/10.1680/coma.2007.160.4.145>
- Wikipedia. (2022). *Nemzeti Energiastratégia 2030*. Letöltés dátuma: 2023. 04 30, forrás: [www.wikipedia.hu](http://www.wikipedia.hu): [https://hu.wikipedia.org/wiki/Nemzeti\\_Energiastrat%C3%A9gia\\_2030](https://hu.wikipedia.org/wiki/Nemzeti_Energiastrat%C3%A9gia_2030)

## NYILATKOZAT

### a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Biró Zoltán  
A Hallgató Neptun kódja: SJ7F7S  
A dolgozat címe: Budapest XIV. kerület, Nagy Lajos Király útja 86-90. szám alatti  
társasház homlokzati szigetelésének megválasztása  
A megjelenés éve: 2023  
A konzulens tanszék neve: Épületgépészeti és Energetikai tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, s az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a Záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemitulajdonkezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe.

Kelt: 2023 év május hó 3. nap



Hallgató aláírása

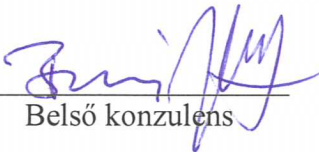
## KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

A Biró Zoltán (név) (hallgató Neptun azonosítója: SJ7F7S) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfólió<sup>1</sup> áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom<sup>2</sup>.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem<sup>3</sup>

Kelt: 2023 év május hó 3 nap

  
Belső konzulens

---

<sup>1</sup> A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

<sup>2</sup> A megfelelő aláhúzendó.

<sup>3</sup> A megfelelő aláhúzendó.