

Schaffhauserstrasse 21
CH-8006 Zürich
T 0041 43 300 50 40
F 0041 43 255 15 35
team@umweltchemie.ch
www.umweltchemie.ch

 büro für
umweltchemie

Hőszigetelő anyagok összehasonlítása

Sűrítve, 1.3 változat

Matthias Klingler, MSc environmental eng.

Daniel Savi, MSc Environmental Sciences

Ueli Kasser, lic. phil. nat. (Chemist)

Megbízó:

EUMEPS Construction, Belgium

Zürich, 12 June 2018

Tartalomjegyzék

TARTALOM	HIBA! A KÖNYVJELZŐ NEM LÉTEZIK.
1 HÁLÓDIAGRAMOK, ÁTTEKINTÉSS	HIBA! A KÖNYVJELZŐ NEM LÉTEZIK.
1.1 Eredmények és célok	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
1.2 Hogyan működik a hálódigram	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
1.3 A diagram tengelyeinek magyarázata	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
2 LAPOS TETŐ	HIBA! A KÖNYVJELZŐ NEM LÉTEZIK.
2.1 A felhasználás ismertetése.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
2.2 Taglalás.....	8
2.3 Lapos tető hálódigramok, $R = 7 \text{ m}^2\text{K/W}$	10
3 ÁTSZELLŐZÖTT HOMLOKZAT	HIBA! A KÖNYVJELZŐ NEM LÉTEZIK.
3.1 A felhasználás ismertetése.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
3.2 Taglalás.....	11
3.3 Átszellőzött homlokzat hálódigramok, $R = 5 \text{ m}^2\text{K/W}$	14
4 THR (TELJES HŐSZIGETELŐ RENDSZER)	HIBA! A KÖNYVJELZŐ NEM LÉTEZIK.
4.1 A felhasználás ismertetése.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
4.2 Taglalás.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
4.3 THR hálódigramok, $R = 5 \text{ m}^2\text{K/W}$	18
5 PERIMÉTER (TALAJSZINT ALATTI SZIGETELÉS)	19
5.1 A felhasználás ismertetése.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
5.2 Taglalás.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
5.3 Periméter hálódigramok, $R = 5 \text{ m}^2\text{K/W}$	21
6 PADOZAT, MENNYEZET VAGY ALAPLEMEZ FELETT	22
6.1 A felhasználás ismertetése.....	22
6.2 Taglalás.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
6.3 Padozat hálódigramok, $R = 4 \text{ m}^2\text{K/W}$	24

1 Hálódigrammok: releváns információk

1.1 Eredmények és célok

Az európai piacon számos (hő)szigetelő anyag lelhető fel, amelyek különböző tulajdonságokkal és a felhasználási területtől függő előnyökkel és hátrányokkal rendelkeznek. A fizikai tulajdonságok és a szigetelőképeség mellett az építőiparban a fenntarthatósági követelmények is egyre fontosabbá válnak. Sok olyan vélemény hallható, hogy egyes szigetelő anyagok jobban hozzájárulnak a fenntartható fejlődéshez, mint mások. Az összehasonlítás ebből a szempontból gyakran egyetlen választott tényezőt alapszik. Ilyen tényező lehet pl. az elsődleges energiafelhasználás, az újrahasznosítás vagy a káros anyag kibocsátás. A feladat az volt, hogy egy sokoldalú, megkülönböztető jellegű és kiegyensúlyozott értékelést kapjunk. A tanulmánynak az a célja, hogy azonos felhasználási területen belül több szempontból való összehasonlítást biztosítson. A kiválasztott kritériumok a szigetelő anyagok teljes élettartamára vonatkoznak. Az élettartam összefüggésben van a termék műszaki teljesítményével, de ezen felül figyelembe vettek olyan tényezőket is, amelyeket gyakran elhangoznak az anyagok fenntarthatósági tulajdonságainak vizsgálatakor. Ezek közé tartoznak a kivitelezési költségek, az öt olyan szempont annak mérésére, hogy az adott területre mennyiben megfelelő az adott termék, a káros anyag kibocsátás és az élettartam végén az újrahasznosítási lehetőség.

A tanulmányt széleskörű hallgatóságnak címezték, akik közé többek között az építőipar szakemberei, a döntéshozók, politikai csoportok, egyesületek és további résztvevők tartoznak.

A tanulmány eredménye az anyagokra vonatkozó, az adott kritérium szerint kiértékelte teljesítménytényező. Ezeket a tényezőket hálódigrammokon ábrázolták. Az eredményeket nem kívánták egyetlen értéké sűríteni. Ezt a döntést az átláthatóság miatt hozták meg. A felhasználó számára ugyan egyetlen érték könnyebben értelmezhető lenne, de elfedné azt, hogy a szigetelő anyagnak milyen kedvező tulajdonságai vannak egy adott követelmények szempontjából és mely hátrányok más kritériumok alapján. A döntést az olvasóra bízták, mivel a döntés elkerülhetetlenül szubjektív alapokra épül.

1.2 Hogyan működik a hálódíagram

A hálódíagram hasznos eszköz egyöntetű módon a különböző kritériumok grafikus ábrázolására. Lehetővé teszi összetett tényezők vizuális bemutatását néhány alapelv követésével:

1. A kritérium kiválasztása a teljes életciklusra vonatkozik mindazon szempontokat figyelembe véve, amiket az általános gyakorlat és a szabványok megkívánnak.
2. Minden tényezőt saját tengelyén ábrázolják
3. A tényezők objektív jellemzőkön és összehasonlítható adatokon alapszanak: ezeket az LCA (Life Cycle Analysis = élettartam elemzés) és a környezet-kutatási területein dolgozó legtöbb szakember elfogadja.
4. A bemutatás magától értetődő, a legjobb értékek a háló tengelyeinek külső részén vannak. A tengelyek terminológiája visszatükröződik azok pozitív megnevezésében. Ennek ellenére nem lehetséges az összehasonlítás a különböző felhasználási területekre kidolgozott diagramok között.

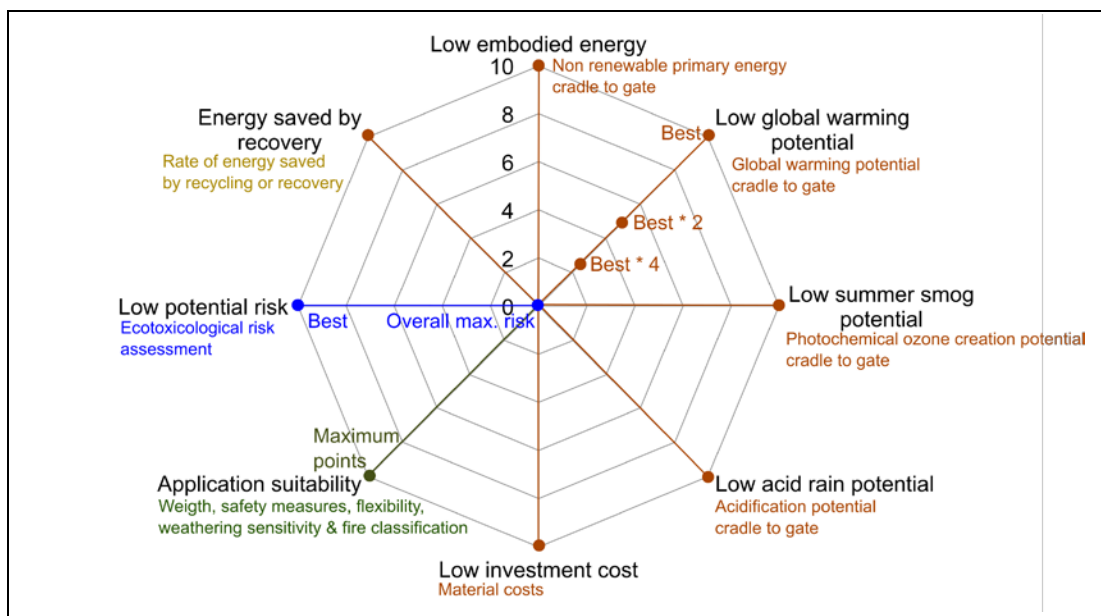


Fig. 1: A hálódíagramok tengelyeinek magyarázata

Low embodied energy: alacsony energia tartalom

Non renewable primary energy cardle to gate: nem megújuló primer energia a teljes élettartam során

Low global warming potential: Alacsony hozzájárulás a globális felmelegedéshez

Best: legjobb

Low summer smog potential: alacsony nyári szmog potenciál

Photochemical ozone creation potential: ózon kialakítási fotokémiai potenciál

Low acid rain potential: alacsony poteciál savas eső képzésére

Acidification potential: savképzési potenciál

Low investments cost: alacsony beszerzési költség

Material cost: anyagköltség

Application suitability: alkalmazhatóság

Weight, safety measures ...: Súly, biztonsági intézkedések, rugalmasság, időjárás-szal szembeni érzékenység és tűzbesorolás

Maximum points: maximális érték

Low potential risk: alacsony potenciális veszély

Ecotoxicological risk assessment: környezet toxikológiai veszély

Overall max. risk: egészében maximális veszély

Energy saved by recovery: energia megtakarítás újrahasznosítással

Rate of energy saved...: újrahasznosítással vagy visszanyeréssel megtakarítható energia

A csúcscról az óramutató járásával egyező irányba indulva az első négy kritérium az **LCIA** (Life Cycle Impact Assessment: élettartam alatti befolyásoló tényező) a termék megalkotásától a használatból való kivonásig. A következő kettő "Alacsony beruházási költség" és "Alkalmazhatóság" az építkezésen történő felhasználásra vonatkozik. Az "Alacsony potenciális veszély" a felhasználás környezet-toxikológiai veszélyére utal. Az utolsó tengelyen az élettartam végi tulajdonság látható.

A szigetelő anyagok értékeléséhez a funkcionális egység a meghatározott szigetelési tulajdonságú (R-értékű) anyag egy négyzetmétere. Az R-érték számításába beletartozik a szigetelés, a hordozószerkezet és a hő-hidak. A funkcionális egység magába foglalja a szigetelő anyagot és az anyag más tulajdonságait, amiket a szigetelés vastagsága befolyásol, ilyenek a rögzítések, dűbelek és konzolok. Az 1. Táblázat alább áttekintést ad azokról a szerkezeti elemekről, amelyeket az R-érték meghatározásához figyelembe vettek, valamint az összes felhasznált területen alkalmazott szigetelő anyagokat. A szigetelő anyagok választéka az általánosan használt anyagokat tartalmazza, ezek mellett két biológiai alapú terméket is.

1. Táblázat: A rendszer

Alkalmazási terület/R-érték	Szigetelő anyag
Lapos tető, 7 m ² K/W (beton földem és szigetelés)	Fehér EPS, szürke EPS, kőzetgyapot, XPS, PUR/PIR, üveghab
Átszellőzött homlokzat, 5 m ² K/W (tégla fal, szigetelés és hő-hidak)	szürke EPS, kőzetgyapot, üveg gyapot, PUR/PIR, kenderszál
THR, 5 m ² K/W (beton fal, szigetelés, vakolat,)	Fehér EPS, szürke EPS, kőzetgyapot, PUR/PIR, fa gyapot
Periméter, nincs talajvíz, 5 m ² K/W (beton fal és szigetelés)	Fehér EPS, XPS, PUR/PIR, üveghab
padozat, szigetelés betonlemez fölött, 4 m ² K/W (betonlemez és szigetelés)	Fehér EPS, kőzetgyapot, XPS, fa gyapot

1.3 A diagram tengelyeinek magyarázata

A 2. Táblázat ad áttekintést azokról a kritériumokról amelyeket az egyes tengelyeken kiértékeltek

2. Táblázat: Diagram tengelyek

Diagram tengelyek	Jellemző	Terület
Alacsony energiatartalom	Nem visszanyerhető primer energia [MJ]	előállítástól megsemmisülésig
Alacsony globális felmelegedési tényező	GWP [kg] CO ₂ -eq.	előállítástól megsemmisülésig
Alacsony nyári szmog potenciál	POCP [kg] C ₂ H ₄ -eq.	előállítástól megsemmisülésig
Alacsony savas eső potenciál	AP [kg] SO ₂ -eq.	előállítástól megsemmisülésig
alacsony beszerzési költség	Anyagköltség €	Csak szigetelő anyagra és kiválasztott (lapos tető, THR, periméter)
Alkalmazhatóság, megfelelés	A szigetelő anyag tömege m ² -enként Biztonsági tényezők Lemezek rugalmassága (csak átszellőzött homlokzatnál) Időjárással szembeni érzékenység Lemezek tűzvédelmi besorolása	Öt tényező együttesen
Alacsony potenciális veszély	Potenciális veszélytényezők a mennyiségből, H-mondatokból és mérgező adalékok által okozott szakmai ártalomból eredően	Alkalmazás közben
Visszanyerési lehetőség	Primer energia visszanyerési lehetősége [MJ]	Az élettartam végén

A négy kritérium: **alacsony energia szükséglet gyártás során, az alacsony globális felmelegedési potenciál, az alacsony nyári szmog potenciál és az alacsony savas eső potenciál** a termék előállításakor fellépő hatásokat jeleníti meg. Minél magasabb az érték, annál alacsonyabb ez a hatás. Ezeket a tényezőket az EN15804 szerint a tényleges EPD¹ értékek alapján mutatják be. Az LCA (élet-tartam) rendszerhatár adatokra az előállítástól a megsemmisítésig tartó időszakot vették figyelembe, tehát a környezeti tényezőket attól fogva már NEM, amikor a termék kilép a gyárból (kizárt a felhelyezés, karbantartás, lebontás, lerakás stb.). Az eredmények bemutatása ezen a négy tengelyen ugyanazt az elvet követi. Egy adott befolyásoló tényezőre nézve (pl. globális felmelegedésre) és adott alkalmazási területen (pl. lapos tetőn) a legkisebb hatást előidéző anyag kapja a maximális 10-es pontszámot. A többi anyag olyan pontot kap, ami fordítottan arányos a legalacsonyabb értékkel. Például egy anyag, ami kétszeres káros hatást gyakorol, mint amilyent a legjobb anyag, 5-ös pontszámot kap.

Az alacsony beszerzési költség és az alkalmazhatóság kritériumai jelenítik meg a felhasználási tulajdonságokat. Az **alacsony beszerzési (anyag) költség** csak lapos tetőknél, THR-nél és perimeter szigetelésnél vehető figyelembe. Más területekre ugyanis nem áll rendelkezésre elegendő adat. A beszerzési költségeket a szigetelő anyagokra európai szakértőktől kapott adatok alapján vették figyelembe. A különböző szigetelő anyagokra adott pontok ugyanazt az elvet követik, mint a környezeti tényezőknél. A legalacsonyabb árú anyag kapta a 10-es értéket, az összes többi ennek függvényében került kiértékelésre.

Az **alkalmazhatóság** értékeit különböző szempontok szerint összegezve határozták meg, u.m. a tömeg, a felhelyezés biztonságtechnikája, az érzékenység időjárással szemben, a tűzvédelmi besorolás és – csak az átszellőzött homlokzatnál – a rugalmasság.

A felhasználástól függően a tényezők közül egyesek fontosabbak lehetnek, mint mások, ezért az adott felhasználáshoz az egyes szempontok szerint a maximálisan adható pontokat a 3. Táblázatban foglalták össze. Az egyes területekre a maximális pontok összege lehet 10.

1. Táblázat : Alkalmazhatóság, a paraméterem maximális pontjai

Alkalmazás	Az adott felhasználásra adható max. pontszám				
	A szigetelés tömege	Biztonsági intézkedés	Rugalmas-ság	Időjárásra érzékeny	Tűzvédelem
Lapos tető	3	2	N/A ¹⁾	3	2
Átszellőzött homlokzat	2	2	3	1	2
THR	3	2	N/A	3	2
Perimeter	5	5	N/A	N/A	N/A
Padozat DEO	5	2	N/A	1	2

¹ Institut Bauen und Umwelt e.V. <http://ibu-epd.com/>

*) N/A: nincs adat

A szigetelőanyag súlyát (tömegét) a munkaegészségügyi szempontok miatt vették figyelembe. A nehezebb elemek a hát megbetegedését okozhatják, és hozzájárulhatnak kivitelezési hibákhoz. A szigetelés tömegének pontszámánál a legkisebb tömegű anyag kapta a maximumot, a többit ehhez viszonyították a 3. Táblázat szerint. A biztonságtechnikai adtalapok szerint a kőzetgyapottal és üveggyapottal végzett munka során személyi védőfelszerelést kell viselni, más anyagoknál erre nincs szükség. Ha ilyen intézkedésre van szükség, az anyag biztonsági szempontból 0 pontot kap. Az időjárási tényezőknél a vízfeltevő képességet vizsgálták. Felhasználásakor a szigetelő anyagnak száraznak kell lennie. Az anyagok a tárolás során nedvességet vehetnek fel, ami a szerkezet jövőbeni roncsolódásához vezethet. Különbséget kell tenni érzéketlen anyag, mint amilyen az XPS, a kissé érzékeny anyagok, mint az EPS és a nagy vízfeltevő képességű anyagok, mint a kőzetgyapot között. A tűzvédelmet azért kell figyelembe kell venni, mert az alacsony besorolású anyagoknál külön intézkedéseket kell tenni a teljes épület tűzbiztonsága szempontjából. Maximális pontot kapott az A1 besorolású anyag, 5/6 pontot az A2-es, és 1/6-ot az E osztályba sorolt anyag.

Az **alacsony potenciális veszély** tengelyén azokat az adalék anyagokat vették figyelembe, amelyek a környezetbe kerülhetnek a felhasználás során. A polisztirol termékekben a HBCD lángállósító anyagot polimer lángállósító anyaggal váltották ki, más termékeknél vannak olyan adalékok, amelyek hatást gyakorolnak a környezetre és az emberi egészségre.

Ebből a szempontból ez a tengely elsősorban azt a változást fejezi ki ami a problémás lángállósító anyag használatakor jelentkezik polisztirol szigetelő anyagoknál. A potenciális veszély értékelése a BASF által kidolgozott módszeren alapszik². A legalacsonyabb érték a nulla, amikor nincs veszély, viszont a méretezést nem lehet ehhez a minimumhoz képest arányosan elvégezni. A pontszámok kidolgozásához egy elméleti maximális veszélyt vettek figyelembe, ami 0 pontot érdemel. Minden további értéket a 0 és az elméleti legnagyobb veszély közötti lineáris összefüggés alapján határozták meg.

Utoljára a **visszanyerési lehetőség** az élettartam végén a reciklikálási vagy az energia visszanyerési potenciált jeleníti meg. A visszanyert energia arányát választották annak meghatározására, hogy az újrahasznosítási, reciklikálási lehetőség mennyire gazdaságos. Ez módot ad arra, hogy ugyanazon a skálán összehasonlítsuk az újrahasznosítást és az energia visszanyerést. 10-es pontszámot az az anyag kap, ami az újrahasznosított vagy elégetett anyagból a legnagyobb energia visszanyerést valósítja meg.

²R. Landsiedel and P. Saling, Assessment of Toxicological Risks for Life Cycle Assessment and Eco-efficiency Analysis, Int J LCA, 2002

2 Lapos tető

2.1 A felhasználás ismertetése

A figyelembe vett lapos tető nem megközelíthető, a karbantartást kivéve. A tetőt további terhelés nélkül modellezték. A szerkezet kitűzött R-értéke $7 \text{ m}^2\text{K/W}$, ami $0.14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ U-értéknek felel meg. A szigetelés kívánt vastagságának számítása 20 cm vastag beton fedéllemez és magát a szigetelő anyagot tartalmazza. Lapos tető szigeteléséhez általánosan alkalmazott anyagokat használnak: fehér EPS-t, szürke EPS-t, ásványgyapotot, XPS-t, PUR/PIR-t és üveghabot. Mindegyik anyagnak teljesítenie kell nyomószilárdságra nézve a dm német osztályt, vagy ennél jobbnak kell lennie. A szigetelőréteg vastagsága PUR/PIR lemez esetén 15 cm-től a kőzetgyapot 26 cm-es vastagságáig terjedt. A négyzetméterenkénti súlykülönbség ennél még nagyobb amikor szürke EPS-t használnak $4,4 \text{ kg/m}^2$ -rel a kőzetgyapot szigetelés $41,2 \text{ kg/m}^2$ -ével szemben (4. Táblázat).

2.2 Taglalás

A szürke EPS kapta a legjobb értékelést a nyolc tengely közül négyen. Ez a legkedvezőbb a globális felmelegedés és a savas eső keletkezésének szempontjai szerint. A szürke EPS rendelkezik a legalacsonyabb beszerzési (anyag) költséggel német, osztrák és svájci adatok alapján. A fehér **EPS** pontszáma alig marad ez alatt a termelési és az anyagköltség indikátorai miatt, ugyanis a fehér EPS nagyobb hővezetési képességgel rendelkezik és így az adott egységre vetítve súlya némileg magasabb. Mindkét EPS típus újrahasznosítható EPS lemezek gyártására. Az EPS anyagok rendelkeznek legnagyobb újrahasznosítási lehetőséggel az összes vizsgált anyag közül, lapos tetők esetén. Mindkét EPS típus habosítás műveletében pentán játszik szerepet, ami részben a környezetbe távozik. Ez hozzájárul a nyári szmog potenciál növeléséhez, ami nagyobb, mint a többi vizsgált anyagnál.

A lapos tetőkön használt **kőzetgyapot** nagy térfogatsúlyú. Ennek eredménye a nagyobb anyagfelhasználás és a rosszabb teljesítmény a műanyagokhoz viszonyítva a teljes élettartamot figyelembe véve. Ez a nagy súly az alkalmazhatóságra adott alacsony pontszám oka is. A nehéz lemezek mozgatása hajlott testpozícióban veszélyt jelent a dolgozók számára. A kőzetgyapot az újrahasznosíthatósága ellenére is alacsony visszanyerési potenciállal rendelkezik. Ennek az alacsony primer energia tartalom az oka. Újrahasznosítás során az új kőzetgyapotot a már felhasználttal

keverve csak kevés energia takarítható meg. A kőzetgyapot gyártásakor a fő primer energia fogyasztást az ásványnak vagy a használt kőzetgyapotnak megolvasztása okozza.

Az **XPS** alacsonyabb pontszámot kapott, mint az EPS öt tengelyen, de azonos vagy jobb a nyári szmog-képzési potenciál, a felhasználási alkalmasság és az alacsony potenciális veszély tekintetében. Az eredmények fő oka az XPS nagyobb térfogatsúlya az EPS-hez viszonyítva. Az XPS jobban viselkedik terhelés alatt nagyobb nyomószilárdsága révén, mint az EPS. Hasonlóan a többi műanyag termékhez az XPS pontot veszít a tűzvédelmi besorolása miatt. XPS újrahasznosítása bonyolultabb, mint az EPS-é, mivel az extrúziós folyamat nagy tisztasági követelményeket állít a felhasznált anyagokkal szemben és így szennyezett anyag ma még nem újrahasznosítható. A legjobb opció a termikus hasznosítás, az XPS fűtőértéke miatt ebből a szempontból magas pontszámot kapott.

PUR/PIR-szigetelések rendelkeznek a tömegtermékek közül a legalacsonyabb lambda értékekkel. Ez azt jelenti, hogy az adott hőszigetelési érték eléréséhez kisebb rétegvastagság is elegendő. A PUR/PIR rendelkezik a legkisebb belső energiataralommal (feldolgozásához kevés energiára van szükség) és csaknem azonos értékkel rendelkezik globális felmelegedési potenciál szempontjából, mint a szürke EPS. Nyári szmog potenciálja az összehasonlításban belül viszonylag alacsony. A beszerzési költségei magasabbak, mint az EPS-é. Felhasználás szempontjából hasonlít a többi műanyag habhoz. A két EPS-hez hasonlóan részben érzékeny időjárással szemben és ebből a szempontból az adható pontszám felét kapta. Energia visszanyerhető a használt PUR/PIR lemezek elégetésével, bár az energia egy része nyerhető csak vissza a termék nitrogén tartalma miatt, ami csökkenti az égéshőt.

Az üveghab nyomással szemben nagyon ellenálló anyag, de az adott összehasonlításban lényegesen nehezebb, mint a műanyag habok. Ezen túlmenően kb. 10 kg/m² bitumenre is szükség van a szerkezet (kompakt tető) kialakításához. Az üveghab jó pontszámot kapott alacsony nyári szmog potenciálja miatt és jó a felhasználhatósága, mely utóbbinak a viszonylag nagy súlya ellenében az az oka, hogy nagymértékben érzéketlen nedvességre, kiváló a tűzbiztonsága és felhasználása során nincs szükség biztonsági intézkedésekre. Az üveghab ásványi alapanyagú, aminek nulla az energia tartalma, így újrahasznosítási energia visszanyerés szempontjából is nulla pontot kapott.

Alacsony veszélypotenciál tekintetében az összes anyag magas pontszámot ért el.

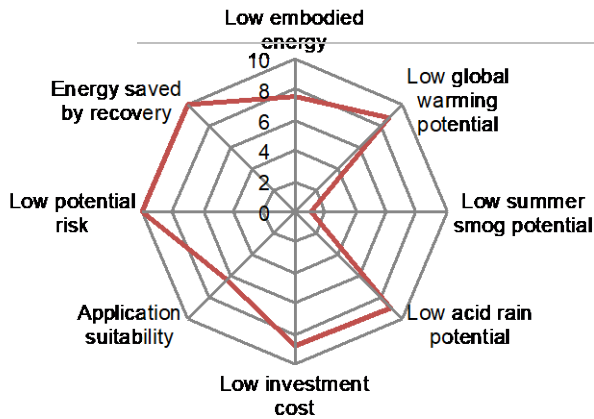
Egyike sem jelent veszélyt a környezetre sem a dolgozók egészségére. A PUR/PIR alacsonyabb relatív alacsonyabb pontszáma a lángállósító adalékra vonatkozó megállapítás (H-mondat) miatt van.

2 Táblázat: lapos tető R=7 m²K/W, szigetelési súly m²-enként

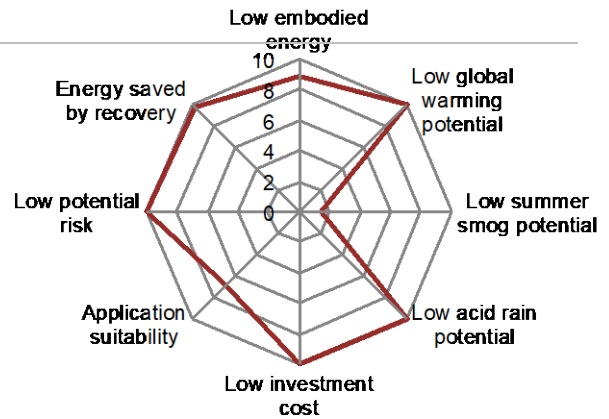
Szigetelő anyag	Fehér EPS	Szürke EPS	Kőzetgyapot	XPS	PUR/PIR	Üveghab
Súly [kg/m ²]	5.22	4.35	41.16	7.94	4.56	24.05

2.3 Lapos tető hálódigram, R = 7 m²K/W

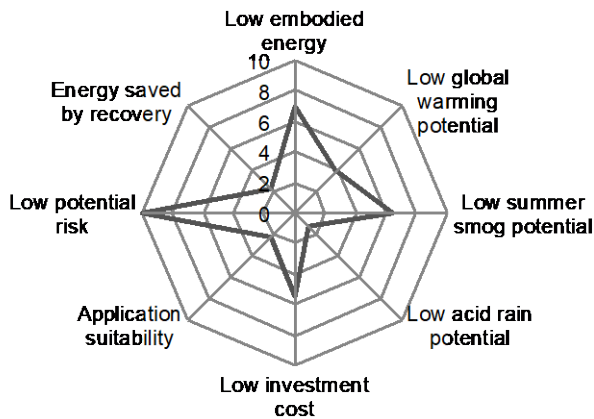
White EPS 23 cm



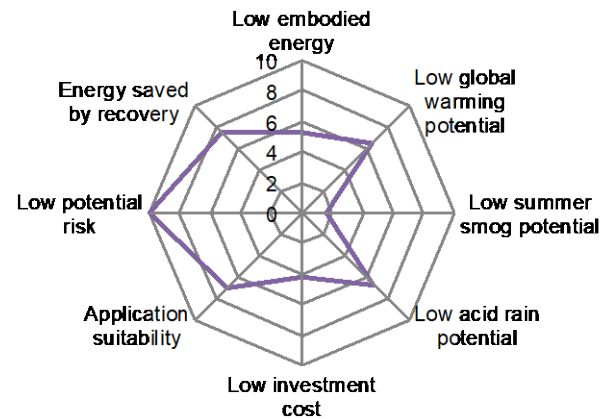
Grey EPS 21 cm



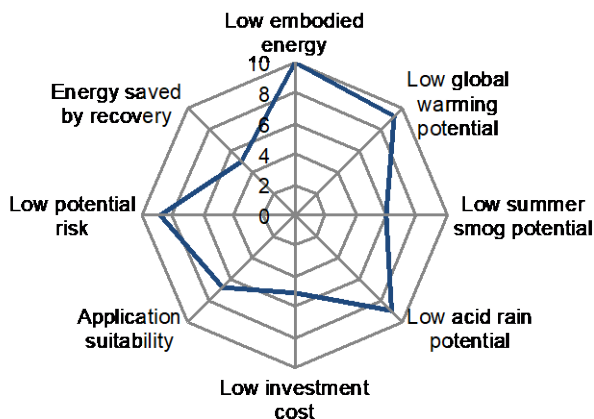
Stone wool 26 cm



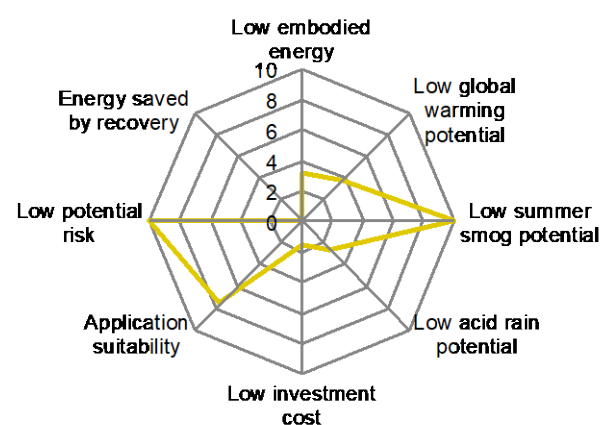
XPS 24 cm



PUR/PIR 15 cm



Foam glass 24 cm



3 Átszellőző homlokzat

3.1 A felhasználás ismertetése

Az R-érték számításánál a szigetelő réteget, 0,2 m vastag téglafalat és a rögzítő rendszer okozta hőhidakat (dűbelek, konzolok) vették figyelembe. A konzolrendszerek több hőhidat képeznek és több szigetelést igényelnek azonos R-érték eléréséhez, mint a dűbeles rendszerek. A szerkezet megcélzott R-értéke $5 \text{ m}^2\text{K/W}$, ami U-értékben $0.2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. A számításba vett rögzítő rendszerek (dűbel és konzol) max. 25 kg/m^2 teherbírásúak. A funkcionális egység magában foglalja a szigetelést és ennek rögzítését a falhoz, valamint a dűbeleket vagy konzolokat. A vizsgált anyagok a következők: szürke EPS, kőzetgyapot, üveggyapot, PUR/PIR és kender rost. Ez utóbbi természetesen nem egy általánosan használt anyag, azonban bevonták a vizsgálatokba, mivel gyakran környezeti szempontból előnyös anyagként ajánlják. A funkcionális egységenkénti súlykülönbség viszonylag kicsi. A szürke EPS a legkönnyebb 2.4 kg/m^2 , a kenderszál a maga $7,7 \text{ kg/m}^2$ súlyával csak némileg nehezebb, mint a kőzetgyapot (5. Táblázat).

3.2 Taglalás

A felhasznált rögzítő rendszer (dűbel vagy konzol) lényegi befolyást gyakorol a következő gyártási követelményekre nézve: alacsony energia igény, alacsony globális melegedési potenciál, alacsony nyári szmog potenciál és alacsony savas eső potenciál. Konzolok használata ugyanazon R-érték elérésére több szigetelőanyagot igényel és a rögzítő rendszer nagyobb fémgigényét adja (főleg alumíniumét). Ebből kifolyólag a konzolos szigetelés pontszáma alacsonyabb, mint a dűbeles rögzítésű rendszereké. A fenntartható fejlődés értékelésekor a homlokzati hőszigetelésnél alkalmazott rögzítő rendszerek környezetre gyakorolt hatásáról igen gyakran elfelejtkeznek.

A termelés kiértékelésében a **szürke EPS** nagyon jó pontokat kapott alacsony globális felmelegedési és alacsony savas eső potenciálja miatt. Belső energia tartalma a többi anyaggal összehasonlítva közepes eredményt ad. A gyártás során a pentán kibocsátás a nyári szmog potenciál miatt hátrányos eredményhez vezet. Az összehasonlításban az alkalmazhatóságra vonatkozó kedvezőtlen eredményt az anyag merevsége (ami nehezebbé teszi a kivitelezést) és a tűzvédelmi besorolása adja. Az EPS az alacsony potenciális veszélyre maximális pontszámot kapott. Mindegyik vizsgált anyag a PUR/PIR kivételével mentes veszélyes adalékoktól és így 10-es pontszámot kapott. Az EPS maximális pontot kapott az újrahasznosítás során ener-

gia visszanyerésre. A reciklikálás miatt fűtés takarítható meg és így jelentős ennek előnye.

A kőzetgyapot kapta a legjobb pontokat alacsony belső energiatartalmára, alacsony globális felmelegedési- és alacsony nyári szmog potenciáljára. A funkcionális egységre eső anyagsúly több, mint kétszerese a szürke EPS-ének. A gyártási tényezője azonban egy kg anyagra vetítve lényegesen alacsonyabb. Az alacsony savas eső potenciált az olvasztókemence kupolájában kokszt alkalmazásával érik el. Alkalmazhatóságát tekintve a kőzetgyapot előnye az, hogy rugalmas és tűzálló. Másrészt az anyag viszonylag nehéz és óvintézkedésekre van szükség az építkezéseken. Nincsenek viszont benne veszélyes adalékok, így az anyag alacsony potenciális veszélyre maximális pontszámot kapott. Ahogyan az újrahasznosítás energiamegtakarítási pontszáma is mutatja, az újrafelhasználás hasznossága nagyon kicsi.

Az üvegyapot hasonló tulajdonságokkal rendelkezik, mint a kőzetgyapot, viszont az alacsony energia tartalomra, alacsony globális felmelegedésre, és alacsony savas eső potenciálra adott pontok kevésbé jó eredményt adnak a kőzetgyapothoz képest. Ennek oka az EPD (Environmental Product Declaration = környezetre vonatkozó deklarált adatok) mélyebb elemzése nélkül nehezen deríthető ki. Az egyik ismert különbség az, hogy az üveg gyapot gyártásához elektromos energiára van szükség. Felhasználhatóságát tekintve hasonló a kőzetgyapothoz, némileg alacsonyabb térfogatsúly mellett. Energiamegtakarítást tekintve újrahasznosításnál az üveg gyapot kedvezőbb eredményt ad nagyobb energia tartalma miatt. A különbség nem magyarázható meg az EPD számítási adatainak mélyebb ismerete nélkül.

PUR/PIR rendelkezik a legkisebb λ -értékkel a vizsgált anyagok közül. Ennélfogva $5 \text{ m}^2\text{K/W}$ R-érték biztosítható vékony szigetelő réteggel. Ezzel szemben a PUR/PIR térfogatsúlya több, mint kétszerese a szürke EPS-ének és 1 m^2 -re eső tömege csaknem az üveg gyapotéval egyenlő. A kritériumok tekintetében a PUR/PIR nem mutat előnyt ezen a felhasználási területen. A termelésre vonatkozó adatok középszerűek, kivételt az alacsony savas eső potenciál képez. Alkalmazására nézve a melegség és a tűzvédelmi besorolás, valamint a funkcionális egységre eső anyagsúly közepes eredményt adnak. PUR/PIR anyagokban használt tűzgátló adalékok kissé negatív hatást eredményeznek veszélyességre nézve. Ezen kívül a viszonylag alacsony fűtőérték miatt az energia megtakarítás is kevés az újrahasznosítás során.

A kenderszál adja a funkcionális egységre eső legnagyobb térfogatsúlyt a vizsgált anyagok között. Ez hatással van az energia tartalmára is. Egyéb gyártási tényezői szempontjából (alacsony globális felmelegedési- alacsony nyári szmog- és alacsony savas eső potenciál) pontjai a legmagasabbak között vannak. Felhasználási megfelelősége kompromisszumot igényel a súly és a tűzveszélyességi besorolása miatt. A kenderszál nem tartalmaz veszélyes adalékokat és így maximális pontszámot kap potenciális veszélyre nézve. Élettartama végén a kenderszál elégethető. Magas fűtőértéke miatt energia megtakarítási szempontból közvetlenül a szürke EPS után következik.

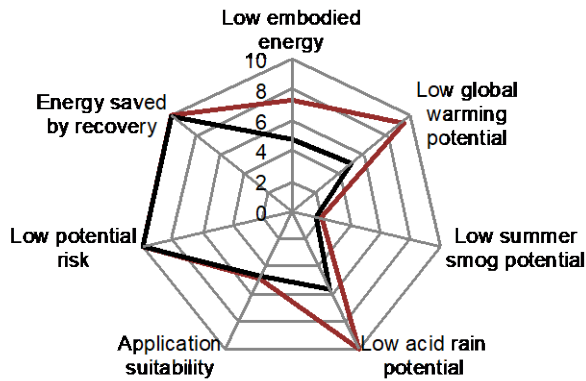
3. Táblázat : Átszellőzött homlokzat, R=5 m²K/W, m²-enkénti szigetelőanyag súly

Szigetelő anyag	szürke EPS	kőzet gyapot	üveg gyapot	PUR/PIR	kenderszál
súly [kg/m²] dűbelek	2.20	6.91	4.84	3.66	7.00
súly [kg/m²] konzol	2.42	7.59	5.31	4.03	7.69

3.3 Átszellőzött homlokzat diagramja, R = 5 m²K/W

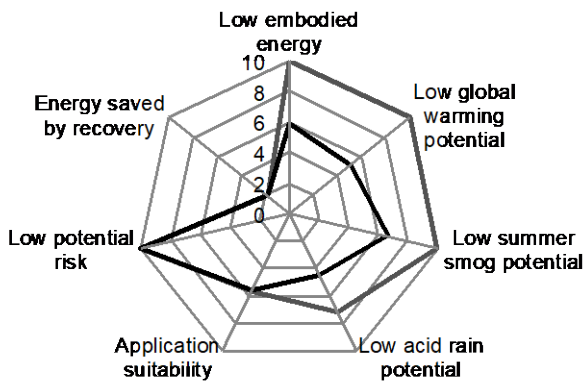
▣ Grey EPS 15 cm (Dowels)

▣ Grey EPS 16 cm (Console)



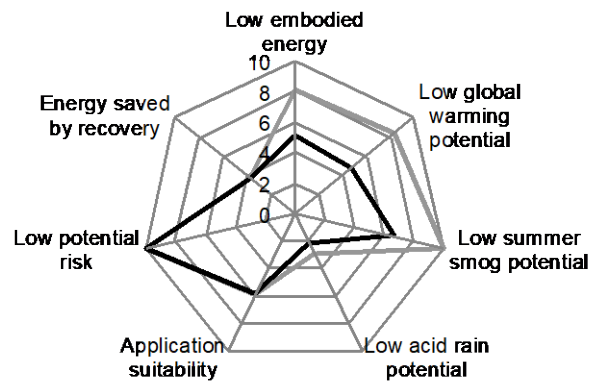
▣ Stone wool 16 cm (Dowels)

▣ Stone wool 18 cm (Console)



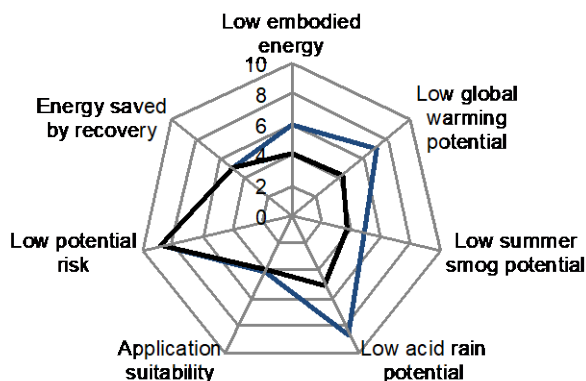
▣ Glass wool 15 cm (Dowels)

▣ Glass wool 16 cm (Console)



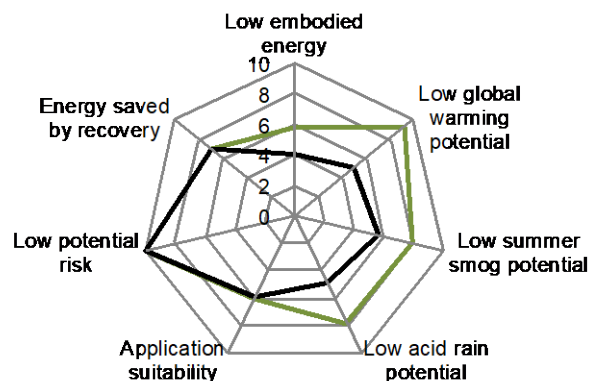
▣ PUR/PIR 12 cm (Dowels)

▣ PUR/PIR 13 cm (Console)



▣ Hemp fibre 19 cm (Dowels)

▣ Hemp fibre 21 cm (Console)



4 THR (Teljes Hőszigetelő Rendszer)

4.1 A felhasználás ismertetése

Az $5 \text{ m}^2\text{K/W}$ R-érték, ill. a $0.2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ U-érték THR esetén az egész rendszerre, így a szigetelésre, a $0,2 \text{ m}$ vastag téglafalra és a vakolatra vonatkozik. A funkcionális egység része a szigetelőanyag, a rögzítéshez szükséges eszközök (műanyag dübelek) és a ragasztóhabarcs. Az összehasonlításba az általánosan használt anyagokat vették be u.mint a fehér és a szürke EPS-t, a kőzetgyapotot és a PUR/PIR-t. Fagyapotot is vizsgáltak, mint megújuló forrásból származó szigetelő anyagot. A funkcionális egységre eső anyagsúlyok lényeges különbséget mutattak. A szürke EPS a legkönnyebb anyag $2.5 \text{ kg}/\text{m}^2$ súllyal, a legnehezebb a fagyapot $25.6 \text{ kg}/\text{m}^2$, ami a szürke EPS értékének 10-szerese (6. Táblázat).

4.2 Taglalás

A fehér EPS nagyon jó értékeket ad alacsony belső energiatartama, alacsony globális felmelegedési- és alacsony savas eső potenciálja miatt. A pontszámok ezeken a tengelyeken kissé a szürke EPS alatt vannak.

A szürke EPS pontjai a legjobbak alacsony energiatartalma és az alacsony savas eső potenciál tengelyeken. A globális felmelegedésre ugyancsak 10-es pontszámot kapott. A fagyapottal való összehasonlításban különleges eset alakult ki amikor felmérték a globális felmelegedésre adott helyzetet. A fagyapot negatív globális felmelegedési potenciállal rendelkezik, így nem lehet egy skálán ábrázolni a többi anyag eredményével. A szürke EPS adata azt mutatja, hogy ez az anyag a fagyapot után a második legjobb eredményt érte el. Az összes további adat azonos vagy hasonló a fehér EPS-éhez. Mindent összevetve a szürke EPS mutatta a legjobb eredményt az összes vizsgált anyag között.

Az eredményt részben a funkcionális egységre eső alacsony súly is magyarázza. A fehér EPS csak kissé nehezebb, mint a szürke ($2.9 \text{ kg}/\text{m}^2$). Mint már korábbi kiértékeléseknél láthattuk, az EPS kedvezőtlen eredményt mutatott alacsony nyári szmog potenciál tekintetében, amit a feldolgozás során a pentán kibocsátás okoz. A rendelkezésre álló adatok alapján a fehér és a szürke EPS mutatja fel a legalacsonyabb anyagköltségeket az összes vizsgált termék között. Az alkalmazhatóságot tekintve a fehér EPS foglalja el a második helyet a szürke EPS mögött. Az EPS előnye a kis súly, az alacsony érzékenység nedvességgel szemben, valamint kivitele-

zésnél nincs szükség különleges óvintézkedésekre. Csak az E tűzvédelmi besorolás miatt vesztett néhány pontot.

Az EPS nem tartalmaz veszélyes adalékanyagokat, így maximális pontot kapott alacsony veszélyességi potenciálra. Továbbá az EPS újrahasznosítható és magas a fűtőértéke. Az újrahasznosítással való energia visszanyerés szempontjából az EPS nagy előnyökkel rendelkezik.

A kőzetgyapot rendelkezik a második legjobb eredménnyel alacsony saját energia-tartalom szempontjából. Más egyéb, gyártási fázisokkal összefüggésben lévő jellemzők (alacsony globális melegedési, alacsony nyári szmog, alacsony savas eső potenciálok tekintetében) azonban pontjai alacsonyak vagy mérsékeltek. Ezt a funkcionális egységre viszonyított nagy súly okozza, ami csaknem nyolcszorosa az EPS-ének. A rendelkezésre álló adatok alapján a kőzetgyapot beszerzési költsége magasabb, mint a vizsgált anyagok közül bármelyiké. Ugyanakkor a felhasználóságra adott pontszám alacsony. Ezt az eredményt az anyag magas súlya, nedvességgel szembeni érzékenysége és a kivitelezéskor megkívánt biztonságtechnikai intézkedések indokolják, amikor a kivitelező munkásokat meg kell védeni az ásványi szálak hatásától. A kőzetgyapot nem tartalmaz veszélyes adalékokat, így 10 pontot kap alacsony veszélyességi potenciálja miatt. A kőzetgyapot újrahasznosítása kevésbé előnyös energetikai szempontból, ahogyan azt már más felhasználási területen is ismertették.

PUR/PIR rendelkezik a legalacsonyabb λ -értékkel a vizsgált anyagok közül. Ezt az előnyt azonban kiegyenlíti az anyag testsűrűsége, ami kb. kétszerese a fehér és szürke EPS-ének. PUR/PIR a legtöbb tengelyen mérsékelt pontokat kapott. A termelési fázisra vonatkozó jellemzőket az EPS-nél nagyobb súly befolyásolja és az, hogy a polimer habok a tömeg egy egységére vonatkoztatva nagyobb hatást gyakorolnak mint a vizsgált további anyagok. PUR/PIR beszerzési költségei összehasonlíthatók a kőzetgyapotéval vagy a fagyapottal. Mérsékelt pontokat kapott felhasználás alkalmasságára vonatkoztatva, a tűzbiztonság és a funkcionális egységre vonatkoztatott súly szempontjából is. Ez az anyag nem kapott maximális pontot alacsony veszélyesség szempontjából sem, aminek oka az alkalmazott lángállósító adalékanyag használata. PUR/PIR fűtőértéke alacsonyabb, mint a többi vizsgált polimeré a magas nitrogén tartalom miatt. Ezért az újrahasznosítási energia visszanyerésre kapott pontszám is mérsékelt.

A fagyapot rendelkezik a legkisebb globális melegedési és nyári szmog potenciállal a vizsgált anyagok között. A fák növekedésük során szén-dioxidot kötnek meg ezért a fagyapot globális melegedési potenciálja negatív értékű. Nincs mód negatív és pozitív értékek ábrázolására a hálódigramon, ezért a fagyapot ugyanazt az értéket kapta, mint a második legjobb anyag, a szürke EPS. Az alacsony energia tartalom és alacsony savas eső potenciál értékei mérsékeltek. A fagyapot beruházási költsége kb. azonos a kőzetgyapotéval vagy a PUR/PIR-rel. Az összehasonlított

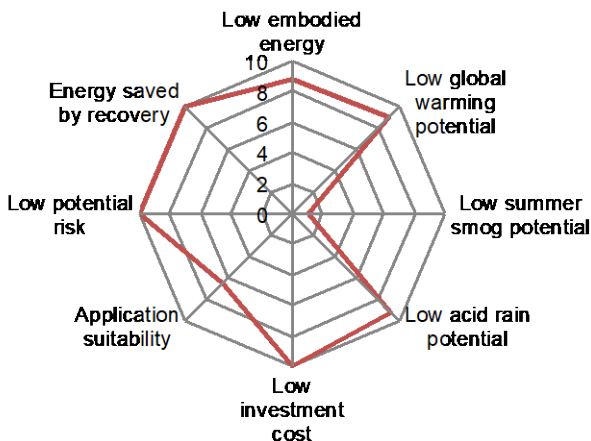
anyagok között legnagyobb súlya, nedvesség érzékenysége és tűzvédelmi E osztályba sorolása miatt ez az anyag alkalmazhatóságára nézve alacsony pontszámot kapott. Mivel az anyag nem tartalmaz veszélyes adalékanyagokat az alacsony veszélypotenciálra nézve maximális pontszámot kapott. A fa jó fűtőanyag. Az előállítás során bevitt energia nagy része visszanyerhető termikus hasznosítással, így a fagyapot majdnem ugyanolyan a pontszámot kapott, mint a fehér vagy szürke EPS.

4. Táblázat : THR, R=5 m²K/W, szigetelés súlya m²-enként

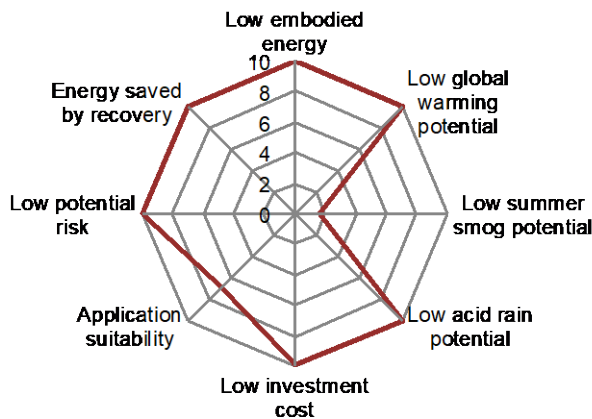
Szigetelőanyag	Fehér EPS	Szürke EPS	Kőzetgyapot	PUR/PIR	Fagyapot
Súly [kg/m ²]	2.85	2.45	19.12	3.87	25.59

4.3 THR hálódiagram, R = 5 m²K/W

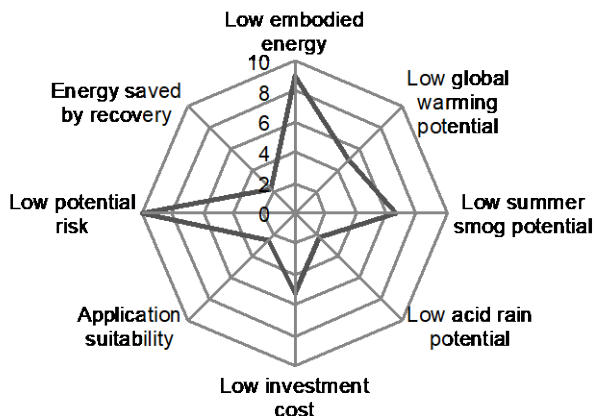
White EPS 18 cm



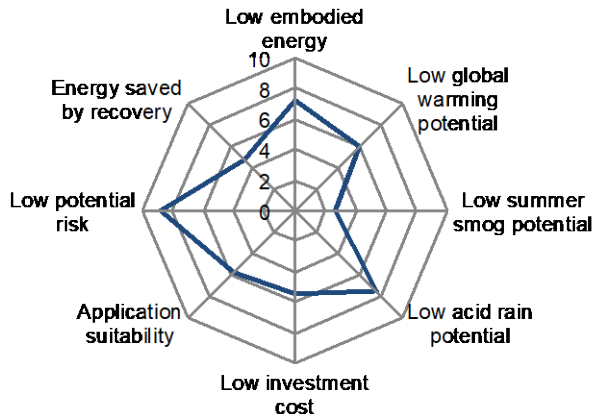
Grey EPS 15 cm



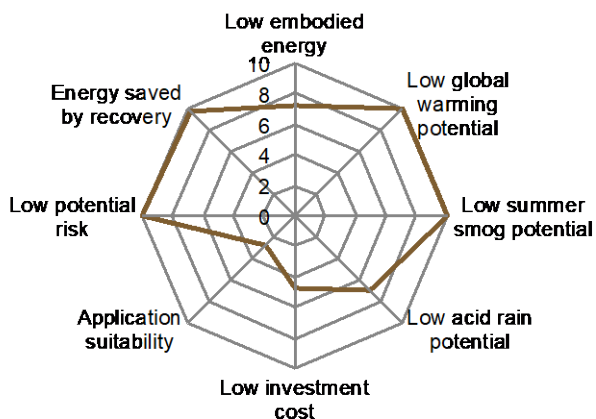
Stone wool 16 cm



PUR/PIR 12 cm



Wood fibre 18 cm



Special scaling for „low global warming potential“, please refer to 4.2

5 Periméter

5.1 Az alkalmazás ismertetése

A meghatározott 5 m²K/W R-érték 0.2 W/(m²K) U-értéknek felel meg. Az érték magába foglalja a szigetelőanyagot, és a 0,2 m vastag betonfalat. A funkcionális egység tartalmazza a meghatározott R-érték eléréséhez szükséges szigetelőanyag mennyiséget és a szigetelés rögzítésére szolgáló bitumen vagy cement alapú ragasztót. Erre a célra csak korlátozott szigetelőanyag választék áll rendelkezésre, mivel csak nedvességnek ellenálló anyagot lehet használni. Ezek közé a nagyobb sűrűségű EPS, XPS, PUR/PIR és üveghab tartoznak. A funkcionális egységre vetített súly a fehér EPS 5 kg/m²–étől az üveghab 22.3 kg/m²-éig terjed (7. Táblázat).

5.2 Taglalás

EPS magas pontszámot kapott a gyártásra vonatkozó négy tényező közül háromra, ezek az alacsony gyártási energia szükséglet, az alacsony globális felmelegedési potenciál és az alacsony savas eső potenciál. Mint a többi alkalmazási területen itt is a legnagyobb a nyári szmog potenciál erre az anyagra nézve. A többi anyaggal összehasonlítva az EPS beszerzési (anyag) költségei a legalacsonyabbak. Az alkalmazhatóság tekintetében csak a funkcionális egységre eső súlyt és a kivitelezésnél a megkívánt biztonságtechnikai intézkedéseket vették figyelembe. A műanyag habok között a súlykülönbség nagyon kicsi és az EPS csaknem maximális pontszámot kapott. Az alacsony veszélypotenciál értéke maximumon van, mivel ez az anyag nem tartalmaz deklaráltan veszélyes összetevőket. Az összes többi, ezen tanulmányban szereplő esetenél az élettartam végi kezelés az újrahasznosítás, azonban EPS-t periméterként alkalmazva feltételezhető, hogy az anyag

degradálódik nedvesség és szennyeződés miatt. Így élettartamának végén a periméter szigeteléshez használt EPS kezelési módja az elégetés. Mivel az EPS magas fűtőértékű, az elégetéssel való energia visszanyerésre kapott pontszáma kilenc fölött van.

XPS kissé jobb tulajdonságú mint az EPS a legtöbb paraméterét tekintve. A jelenleg rendelkezésre álló adatok alapján az XPS ára kb. 20%-kal több, mint az EPS-é, ami az alacsony beszerzési ár tengelyen 8-as pontszámhoz vezetett. XPS-é a legalacsonyabb globális felmelegedési és savas eső potenciál a négy anyag közül. Alkalmazhatóságára nézve kis büntetést kapott, mivel nehezebb, mint a legkönnyebb anyag: a PUR/PIR.

XPS potenciális veszélye nulla, mivel polimer lángálló adalékot tartalmaz. Energia megtakarítása újrahasznosítási szempontból a legnagyobb értéket kapta az EPS-hez képest is, bár az élettartam becsléseknél nagy a bizonytalansági tényező.

PUR/PIR rendelkezik a legkisebb környezetbefolyásoló tényezővel gyártása során. Belső energiataralma, globális felmelegedési és savas eső potenciálja alacsony, nyári szmog potenciálja mérsékelt. PUR/PIR beszerzési költsége megközelítőleg azonos az XPS-sel. PUR/PIR kapta a legmagasabb értéket használhatóság szempontjából. Alacsony λ -értéke és sűrűsége miatt az összehasonlított anyagok között ez a legkisebb súlyú. Hasonlóan az előbbiekhez, a veszélypotenciál pontszáma kilenc körül van, mivel ez az anyag lángállósító adalékként TCPP-t tartalmaz. Ez az anyag az egységes nomenklatúra szerint "lenyelve veszélyes" Ez a H-mondat visszaható hatást gyakorolhat, ha a lánggátló adalék kimosódik a szigetelőanyagból annak élettartama során. Továbbá ez az anyag alacsonyabb fűtőértékkel rendelkezik, mint az EPS és az XPS. Ennek következtében újrahasznosításkor az energia megtakarítás alacsonyabb, mint a többi műanyag habé.

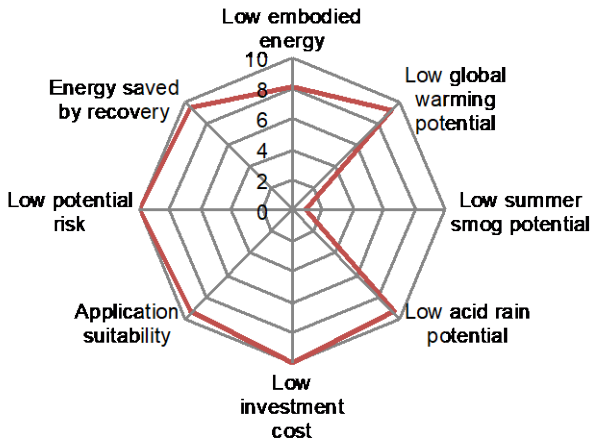
Az üveghab rendelkezik a legkedvezőbb nyári szmog potenciál értékkel. Másrészt az összes többi, termeléssel kapcsolatos értéke a legalacsonyabb, aminek oka a funkcionális egységre eső magas súly. Ezen kívül beszerzési ára is magasabb, mint a többi anyagé. Az anyag súlya befolyásolja az alkalmazhatóságra adható pontszámot is. A legkönnyebb anyagnál ötször nagyobb súly miatt az adható öt pontból csak egyet kaphatott. Az üveghab nem tartalmaz veszélyes összetevőket, így az alacsony potenciális veszélyre maximális pontszámot kapott. Mivel az üveghabban nincs vegyileg kötött primer energia, így a visszanyerésből származó energia megtakarítás is nulla.

5. Táblázat: Periméter, R=5 m²K/W, szigetelési súly m²-enként

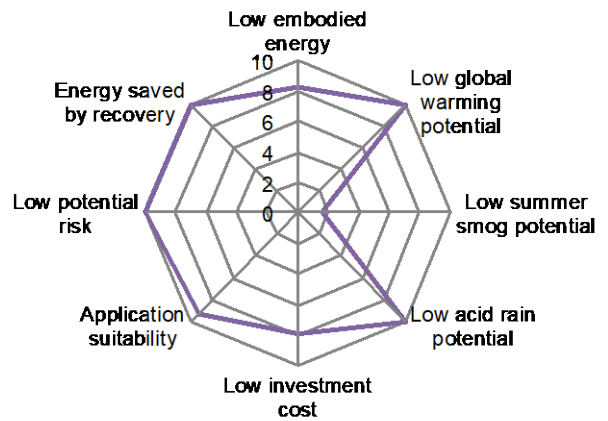
Szigetelő anyag	EPS	XPS	PUR/PIR	Üveghab
súly [kg/m ²]	4.96	5.15	4.40	22.29

5.3 Periméter diagram, R = 5 m²K/W

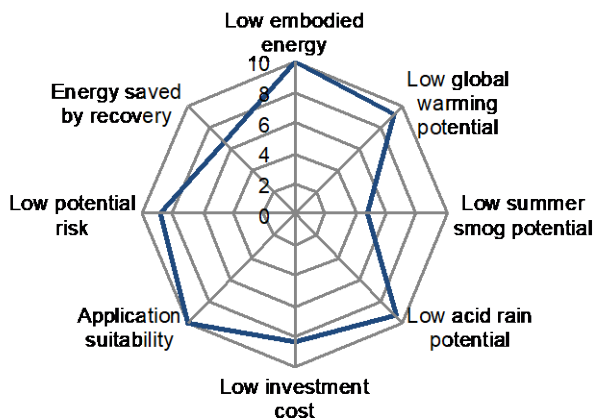
□ EPS 17 cm



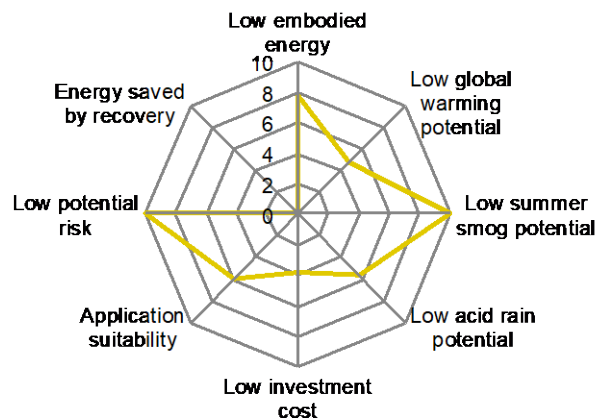
□ XPS 16 cm



□ PUR/PIR 14 cm



□ Foam glass 19 cm



6 Padló, mennyezet vagy alaplemez fölött

6.1 Az alkalmazás ismertetése

Az alkalmazás 0,2m vastag beton lemez fölötti hőszigetelésre vonatkozik.

A DIN 4108-10 szerint ez az alkalmazás DEO. Az R-érték 4 m²K/W ill. az ennek megfelelő 0.25 W/(m²K) U-érték kalkulációja figyelembe veszi a betonból készült lemezt, a szigetelőanyagot és a ragasztót a lemez alatt. A funkcionális egység csak a szigetelőanyagot tartalmazza. Az összehasonlításához használt anyagok: fehér EPS, XPS, kőzetgyapot és fagyapot. Funkcionális egységenként a műanyag habok lényegesen könnyebbek, mint a többi anyag, 3-4 kg/m²in fehér EPS vagy XPS esetén a kőzetgyapot vagy fagyapot 22-23 kg/m² értékeivel szemben (8. Táblázat).

6.2 Taglalás

A fehér EPS kapta a legjobb értékeket alacsony belső energia, kis globális felmelegedési és alacsony savas eső potenciál értékekre. Egyetlen előnytelen tényező a nyári szmog potenciál a kivitelezés folyamatában az anyag pentán kibocsátása miatt. A fagyapotot is bevonták a vizsgálatba, ami különleges esetet jelentett globális felmelegedés szempontjából. EPS gyakorolja a legkisebb befolyást erre atényezőre pozitív értékkel, a fagyapot globális felmelegedésre vonatkozó hatása ennél még job, nulla alatti. Mivel a skálán nem lehetett negative értékeket feltüntetni, így mind az EPS, mind a fagyapot 10-es értéket ért el. Alkalmazhatóságra nézve az EPS tűzbesorolása miatt némi levonást kapott. A fehér EPS nem tartalmaz H-mondatokkal kifejezett káros anyagot , így a potenciális veszélyre nézve 10-es értéket ért el. Padlónál használt EPS újrahasznosítási lehetőséggel rendelkezik. Mivel az anyagban tárolt energia jövőbeni felhasználáshoz teljes egészében megtakarítható, az újrahasznosítási energia megtakarításra is 10-es pontot kapott.

XPS funkcionális egységenként csaknem 1 kg-mal nehezebb, mint az EPS, ami a felhasználási fáziss pontjaiban is visszatükröződik. XPS és az EPS az anyag egy kg-jára vetítve azonos környezeti tényezővel bír. A magasabb súllyal besorozva azonban az XPS minden tényezője nagyobb, mint az EPS-é. Ennek következtében az XPS némileg alacsonyabb pontszámot ért el. Az XPS alkalmazhatóságra vonatkozó pontszáma is alacsonyabb az EPS-nél a nagyobb súly miatt. XPS alacsony potenciális veszélyre maximális pontot kapott, mivel gyártásakor polimer lángálló szert használnak. Élettartama végén az XPS-t elégetik, az energia megtakarítást az anyag égéshője biztosítja

A kőzetgyapot az EPS-hez és a fagyapothoz hasonló belső energia tartalommal rendelkezik. Minden egyéb, feldolgozásra vonatkozó LCIA (életciklus) indikátora alacsony pontszámot kapott nagy súlya miatt. Felhasználásra vonatkozó pontszáma nagyon alacsony. A kőzetgyapot A1-es tűzbesorolása miatt kapott két pontot és egy másik fél pontot arra, hogy a legkönnyebb anyaggal összehasonlítva szigetelési súlya annak csaknem nyolc-szorosa. Ez az anyag nem tartalmaz veszélyes adalékokat így nincs veszélypotenciálja. Mivel az anyag primer energia tartalma nagyon alacsony, újrahasznosítása nagyon kis előnyt biztosít energia megtakarítási szempontból.

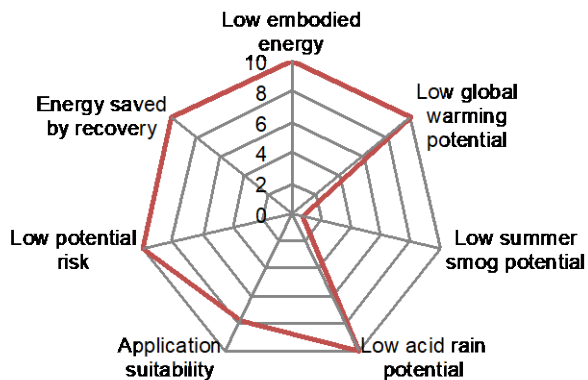
A fagyapotnak gyártása során némileg több energiára van szüksége, mint az EPS-nek: Ebből az alacsony bennfoglalt energia szempontjából kapott pontszáma is némileg kisebb. A fagyapot a globális felmelegedésre negatív hatást gyakorol. Ez azt jelenti, hogy a fa több CO₂-t köt meg, mint amennyi feldolgozása során keletkezik. Mivel ebből a szempontból ez a legjobb anyag, így erre 10 pontot kapott, azonban ugyanezen a skálán a többi anyaggal nem lehet összehasonlítani. A fagyapot nyári szmog potenciálja a vizsgált anyagok közül a legalacsonyabb. Nagy súlya és tűzbesorolása miatt felhasználhatóságára nézve alacsony pontszámmal bír. A fagyapot nem tartalmaz veszélyes összetevőket, így nincs veszélypotenciálja. A fa magas fűtőértéke miatt hő visszanyerése nagyon előnyös. Megmérve a visszanyeréskor felszabaduló energiát az tapasztalható, hogy a fa energia tartalma elégetéskor lényegesen meghaladja a gyártáshoz felhasznált energiát, így az energia visszanyerési érték nagyon magas. Ezért a fagyapot csaknem ugyanazt a pontot kapta energia megtakarításra, mint az újrahasznosított EPS.

6. Táblázat: Padló, R=4 m²K/W, szigetelési súly m²-enként

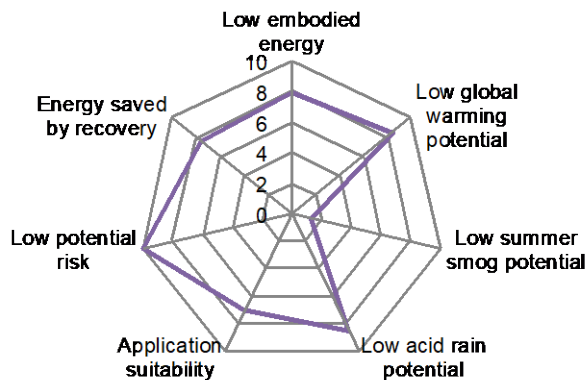
Szigetelő anyag	fehér EPS	kőzetgyapot	XPS	fagyapot
súly [kg/m ²]	2.88	22.72	3.82	22.42

6.3 Padló hálódigram, R = 4 m²K/W

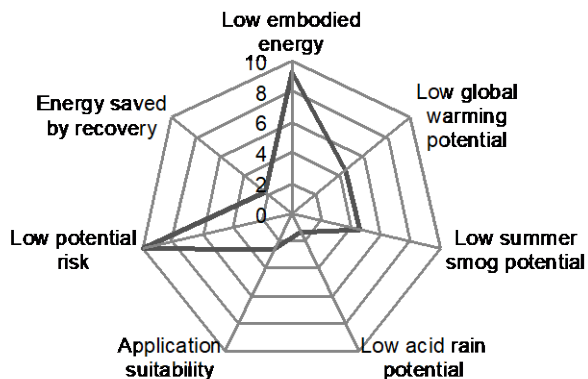
White EPS 13 cm



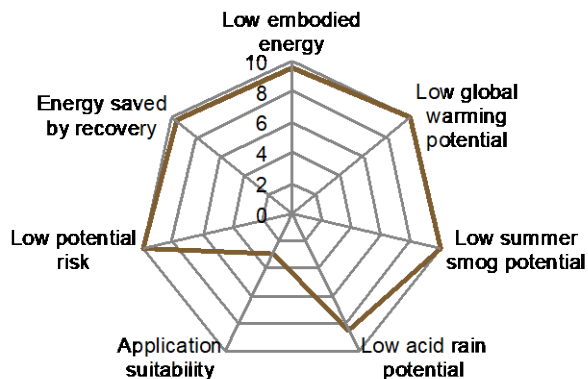
XPS 10 cm



Stone wool 14 cm



Wood fibre 14 cm



Az alacsony “globális felmelegedési potenciál” különleges értékére L. a 6.2 pontot