

Hőszigetelésen keresztül rögzített nyílászárók tönkremenetele

TDK 2024

Baumann Jonathan Lucas, Szántó Dániel

Konzulens: Heincz Dániel Tamás, Épületszerkezetan Tanszék

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Építészmérnöki Kar

Köszönetnyilvánítás

Szeretnénk kifejezni legnagyobb hálánkat és elismerésünket mindazoknak, akik lehetővé tették TDK dolgozatunk létrejöttét.

Elsősorban megköszönjük témavezetőnknek. Heincz Dániel témaajánlása tudása tapasztalata és útmutatása a kezdetektől motivált és előre vitte kísérletünk eredményességét.

Továbbá szeretnénk megköszönni név szerint az összes gyártó vagy forgalmazó cég képviselőinek, akik válaszoltak megkeresésünkre és a tőlük kapott anyagokon kívül tapasztalataikkal tudásukkal, valamint kérdéseikkel előre vittek kísérletünket. Ezúton köszönjük Várhelyi-Nagy Lillának (Fischer Hungária Bt.), Demiral-Gyutai Tímeának (Purpoint Kft.), Falusi Péternek (Hergroup Kft.) és Bozsaky Márknak (Austrotherm Kft.) és Király Gábornak (Panoramah Kft.).

Külön köszönet Szántó Gábornak, Dani apukájának, aki segítette munkánkat az előzetes kísérletekben.

Baumann Jonathan Lucas, Szántó Dániel

Budapest, 2024. november 03.

Tartalomjegyzék

Köszönetnyilvánítás	2
1 Bevezető	5
1.1 Téma Bemutató	5
1.2 Kiindulási helyzet.....	6
1.3 Célok	7
1.4 Legfőbb kutatási kérdések.....	8
1.5 Előfelvetések	8
2 Tudományos környezet	9
2.1 Általános szakirodalom	9
2.2 Kapcsolódó tudományos közlemények	9
2.3 Összegzés	13
3 Kísérlet előkészítése	13
3.1 Előkészítő folyamatok.....	13
3.2 Anyagok kiválasztása	14
3.2.1 Tokrögzítő csavar	14
3.2.2 Falazat	15
3.2.3 Hőszigetelések.....	15
3.3 Gyártók és forgalmazók felkeresése:	16
4 A kísérleti eszköz.....	16
4.1 Kísérleti körülmények	16
4.2 Csomópont meghatározása.....	17
4.3 Erőmérés módszere	17
4.3.1 Csörlő módszer.....	17
4.3.2 Kifárasztásos módszer.....	18
4.3.3 Sablon módszer:	19
4.3.4 Húzás módszer:	19

4.4 Előkészítő kísérlet	20
5 Végleges kísérlet	23
5.1 A végleges eszköz.....	23
5.2 A kísérlet számszerűsíthető adatai	23
5.3 Mérési alapelvek	24
5.4 Végleges mérési módszer	24
5.5 A kísérlet dokumentációja	25
6 Analízis	25
6.1 Mérési adatok összegzése.....	25
6.1.1 Hőszigetelés – Csavar kapcsolat	26
6.1.2 Hőszigetelés – Tok kapcsolat	27
6.1.3 Hőszigetelés – Fal kapcsolat	27
6.1.4 Megfigyelhető tendenciák	28
6.1.5 A kísérletek átfogó értékelése.....	28
6.2 További megfigyelések.....	31
6.2.1. Előre nem várt ható tényezők:.....	31
6.3 Az eredmények összevetése az előfelvetésekkel:.....	32
7 További kutatások szükségessége.....	33
8 Összegzés	34
Bibliográfia.....	35
Kapcsolódó tudományos közlemények:	35
Kapcsolódó tudományos cikk:	36
Szabványok: (A teljesség igénye nélkül)	36
Kísérleti jegyzőkönyv	37

1 Bevezető

1.1 Téma Bemutató

Napjainkban, a technológia fejlődésével az energetikai korszerűsítés egyre fontosabb szerepet tölt be az építészeti tervezés során. Különös figyelmet kapnak az épületek térelhatároló szerkezetei, amelyeknél a hőhídmentes, valamint a megfelelő lég- és párazáró kialakítás célja a szerkezetek hőveszteségének minimalizálása.

A csomópontok különösen kritikusak ebből a szempontból, mivel itt nemcsak eltérő anyagok találkoznak változatos geometriai kialakításban, hanem gyakran eleve különböző alapanyagokból készült szerkezetek csatlakoznak egymáshoz. A nyílászárók ilyen összetett csomópontok, ahol a falnyílás és a beépített szerkezet között jelentős különbségek léphetnek fel a hőszigetelési igények terén. Ennek eredményeképpen a csatlakozási vonalak mentén gyakran elkerülhetetlen a hőveszteség.

Az épület homlokzati megjelenése legalább olyan jelentős szereppel bír, mint az energetikai tervezés. A homlokzat tervezésekor különös figyelmet érdemel a nyílászárók elhelyezkedése, valamint a homlokzati burkolattól való eltérések kérdése, amelyek az épület karakterét és funkcionalitását egyaránt befolyásolják.

A nyílászárók és falak csatlakozásának kialakítása számos megoldást kínál, különféle síkokban és szerkezetekben, de minden esetben szükség van az egyedi megközelítésre. Az épületek egyedisége miatt ugyanis a csatlakozások is változóak; akár egy 10-20 mm-es eltérés is eltérő tervezési megoldásokat igényelhet a homlokzati síkban.

Az egyedi csatlakozási megoldások gyakran hőtechnikai szimulációkat tennének szükségessé, ám ezekre sokszor korlátozott a mérnöki kapacitás és az időkeret. Ha a nyílászáró beépítési síkjában változás történik, -például új árnyékoló választása vagy falrétegrend módosítása miatt-, az összes szimulációt újra kellene készíteni, ami a gyakorlatban nehezen kivitelezhető a kiforrott rendszerek hiánya miatt.

A beépítéshez általában nincsenek kötelező követelmények, inkább csak ajánlások léteznek (például belső hőmérséklet, vonalmenti hőátbocsátási tényező, lég- és vízzárási előírások), amelyek miatt gyakran nehéz eligazodni a tervezés során.

1.2 Kiindulási helyzet

Manapság számos technológia létezik a beépítés módjára és a hőhidak csökkentésére, azonban a legegyszerűbb beépítés nem biztos, hogy feltétlenül mindig a legjobb megoldás lesz. Ma egy ilyen megoldás az, amikor a kávét körbehőszigetelik, jellemzően extrudált polisztirolhab hőszigeteléssel, majd a nyílászárót ezen keresztül rögzítik a falazatba. Azon kívül, hogy a köztudatban tévesen az XPS párazáró szerkezetként van számontartva, a beépítés nem tekinthető feltétlenül annak a beépítési nehézségek és mechanikai tönkremenetelek miatt. A nyílászárók dinamikus terheket vesznek fel, mint például a szél nyomó és szívó hatása, vagy a sorozatos nyitás és csukás, huzat miatti becsapódás. A nyílászárók terheit a beépítési keret, azok rögzítései veszik fel és adják át a falazatnak. Kutatásunk ezt a témakört járja körbe, mely nem egy átfogóan elfogadott megoldás a mérnöki társadalom előtt, kivitelezésben mégis sokan használják.

A nyílászáró beépítés a kivitelési fázis egy meghatározó lépése. A hőszigetelés és párazárás fontossága miatt a csomópontok egyre komplexebbé válnak. A hőhidak csökkentésére több igényszinthez igazított beépítési formula létezik. Ezek ellenére ma, a vonatkozó szabványok és tudományos szakirodalom nem nyújtanak iránymutatást a kávas hőszigeteléssel ellátott ablakok hőszigeteléseinek kiválasztásához. Az anyaggyártók termékeiket általában laboratóriumi körülmények között, a beépítési környezettől függetlenül vizsgálják és minősítik. Az anyagok beépítve, a szabványokban nem definiált külső tényezők hatására eltérő viselkedést mutathatnak.

A hőszigetelt szerkezeti csomópontoknál az eltérő anyagok viselkedése és a komplex geometria olyan kockázatokat hordoz, amelyek hosszú távon komoly szerkezeti problémákhoz vezethetnek. Ezeket a beépítéseket jellemzően nem ellenőrzik és vizsgálják utólag, a hiba gyakran csak a szerkezet beépítése után derül ki mikor nem teljesíti a követelményeket, mint például a szél- és csapadékszórás vagy a megfelelő hőszigetelés.

Az ilyen problémák láncreakció-szerű tönkremenetelt idézhetnek elő, ahol egyetlen hiba más sérülésekhez vezet, és a javítások sokkal költségesebb és összetettebb beavatkozást igényelhetnek. Ennek elkerülésére kulcsfontosságú, hogy legyenek jól kidolgozott és megbízható támpontok, amelyek segítik a tervezőket és kivitelezőket a megfelelő beépítésben. Ha ezek a támpontok szabványosított formában rendelkezésre állnának, az nagymértékben csökkentené a hibalehetőségeket és hosszú távon biztosítaná a szerkezetek tartósságát és megbízhatóságát.

A hőszigetelő anyagok esetében a viszonylag alacsony nyomószilárdság gyakran azt eredményezi, hogy a statikai számítások során figyelmen kívül hagyják őket, mivel a teherhordó anyagokhoz képest elhanyagolhatónak tűnik a teherbírásuk. Ez valóban problémát jelent, különösen az olyan szerkezeti csomópontok esetében, mint a hőszigetelt kávas beépítés. Az ilyen megoldások esetében a statikai és épületszerkezeti megközelítések nem kompatibilisek egymással, ami miatt a csomópont szakszerű vizsgálata és számítása kihívás elé állítja a szakembereket vagy meg sem történik.

A hőszigetelés figyelembevétele ugyan növelhetné a hatékonyságot, de ennek megvalósítása olyan új módszereket igényelne, amelyek részletes kutatást és fejlesztést kívánnak a különféle anyagok tulajdonságainak pontos megértéséhez és azok megfelelő alkalmazásához a statikai számítások során.



Kép 1, 2: Hőszigetelt ablakkáva

1.3 Célok

Számos kutatás vizsgálja a különböző ablakbeépítések hőtani viselkedését, és a hőhidak csökkentésének lehetőségeit. Ezen kutatások rendkívül hasznosak, azonban a mi kísérletünk azt kívánja megválaszolni, hogy milyen hőszigetelő anyagot alkalmazzunk a kávéban, ha az igénybevételeknek hiánytalanul ellenálló, hosszútávon követelményszintet fenttartó ablakbeépítést szeretnénk. Illetve, hogy kísérletünk során feltárjuk, hogy a hőszigeteléseknek milyen paramétereik befolyásolják az ilyen helyzetben ráható igénybevételekkel szembeni mechanikai ellenállóságukat. Célunk, hogy kísérletünk eredményeivel támpontot adjunk a hőszigetelések megfelelő kiválasztásához, mivel a hőszigetelések teljesítményjellemzői csak támpontot adnak a kiválasztásban, a beépítéshez szükséges egyéb tulajdonságokat nem feltétlenül adják közre a gyártók. Ebben a tekintetben kísérletünk hiánypótló.

1.4 Legfőbb kutatási kérdések

- Hőszigetelés és terhelés kapcsolata: A hőszigetelt kávas ablakbeépítés esetén befolyásolják-e az ablak síkjára ható terhelések a hőszigetelés hatékonyságát, vagy a szigetelés a szerkezetben ezektől függetlenül működik?
- Tokrögzítő csavar terhelés alatti viselkedése: Terhelés hatására milyen alakváltozást vagy elmozdulást okozhat a tokrögzítő csavar, és ez milyen károsodásokat idézhet elő a hőszigetelésben és a modell többi elemében? Feltételezhető-e, hogy a szerkezet a vízzárás és légzárás követelményeinek továbbra is megfelel?
- Csomópont tartóssága: A megfelelően megválasztott hőszigetelés és tokrögzítő csavar képes-e csökkenteni a csomópontok tönkremenetelének esélyét?
- Hőszigetelés tulajdonságainak hatása: A hőszigetelés tulajdonságainak változtatása milyen hatással van a szerkezet stabilitására, és mely hőszigetelési tulajdonságok a legfontosabbak e tekintetben?

1.5 Előfelvetések

- A hőszigetelés a tokrögzítő csavar mozgására a hőszigetelés nyomószilárdságától függően tönkremehet.
- A nagyobb nyomószilárdsági értékek adott terhelésnél egyenesen arányosak a tönkremenetellel.
- A hőszigetelés elmozdulhat, a falra merőleges erőhatástól.
- A hőszigetelés rögzítése a falon nem befolyásolja a hőszigetelés tönkremenetelét.
- Hosszabb tokrögzítő csavar csökkenti a csavarnak a deformációját és a hőszigetelés tönkremenetelt.
- Nagyobb nyomószilárdságú hőszigetelésnek jobb a mechanikai ellenállása a csavart erő nyíróerővel, és az ebből adódó nyomatékkal szemben.
- Hőszigetelések a megadott paraméterein és túlmenően rendelkezik olyan tulajdonsággal, ami befolyásolja annak mechanikai ellenállóságát.

2 Tudományos környezet

2.1 Általános szakirodalom

Az általunk vizsgált ablakbeépítési rendszerek kapcsán a rendelkezésre álló szakirodalom korlátozott. A külföldi és magyar publikációk túlnyomó többsége elsősorban hőtechnikai szempontból közelíti meg a kávas ablakbeépítést.

A kávas ablakbeépítési rendszert illetően nincsenek konkrét szabályozások. Bár léteznek gyártói előírások, ezek hozzáférhetősége jelentősen korlátozott, és az egyes előírások gyakran eltérnek egymástól. Tervezési irányelvek hiányában csupán ajánlások állnak rendelkezésre, azonban a specifikus beépítési követelmények korlátozhatják az építészeti sokszínűséget.

A szakirodalom hiányosságát mutatja az is, hogy a tervezési, kivitelezési és gyártási folyamatokban nem alakult ki átfogó, egységes álláspont a témáról.

A bevett ablakbeépítési séma használatához és valós helyzetű vizsgálatához elengedhetetlen az anyagok papíron leírt értékein túlmutató tulajdonságaik ismerete és a követelményeknek legjobban megfelelő anyagok kiválasztása.

2.2 Kapcsolódó tudományos közlemények

A, Lakóépületek utólagos felújításáról, külső hatásokkal szembeni ellenállóságukról szóló publikáció

Kohta Ueno „Residential Exterior Wall Superinsulation Retrofit Details and Analysis” (Lakóépületek külső falainak utólagos felülszigetelésének részletei és elemzése) című tanulmányában az épületek energetikai korszerűsítésének kérdéseit, felmerülő problémáit és lehetséges kockázatait vizsgálja. A kutatás három könnyűszerkezetes épület külső burkolatának megújítását elemezte, ahol a felújítás során a nyílászárókat a hőszigetelés síkjába helyezték át, és a termikus burok rétegrendjét újratervezték. A tanulmány áttekinti a hőszigetelés síkjába rögzített ablakok alkalmazásának előnyeit és hátrányait.

Az eredmények nagy része nem laboratóriumi hanem valós szituációkban történő mérések alapján történtek. A dokumentáció leírja, hogy a hőszigetelés síkjába tett rögzítő dobozba beépített ablak sok teljesítmény értéke jobb egy falsíkba rögzített ablak értékeinél papíron. Termikus burok, légtömörség és vízzárási kérdések alapján vizsgálták a szerkezeteket. De a

kivitelezés sok ponton eltér a tervezéstől, a papíron jobb értékek bonyolult geometriát és kiegészítő profilokat eredményeznek, ezek pedig csak növelik a kivitelezési problémák lehetőségeit. A kísérlet során az vehető észre, hogy nem mindegyik kivitelezés lett eredményes. Főleg a vízzárási gondok mutatkoztak az egyik mintaépületnél.

A publikáció szociális viszonylatból is elemzi a helyzetet említi, hogy a felújítás bár költséges, de ez hosszútávon térül meg, így sokan nem szívesen vágnak bele egy ilyen kivitelezésbe és inkább maradnak a bevett szokásnál.

A kísérlet eredménye azt mutatja, hogy a korszerűsítés hiába jön létre, ha kivitelezési hibákat ejtenek akkor az épület teljesítő képessége akár rosszabb is lehet, mint előtte. Kritikus pontnak nyilvánították a nyílászárókat és a mechanikai átvezetéseket, hol a légtömörség elérése „*a jótól a kissé elkeserítőig változtak*”. A tanulmány kitér arra, hogy az összetett geometriák nehezítik az előbb felsorolt követelmények teljesíthetőségét. Összegzése alátámasztja a TDK dolgozatunk alapvetését miszerint van létjogosultága ennek az ablakbeépítési módszernek a vizsgálatára, ugyanis a piacon jelen van a modell.

B, PVC ablakok eltérő klimatikus viszonyok között való szélteher vizsgálatáról szóló publikáció

Aleksandr Konstantinov és A Verkhovsky „Assessment of the Wind and Temperature Loads Influence on the PVC Windows Deformation” (A szél és a hőmérsékleti terhelések befolyásának értékelése a PVC ablakok deformációjára) című tanulmányukban a PVC alapanyagú ablakoknak a deformációjáról számolnak be különböző hőmérsékleti terhelések mellett. A kutatás során a szél szívó-nyomó hatását vizsgálják különböző hőteher kombinációkkal. Az ablak két kamra között helyezkedik el, hol az egyikben állandó +20 Celsius fok van, míg a másik kamrában -5, -15, -25, -35, -45 Celsius fokot állítanak elő. A szerzők szerint az PVC ablakok tesztelése a szakmában nem teljes értékű, mivel a statikai számolásoknál, a hőmérséklet figyelmen hagyásával tesztelik a gyártók az ablakokat. Ezek mellett pedig szabvány sincs ennek meghatározására, így ezen várakozás még magára vár.

A kísérlet eredménye azt mutatja, hogy más-más hőmérsékleteken jelentős eltérés tapasztalható a deformációkban.

Profil vastagság	Az oszlop hőmérsékleti deformációja, mm, külső levegő hőmérsékleten				
	-5 °C	-15 °C	-25 °C	-35 °C	-45 °C
58	1,07	1,41	2,02	2,54	2,89
70	0,92	1,39	1,67	2,30	2,66
82	1,35	1,93	2,38	3,18	3,67

Táblázat 1: Különböző vastagságú PVC oszlopprofilok hőmérsékleti deformációi

A tanulmány kitér arra, hogy ahhoz, hogy egy PVC ablaknak a deformációjáról beszélhessünk figyelembe kell venni az ablaknak minden egyes elemét, mint például: tok, szárny, üvegezés, vasalat. Jelen TDK kutatásunk keretében nincs lehetőségünk ilyen nagy mértékű kísérleti eszköz felállítására, így a fals adatok elkerülése érdekében nem vesszük figyelembe az ablaktok alakváltozását. Ezt úgy tudjuk, hogy az ablakkeret helyett egy azzal közel azonos méretű zártszelvénnel helyettesítjük az ablakot. Azért fontos, hogy közel ugyanakkora zártszelvényt alkalmazzunk, hogy a felfekvése ugyanakkora legyen és ugyanakkor felületen terhelje a hőszigetelést mintha egy ablaktok lenne beépítve.

C, Fém profilos PVC ablakok lineáris hőhidjainak csökkentéséről szóló tanulmány

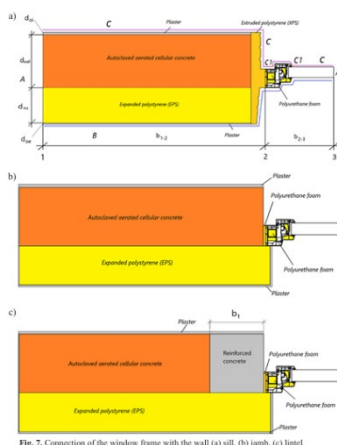
Robert Smusz, Paweł Bałon, Bartłomiej Kielbasa, Edward Rejman, Michał Bembenek, Łukasz Kowalski, „Experimental and Numerical Characterization of Thermal Bridges in Windows” (Hőhidak kísérleti és numerikus jellemzése ablakokban) című tanulmányukban azt a témát fejtik ki, hogy az egyre korszerűbb épületeknél arányosan egyre nagyobb hőhidat jelent mind ablakok szerkezetei, mint beépítésénél létrejövő vonalmenti hőhid. Tesztelésük során vizsgálták a hőszigetelés nélküli és azzal kitöltött ablakkeretek hőhidjait annak mind a 4 beépítési oldalát.

A TDK dolgozatunkkal kapcsolatban fontos megállapításra jutottak mikor meghatározták a bizonyos síkokon mért hőveszteséget. A párkánynál hőszigetelésre ültették az ablakot, míg az oldalakon és az áthidalónál ráfordított hőszigetelést alkalmaztak. Eredményük azt mutatja, hogy a hőszigetelésre ültetett nyílászáró beépítés hőtani szempontból jobb méréseket mutat, mint a ráfordított hőszigetelés.

Table 9. Linear heat transfer coefficient at the joint of the window with the wall

Model	$L_{4-2-3}^{2D} \frac{W}{(mK)}$	$L_{2-3}^{2D} \frac{W}{(mK)}$	$\Psi \frac{W}{(mK)}$
PVC frame with open stiffening profiles without insulation – window sill	0.49519	0.27098	0.0343
PVC frame with insulation and closed stiffening profiles – window sill	0.47661	0.25572	0.0310
PVC frame with open stiffening profiles without insulation – jamb	0.49937	0.27098	0.0385
PVC frame with insulation and closed stiffening profiles – jamb	0.48367	0.25572	0.0381
PVC frame with open stiffening profiles without insulation – lintel	0.52588	0.27098	0.0650
PVC frame with insulation and closed stiffening profiles – lintel	0.50829	0.25572	0.0627

Táblázat 2: PVC ablakok lineáris hőátbocsátása Ablak-Fal geometria függvényében



Kép 3: Ablak-Fal csatlakozási kombinációk

D, Műanyag ablakok könnyűszerkezetes falba és hőszigetelésbe való rögzítéséről szóló tanulmány

U.S Department of Energy - Office of Energy Efficiency and Renewable Energy „Performance of Windows in Walls With Continuous Insulation” (Az ablakok teljesítménye a falakban folyamatos szigeteléssel) című kutatásának célja, hogy számszerűsítse a 2012-es Nemzetközi Energiatakarékosági Kódex (IECC) szigorítását és annak hatásait a házépítésre, költség és energiamegtakarítás szempontjából. Ezen kívül vizsgálja és teszteli az épületekkel szembeni külső hatásokat és meghatároz egy szabványos referenciaházat.

A tanulmányban vizsgálják a nyílászárók falsíkba való beépítését, könnyűszerkezetes fa falaknál. Ezt különböző hőszigetelés és fa keret kialakításban. A teszteket megelőzően minden mintatestet 6 hónapig állni hagytak és vizsgálták a hőszigetelés összenyomódását az ablak súlyának hatására.

„During the six-month vertical displacement period, there was no visible degradation or deformation to the foam products, windows, flashing details, and fasteners used on the specimen.” [4.4 fejezet]

A kutatási eredményeket figyelembe véve úgy döntöttünk, ezt a kísérleti fázist a mi teszt sorozatunkból elhagyhatjuk, mivel az eredményeinket érdemben ez nem fogja befolyásolni.

2.3 Összegzés

Kutatásuk során nem találtak olyan tudományos közleményt, melyek a falazat-hőszigetelés-nyílászáró kapcsolat tönkremenetelét vizsgálnák a mi kísérletünkhöz hasonló módon. A kutatáshoz forrásként felhasznált külföldi publikációk a kivitelezés közben történő, termékek és/vagy anyagok beépítései, meghibásodási módjaira hívják fel a figyelmet.

3 Kísérlet előkészítése

3.1 Előkészítő folyamatok

A kísérlet megkezdése előtt fontos volt meghatároznunk, hogy mit és milyen módszerrel szeretnénk mérni a kávas ablakbeépítés hatékonyságának elemzésekor. Az ablakbeépítés négy fő elemből áll: az ablakból, a tokrögzítő csavarból, a falazatból, amelyhez rögzítjük az ablakot, és a hőszigetelésből, amelyen keresztül a rögzítés történik. Az első megbeszélések során kiderült, hogy idő- és költségkorlátok miatt nem tudjuk az összes paramétert egyszerre vizsgálni, így döntést kellett hoznunk arról, hogy mely paramétereket tekintjük fixnek és melyeket vizsgáljuk részletesebben.

Az első fix elem az ablak volt, mivel az ablakkeret anyagának különböző változatai túl sok kísérletet igényeltek volna. Feltételeztük, hogy az ablakkeret esetleges mozgása nem befolyásolja jelentősen az eredményeket. A falazatot szintén fix elemként kezeltük, mivel a gyártók sem vizsgálják minden csavar kompatibilitását minden falazóelemhez. Úgy véltük, hogy ha a falazóelem forgalomban van, akkor alkalmas az ablak rögzítésére. Kezdeti terveink alapján úgy döntöttünk, hogy falazott falszerkezetbe építjük be az ablakot, mivel az ilyen szerkezetekben jellemzően a hőszigetelés síkjában történik a rögzítés.

A kísérlet során tehát a hőszigetelés és a csavarok különböző kombinációinak tesztelésére összpontosítottunk, ami megvalósítható és reális kísérletnek tűnt. A kísérlet pontos mérési módszerének meghatározása két fontos lépésből állt: a szükséges anyagok kiválasztása és a kísérleti eszköz működési elvének kidolgozása. E két folyamat párhuzamosan zajlott, és kölcsönösen hatással voltak egymásra, ami miatt a kísérlet előkészítése a kutatás egyik

leghosszabb és legfontosabb szakaszává vált. Korábbi becsléseink és tapasztalataink alapján állítottuk össze a végleges anyaglistát és a kísérleti eszközt.

3.2 Anyagok kiválasztása

A kísérlethez különböző hőszigetelési anyagokra volt szükségünk. A kísérlet egyszerűsítése érdekében a falazatot egységesítettük, és a vázkerámia falazatot használtuk, mint alapanyagot. Ez a típus a vizsgált épületek szintjén gyakran alkalmazott standard elem. Beépítési kategóriában egy kis társasház modellt képvisel, amely szélteher szempontjából a 3-as vagy 4-es kategóriába sorolható. A kísérletek során a legrosszabb beépítési helyzetet vettük figyelembe, így a 3-as kategória 15 m-es szabványos értéke alapján dolgoztunk. Ilyen kategóriában az üreges téglafalazatot választottuk, és az ablakot a falsíkban rögzítettük.

3.2.1 Tokrögzítő csavar

A gyártók megkeresése előtt felmértük és kiszámoltuk, hogy mekkora teher érheti a rögzítő elemet a csomópontban. A gyártóval közösen és az előzetes beépítési helyzetünk alapján eldöntöttük, hogy milyen rögzítés lenne megfelelő a kísérletünkhöz. Az igényszintek meghatározása alapján, ami sem túl alacsony, de nem is kimagasló úgy döntöttünk, hogy az ilyen helyzetben használt általános tokrögzítő csavar az ideális a kísérlethez. Felmerült erősebb dübellel rögzítsünk, de ez kivitelezési problémákba ütközik, magasabb igény szintű rögzítési eszközök pedig nem illenek bele a meghatározott kritériumaiba.

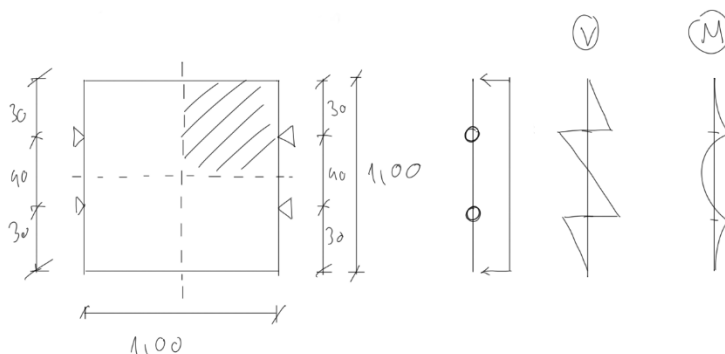
A szabvány és a tényezők szerint a számolás menete.:

A szél torlónyomásának értékei Magyarországon									
$q_p(z)$									
Magasság	Beépítés övezet (beépítési kategória)				Magasság	Beépítés övezet (beépítési kategória)			
	I	II	III	IV		I	II	III	IV
z [m]	$q_p(z)$ [kN/m ²]				z [m]	$q_p(z)$ [kN/m ²]			
1	0,536	0,495	0,446	0,409	26	1,172	1,042	0,826	0,639
2	0,654	0,495	0,446	0,409	28	1,189	1,060	0,845	0,658
3	0,727	0,571	0,446	0,409	30	1,205	1,077	0,863	0,676
4	0,781	0,627	0,446	0,409	33	1,227	1,101	0,888	0,702
5	0,824	0,672	0,446	0,409	36	1,248	1,123	0,911	0,725
6	0,860	0,709	0,484	0,409	40	1,272	1,150	0,940	0,754
7	0,891	0,742	0,516	0,409	45	1,300	1,180	0,972	0,786
8	0,918	0,770	0,545	0,409	50	1,326	1,207	1,001	0,816
9	0,942	0,796	0,571	0,409	55	1,349	1,232	1,028	0,843
10	0,964	0,819	0,595	0,409	60	1,370	1,255	1,052	0,868
11	0,984	0,840	0,617	0,431	65	1,390	1,277	1,075	0,892
12	1,002	0,860	0,637	0,451	70	1,408	1,297	1,096	0,913
13	1,019	0,878	0,655	0,469	75	1,425	1,315	1,117	0,934
14	1,035	0,895	0,673	0,486	80	1,441	1,333	1,135	0,953
15	1,050	0,911	0,689	0,503	90	1,471	1,365	1,170	0,989
16	1,064	0,926	0,705	0,518	100	1,498	1,395	1,202	1,022
17	1,077	0,940	0,720	0,533	110	1,522	1,421	1,230	1,051

Táblázat 3: Magyarországi szabványos szél torlónyomásának értékei

Szélteher [N/m²] x Alaki tényező [-] x Biztonsági tényező [-] x Ablakméret [m²]

0.689 [N/m²] x 1.5 x 1.4 x 1 [m²] = 1.44 kN = 1440 N nyíróerő hat 1 m² ablakfelületre.



Kép 4 Ablak egyszerűsített statikai modellje és erőábrái

A gyártókkal való megbeszélés után a kísérletünkben feltételezett 1 m² ablakot 4 db csavarral rögzítünk. Így 1 db csavarra 360 N erő jut, továbbiakban az egyszerűbb kísérletezés érdekében 36,7 Kg teher.

3.2.2 Falazat

A falazat kiválasztása fő kérdése volt az egész kutatásnak. Ez meghatározza mind a használt tokrögzítő csavart mind a hőszigetelés rögzítésénke kérdését. Gyártókkal való beszélgetéseink során a felmerült kérdésekre és dilemmákra, mind a beépítési szituáció és vevőkör ad választ. A vizsgált modellben a különböző anyagok találkoznak különböző geometriai kialakításban, de a beépített szerkezetek is eleve különböző anyagokból vannak összeállítva. Ami közös bennük, hogy viszonylag azonos igényszintet elégítenek ki. Ezt alapul véve égetett vázkerámiából készült falazatot veszünk a kísérlet során.

3.2.3 Hőszigetelések

A kísérlet egyik legfontosabb kérdése az volt, hogy milyen típusú hőszigetelő anyagokat alkalmazzunk. A fő cél annak meghatározása volt, hogy mely tényezők befolyásolják leginkább az anyagok tönkremenetelét. A kísérlet megkezdése előtt a gyártók termékadatai alapján azt vettük észre, hogy mechanikai ellenállóság szempontjából a nyomószilárdság a legfontosabb, ezért ennek alapján választottuk ki a hőszigetelő anyagokat. Célunk az volt, hogy minél több nyomószilárdságú, jelenleg használatban lévő hőszigetelő anyagot teszteljünk és értékeljünk.

A kísérletben használt anyagok listája az alábbiak:

- XPS 300
- XPS 500
- XPS 700
- EPS 30
- EPS 80
- EPS 80 Grafit
- EPS 200
- Kerdyn Green 1600
- Kerdyn Green 3050
- PIR hab 150
- PIR hab 650
- Purenit 7000
- Compacfoam 1750 *
- Kőzetgyapot **

* Minden felsorolt anyag általánosan 10%-os összenyomódásra van megadva, a compacfoam 5%-ra.

** A kísérletben használt kőzetgyapot szilárdsága nem közölt.

3.3 Gyártók és forgalmazók felkeresése:

Az egyetemi beadott részletrajzok és műszaki leírások esetében a beépítési elvek kiemelt fontosságúak, szemben az anyagok összes tulajdonságának részletezésével és a gyártott típus pontos kiválasztásával. A cégek felkutatása és a forgalmazott anyagok közötti választás kezdetben nehézséget okozott. hőszigetelő anyagok kiválasztását megkönnyítő rendszerezés után összeállítottuk a kísérlethez szükséges anyagok listáját. A kért mennyiséget a kezdeti kísérleti eszköz paramétereire igazítottuk. Végül a legtöbb megkeresett cég támogatta a kísérletünket, és előfordult, hogy a kértnél nagyobb mennyiségű és nem kért anyagokat is kaptunk.

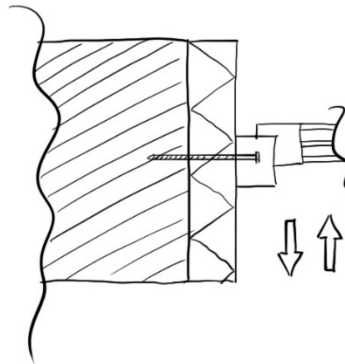
4 A kísérleti eszköz

4.1 Kísérleti körülmények

Laboratóriumi körülmények hiányában saját magunk terveztük és építettük meg a kísérleti eszközt, mellyel a különböző anyagok tönkremenetelét tudjuk mérni. A kísérleti eszköz megfelelő működéséhez figyelembe vettük a különböző anyagok tulajdonságait és a fő vizsgált teher általános irányát.

4.2 Csomópont meghatározása

Az első fontos kitétel a csomóponti felépítés kiválasztása volt. Mivel a kísérletünk a valós beépítési módszert próbálkozni modellezni, így a különböző anyagok beépítése között keletkező tönkremeneteleket nem akarjuk kiküszöbölni azzal, hogy az anyagok mozgását jobban korlátozzuk, mint azt a valós helyzetekben is teszik. Ezzel a kísérleti csomópont geometriája egyszerűsödik, mind amellet, hogy pontosabb eredményeket kapunk vissza a modellből. Az ablaktokról az erőátadás az egész csomópontban minden anyagra hat, azonban az anyagok tönkremenetele mellett azok egymáshoz való viszonyuk változása is komoly veszélyt jelenthet a rendszer teljesítő képességére. A kávahőszigetelés körbefogás elkerülése mellett döntöttünk, hogy annak esetleges leválását a falazatról dokumentálni tudjuk.



Kép 5: Csomópont általános modellje

4.3 Erőmérés módszere

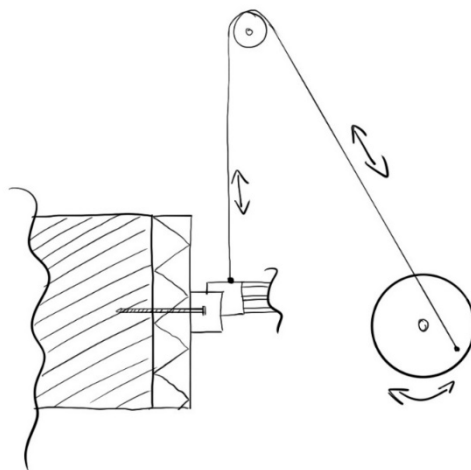
A mérési rendszer módszere folyamatosan és együtt alakult az előző bekezdésekben felsorolt megállapításokkal meghatározásokkal. Többféle megoldási variációt vetettünk fel míg megtaláltuk a legegyszerűbb és leghatékonyabb eszközt.

4.3.1 Csörlő módszer

A rendszer logikája egy csörlő elvén alapul. Ahhoz, hogy a csavart sokszor ugyanakkora erővel tudjuk megterhelni kellett egy geometria és egy módszertan mely állandó és azonos energia befektetéssel tudja imitálni a szél szívó-nyomó hatását.

Az előnye, hogy automatikusan végzi a kísérletet és viszonylag pontos mérést eredményez. Hátránya, hogy az erőátadás bonyolult számításokat eredményez. A szerkezet folyamatos energia vagy emberi erőre hagyatkozik és bonyolult kivitelezést igényel. A számítások

eredményei pontatlanná válhatnak, ha a törékeny szerkezet alakváltozik, vagy ha a huzal megnyúlik a terhelés alatt. Az ilyen elemek acélra történő cseréje javíthatná a pontosságot, viszont jelentősen növelné a kísérlet költségeit.

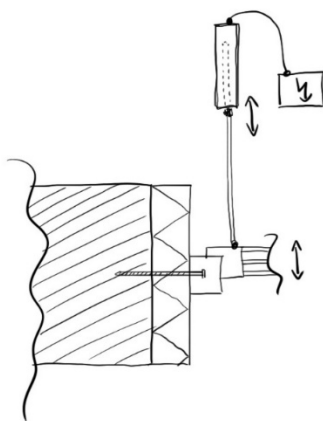


Kép 6: Csomópont csörlőmódszer modellje

4.3.2 Kifárasztásos módszer

Ennek a rendszernek a logikája az általános terméktesztelések elvén alapul. Hányszor kell becsukni egy ajtót, hogy tönkremenjen vagy hányszor kell egy hintaszéket lenyomni, hogy eltörjön. A kísérlet önműködően hajtaná végre magát és nekünk csak a végeredményt kellene vizsgálnunk. Az befektetett erő mindig azonos és jól szimulálná a szél szívó-nyomó hatását.

Előnye, hogy a kísérlet pontos mérést eredményez, bonyolult számolásokat nem igényel a módszer. Hátránya, hogy egy hidraulikus rendszer felállítani és beállítani pontosan, precíz, hosszantartóan zavartalan és biztonságos környezetet igényel. A kísérleti eszköz folyamatos áramellátásra szorul és növeli a kutatás árát.

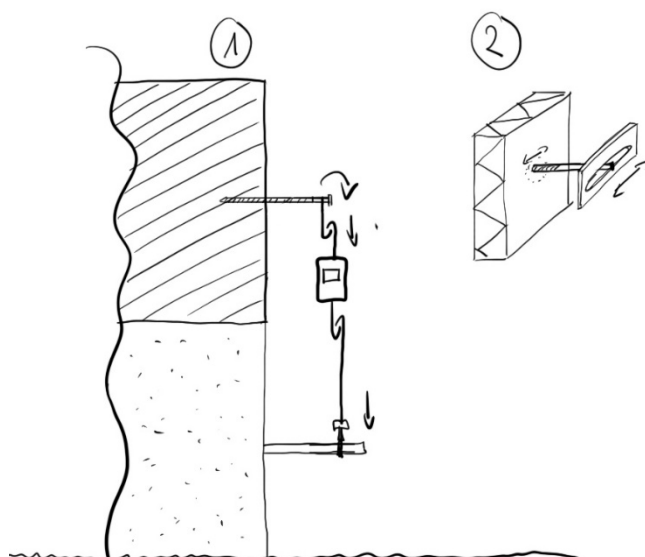


Kép 7: Csomópont kifárasztásos módszer modellje

4.3.3 Sablon módszer:

A sablon módszer lényege, hogy a megvizsgáljuk, hogy a tokrögzítő csavar a kiszámolt teher hatására mekkora alakváltozáson megy keresztül. A vizsgálat eredménye mutatná meg, hogy a csomópontnak mekkora a maximális kimozdulása. Ennek a számnak a tudtában egy sablon tudunk készíteni mely nem enged a csavarnak nagyobb alakváltozást, mint a szabványos rá ható szélteher. Ebben a sablonban való mozgatása hozná létre a hőszigetelések tönkremenetelét.

A kísérlet előnye, hogy könnyen kivitelezhető, anyagtakarékos és olcsó. Hátránya, hogy az előkészítő kísérlet eredménye azt igazolja, hogy ez a módszer az erőfelvevő pont és a falazat közti anyagok elhanyagolásával a pontosság rovására menne. Az alakváltozás mértéke olyan nagy, hogy a hőszigetelés tönkremenetele nem lenne érdemben vizsgálható.



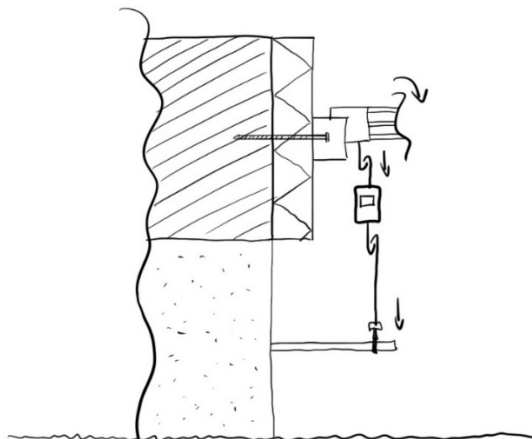
Kép 8: Csomópont Sablon módszer modellje

4.3.4 Húzás módszer:

A módszer lényege, hogy feltételezzük, hogy a csomópontnak el kell viselni a szabványos legnagyobb terhelést és ebben a tartományban épnek kell maradnia a beépített termékeknek és azok kapcsolatának. Ha erre az erőre végleges tönkremenetel lép fel akkor a csomóponti kialakítás nem ajánlott. A tesztelés során a terhet fokozatosan növekedően tesszük rá a tokra mellyel egy irányú alakváltozást vizsgálunk. A feszítő eszköz és a tok között erőmérő eszközt alkalmazunk mellyel 0,1 Kg pontossággal tudjuk mérni a terhet.

A kísérlet előnye, hogy viszonylag pontos mérést eredményez, egyszerű kivitelezés és olcsó megvalósítása. Fizikai számolásokat nem kell végezni a megvalósíthatóság érdekében.

Hátránya, hogy ez egy lassabb folyamat, amit kézzel kell szabályozni, úgy, hogy megfelelő terhelést adjunk a szerkezetnek. Ez egy olyan kompromisszum, amit elfogadhatónak tartottunk, és ezért a végleges kísérletben ennek a módszernek a továbbfejlesztett változatát alkalmaztuk.



Kép 9: Csomópont Húzás módszer modellje

4.4 Előkészítő kísérlet

Felvetésünk szerint az ablak beépítési rendszert, amit tesztelünk azt egy alacsony költségvetésű, főleg családi házas kivitelezéseknél használják. Ilyen építkezés esetében a falazat anyaga vázkerámia vagy pórusbeton. Az az ablakot érő egyik fő igénybevétel a szélteher szívó-nyomó hatása. Ez Magyarországon időszakosan szabvány érték szerint biztonsági és alaki tényezővel korrigálva a m²-ként 146,8 Kg is lehet.

Az előkészítő kísérlet célja, hogy a felmérjük, hogy mekkora a tokrögzítőcsavar alakváltozása a mértékadó teherre. Ebben a részben a hőszigetelés hatását figyelmen kívül hagyva néztük, hogy a csavar 36,7 Kg-os terhelésre mekkora maximális elmozdulásra képes.

A teszt során kettő különböző méretű tokrögzítő csavart használtunk, Fischer FFS 7.5 152 és FFS 7.5 252. A gyártói javaslat szerint a csavarok rögzítési mélysége 60mm (de fontos, hogy ezek a csavarok nincsenek nyomatékra tesztelve). A csavarok kiválasztása a nyírési teherbírás alapján történt

TERHELÉSEK**Ablakkeretsavar FFSZ és FFS**

Egy dübelre javasolt legnagyobb terhelés¹⁾ több ponton történő rögzítés esetén nem teherhordó szerkezeteknél betonban C20/25.

Típus	Tényleges rögzítési mélység h_{ef} [mm]	Repedéses vagy repedésmentes beton			
		Javasolt húzóerő N_{rec} [kN]	Javasolt nyíróerő V_{rec} [kN]	Min. tengelytávolság s_{min} [mm]	Min. peremtávolság c_{min} [mm]
FFS 7,5	20	0,9	0,4	60	30
FFSZ 7,5	20	0,9	0,4	60	30
FFS 7,5	40	1,9	0,6	120	30
FFSZ 7,5	40	1,9	0,6	120	30

¹⁾ A szükséges biztonsági tényezők figyelembevételével.

Táblázat 4: Fischer ablakkeret csavarok teherbírasi táblázata

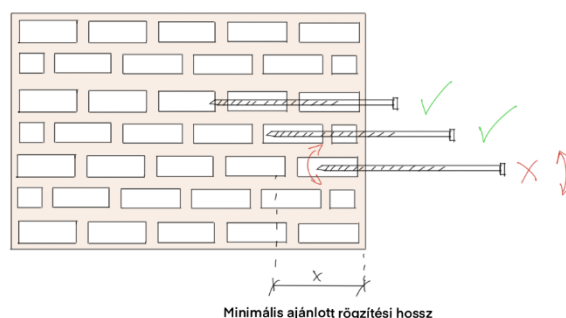
A gyártói javaslat szerint FFS 7.5 152-es csavar elég hosszú lett volna, de mi tesztelni akartuk, hogy a rögzítés teherbírabb lesz-e, ha növeljük a rögzítési mélységet.

Mindkét csavar közel azonos végleges alakváltozást szenvedett a terhelés hatására. Azonban az FFS 7.5 152 csavar esetében a vázkerámia falazóelem nem bírta a terhet és megtört. Ez a törés feltételezésünk szerint függhet attól, hogy a rövid csavar koncentráltabban helyen adja át a terhet a téglának míg a hosszabb csavarnál több horony veszi ezt fel így jobban eloszlik a terhelés. Ezek mellett persze a furat helyének véletlenszerűsége is szerepet játszik a tönkremenetelben.



Kép 10, 11, 12, 13: Előkészítő kísérlet eredményeit ábrázoló képek:

Manapság is előfordul, hogy olyan üreges téglát használnak a kivitelezés során, aminek viszonylag ritkás a belső bordaszerkezete. Ilyen esetekben a gyártó által ajánlott rögzítési hosszt érdemes összevetni a vázkerámia belső felépítésével. Abban az esetben, ha a csavar nem támaszkodik fel legalább 2 helyen akkor önmagában nem stabil a kapcsolat. Ennek elkerülése érdekében érdemes hosszabb rögzítési mélységet választani, mint az adott falazó elemnek a legkisebb bordaköze.



Kép 14: Bordaváz – rögzítési hossz összefüggése

Az eredmények nem mutattak eltérést a gyártó által javasolt 6 mm-es előfurat és az általunk vizsgált 5,5 mm-es előfurat között. Ezt azért vizsgáltuk, mert bár a gyártói előírás 6 mm-es előfúrast ír elő, a méréseink alapján a csavar átmérője mindössze 5,5 mm. Feltételeztük, hogy a kisebb furat használata javíthatja a csavar és a falazóblokk közötti kapcsolatot. Azonban ez a feltételezés helytelennek bizonyult, mivel a kisebb átmérőjű előfurat nem befolyásolta az eredményt.

Csavartípus	Kísérlet száma	Csavar alakváltozása	Falazóelem tönkremenetele
FFS 152	1.	51 mm	Tönkrement (belső horony)
	2.	58 mm	-
	3.	43 mm	-
	4.	51 mm	-
	5.	-	Tönkrement (Kitört)
FFS 252	1.	55 mm	-
	2.	51 mm	-
	3.	50 mm	-
	4.	52 mm	-
	5.	53 mm	-

Táblázat 5: Fischer csavartípusok és alakváltozásuk

Az előzetes tesztelést követően, a mérések és következtetések alapján az FFS 252-es csavart választottuk a végső teszthez. Ennek oka, hogy egyik esetben sem történt falazóelem tönkremenetel, amikor ezt a csavart használtuk, és az eredmények szórása jelentősen kisebb volt.

5 Végleges kísérlet

5.1 A végleges eszköz

A végleges kísérleti eszköz esetében a 4.3.4 es pontban kifejtett eszközt választottuk. Ez az eszköz rendelkezik a többi eszköz egyes előnyeivel, és a pontban tett feltételezésünk is könnyíti a tesztelést. Időben a módszer a hosszú egyenletes terheléstől az egyszeri, de pontosan kontrollálható és közel egyenletes adagolható teher felé halad. Mivel ez a módszer felhasználható kettő módszer esetében így, a kísérlet pontosságát jobban biztosító elvet alkalmaztuk az eszköz megvalósításánál.



Kép 15, 16, 17: Kísérleti eszköz

5.2 A kísérlet számszerűsíthető adatai

Hőszigetelő tábla levágott mérete	50x100x100mm
Hőszigetelő tábla vastagsága	50mm
Tokrögzítő csavar hossza	252mm
Tokrögzítő csavar rögzítési hossza	152-162 mm
„Ablatok” zártszelvény mérete	80x40mm
„Ablatok” zártszelvény súlya	250 g
Erőmérő súlya	355 g

Táblázat 6: Kísérlet számszerűsíthető adatai

5.3 Mérési alapelvek

A tesztelés közben felmerült anyagbeli sajátosságok komoly fejtörést okoztak. Ahhoz, hogy minél pontosabb mérési eredményeket kapjunk mérőeszköz további módosítása nélkül a következő megállapításokat és mérési alapelveket határoztuk meg:

- Mivel nincs teljes falazatunk megépítve így a vázkerámiának a szélső hornyain túl nem rögzítünk, ez a falazóblokk tönkremeneteléhez vezethet és nem illik a felállított modellhez. Így a kísérletnek nem valós eredményét próbáljuk elkerülni.
- A 4.3.4 pontban megfogalmazott állításunk alapján a kísérlet során kvázi statikus, azaz lassú terhelést mérünk, dinamikusát nem.
- Azonos méretű és vastagságú hőszigetelő táblákat használunk, mivel a tönkremenetelt vizsgáljuk így az anyagok hőszigetelő képességével való vastagsági korrigálás, egymással nehezen összeegyeztethető adatokat mutatna.
- Azonos nagyságúan és azonos időközönként terheljük mindegyik próbatestet. Végleges tönkremenetelig vagy a szabványos maximális teher eléréséig.

5.4 Végleges mérési módszer

A végső kísérlet során a terhelés egy spanifer segítségével történt. Az erő mérése egy húzást mérő erőmérővel történt melynek 0.1Kg-os a pontossága. A két rendszerrel kontrolált és folyamatos, egyenletes növekvő terhelésnek tudtuk kitenni a szerkezetet. Így a terhelés kvázi statikusnak tekinthető. A terhelés során az ablaktokként használt zártszelvény súlyát nem néztük, ugyanis az az erőmérő és húzás csatlakozásán kívül esett. Ezzel a súllyal korrigáltuk az értékeket.

A kísérlet során, minden egyes hőszigetelésre mind a három kísérlet pontosan ugyanúgy történt, a méretlépcsőt a terhelési módszer miatt mindig 0kg-ról indult. A három kísérlet eredménye kizárja az egyszer-egyszer előfordulható, a valóságtól nagyban eltérő hibás eredményeket.

Minden kísérletnél a hőszigetelést és a csavart újra cseréltük, illetve minden mintát azonos pontban rögzítettünk és teszteltünk. Az összes mintadarab ugyanazzal a rögzítési módszerrel van felépítve. A fal-hőszigetelés kapcsolatot PUR hab biztosítja melynél minden esetben betartottuk a ragasztás előkészítéséhez tartozó lépéseket és a termékhez tartozó előírt kötési időt.

Vizsgáltuk a szerkezetet a hőszigetelések nélkül is. A tokrögzítő csavarok megfolyási pontját mertük és hogy bizonyos terhek és elmozdulás kombinációjánál mekkora végleges

alakváltozást szenvednek a rögzítő elemek. Ezekre a mérésekre azért volt szükségünk, hogy referencia értéket tudjunk felállítani a hőszigetelések teljesítő képességéhez és összehasonlítást végezhessünk azokkal.

A kísérletet őszi időjárásban, napos időben, 10-17 óra között folytattuk le. A kísérlet eredményét alacsony hőmozgás észrevételeink szerint nem befolyásolta.

5.5 A kísérlet dokumentációja

A végleges kísérlet előtti tesztelésünk során gyűjtött tapasztalataink alapján állítottuk fel a végleges jegyzőkönyvet. Tudtuk, hogy minden anyagot háromszor fogunk tesztelni és hogy minden teszt során négy különböző teher alatt vizsgáljuk a mintatestet. A teszt során felmerülő egyéb észrevételeket is fontosnak tartjuk, így annak is külön helyet tartottunk fent.

A jegyzőkönyv kitöltésének módját egy dokumentációs példán szemléltetjük.:

Hőszigetelés	XPS	Terhek	9 kg	18 kg	27 kg	36 kg
		Elmozdulás 1. mérés [mm]	1	4	6	8
Nyomószilárdság [N/mm ²]	300	Elmozdulás 2. mérés [mm]	1	2	5	7
		Elmozdulás 3. mérés [mm]	2	4	6	7
Megjegyzés:	A fűrészárát önmagában nem képes stabilan tartani a hőszigetelés, ha a téglának a kialakítása miatt a fűrészár megcsúszik, az tönkremenetelhez vezet a hőszigetelésben A tok benyomódás hatására végleges alakváltozást szenved a hőszigetelés A csavar körül látványos anyaggyűrődés vehető észre					

Táblázat 7: Dokumentációs sablon

6 Analízis

6.1 Mérési adatok összegzése

A vizsgálat során 14 különböző hőszigetelő anyagot elemeztünk, minden egyes típust három alkalommal mértünk. Az összes mérés során azonos objektivitással kezeltük a hőszigeteléseket és az egységeség biztosítása érdekében minden hőszigetelést ugyanazzal a terheléssel vizsgáltuk. A könnyebb interpretálhatóság érdekében az eredményeket grafikus formában ábrázoltuk, ahol az egyik tengely a nyíróerő nagyságát, a másik pedig a szerkezet elmozdulását mutatja.

A hőszigetelő táblákat a 10%-os összenyomódásnál mért nyomószilárdsági értékük alapján növekvő sorrendbe rendeztük. Kísérleti eredményeink alapján minden vizsgált anyag eltérően reagált a különböző terhelésekre, azonban nagyjából 49 N (megközelítőleg 5 kg) terhelés növekedésenként lehetett jól megkülönböztethető értékeket leolvasni.

A mérési adatokat ábrázoló pontdiagramot automatikusan generált trendvonalakkal egészítettük ki, melyek a megfigyelt tendenciák bemutatását segítik. Az egyes hőszigetelésekhez tartozó mérési eredményeket külön diagramokon jelenítettük meg.

A hőszigetelések mellett kisebb volumenben vizsgáltuk. A mérési eredmények alapján a tokrögzítő csavarok 7-8mm elmozdulás mellett kezdek megfolyni, melyet hőszigetelés rögzítő ereje nélkül 12-14 kg teher hatására mozdult el. Ezeket az adatokat referencia értéknek véve, összevethetőek a hőszigetelési eredményekkel melyből látszik, hogy az egyes hőszigetelések teherbírása nem elhanyagolható. Az adatokat táblázatban összegeztük.



Kép 18: Kísérlethez használt anyagok

6.1.1 Hőszigetelés – Csavar kapcsolat

A mérések során minden alkalommal megfigyeltük és dokumentáltuk a hőszigetelés és a csavar kapcsolatát. Ez a szerkezet egyik kritikus pontja, ahol a csavarra ható nyíróerő áttevődik a hőszigetelésre, és ennek következtében deformációk jelentkezhetnek.

Általánosságban igaz, hogy minél nagyobb egy hőszigetelő anyag nyomószilárdsága, annál jobban ellenáll az erőknek. Ennek egyik oka, hogy a csavar oldalirányban nyomja a megfelelően rögzített hőszigetelést, míg a keretszerkezet felülről terheli. Bár ezek az erők különböző irányokban hatnak, a hőszigetelésre mindkettő nyomóerőként hat. Az eredmények azonban azt mutatják, hogy a nyomószilárdság önmagában nem elegendő: a rugalmasabb anyagok gyakran nagyobb elmozdulás árán, de kevésbé sérülnek, mint a merevebbek. Fontos figyelembe venni,

hogy hosszú távon az elmozdulások nem előnyösek sem a csavarnak, sem az ablaknak, sem a hőszigetelésnek; így a látszólagos sérülésmentesség nem feltétlenül jelent optimális teljesítményt.

Továbbá jól látható, hogy a nagy nyomószilárdságú hőszigetelő anyagok merevsége megakadályozza a csavar oldalirányú mozgását. Ha a csavar mozgása következtében a hőszigetelő rétegben lévő furat tágulni kezd, annak több negatív következménye lehet. A rögzítés körül lévő anyagok elmozdulhatnak és sérülhetnek. A hőszigetelés mozgása a vakolat, glett és a légzárás szerkezeteit teheti tönkre. Abban az esetben, ha ezek sérülnek és a hőszigetelésben hiány alakul ki, akkor filtráció jöhet létre. Ez a jelenség energetikailag rontja a beépítést és páralecsapódás is jöhet létre, mely további károsodáshoz vezethet.

- átlagosan felülteljesítő anyag: Purenit
- átlagon alultelejesítő anyag: XPS 300
- minimális elmozdulás eredmény: Purenit, Kerdyn Green 180
- maximális elmozdulási eredmény: XPS 300

6.1.2 Hőszigetelés – Tok kapcsolat

A valóságban a hőszigetelés és a tok kapcsolatát általában purhab biztosítaná, azonban a kísérlet jellegéből adódóan erre most nem volt lehetőség. A teszt során a "tok" teljes felületével terhelte a hőszigetelő anyagot. Amikor megfelelő mértékű nyíróerőt alkalmaztunk a tokra, a csavar elhajlási szándéka megjelent, ezáltal a tokot a falazathoz próbálta közelíteni – amit azonban a tok és a falazat közötti hőszigetelő anyag megakadályozott.

A terhelések hatására a hőszigetelő anyagok többsége hasonló reakciókat mutatott: az ablaktok egyiküket sem deformálta tartósan, kivéve a gyengébb XPS anyagokat. Az alacsonyabb szilárdságú hőszigeteléseken a tokrögzítő csavar meghúzása során kisebb mértékű benyomódás keletkezett, de ez a tok eltávolítása után már szabad szemmel nem volt látható.

6.1.3 Hőszigetelés – Fal kapcsolat

Minden esetben purhabbal rögzítettük a hőszigetelő anyagokat a falhoz, mivel a valós építési gyakorlatban is ez a módszer alkalmazott. A purhab rögzítésének célja, hogy stabilizálja a hőszigetelést, és kapcsolatot biztosítson a hőszigetelés és a falazat között. Méréseink alapján egyik purhabbal rögzített hőszigetelő elem sem mozdult el, így arra a következtetésre jutottunk, hogy ez a rögzítési mód megfelelő.

6.1.4 Megfigyelhető tendenciák

A mérésekből megfigyelhető, hogy az ablaktok elmozdulásai nagyjából egyenesen arányosak a hőszigetelő anyag nyomószilárdságával. Érdekes módon a viszonylag alacsony nyomószilárdságú EPS hőszigetelők elmozdulása sem volt kiemelkedően nagy, és mindig visszatértek eredeti állapotukba, amit ezek relatíve magas rugalmasságával magyarázunk.

Azt is megfigyeltük, hogy az alacsony nyomószilárdságú hőszigetelő anyagok nem képesek megfelelően megtartani a fűrészarat fűrés közben, így amennyiben nem körültekintően történik a téglá előfűrése, jelentősebb károkat okozhatunk a hőszigetelésben, mint amit a szél okozna.

A téglá falazatba történő rögzítés során a tokrögzítő csavarok terhelés hatására tapasztalható rögzítőképesség-vesztése aggodalomra adhat okot. Többszöri terhelés és rögzítés után előfordult, hogy a csavarokat alacsony, kézi húzóerővel is ki lehetett húzni a falból, ami hosszú távon nagyobb szerkezeti deformációhoz vezethet. Ezért javasolt egy átfogó vizsgálat elvégzése (lásd: 7. fejezet – További kutatási javaslatok), amelyben részletesen megvizsgálhatók a rögzítési módok és azok hosszú távú stabilitása, különös tekintettel a csavarok teherbírásának és rögzítőképességének megőrzésére téglá falazatban.

A méréseink során tapasztalható elmozdulások mellett, az anyagok reakciója sem nélkülözhetetlen faktor. Észrevételeink során azt dokumentáltuk, hogy:

- EPS gyöngyök hajlamosak leválni az anyagról így a rögzítési pontban fog az anyagmennyiség
- XPS gyűrődésre, vagyis anyagfelhalmozódásra hajlamos összenyomódásra mely idővel kis mértékben növelheti az ellenállóságát az anyagnak
- A PIR hab gyártása során a habot két fólia közé fűjják, ami nem teherhordó, de lényegesen segíti a terhek elosztását. Kísérletünkben azonban kasírozás nélkül alkalmaztuk a PIR habot, ami hatással lehetett a hab nyomószilárdságára. Ez lehet az egyik oka annak, hogy a PIR hab gyengébb teljesítményt mutatott, mint azt előzetesen vártuk. A hab cellaszerkezete rendkívül levegős, így terhelés hatására az anyagfelhalmozódás minimális, és a keletkező „anyaghiány” stabilitási problémákhoz vezethet.

6.1.5 A kísérletek átfogó értékelése

A kísérlet során alkalmazott erőmérő a saját súlya miatt egyik esetben sem mozdult el az ablaktok. A mért értékek egyik esetben sem haladták meg a 36 kg-ot, ez a terhelési határ

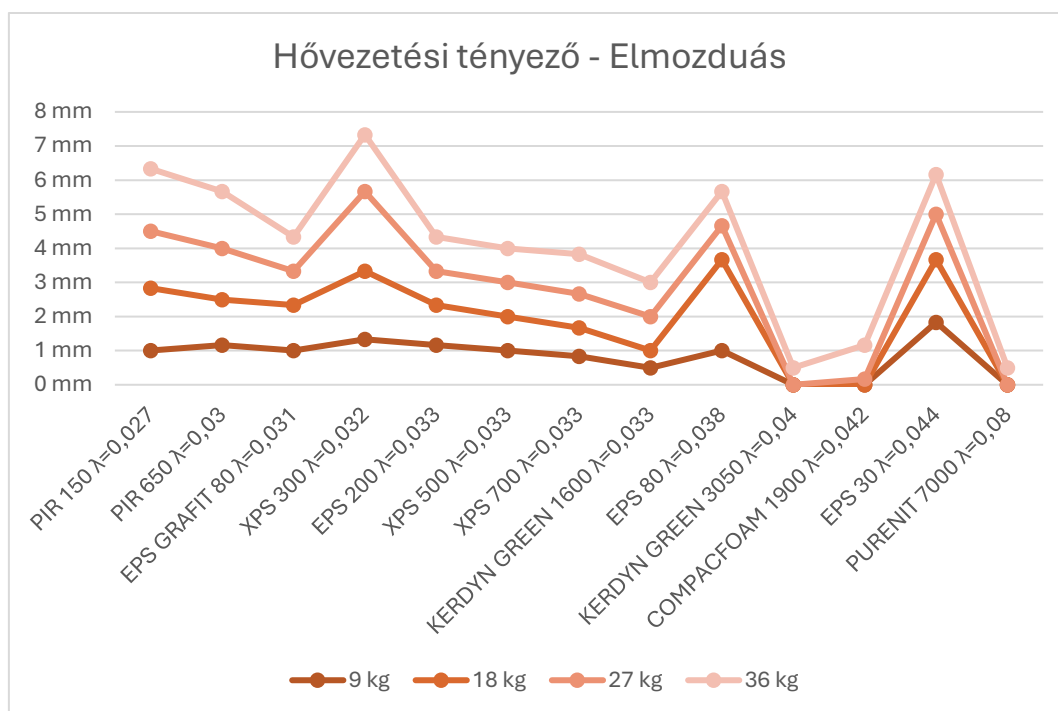
megfelel a szabványos számítási módszerek alapján várható maximális terhelésnek, így ennél nagyobb súly tesztelése nem lett volna életszerű.

Ha egy teljes ablakot építettünk volna be a szerkezetbe, az eltérő eredményt adhatott volna, de ez pénzügyi és technikai okokból nem volt kivitelezhető. A diagramok alapján általános tendenciák vonhatók le: a nyomószilárdság és az elmozdulás kapcsolatát vizsgáló ábrán egyértelműen látszik, hogy minél nagyobb egy anyag nyomószilárdsága, annál kisebb az elmozdulása. Azonban ezeket a tendenciákat csak nagyságrendileg lehet felhasználni a különböző anyagok összehasonlításánál. Ki lehet jelteni, hogy azonos anyagnál a nagyobb nyomószilárdság, jobb mechanikai ellenállóságot biztosít, de különböző szerkezeti anyagok egymástól eltérően/eltérő mértékű elmozdulással reagálnak ugyanarra a teherre. Tehát a fontos észrevétel, amiről beszélhetünk ebben az esetben az a nyomószilárdság-anyagszerkezet összefüggése.

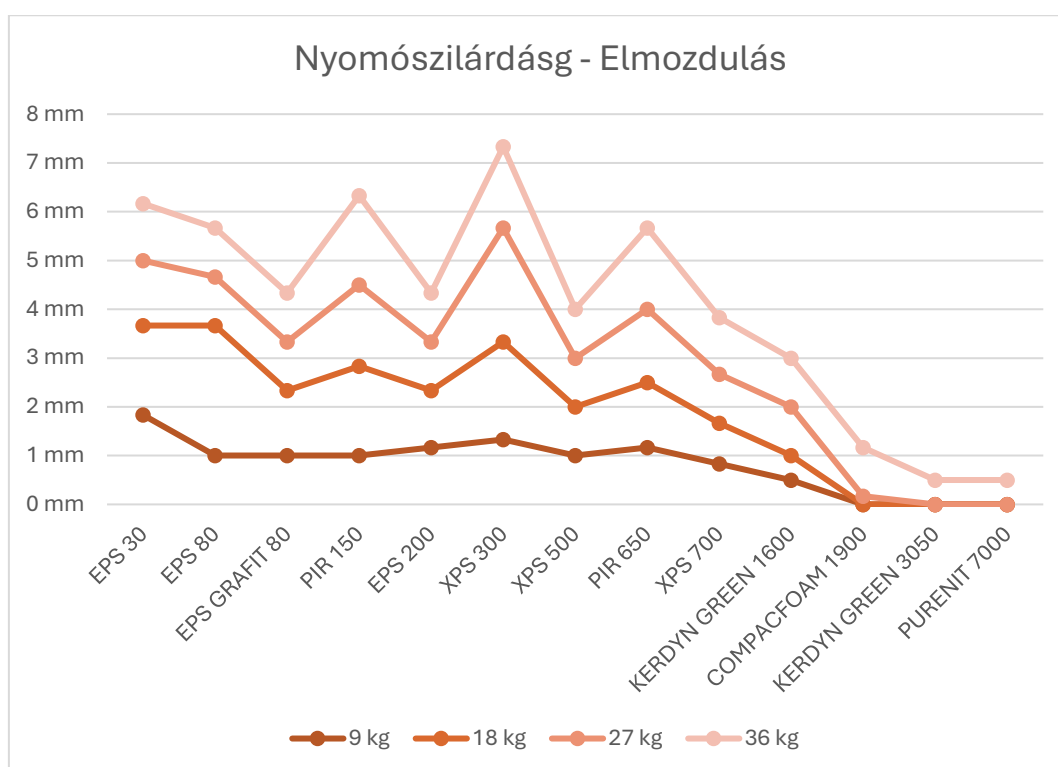
Például mindkét vizsgált PIR hab alacsonyabb teljesítményt mutatott, mint a közel azonos nyomószilárdságú EPS és XPS szigetelések. Ezek a mérések is mutatják, hogy nem elég egy anyagot egy tulajdonsága alapján kiválasztani, mert a tulajdonságok összefüggenek és egyben kell vizsgálni azokat.

A hővezetési tényező és elmozdulás közötti kapcsolat vizsgálatánál hasonló elvárásaink voltak, mivel a hőszigetelő képesség és a sűrűség általában összefügg. Az általunk vizsgált hőszigetelő anyagoknak hőszigetelő képességét nagyban befolyásolja azoknak levegő tartalma, ugyanis a fő hőszigetelő közeg az a levegő. Minél sűrűbb egy anyagnak a cellaszerkezete annál kevesebb a levegőnek fennmaradó hely, de emiatt annak szerkezeti stabilitása növekszik. Itt is három kiugró érték jelent meg: a 300-as XPS hőszigetelő képességéhez képest szokatlanul nagy elmozdulást mutatott, és hasonlóan alulteljesített a 80-as és a 30-as nyomószilárdságú EPS, amelyeknél a nagy elmozdulás relatív gyenge hőszigetelő képességgel párosult.

Az előzetes tesztek során bebizonyosodott, hogy a tokrögzítő csavar hossza nincs hatással az elmozdulásra; ezt a végső kísérletben is megerősítettük. Az 500-as és 300-as XPS anyagokat rövidebb tokrögzítő csavarral is teszteltük, de a két csavar teljesítménye között nem tapasztaltunk különbséget. Ennek eredményeként a későbbi méréseknél a rövidebb csavart már nem használtuk. Úgy véljük azonban, hogy a kapott eredmények egyelőre csak általános következtetésekre adnak lehetőséget, a tendenciák pontosabb igazolásához sokkal nagyobb mintaszámú és többféle kísérlet elvégzése lenne szükséges (lásd: 7. fejezet – További kutatási javaslatok).



Grafikon 1: Hővezetési tényező - Elmozdulás



Grafikon 2: Nyomószilárdság - Elmozdulás

6.2 További megfigyelések

A kísérletek során különböző tényezők az előzetes várakozásainkkal szemben befolyásolták a mérési folyamatokat és az eredményinket. Ezeket a jelenségeket nem mértük részben azért, mert az előfelvetéseinkkel nem álltak szoros kapcsolatban, részben pedig idő hiánya és az így is nagy számú kísérlet miatt. A kombinációk vizsgálata során felmerülő tényezőket a jegyzőkönyvben dokumentáltuk és ezeket a tapasztalatokat a későbbiekben rendszereztük, majd fontossági sorrendbe állítottuk. A kísérlet dokumentációjánál a számszerűsíthető eredményre koncentráltunk és kevesebb energiánk maradt a csak szóvegesen leírható megfigyelésekre. (lejegyzet megfigyeléseinket lásd: Kísérleti jegyzőkönyv.)

6.2.1. Előre nem várt ható tényezők:

a) Időfaktor:

A mérések során nem vettük figyelembe, hogy a hőszigetelés hosszabb idő alatt akár kisebb terhelés hatására is károsodhat. A végső kísérletnél lassan növekvő, folyamatos terhelést alkalmaztunk, és lehetséges, hogy ha tartósan terheltük volna az anyagot, maradandó elváltozást tapasztalhattunk volna.

A hőszigetelés ablaktokkal való terhelését a kísérlet előtt nem tettük meg. A kutatás során olyan tanulmányokat elemeztünk melyben ez a kísérlet már lefolyt. Összegzésük szerint az összenyomódás mértéke elhanyagolhatóan alacsony volt XPS hőszigetelések tesztelésekor (lásd: 2.2 fejezet – Kapcsolódó tudományos környezet/D). Emellett a mi kísérletünk időbeli korlátai miatt erre lehetőségünk nem adódhatott volna.

b) Ismétlődő terhelés:

Feltételezhető, hogy ha kisebb erővel, de ismételten terheltük volna a szerkezetet, a hőszigetelés idővel károsodott volna, vagy nagyobb elváltozások jelentkeztek volna. Azonban idő- és eszközkorlátok miatt nem tudtunk ismétlődő terhelést alkalmazni; ehhez egy megfelelő tesztberendezést kellett volna létrehozni.

c) Hőmérséklet:

A különféle anyagok télen, hideg körülmények között ridegebben viselkednek, míg nyáron rugalmasabbak lehetnek. A kísérlet házi jellege miatt nem volt lehetőségünk tesztelni, hogyan reagálna a hőszigetelés extrém hőmérsékleti viszonyok között.

d) Az ablak és a hőszigetelés kapcsolata:

A gyakorlatban az ablakokat nem közvetlenül a hőszigeteléshez rögzítik, először az ablakot ékelik, majd csak ezután rögzítik az ablakot. A hőszigetelés és az ablak közötti rést purhabbal töltik ki, így a tok nem közvetlenül terheli a hőszigetelést.

6.3 Az eredmények összevetése az előfelvetésekkel:

A hőszigetelés a tokrögzítő csavar mozgására a hőszigetelés nyomószilárdságától függően tönkremehet.

Ez az állításunk helytállónak bizonyult. Elmondható, ha egy bizonyos szerkezetű anyagnak növeljük a nyomószilárdságát akkor csökken annak tönkremenetele. Ugyanez már nem mondható el minden esetben, ha a hőszigetelés fajtáját is lecseréljük.

a) A nagyobb nyomószilárdsági értékek adott terhelésnél egyenesen arányosak a tönkremenetellel.

Ez az állításunk nem helytálló. A méréseink alapján azonos szerkezetű anyagnál elmondható, hogy a nyomószilárdság-tönkremenetel nem egyenesen arányos, hanem egy csökkenő görbére hasonlít, hol a nyomószilárdsági érték növelésével csökken a tönkremenetel. Eltérő szerkezetű anyagoknak az összehasonlításánál más paraméterek figyelembevétele is fontos lehet.

b) A hőszigetelés elmozdulhat, a falra merőleges erőhatástól.

Ez az előfelvetésünk nem bizonyult helytállónak. Bár a hőszigetelésekben észrevehető volt bizonyos mértékű elválkozás, de a kísérletben használt teher hatására a rögzítéshez használt PUR hab eléggé erősnek bizonyult ahhoz, hogy helyükön tartsa a hőszigeteléseket.

c) A hőszigetelés rögzítése a falon nem befolyásolja a hőszigetelés tönkremenetelét.

Ez az állításunk nem helytálló, mivel a hőszigetelés rögzítési módja befolyásolja annak tönkremenetelét. A mérések alapján a PUR hab rögzítés erősnek bizonyult ezáltal a tönkremenetel a hőszigetelésben jelentkezett. Ugyanakkor magas nyomószilárdságú anyagok esetében a PUR hab lesz a gyengébb. Feltételezésünk szerint, ha a hőszigetelés nincs közvetlen kapcsolatban a téglával akkor a fennmaradó közegben lévő PUR hab képes lehet a tönkremenetelt felvenni a hőszigetelés helyett.

d) Hosszabb tokrögzítő csavar csökkenti a csavarnak a deformációját és a hőszigetelés tönkremenetelt.

Már az előzetes kísérletek alapján kiderült, hogy ez az állítás nem helytálló: a csavar hossza nem befolyásolja a tönkremenetelt, feltéve, hogy a csavar az előírt mélységben van rögzítve a falazatban és a 4.4-es fejezetben kifejtett pontok be vannak tartva.

e) Nagyobb nyomószilárdságú hőszigetelésnek jobb a mechanikai ellenállása a csavart erő nyíróerővel, és az ebből adódó nyomatékkal szemben.

Ez az állítás egyes anyagcsoportokon belül értelmezve igaznak bizonyult. Az anyag-nyomószilárdság összefüggésétől nem lehet eltekinteni ebben a tekintetben, mert eltérő szerkezetű anyagokra nem feltétlen igaz az állításunk.

f) Hőszigetelések a megadott paraméterein és túlmenően rendelkezik olyan tulajdonsággal, ami befolyásolja annak mechanikai ellenállóságát.

Ez az állításunk is igaznak bizonyult, mivel a PIR habok például gyengébb teljesítményt mutattak, mint amit nyomószilárdságuk alapján vártunk volna. A megfigyeléseink szerint az anyag szerkezeti felépítése is nagyban befolyásolja annak viselkedését, ami nem feltétlen áll egyenes arányosságban egy bizonyos paraméterével.

7 További kutatások szükségessége

A kísérletünk fejlesztéséhez a megfigyelt jelenségek alapján további mérések szükségesek a kávas ablakbeépítés helyes anyagainak megválasztásához és ezek pontos kombinációjához. A legfontosabb szükséges kísérleti lehetőségeket megfogalmaztuk. A cél az lenne, hogy a kávas ablakbeépítés tipikus valós modelljét és a rá ható károsító igénybevételeket minél inkább megközelíteni.

- Hőszigetelő anyagok viselkedése dinamikus teherre
- Hőszigetelő anyagok terhelése különböző időjárási viszonyok között
- Légzárás kérdések tesztelése mechanikai tönkremenetel mellett
- Hőszigetelő és párazáró anyagok kombinációjának együttdolgozása
- Különböző anyagú nyílászárók összehasonlítása kávas beépítési modellben
- Falazat anyagainak különböző viselkedése többszöri terhelés hatására

8 Összegzés

A számszerű és megalapozott eredményeink nem elegendőek ahhoz, hogy pontos és ideális javaslatot fogalmazzunk meg a hőszigetelt kávas nyílászárók beépítésére. A kísérleti adatokból és megfigyelésekből viszont látszanak az anyagok közti különbségek, tendenciák melyek alapján pontosabb képet és szélesebb rálátást kapunk a témában. Persze a további mélyebb ismerethez szükséges a kísérlet folytatása, szerkezetre ható tényezők és az együttműködő elemek pontosabb tanulmányozása és dokumentációja.

A kísérletünk rávilágít a szakmában egy fontos problémára, ahol a mérnöki tervezés elválk a kivitelezhetőségtől, és régi problémákat új problémákkal helyettesítünk, ezt akartuk vizsgálni. A kávas kialakítás egy hőtechnikai szempontból jó megoldás, de felmerülnek a mérnökök szemében jogos kételyeket, ezeket szerettük volna megvizsgálni, tesztelni

A kísérleti eredmények és az előzetes felvetéseink összehasonlítása alapján megállapítható, hogy a hőszigetelt kávas ablakbeépítés esetében a nyomószilárdsági érték egy jó irányadó mutató, de mellette nem elhanyagolható az anyagok további tulajdonsága azok, amik nincsenek pontosan meghatározva és leírva. Ezen ismeretek hiányában, csupán az adatok alapján a rossz hőszigetelés választása súlyos károsodáshoz vezethet. Javaslatunk szerint egy kávas ablakbeépítéshez olyan hőszigetelés választása ideális mely a nagy nyomószilárdság és a jó hővezetési tényező mellett nagy sűrűséggel és stabil cellaszerkezettel rendelkezik. Ezek az utóbbi adatok, amik szerintünk a leírt adatok közül a legjobban befolyásolják a mechanikai ellenállóságát a hőszigetelésnek. Ez azt jelenti, hogy a hőszigetelés valóban segíti a beépítést, de csak akkor, ha annak az előbb említett értékei megfelelőek. Ebben az esetben a csavar nyomatéki hatására kevésbé megy tönkre a hőszigetelés, bizonyos esetekben egyáltalán nem. Ez eredményezi, hogy esetekben a beépítés időtálló és biztonságos lehet.

Kísérletünk felhívja a figyelmet arra, hogy valós körülmények között a szabványok által nem kellően figyelembe vett ható tényezők léphetnek fel. Jelenlegi a szabványok, szakmai kutatások, illetve a tudományos szakirodalom nem nyújtanak elegendő segítséget, hogy a tervezők ki tudják választani a számukra megfelelő anyagukat. Kivitelezési bevett szokások vannak jelen a piacon melyben mérések és méretezések helyett szokásokra hagyatkoznak a kivitelezők. Ennek orvoslására született a dolgozatunk, mely felhívja a figyelmet a további kutatások fontosságára is.

Bibliográfia

Kapcsolódó tudományos közlemények:

- [1] Kohta Ueno, 2010 november, „Residential Exterior Wall Superinsulation Retrofit Details and Analysis”, Conference: Proceedings of the Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings XI International Conference
- [2] Aleksandr Konstantinov, A Verkhovsky, 2020 march, „Assessment of the Wind and Temperature Loads Influence on the PVC Windows Deformation”, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 753 032022
- [3] Robert Smusz, Paweł Bałon, Bartłomiej Kiełbasa, Edward Rejman, Michał Bembenek, Łukasz Kowalski, 2023, „Experimental and Numerical Characterization of Thermal Bridges in Windows”, Advances in Science and Technology Research Journal 2023, 17(1), 315–331
- [4] U.S Department of Energy - Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, 2023 march, Performance of Windows in Walls With Continuous Insulation,
- [5] Francesca Cappelletti, Anderea Gasparella, Piercarlo Romagnoni, Paolo Baggio, 2011, “Analysis of the influence of installation thermal bridges on windows performance: The case of clay block walls”, Energy and Buildings 43 (2011) 1435–1442
- [6] Cezary Misiópeckia, Marine Bouquinb, Arild Gustavsenc, Bjørn Petter Jelle, 2018, „Thermal modeling and investigation of the most energy-efficient window position”, Energy and Buildings 158 (2018) 1079–1086
- [7] Roman Nôta, 2022 december, „ANALYSIS OF THE THERMAL BRIDGE OF WOOD WINDOW INSTALLATION POSITION”, ACTA FACULTATIS XYOLOGIAE ZVOLEN, 64(2): 49–56, 2022
- [8] Lee, Soo-Man, Kim, Dong-Yun, Ahn, Jung-Hyuk, Eom, Jae-Yong, Shin, U-Cheul, 2017, „Thermal Performance Evaluation of Junction Thermal Bridge according to Installation Position of Window”, KIEAE Journal, Vol. 17, No. 3, Jun. 2017, pp.15-21.
- [9] Cristina García Linera, Claudio Álvarez González, 2011, „Energy Efficient Window”, Master’s Thesis, Chalmers University of Technology,

[10] Aleksandr Konstantinov, Timur Safiullov, 2018, „Energy-efficient installation of windows in multi-storey residential buildings”, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 365 (2018) 022017 doi:10.1088/1757-899X/365/2/022017

Kapcsolódó tudományos cikk:

[11] Pataky Rita, Birtalan Orsolya, Áts Árpád, „Hogyan értelmezhetőek a homlokzati nyílászárók műszaki jellemzői?”

URL:<https://magyarepitesteknika.hu/index.php/nyilaszarok-vilag/hogyan-ertelmezhetok-a-homlokzati-nyilaszarok-muszaki-jellemzoi/?cn-reloaded=1>

(Letöltve: 2024.11.02)

Szabványok: (A teljesség igénye nélkül)

MSZ EN 107:1992 Ablakok mechanikai vizsgálatai

MSZ EN 1026:2016 Ablakok és ajtók. Légzáróság. Vizsgálati módszer

MSZ EN ISO 10077-1:2017 Ajtók, ablakok és társított szerkezetek hőtechnikai viselkedése. A hőátbocsátási tényező számítása. 1. rész: Általános előírások

MSZ EN ISO 10077-2:2017 Ajtók, ablakok és társított szerkezetek hőtechnikai viselkedése. A hőátbocsátási tényező számítása. 2. rész: Numerikus módszer tok- és szárnyszerkezetekhez

MSZ EN 12211:2001 Ablakok és ajtók. Szélteherrel szembeni ellenállás. Vizsgálati módszer

MSZ EN 13049:2003 Ablakok. Lágú- és nehéztest-ütés. Vizsgálati módszer, biztonsági követelmények és osztályozás

MSZ EN 14608:2004 Ablakok. Az ablakszárny síkjában ható statikus terheléssel szembeni ellenállás meghatározása

DIN 4108 2. Thermal insulation and energy saving in buildings; Supplement 2: Thermal bridges - planning and implementation examples

ISO 10211:2017(en) Thermal bridges in building construction — Heat flows and surface temperatures — Detailed calculations

Kísérleti jegyzőkönyv

Hőszigetelés	EPS	Terhek	9 kg	18 kg	27 kg	36 kg
		Elmozdulás 1. mérés [mm]	2	3	4	6
Nyomószilárdság [N/mm ²]	30	Elmozdulás 2. mérés [mm]	2	4	5	6
		Elmozdulás 3. mérés [mm]	2	4	6	7
Megjegyzés:	• A csavar feszítő ereje a tok rögzítésénél már benyomódást okoz • Nagy elmozdulás • A fűrészárat önmagában nem képes stabilan tartani a hőszigetelés, ha a téglának a kialakítása miatt a fűrészsár megcsúszik az tönkremenetelhez vezet a hőszigetelésben • A teher eltávolítása után a hőszigetelés elváltozás nélkül visszaáll eredeti helyzetébe • EPS gyöngyök morzsolódnak le minden terhelésnél • Könnyen fűrható					

Hőszigetelés	EPS	Terhek	9 kg	18 kg	27 kg	36 kg
		Elmozdulás 1. mérés [mm]	1	3	4	5
Nyomószilárdság [N/mm ²]	80	Elmozdulás 2. mérés [mm]	1	4	5	6
		Elmozdulás 3. mérés [mm]	1	4	5	6
Megjegyzés:	• Nagy elmozdulás • A fűrészárat önmagában nem képes stabilan tartani a hőszigetelés, ha a téglának a kialakítása miatt a fűrészsár megcsúszik az tönkremenetelhez vezet a hőszigetelésben • A teher eltávolítása után a hőszigetelés elváltozás nélkül visszaáll eredeti helyzetébe • EPS gyöngyök morzsolódnak le minden terhelésnél • Könnyen fűrható • A tok a teher hatására nem nyomta meg a hőszigetelést					

Hőszigetelés	EPS grafit	Terhek	9 kg	18 kg	27 kg	36 kg
		Elmozdulás 1. mérés [mm]	1	2	3	4
Nyomószilárdság [N/mm ²]	80	Elmozdulás 2. mérés [mm]	1	3	4	5
		Elmozdulás 3. mérés [mm]	1	2	3	4
Megjegyzés:	- Nagy elmozdulás - A fűrószárat önmagában nem képes stabilan tartani a hőszigetelés, ha a téglának a kialakítása miatt a fűrószár megcsúszik az tönkremenetelhez vezet a hőszigetelésben - A teher eltávolítása után a hőszigetelés elváltozás nélkül visszaáll eredeti helyzetébe - EPS gyöngyök morzsolódnak le minden terhelésnél - Könnyen fűrható - Érzésre ellenállóbb, mint a sima EPS 80 - A tok a teher hatására nem nyomta meg a hőszigetelést					

Hőszigetelés	EPS	Terhek	9 kg	18 kg	27 kg	36 kg
		Elmozdulás 1. mérés [mm]	1	2	3	4
Nyomószilárdság [N/mm ²]	200	Elmozdulás 2. mérés [mm]	2	3	4	5
		Elmozdulás 3. mérés [mm]	1	3	4	5
Megjegyzés:	- A fűrószárat önmagában nem képes stabilan tartani a hőszigetelés, ha a téglának a kialakítása miatt a fűrószár megcsúszik az tönkremenetelhez vezet a hőszigetelésben - Minimális maradandó elváltozás tapasztalható - Könnyen fűrható - A tok a teher hatására nem nyomta meg a hőszigetelést					

Hőszigetelés	XPS	Terhek	9 kg	18 kg	27 kg	36 kg
		Elmozdulás 1. mérés [mm]	1	4	6	8
Nyomószilárdság [N/mm ²]	300	Elmozdulás 2. mérés [mm]	1	2	5	7
		Elmozdulás 3. mérés [mm]	2	4	6	7
Megjegyzés:	- A fűrószárat önmagában nem képes stabilan tartani a hőszigetelés, ha a téglának a kialakítása miatt a fűrószár megcsúszik az tönkremenetelhez vezet a hőszigetelésben - A tok benyomódás hatására végleges alakváltozást szenved a hőszigetelés - A csavar körül látványos anyaggyűrődés vehető észre					

Hőszigetelés	XPS	Terhek	9 kg	18 kg	27 kg	36 kg
		Elmozdulás 1. mérés [mm]	1	2	3	4
Nyomószilárdság [N/mm ²]	500	Elmozdulás 2. mérés [mm]	1	2	3	4
		Elmozdulás 3. mérés [mm]	1	2	3	4
Megjegyzés:	- A fűrészárát önmagában nem képes stabilan tartani a hőszigetelés, ha a téglának a kialakítása miatt a fűrészár megcsúszik az tönkremenetelhez vezet a hőszigetelésben - A tok benyomódás hatására minimális végleges alakváltozást szenved a hőszigetelés - A csavar körül látványos anyaggyűrődés vehető észre					

Hőszigetelés	XPS	Terhek	9 kg	18 kg	27 kg	36 kg
		Elmozdulás 1. mérés [mm]	1	1	2	3
Nyomószilárdság [N/mm ²]	700	Elmozdulás 2. mérés [mm]	1	2	4	5
		Elmozdulás 3. mérés [mm]	1	2	3	4
Megjegyzés:	- A fűrészárát önmagában nem képes stabilan tartani a hőszigetelés, ha a téglának a kialakítása miatt a fűrészár megcsúszik az tönkremenetelhez vezet a hőszigetelésben - A tok a teher hatására nem nyomta meg a hőszigetelést - A csavar körül látványos anyaggyűrődés vehető észre					

Hőszigetelés	PIR	Terhek	9 kg	18 kg	27 kg	36 kg
		Elmozdulás 1. mérés [mm]	1	3	4	6
Nyomószilárdság [N/mm ²]	150	Elmozdulás 2. mérés [mm]	1	3	5	7
		Elmozdulás 3. mérés [mm]	1	3	5	7
Megjegyzés:	- A fűrészárát önmagában nem képes stabilan tartani a hőszigetelés, ha a téglának a kialakítása miatt a fűrészár megcsúszik az tönkremenetelhez vezet a hőszigetelésben - Nagyon sérülékeny - A tok benyomódás hatására végleges alakváltozást szenved a hőszigetelés - Könnyen fűrható - Terhelés hatására károsodásra utaló hangok figyelhetőek meg					

Hőszigetelés	PIR	Terhek	9 kg	18 kg	27 kg	36 kg
		Elmozdulás 1. mérés [mm]	1	3	4	6
Nyomószilárdság [N/mm ²]	650	Elmozdulás 2. mérés [mm]	2	3	4	6
		Elmozdulás 3. mérés [mm]	1	3	4	6
Megjegyzés:	- A fűrészárát önmagában nem képes stabilan tartani a hőszigetelés, ha a téglának a kialakítása miatt a fűrészár megcsúszik az tönkremenetelhez vezet a hőszigetelésben - A tok a teher hatására nem nyomta meg a hőszigetelést - Könnyen fűrható - Terhelés hatására károsodásra utaló hangok figyelhetőek meg					

Hőszigetelés	Kerdyn Green	Terhek	9 kg	18 kg	27 kg	36 kg
		Elmozdulás 1. mérés [mm]	1	1	2	3
Nyomószilárdság [N/mm ²]	1600	Elmozdulás 2. mérés [mm]	1	1	2	3
		Elmozdulás 3. mérés [mm]	1	1	2	3
Megjegyzés:	- A fűrészárát stabilan tartja a rögzítés alatt - A tok a teher hatására nem nyomta meg a hőszigetelést - A rögzítésnél elválkozás nem tapasztalható - Az elmozdulás nem a hőszigetelésben, hanem a mögöttes PUR hab összenyomódásának köszönhető					

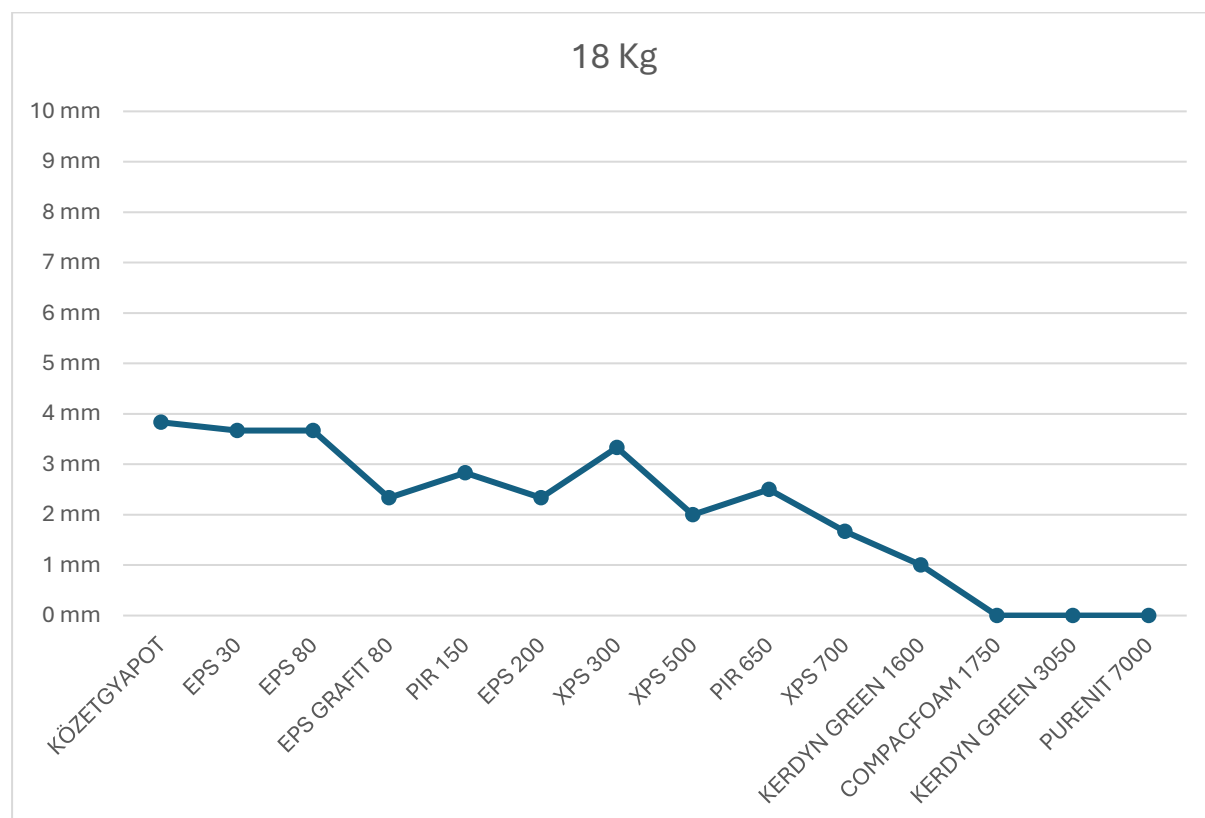
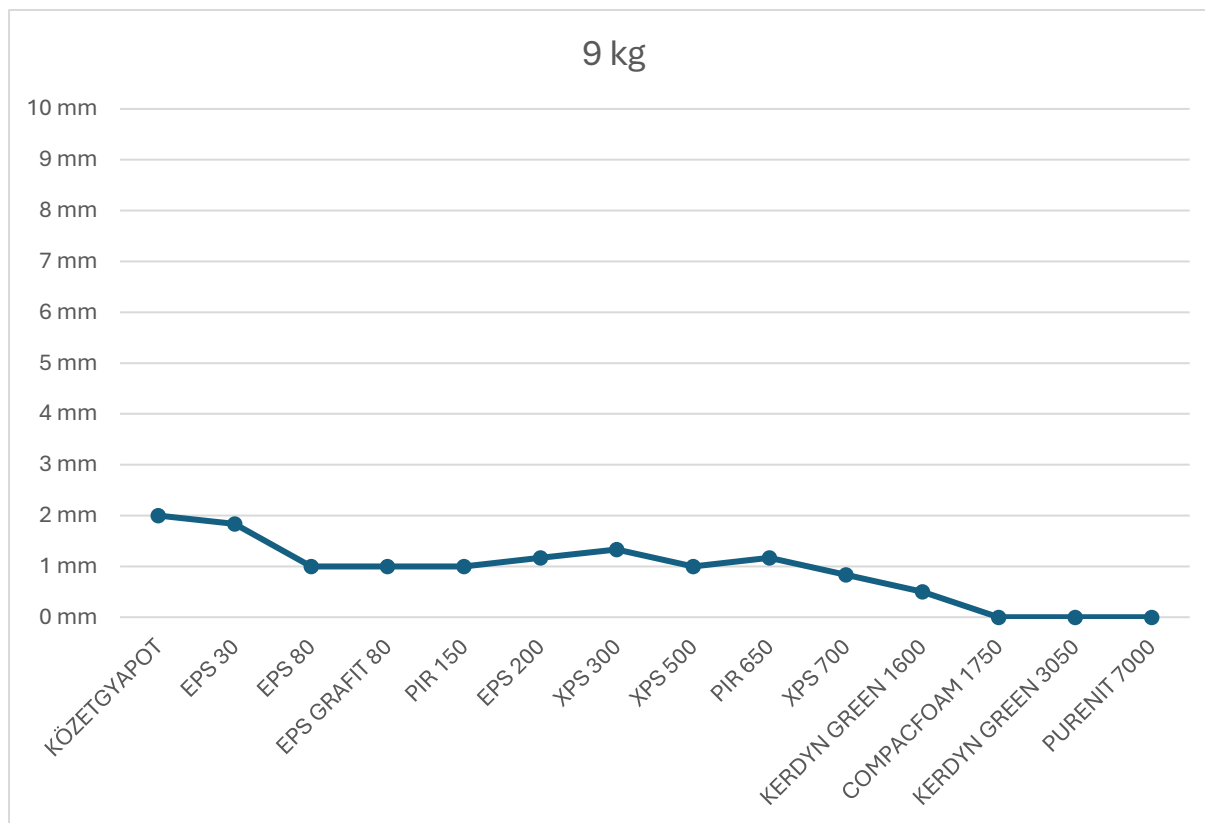
Hőszigetelés	Kerdyn Green	Terhek	9 kg	18 kg	27 kg	36 kg
		Elmozdulás 1. mérés [mm]	0	0	0	1
Nyomószilárdság [N/mm ²]	3050	Elmozdulás 2. mérés [mm]	0	0	0	1
		Elmozdulás 3. mérés [mm]	0	0	0	1
Megjegyzés:	- A fűrészárát stabilan tartja a rögzítés alatt - A tok a teher hatására nem nyomta meg a hőszigetelést - A rögzítésnél elválkozás nem tapasztalható - Az elmozdulás nem a hőszigetelésben, hanem a mögöttes PUR hab összenyomódásának köszönhető					

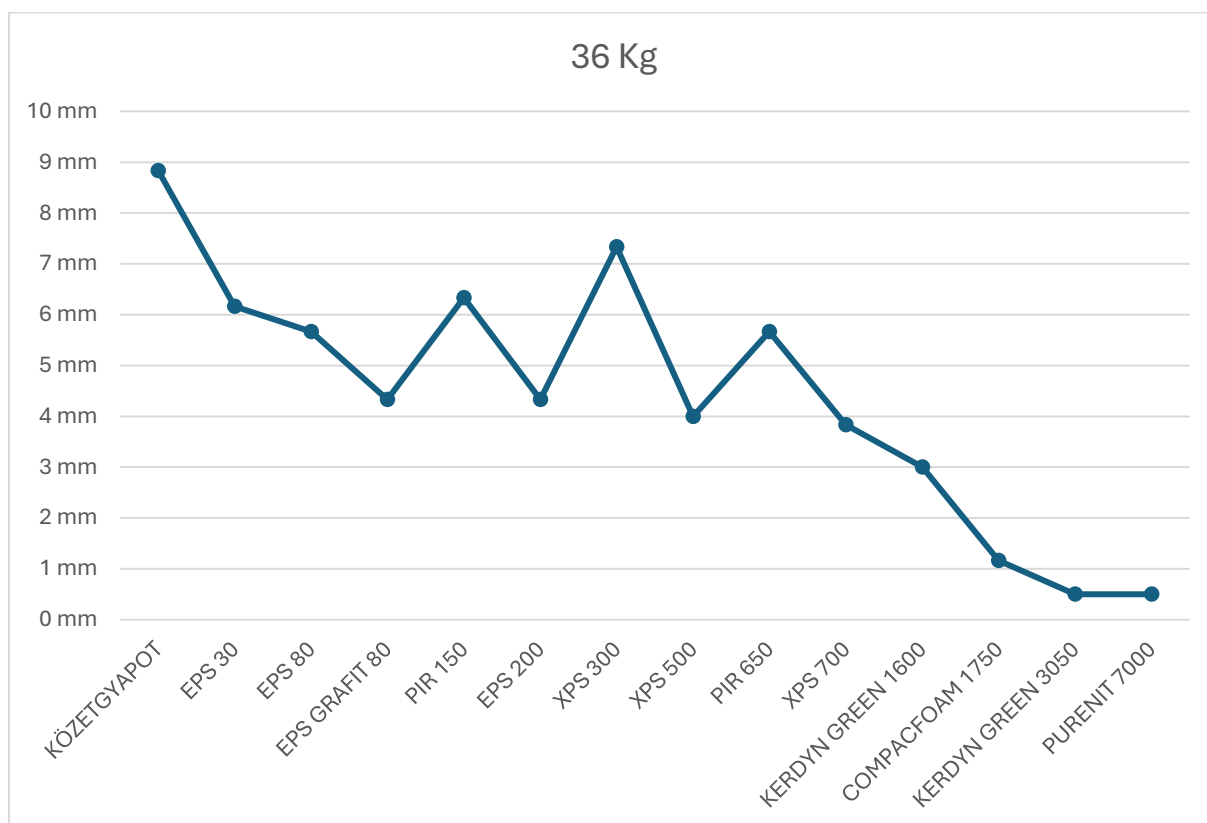
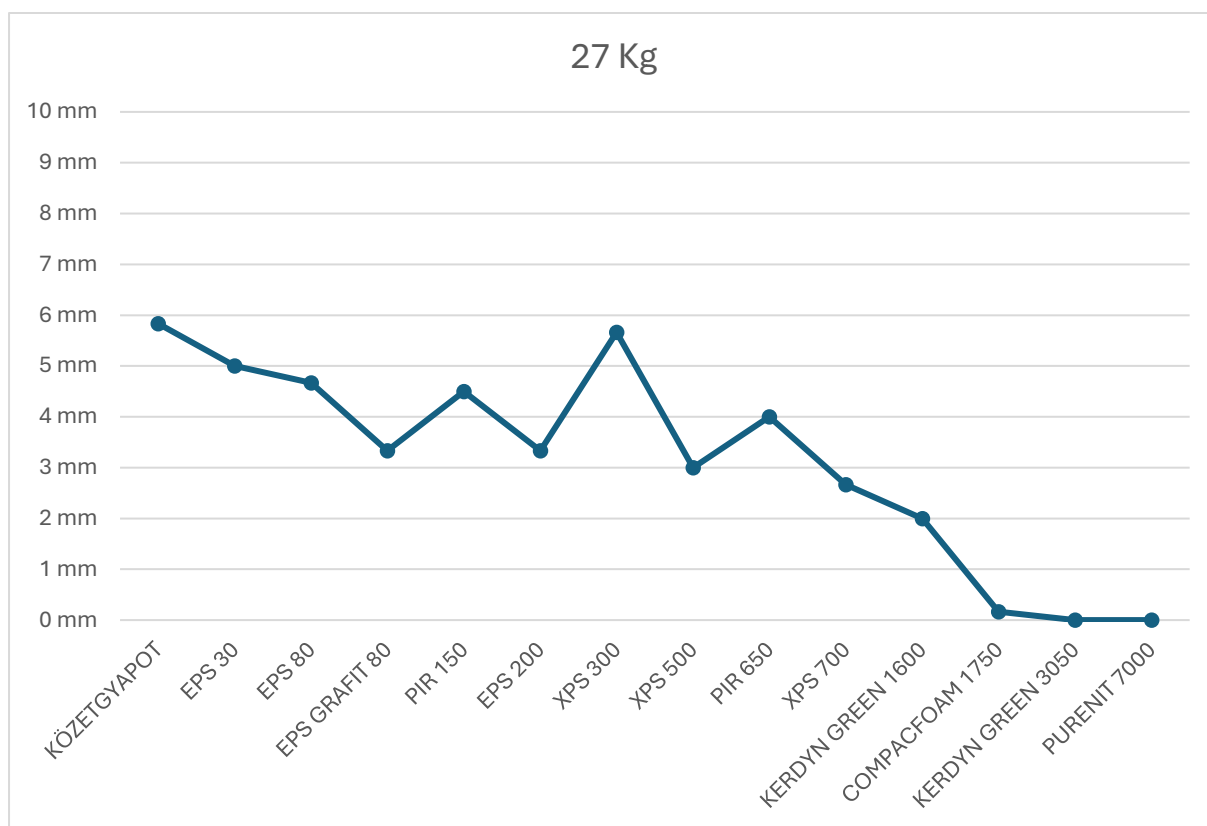
Hőszigetelés	Compacfoam	Terhek	9 kg	18 kg	27 kg	36 kg
		Elmozdulás 1. mérés [mm]	0	0	1	2
Nyomószilárdság [N/mm ²]	1750	Elmozdulás 2. mérés [mm]	0	0	0	1
		Elmozdulás 3. mérés [mm]	0	0	0	1
Megjegyzés:	- A téglához használt fűrószárat nem találtuk megfelelőnek másik fűrószárral előfűrtük az anyagot - A fűrószárat stabilan tartja a rögzítés alatt - A tok a teher hatására nem nyomta meg a hőszigetelést - A rögzítésnél elváltozás nem tapasztalható - Az elmozdulás nem a hőszigetelésben, hanem a mögöttes PUR hab összenyomódásának köszönhető					

Hőszigetelés	Purenit	Terhek	9 kg	18 kg	27 kg	36 kg
		Elmozdulás 1. mérés [mm]	0	0	0	1
Nyomószilárdság [N/mm ²]	7000	Elmozdulás 2. mérés [mm]	0	0	0	1
		Elmozdulás 3. mérés [mm]	0	0	0	1
Megjegyzés:	- A téglához használt fűrószárat nem találtuk megfelelőnek másik fűrószárral előfűrtük az anyagot - A fűrószárat stabilan tartja a rögzítés alatt - A tok a teher hatására nem nyomta meg a hőszigetelést - A rögzítésnél elváltozás nem tapasztalható - Az elmozdulás nem a hőszigetelésben, hanem a mögöttes PUR hab összenyomódásának köszönhető					

Hőszigetelés	Közetgyapot	Terhek	9 kg	18 kg	27 kg	36 kg
		Elmozdulás 1. mérés [mm]	4	9	12	15
Nyomószilárdság	-	Elmozdulás 2. mérés [mm]	3	7	10	12
		Elmozdulás 3. mérés [mm]	4	8	10	13
Megjegyzés:	• A csavar feszítő ereje a tok rögzítésénél már benyomódást okoz • Nagy elmozdulás • A fűrészárat önmagában nem képes stabilan tartani a hőszigetelés, ha a téglának a kialakítása miatt a fűrészár megcsúszik az tönkremenetelhez vezet a hőszigetelésben • Könnyen fűrható • A hőszigetelésben végleges deformációt szenved, melynek mértéke nagy és egyenetlen, nehéz számszerűsíteni • A rögzítő csavar 2,5mm-es végleges alakváltozáson megy keresztül					

Általános anyagnév	Pontos anyagnév	vastagság [mm]	nyomószilárdság [N/mm ²]	Hővezetési tényező [W/mK] közölt érték
EPS	Expandált polisztirol hab	50	30	0,044
EPS	Expandált polisztirol hab	50	80	0,038
EPS GRAFITOS	Grafit adalékanyag expandált polisztirol hab	50	80	0,031
EPS	Expandált polisztirol hab	50	200	0,033
XPS	Extrudált polisztirol hab	50	300	0,032
XPS	Extrudált polisztirol hab	50	500	0,033
XPS	Extrudált polisztirol hab	50	700	0,033
PIR	Poliizocianurát	50	150	0,027
PIR	Poliizocianurát	50	650	0,03
KERDYN GREEN	Polietilén-tereftalát	50	1600	0,033
KERDYN GREEN	Polietilén-tereftalát	50	3050	0,04
COMPACFOAM	Tömörített expandált polisztirol hab	50	1750	0,045
PURENIT	Keményhab alapú préselt poliuretán habtermék	50	7000	0,08





Tokrögzítő csavar és tok együttes elmozdulásának mérései hőszigetelés nélkül							
Hőszigetelés	-	Terhek	9 kg	18 kg	27 kg	36 kg	Csavar végleges alakváltozása
		Elmozdulás 1. mérés [mm]	5	10	12	15	4 mm
Nyomószilárdság	-	Elmozdulás 2. mérés [mm]	6	10	13	16	3 mm
		Elmozdulás 3. mérés [mm]	6	10	13	17	3 mm
		Elmozdulás 4. mérés [mm]	7	12	16	20	3 mm
		Elmozdulás 5. mérés [mm]	6	11	15	18	3,5 mm
Megjegyzés:	• A hőszigetelés nélkül, de „tok” -kal mért eredmények • A csavarra jelentősebb nyomaték hat						

Tokrögzítő csavar megfolyási vizsgálatának mérései		
elmozdulás	teher	végleges deformáció (közelítő érték)
5mm	9kg	-
5mm	8kg	-
5mm	8kg	-
6mm	11kg	-
6mm	11kg	0,5mm
6mm	10kg	-
7mm	13kg	0,5mm
7mm	13kg	0,5mm
7mm	12kg	-
8mm	16kg	1mm
8mm	14kg	0,5mm
8mm	16kg	1mm