

Vízszigetelések pontszerű átszűrődésének kísérleti vizsgálata különböző hőszigetelő aljzatok esetében

TDK 2013

Árkovics Lilla, Heincz Dániel

Konzulens: Dr. Dobszay Gergely PhD, Épületszerkezzettani 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. Dr. Dobszay Gergely PhD témaajánlása, tudása, tapasztalata és útmutatása a kezdetektől motivált és előrevitte 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 előrevitték kísérletünket. Ezúton köszönjük Kovács Zoltánnak, Sallai Erzsébetnek (Austrotherm), Kéri Zsoltnak, Molnár Katalinnak, Varga Tamásnak (Bachl), Rózsa Gézának (Bauder), Farkas Imrének (Dörken), Tóvári Norbertnek (Lambda Systeme), Máriáss Lászlónak (Icopal Villas), Piri Antalnak, Vajnáné Zonda Júliának (Isoprof), Baltási Gábornak, Sztankó Leventének (Enterol), Brassnyó Lászlónak, Sibelka Zoltánnak (Knauf), Szabó Ferencnek, Szabó Katalinnak (Renolit), Hegedűs Viktornak (Rockwool), Kilián Árpádnak (Sicofol), Berecz Andrásnak, Dávid Zoltánnak (Sika) és Gerendi Gábornak (RW Bautech).

Külön köszönet barátainknak Králl Petinek, Kiss Attilának, Vaits Zoltánnak és Szilágyi Attilának az anyagok feldolgozásában nyújtott segítségükért.

Végül, de nem utolsó sorban hatalmas köszönet Heincz Károlynak, Dani apukájának, aki végig követte és segítette munkánkat, részt vett a kísérleti eszközök megvalósításában és minden héten szigetelőanyagokkal teli csomagtartóval jött haza Budapestről.

Árkovics Lilla, Heincz Dániel
Budapest, 2013. október 19.

Tartalomjegyzék

1	Bevezető	4
1.1	A burkolt tetők bemutatása	4
1.2	Kiindulási helyzet	4
1.3	Célok	5
1.4	Legfőbb kutatási kérdések	5
1.5	Előfelvetések	6
2	Tudományos környezet	6
2.1	Általános szakirodalom	6
2.2	Kapcsolódó tudományos közlemények	7
2.3	Szabványok	10
3	A kísérlet előkészítése	13
3.1	Előkészítő folyamatok	13
3.2	Anyagok kiválasztása	13
3.2.1	Vízszigetelések	14
3.2.2	Hőszigetelések	14
3.2.3	Gyártók és forgalmazók felkeresése	15
4	A kísérleti eszköz	16
4.1	Kísérleti körülmények	16
4.2	Rétegrend meghatározása	16
4.3	Szűrőeszköz kialakításának elvei	17
4.4	Mérési módszer lehetőségei	17
4.4.1	Erőkar rendszer	17
4.4.2	Egyszerű gép	18
4.4.3	Fejtetőre állított rétegrend	18
4.4.4	Központosan terhelt fej	19
4.5	A pontszerű teher méretezése	19
4.6	A mérőeszköz tesztelése - „kísérlet kísérlete”	20
4.6.1	1-es számú mérőeszköz	20
4.6.2	2-es számú mérőeszköz	21
4.6.3	3-as számú mérőeszköz	22
5	A végleges kísérlet	23
5.1	Végleges eszköz	23
5.2	A kísérletünk számszerűsíthető adatai	24
5.3	Mérési alapelvek	24
5.4	Végleges mérési módszer	24
5.5	Párosítások felállítása	25
5.6	A kísérlet dokumentációja	26
6	Analízis	27
6.1	Mérési adatok összegzése	27
6.1.1	Mért sorozatok: azonos hőszigetelés – eltérő vízszigetelés kombinációk esetén	28

6.1.2	Mért sorozatok: azonos vízszigetelés – eltérő hőszigetelés kombinációk esetén	30
6.1.3	Mért sorozatok: bevonat szigetelés – eltérő hőszigetelés kombinációk esetén	33
6.1.4	Megfigyelhető tendenciák	35
6.1.5	A kísérletek átfogó értékelése	36
6.2	További megfigyelések	37
6.2.1	Az átszűrődés során megfigyelt viselkedési módok	37
6.2.2	Előre nem várt ható tényezők	38
6.3	Ható tényezők felsorolása és fontosság szerinti osztályozása	40
6.4	Az eredmények összevetése az előfelvetésekkel	41
7	További kutatások szükségessége	42
8	Összegzés	43

Bibliográfia

Függelékek

I.számú függelék: Vízszigetelő anyagok tulajdonságai

II.számú függelék: Hőszigetelő anyagok tulajdonságai

III.számú függelék: Mért kombinációk jegyzéke

IV.számú függelék: Kísérleti jegyzőkönyv

V.számú függelék: Képjegyzék

VI.számú függelék: Kihajtható jelmagyarázat

1. Bevezető

1.1 A burkolt tetők bemutatása

A kortárs építészet egyik hangsúlyos motívuma az úgynevezett burkolt tető melynek legjellemzőbb (de nem kizárólagos) megnyilvánulása, hogy a tetőt a homlokzatburkolattal azonos anyag fedi. „Ez a motívum egy építészeti tendencia kísérőjelensége. Ennek a gondolatkörnek az a lényege, hogy az épülettömeget (elszakadva a 'ház' archetípusától) szoborszerűen formálja, mintha egy 'tömbből' vágták volna ki. A törekvés célja az, hogy erős karaktert adjon az épületnek, egyúttal az alkotói szabadságot, mint önálló értéket helyezi középpontba. Az irányzat egyik legfontosabb eszköze a nagyítás tervezési eljárásaként való alkalmazása. Ennek következménye a homogenitás, a tető és homlokzat közötti éles határ elmosódása. A felületek hajlásszögének megválasztása a látvány szempontjainak megfelelően történik. A kisléptékű tárgyak, makettek felnagyításával létrehozott épület anyaghasználata és részletképzése szükségszerűen különbözik a hagyományos épületekétől.”¹

„A burkolt tető elnevezést a tetőfedésektől való megkülönböztetés, a látvány prioritása indokolja: a külső kéreg elsődlegesen esztétikai burkolat és csak másodlagosan (vagy úgy sem) szolgálja az épület időjárási hatásokkal szembeni védelmét.”²



A burkolt tetők különböző formáinak megjelenése a kortárs építészetben. A képeken látható épületek sorrendben: Laposa pincészet, Badacsony; családi ház, California; Villa Hermína nyaraló, Cernin.

1.2 Kiindulási helyzet

A burkolt tetők tipikus rétegrendjében a hő- és vízszigetelés fölött a burkolatot tartó vázrendszer helyezkedik el, melyet konzolok rögzítenek a teherhordó ferde födémhez. A speciális rétegrendi helyzet miatt a vízszigetelés durvább mechanikai igénybevételnek van kitéve a kivitelezés alatt, mint a végleges működési állapotban. A ferde helyzetű egyenes rétegrendek esetén a vízszigetelésekre kivitelezés időtartama alatt jellemző hibák lehetnek a szél által okozott kár, a felületi tökéletlenségek és a szigetelések megcsúszása.

¹⁻² Dr. Dobszay Gergely PhD, 2011, Burkolt tetők épületszerkezetei. (PhD értekezés, Budapesti Műszaki Egyetem, Építésztechnika, Építésztechnika Tanszék)

A vízszigetelés átszűrődése esetén a víz bejut az alatta található szerkezetekhez. A beszivárgó víz csökkenti az aljzat hőszigetelő képességét emellett fagy hatására további károkat okozhat az egész szerkezetben is.

A vonatkozó szabványok, irányelvek és a tudományos szakirodalom nem adnak támpontot a burkolt tetők hő- és vízszigetelő anyagainak kiválasztásához. Az anyaggyártók az anyagaikat általában önmagukban, a beépítési környezettől függetlenül, laboratóriumi körülmények között mérik és minősítik. Az anyagok a különböző rétegrendi helyzetben és a szabadban esetlegesen ható, szabványban nem definiált tényezők által eltérő viselkedést mutathatnak.



Az első három képen a pécsi Kodály Központ burkolt tetejének a kivitelezése látható a már elkészült vízszigetelés fölött. A negyedik képen Villa Hermina nyaraló külső végleges burkolatnak, a vízszigetelésnek felhordása látható.

1.3 Célok

Számos kutatás és kísérlet irányult a víz- és hőszigetelő anyagok tulajdonságainak mérésére és összehasonlítására. Ezen kutatások metodikájával szemben tanulmányunk lényege, hogy a mérés nem külön a hő- vagy vízszigetelés, hanem a két anyag együttes viselkedésének megfigyelésére irányul. Ebben a tekintetben kísérletünk hiánypótló.

A kutatás során a legkülönbözőbb kombinációkban nagyszámú víz- és hőszigetelés fajtát vizsgálunk pontszerű teher hatása alatt. Labor körülmények hiányában egyedileg gyártott kísérleti berendezésen végzett méréssorozatunk eredményei alapján számszerűsíthető összehasonlításokat és megalapozott ajánlásokat tudunk adni ilyen szerkezetek tervezői számára.

1.4 Legfőbb kutatási kérdések

Legfőbb kutatási kérdésünk, hogy a vízszigetelés teljesítményét pontszerű terhelés esetén milyen módon befolyásolja a hőszigetelő aljzat anyaga. További kérdés, hogy egy megfelelően megválasztott rétegrendi kombinációval csökkenthető-e a beépített vízszigetelés meghibásodásának lehetősége a kivitelezés folyamán.

1.5 Előfelvetések

- a) A nagyobb szilárdságú hőszigetelő aljzat növeli a ráfektetett vízszigetelés ellenállását a kivitelezés során előforduló mechanikai hatásokkal szemben.
- b) Pontszerű terhelés alatt a kisebb szakítószilárdságú vízszigetelés ellenállását javítja egy keményebb hőszigetelő aljzat.
- c) Vastagabb vízszigetelő anyagoknak hőszigeteléstől függetlenül általában nagyobb az ellenállása.
- d) Hordozóréteggel rendelkező anyagok ellenálló-képessége rendszerint nagyobb.
- e) Nagyobb nyúlóképességű vízszigetelő anyagok az alakváltozásuk miatt nagyobb teher hatására szűrődnek át.
- f) A bevonat vízszigetelés a kísérleti viselkedés és valós építési tapasztalatok alapján feltehetőleg jó megoldás lesz.
- g) A víz- és hőszigetelő anyagok szabványokban meghatározott értékeinek nem lesz jelentősége a kísérletünk esetén, mivel az értékek a szabvány által használt mérési módszert fejezik ki.

2. Tudományos környezet

2.1 Általános szakirodalom

A burkolt tetők témájában fellelhető szakirodalom minimális. A külföldi és magyar publikációk nagy része főként tervezéseméleti nézőpontból tárgyalja a burkolt tetőszerkezettel kialakított épületeket. A szakirodalom hiányosságát igazolja az is, hogy a témának nem alakult ki egy általános fogalom- és szabályrendszere sem.

A burkolt tető épületszerkezettani kialakításával kapcsolatban egyetlen átfogó mű Dobszay Gergely egyetemi docens által írt „Burkolt tetők épületszerkezetei” című PhD értekezés. A szerző az összefoglaló írásban meghatározza a burkolt tetőt, mint épületszerkezettani fogalmat, jellemzi a különböző hasonló szerkezeteket és működési folyamataikat, rendszerezi

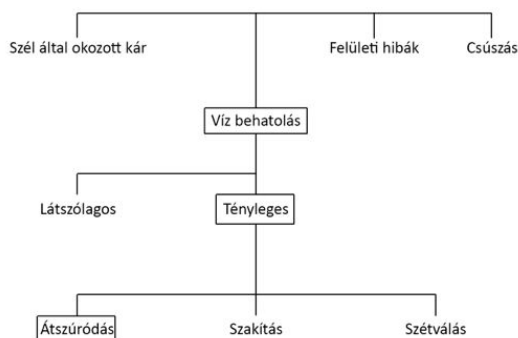
a burkolt tetőt érő hatásokat és javaslatot ad a követelmények és részletmegoldások megtervezéséhez is.

A burkolt tető megtervezéséhez szükséges új rétegrendi illetve műszaki megoldások kitalálása és valós helyzetben való tesztelése elengedhetetlen a követelményeknek legjobban megfelelő anyagok kiválasztásához. A dolgozatban a további kutatási javaslatok között szerepel az általunk kiválasztott kutatási téma is. TDK dolgozatunk a burkolt tető ferde helyzetű egyenes rétegrendjébe beépített víz- és hőszigetelések együttes, pontszerű átszűrődással szembeni ellenállásának tesztelésével és a párosítások összehasonlításával szeretne átfogó képet adni hasonló szerkezetek tervezői számára.

2.2 Kapcsolódó tudományos közlemények

a) A vízszigetelések tönkremenetelének lehetséges módjairól szóló publikáció

Roger L. Bonafont „Application of Performance Concept in Evaluation, Specification, and Selection of Roofing Materials” ('A teljesítmény elv alkalmazása a tetőfedő anyagok minősítésében, műszaki tulajdonságainak leírásában és kiválasztásukban') című tanulmánya részben a vízszigetelések teljesítményével és a vízszigetelésekkel kapcsolatos tetőszerkezeti problémák lehetséges okairól ír. Véleménye szerint minden vízszigetelést érintő meghibásodás – kivétel a természeti erők által okozott-visszavezethető a tervezési vagy kivitelezési fázisban elkövetett emberi hibára. A tanulmány feltárja és rendszerezi a kivitelezés során vízszigetelésre jellemző meghibásodási módokat:



A tanulmány második felében a bitumenes vízszigetelő lemezek tönkremenetelét vizsgálja az öregedéssel szemben, mivel állítása szerint ez a legelterjedtebb szigetelőanyag a cikk írása idejében.

Bonafont tanulmánya alátámasztja a TDK kutatás egyik alapvetését, miszerint a kivitelezés során jelentős igénybevételeknek van kitéve a vízszigetelés és ezáltal az alatta lévő szerkezetek, de megoldási javaslatot nem tesz az esetleges károk kiküszöbölésére. Felhívja viszont a figyelmet az anyagok öregedéssel bekövetkező teljesítménycsökkenésére, mellyel még egy új szerkezet kivitelezésénél nem, de bizonyos idő elteltével, a későbbi időszakos karbantartások idején vagy egy esetleges későbbi felújításnál számolni kell.

b) A kőzetgyapot táblák dinamikus, pontszerű terheléséről szóló publikáció

Andrius Buska, Dorthe Lybye és Romualdas Maciulaitis „Effect of Dynamic Load on Value of Point Load of Mineral Wool Boards”(‘Kőzetgyapot táblák értékelése dinamikus pontszerű teher hatására’) című tanulmány a dinamikus pontszerű terhelés hatását vizsgálja három különböző - kis hajlásszögű tetőnél alkalmazott - kőzetgyapot hőszigetelés esetén. Az általuk végzett kísérlet azt a jelenséget imitálja, mikor a tetőszerkezet építése közben vagy akár az időszakos karbantartás során a hőszigetelő réteg járófelületként szolgál és ezáltal ki van téve a rajta közlekedő emberek léptei által okozott – gyakran akár 130-150 kPa - direkt, rövid ideig tartó, dinamikus, pontszerű terhelésnek. Az dinamikus terhelés alatt tapasztalt eredmények végül kimutatták, hogy a kőzetgyapot nem tud homogén anyagként viselkedni.

A jelenleg érvényben lévő szabványok a hőszigetelések 10%-os összenyomódásnál mért nyomófeszültségi értéket és a pontszerű terhelhetőségét adják meg. A tanulmány viszont rávilágít arra, hogy fontos lenne az anyagok dinamikus terheléssel szembeni ellenállását is meghatározni, hiszen a kivitelezés közben a hőszigetelő rétegen az élőmunka által keletkező felületi deformációk kihatással lehetnek a tetőszerkezet későbbi nem megfelelő működésére.



A képek a dinamikus pontszerű teher által a kőzetgyapot táblákon okozott deformációit mutatja meg és a kísérleti eszközt.

A burkolt tetők egyenes rétegrendű kivitelezése során a hőszigetelés ki van téve a tanulmányban leírt igénybevételeknek. A burkolatot tartó vázrendszer megnehezíti a szerelést,

így a szakmunkások hőszigetelésen való közlekedése által okozott deformációk még jelentősebbek lehetnek. A közetgyapottól eltérő anyagoknál is alakváltozások léphetnek fel és egyenes rétegrend esetében is hasonló károkat okozhat a vízszigetelés alatt.

c) Szabványok és kivitelezési tapasztalatok összehasonlításáról szóló publikáció

R. J. Booth, J. M. Minialoff, M. Murphy „Field Experiences versus Standards and Design” ('Helyszíni tapasztalatok szembeállítása a szabványokkal és tervezési elvekkel') című tanulmánya a tapasztalati tudást hasonlítja össze a tetőszerkezetekre vonatkozó előírásokkal Kanada hidegebb klimatikus viszonyaira koncentrálva. Egyes kiválasztott tetőszerkezeteknél bemutatja az előírásokban nem feltüntetett, de esetenként szükséges – és a gyakorlatban már alkalmazott – megoldásokat. Például a cikk írásának időpontjában a bitumenes lemezek lánghegesztett átlapolásánál a nagy hideg hatására hatalmas igénybevételek keletkezhetnek, és erre mechanikai rögzítési javaslatot tesz a bitumenes lemez szegényeinél. Felhívja a figyelmet arra is, hogy az anyagra vonatkozó szabványok, az építési előírások és a gyakorlat területenkénti változó és nem alkalmazkodik a területenként különböző környezeti adottságokhoz. A kanadai rendszerben például az anyagokkal szembeni követelmények az egész ország területén azonosak, míg a gyakorlat és az előírások tartományonként különböznek.

Meghatározták, hogy a jól működő tetőszerkezet alapja a hozzáértő tervezés, a megfelelő anyagok kiválasztása, a szakszerű kivitelezés és a rendszeres karbantartás. A négy befolyásoló tényezőbből a legfontosabb a kivitelezés, hiszen a tetőszerkezet elkészítése laboratóriumi környezettel szemben a szabadban történik.

A dolgozatunk alapját adó kísérlet is ezt a szemléletet veszi alapul. Az életszerűbb, otthoni körülmények között olyan hatások jelenhetnek meg a kísérlet folyamán, melyek egy laboratóriumi vizsgálat során elképzelhetetlenek lennének.

d) Összegzés

Kutatásuk során nem találtak olyan tudományos közleményeket, melyek a rétegrendi kombinációkat vizsgálnák a mi kísérletünkhöz hasonló módon. A kutatáshoz forrásként felhasznált külföldi publikációk egyrészt a kivitelezés közben történő – külön a víz- és hőszigeteléseket érintő - meghibásodási módokra, másrészt az előírások hiányosságaira hívják fel a figyelmet.

2.3 Szabványok

Bár kísérletünk várható eredménye teljesen eltér a szabványosítást folyamatából adódó eredményektől, utánanéztünk, hogyan is mérik hivatalosan az egyes mechanikai tulajdonságokat. Az adatok, amiket az interneten elérhető adatlapokon megadnak a gyártók és cégek általában megnyúlásra, nyomó-, húzó- és szakítószilárdságra, valamint néha pontszerű terhelésre is kitérnek. Az anyagtulajdonságokat jellemző adatok gyártótól függően néha különböző minősítésnek felelnek meg (EN, MSZ EN, MSZ, DIN).

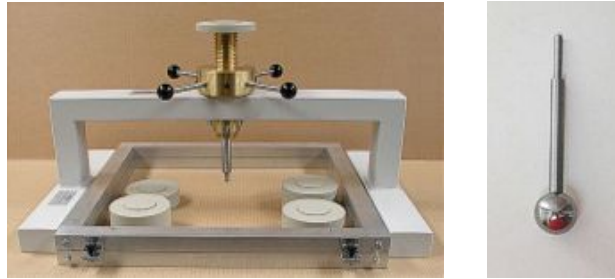
A saját és a szabványeljárások kísérleteinek összevetése érdekében utólag, a számunkra fontosabb szabványoknak utánajártunk. Kíváncsiak voltunk, hogy a mi mérőrendszerünkkel szemben egyes szabványok mekkora próbatesteket, milyen módszereket, milyen besorolásokat és milyen számolásokat alkalmaznak. Amelyik szorosan kapcsolódik kutatásunkhoz, arra részletesebben is kitértünk.

a) MSZT/MB 120 Az építőiparban vízszigetelésre használt bitumenes, műanyag és gumi, hajlékony lemezek szabványosítása. Ezen belül a tetők vízszigetelésére, a talajnedvesség elleni szigetelésre használt hajlékony lemezek, az átfedéses tetők és a falburkolatok alátétlemez.

b) MSZ EN 12730:2001 Hajlékony vízszigetelő lemezek. Bitumenes, műanyag és gumilemezek tetők vízszigetelésére. A statikus terheléssel szembeni ellenálló képesség meghatározása.

A szabványban mért, pontszerű terhelésre vonatkozó adat csak kevés vízszigetelő lemez gyártók által közzétett adatlapján található meg. A mi dolgozatunk rávilágít arra, hogy minden vízszigetelésnél kötelező legyen megadni az erre vonatkozó értékeket.

A szabványhoz tartozó teszt a vízszigetelő lemezek kiszúrására irányul. Mechanikai igénybevételnek van kitéve hosszú statikai teher vagy rövid idejű dinamikus teher által. A koncentrált terhet két féle aljzaton mérik: A) lágy – EPS 500x500x50 mm B) kemény – beton 300x300x40 mm. A szúróeszköz gömb fejűvel rendelkezik és 10 mm-es átmérővel. A terheléshez 1 db 3 kg-os és 3 db 5 kg-os tárcsát használnak. A tesztelt vízszigetelés lágy aljzaton 550x550 mm-es, kemény aljzaton 300x300 mm-es. A kísérletet minden esetben $23\pm5^{\circ}\text{C}$ -on mérik. Kezdő terhelésnek egy 5 kg-os tárcsát helyeznek fel és 24 óráig hagyják állni. Ha a vízszigetelés nem szakadt át, újabb terhelés után még egy napot várnak. A tárcsa felhelyezésére külön kell figyelni, hogy ne rázza meg a szerkezetet. A szabvány szerint az anyag akkor tekinthető adott teherre vonatkozólag ellenállónak, ha 3 próbatest sem lyukadt ki.



MSZ EN 12730 szabványban használt eszköz és a gömb formájú szűrőfeje.

Ez a kísérlet nagyon hasonlít az általunk becslések és tesztelések során létrehozott kísérleti módszerre, melyet a szabvány előzetes ismerete nélkül alakítottunk ki. A tesztelt kombinációk és a valóságban is ilyen rétegrendű tetőkön alkalmazott anyagok tesztelése miatt a kísérletünk életszerűbb.

c) MSZ EN 12311 – 1:2000 Hajlékony vízszigetelő lemezek. A húzóási tulajdonságok meghatározása. 1. rész: Bitumenes lemezek tetők vízszigetelésére

MSZ EN 12311 – 1:2000 Hajlékony vízszigetelő lemezek. A húzóási tulajdonságok meghatározása. 2. rész: Műanyag és gumilemezek tetők vízszigetelésére

A két kísérlet egyazon elven lett szabványosítva, miszerint a próbatestet állandó húzási sebességgel szakadásig kell nyújtani. Két mért érték mérvadó: a szakadási szilárdság valamint a megnyúlás százalékos aránya. A gép 2000 N maximális erővel tud szakítani. A kísérlethez elő kell készíteni minden anyagból 5-5 próbatestet, melyet hossz- és keresztirányra is méreteznek. A végeredményeket N/50 mm-ben, nyúlást %-ban kell megadni.

A bitumenes szigetelés téglalap alakú próbatestének egyik oldala 50 ± 5 , míg a másiké $200 \pm 2x$ a befogási hossz. A műanyag és gumi vízszigetelő lemezeknél két féle próbatest létezik, az egyik a bitumenessel megegyező, a másik pedig az úgynevezett „súlyzó” alakú. A súlyzó alakú próbatest befogásnál 115 mm széles, a próbatest közepén pedig $6 \pm 0,4$ mm széles lehet.

Ez az adat minden termék adatlapon megtalálható volt, de néha nem a szabványos mértékegységben.

d) MSZ EN 13172:2012 Hőszigetelő termékek. A megfelelőség értékelése

e) MSZ EN 826:1997 Építőipari hőszigetelő termékek. Az összenyomódási viselkedés meghatározása

f) MSZ EN 12430:2013 Hőszigetelő termékek épületekhez. A pontszerű terhelés alatti viselkedés meghatározása

A szabvány lényege a hőszigetelő termékek viselkedésének megfigyelése erő hatására. A próbatest kis felületét adott sebességgel terhelik, és ebből állapítanak meg pontszerű viselkedési szabványokat. Az egyik legfontosabb indok a szabvány elkészítése miatt a gyalogos forgalom a szigetelő anyagon. A kapott érték ennek összehasonlítására irányul.

A terhelés pontszerű, 50 cm²-es 79,8 mm-es kör átmérőjű eszközzel történik. A hőszigetelő tábla mérete 300x300 mm. Előterhelés $2,5 \pm 0,15$ N-tól vagy 500 ± 50 Pa-tól történik. A fej sebessége 50 ± 5 mm/min. A kísérlet akkor tekinthető befejezettnek, ha a próbatest elérte a kritikus pontot vagy elérte a 20%-os összenyomódást.

Pontszerű terhelésből adódóan kapcsolódik a kísérletünkhöz és valószínűleg később mindkét pontszerű terhelés szabványát kell majd ötvözni.

g) CPR Európai Unió direktíva – Construction Products Regulation

A CPR, azaz az Építőipari Termékek Szabályozása annak érdekében született meg, hogy különbséget lehessen tenni az egyes anyagok között. Ez a szabályozás elősegítené a teljesítményelvű tervezést és a gyártók közötti versenyt. Jelenleg a gyártók nem mindig ugyanazokon a szabványokon tesztelik anyagaikat, ez a szabályozás pedig megkönnyítené az összehasonlításukat. Ún. „közös technikai nyelvezetet” szeretnének elérni. Ez a tervező építészeknek, mérnököknek és építőiparban dolgozóknak nagy segítség lehet a megfelelő szerkezet kiválasztásához.

A TDK dolgozatunk is részben a teljesítményelvű tervezési módszert segítő, további anyagtulajdonságok vizsgálatát és az adataik közzétételének szükségességére hívja fel a figyelmet.

3. A kísérlet előkészítése

3.1 Előkészítő folyamatok

A kísérlet megkezdése előtt meg kellett határoznunk a mérés pontos módszerét, melynek két fontos lépése a kísérletezéshez szükséges anyagok kiválasztása és a kísérleti eszköz működési elvének kitalálása volt. Ez a két folyamat párhuzamosan zajlott és állandóan visszahatott egymásra. Így az előkészület, mint a kísérlet sikerességét megalapozó tevékenység a kutatás leghosszabb folyamata lett. Előzetes felvetéseink, becsléseink és saját tapasztalataink útján jutottunk el a végleges anyaglistához és kísérleti eszközhöz.

3.2 Anyagok kiválasztása

A kísérlethez szükségünk volt különböző hő- és vízszigetelő anyagokra. A kísérlet könnyebb kivitelezése érdekében a hőszigeteléseknél meghatároztunk egy 10 cm-es egységes vastagságot. Előzetes kutatások alapján úgy véltük, hogy szinte minden anyaggyártó palettáján szerepel majd a 100 mm vastagságú hőszigetelő tábla. Ezzel szemben a vízszigetelő lemezeknél nem határoztunk meg előre semmilyen paramétert. Törekedtünk a minél változatosabb anyaglista összeállítására, hogy ezáltal minél több anyagszerkezetű kombinációt tudjunk összehasonlítani.

A hőszigetelések kiválasztása folyamán igyekeztünk lépésálló, főleg lapostetőkön használt anyagok mellett dönteni. Ez azért volt fontos szempont, mivel a burkolt tetők tervezése a lapostetők beépítési elvén alapul. Különböző merevségű, szilárdságú, anyagszerkezetű, kasírozású és gyártmányú hőszigeteléseket kerestünk.

A vízszigetelések kijelölésekor eltértünk a már bevált, gyártók által egyenes rétegrendre ajánlott vízszigetelő lemezek használatától. Nem akartuk kizárni, hogy más célra gyártott szigetelések is megfelelnek a mechanikai követelményeknek és igénybevételeknek. Így a lapostetőn alkalmazott vízszigetelő lemezek mellett magastetőn használt tetőfóliákat és alépitményi szigetelésre szolgáló anyagokat is számításba vettünk. Ezeken belül különböző anyagszerkezetű, vastagságú, hordozórétegű, bevonatú, rögzítésű és gyártmányú vízszigeteléseket listáztunk ki.

3.2.1 Vízszigetelések

A gyártók megkeresése előtt különböző szempontokból csoportosításokat alkottunk a minél különfélebb vízszigetelések kiválasztásához. Elsőként a legfontosabb az anyag, a felépítés és a hordozóréteg szerinti csoportosítás volt. A későbbiekben, az eredmények összevetése előtt begyűjtöttünk a kiválasztott vízszigetelő anyagok húzószilárdsági és további tulajdonságait is.

a) anyaga szerint:

- műanyag
- bitumen alapú
- bevonat szigetelés
- stb.

b) felépítése szerint:

- homogén
- többrétegű
- stb.

c) hordozóréteg szerint:

- polietilén szövet
- poliészter szövet
- üvegfátyol szövet
- filc szövet
- hálós szálerősítés
- egyirányú szálerősítés
- stb.

3.2.2 Hőszigetelések

A hőszigetelésekről is csináltunk előzetes felmérés miatt különböző szempontok alapján történő csoportosításokat. Elsősorban anyag, felületképzés és felépítés alapján részleteztük a hőszigeteléseket. Az összesített eredmények ábrázolásakor további anyagtulajdonságokat is megkerestünk.

a) anyag szerint:

- extrudált polisztirol hab (továbbiakban XPS)
- expandált polisztirol hab (továbbiakban EPS)
- kőzetgyapot
- poliizocianurát hab (továbbiakban PIR)
- habüveg
- stb.

b) felületképzés szerint:

- kéregerősített
- kasírozott
- külön felületképzés nélküli
- stb.

c) felépítés szerint:

- homogén
- többrétegű
- stb.

3.2.3 Gyártók és forgalmazók felkeresése

Az egyetemen beadott részletrajzokon és műszaki leírásokban a beépítési elvek fontosabbak, mint az anyag összes tulajdonságának részletezése és a gyártott típus pontos kiválasztása. A cégek felkutatása és forgalmazott anyagok közötti választás ezért a kezdetekben nehézséget jelentett. A hő- és vízszigetelő anyagok kiválasztást könnyítő rendszerezés után összeállt a kísérlethez szükséges anyagok listája. A listán szereplő anyagok gyártóit és forgalmazóit a témavezetőnkől kapott ajánlást is mellékelve kerestük fel. A kért mennyiséget körülbelül a kezdeti kísérleti eszköz paramétereikhez igazítottuk.

A gyártókkal és forgalmazókkal való kapcsolattartás és személyes találkozók során kérdéseikkel és további felvetéseikkel segítették a végleges kísérleti módszer pontosítását. Végül a legtöbb általunk megkeresett cég támogatta a kísérletünket. Előfordult, hogy a kértnél nagyobb anyagmennyiséget és nem kért anyagokat is kaptunk. *Az anyagok végleges listáját lásd: I.számú függelék: Vízszigetelő anyagok tulajdonságai és II.számú függelék: Hőszigetelő anyagok tulajdonságai.*

4. A kísérleti eszköz

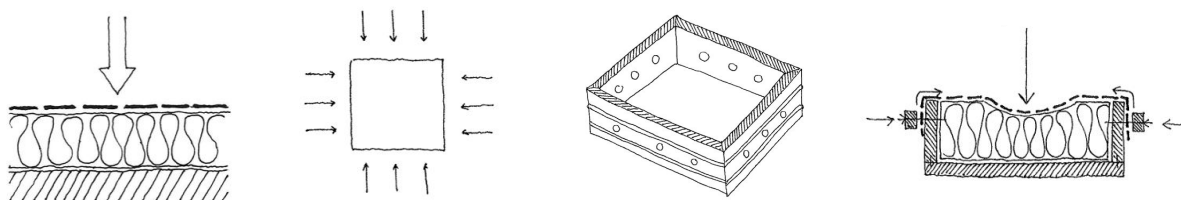
4.1 Kísérleti körülmények

Laboratóriumi körülmények hiányában saját magunk terveztük és építettük meg a kísérleti eszközt, mellyel a különböző kombinációk átszűrődését tudtuk mérni. A kísérleti eszköz megfelelő működéséhez figyelembe vettük a szigetelőanyagok paramétereit.

4.2 Rétegrend meghatározása

Az első fontos kitétel a rétegrendi felépítés kiválasztása volt. Fordított rétegrendű lapostetőknél a végleges beépítési környezetben nem valószínű, hogy a vízszigetelés pontszerű teher hatására átszűrődik. Ez azonban függhet a hőszigetelés vastagságától és a födém kivitelezési hibáitól is. A vízszigetelés tönkremenetele esetén az utólagos javítások is sokkal bonyolultabb kivitelezési feladatot eredményeznek. Egyenes rétegrendű tetők esetén viszont a vízszigetelés a hőszigetelés felett található. Ebben az esetben a mechanikai és környezeti hatások közvetlenül a vízszigetelő lemezt érik. A hőszigetelő táblák a környezeti hatásoktól védve vannak, de mechanikai hatások közvetve okozhatnak deformációkat.

A rétegrend meghatározása után fontos volt, hogy ezen anyagok különböző mechanikai tulajdonságait figyelembe vegyük. Ahhoz, hogy a hőszigetelő anyagok a kísérlet során ne mozogjanak a táblákat négy oldalról határoltuk le. A vízszigetelő lemezek egy pontszerű nyomás hatására megfelelő megfogás nélkül összehúzódnak. Pontonkénti megfogásnál féltünk, hogy az anyag előbb tönkremegy a befogásnál, mint a pontszerű teher által okozott átszűrődés hatására. Így az anyagtulajdonságtól független működése érdekében a vonal menti megfogásnál döntöttünk.



Az egyenes rétegrendi helyzetben levő szigetelő anyagok rögzítési elvei: a hőszigetelést négy oldalról támasztó doboz, melynek külső oldalán található a vízszigetelő lemezek vonal menti rögzítése is.

A meghatározott elvek alapján kialakult a kísérleti eszköz anyagokat rögzítő része, melyben a hőszigetelés be van csomagolva. Oldalról a vízszigetelés vonal menti befogását tartó fal veszi körül, míg felülről a vízszigetelő lemezzel van lefedve. Alul egy oldalfalakkal egybeépített merev aljzat található. Ehhez a zárt dobozhoz viszont már nem lehet egyszerűen további

elemeket csatlakoztatni vagy akár bővíteni, ezért mindenképp két részből kell állnia a kísérleti eszköznek. Az egyik az anyagokat rögzítő doboz, a másik pedig a szűrőeszköz.

4.3 Szűrőeszköz kialakításának elvei

A szűrőeszköz kialakulásához egy valós analógián keresztül kezdtünk gondolkodni. Az egyik leggyakoribb építési helyszínen előforduló tárgyat vettünk példának, egy szöget. A szög alakjából és formájából kiindulva a csonka kúp alakú szűrőfejjel kezdtük el a kísérletezést. Úgy gondoltuk, ha a kúp forma kiszűrja a vízszigetelést, akkor az erő hatására a szűrőfej teljes egészében átszalad és teljes (legnagyobb) keresztmetszetével átszűrja a vízszigetelést. Fontos volt a kísérlet pontossága szempontjából, hogy a fej vége teljesen tompa legyen, semmilyen hiba vagy sorja ne legyen a felületén.



Szűrőfej kialakításának variációi.

A burkolt tetőknél a rétegrend a vízszintestől valamilyen eltérő szöget zár be. Valószínűtlen esemény az, hogy a pontszerű átszűrődés a rétegrendre merőlegesen hat. Ettől eltekintve az egyszerűbb mérés érdekében mi mégis úgy döntöttünk, hogy a szűrőfej merőlegesen szűrja át vízszigetelést.

A szűrőfej paramétereinek meghatározása összefügg a rá ható teherrel. A kísérlet házi jellege miatt általunk is kezelhető teherre kellett méretezni a szűrőfejet. Előzetes becsléseink szerint a legerősebb anyagkombináció is átszűrődik 4-5 milliméteres felületen kb. 10 kg teher esetén.

4.4 Mérési módszer lehetőségei

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

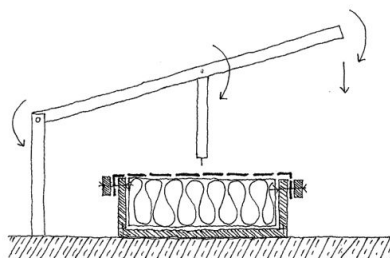
4.4.1 Erőkar rendszer

A rendszer logikája a libikóka elven alapul. Ahhoz hogy a terhelés és a szűrés is függőleges irányban és lefelé hasson, két karra van szükség. Az egyik kar végén található a szűrőeszköz, a másik karon végén van terhelve a rendszer. Ezek a karok egyenként fal oldalára rögzített kiálló konzolokra erősíthetőek és, ezáltal csak a dobozt kell mozgatni és cserélni.

Az előnye az, hogy viszonylag pontos mérést eredményez, az erőátadást egyszerű fizikai számításokkal ki lehet számolni. Hátránya, hogy a szűrőfej nem teljesen függőlegesen, hanem a kar mozgásából adódóan valamilyen ív mentén fogja kiszűrni a szigetelést. Bonyolult kivitelezést eredményez, ha bármilyen falra konzolokat kell felhelyezni és az eszköz anyagmennyisége is megnő. Az egyszerű fizikai számítások pedig nehezednek, ha anyagtulajdonságokkal is számolunk, például fa kar meggörbül vagy megakad a konzolon. Javasolt lenne valamilyen fém zártszelvény, ami pedig az árat növeli meg.

4.4.2 Egyszerű gép

Az erőkar rendszerhez hasonló rendszer, egy karra redukálva. Ebben a variációban a szűrőfej dugattyú elven működik a kar valamelyik pontján és a terhelés pedig a kar végén történik.

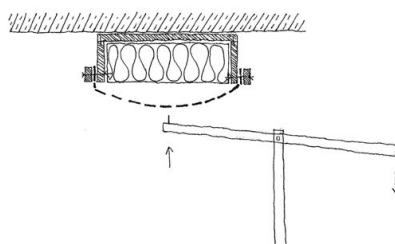


Az 'egyszerű gép' mint kísérleti eszköz variáció működési elve.

Előnye, hogy egy karral ugyanazt megoldja, mint a kétkarú rendszer. A szűrőfej itt is merőlegesen tud hatni a rétegrendre valamint egyszerű fizikai számításokkal igazolható, hogy a valós átszűrődési erőnél kevesebb erőt kell majd a kar végén kifejteni. Hátránya, hogy pontos kivitelezést igényel.

4.4.3 Fejtetőre állított rétegrend

Az előző két rendszer kombinációja, ahol egy kar van, melynek egyik vége a terhelt rész, a másik vége a szűrőfej. A rétegrend viszont a fejtetőn áll és kvázi fordított rétegrendként működik, melyet alulról szűrünk meg.

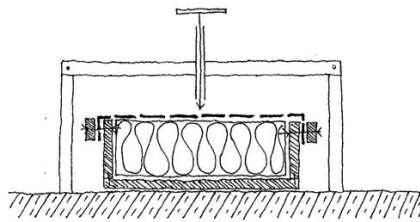


A 'fejtetőre állított rétegrend' mint kísérleti eszköz variáció működési elve.

Előnye, hogy a vízszigetelésre nem hat a kezdetekben semmilyen erő, egyszerű fizikai számítások útján számolható, és egyszerű kivitelezni is. Hátránya, hogy a vízszigetelés belógása miatt nem biztos, hogy teljesen pontos lesz a mérés. Másrészt a fejre állítás miatt valótlan lesz a mérési példa, hiszen a valóságban nagyon durva kivitelezési hiba kell ahhoz, hogy így szűrődjon át egy rétegrend.

4.4.4 Központosan terhelt fej

A szűrőeszköz részt hosszabbra vesszük, vagy magát szűrőfejet egy pálca végére erősítjük és az egészet egy csövön keresztül átvezetjük. Ezzel a módosítással elkerülhetjük a szűrőfej vízszintes irányban történő elmozdulását. Az anyagokra merőlegesen álló meghosszabbított szűrőeszközt a végén terheljük. Fontos, hogy az átvezető csövet stabilizálni kell függőleges irányban is. A végső eszköz megépítésénél végül ezt, a központosan terhelt mérési módszert használtuk.



A 'központosan terhelt fej' mint kísérleti eszköz variáció működési elve.

A rendszer előnye, hogy semmilyen fizikai számítást nem kell alkalmazni, egyszerűen elkészíthető, és közelít a valós hibákhoz visszavezethető okokra. Hátránya, hogy a cső-szűrőfej súrlódásával számolni kell valamint instabil szerkezet jöhet létre.

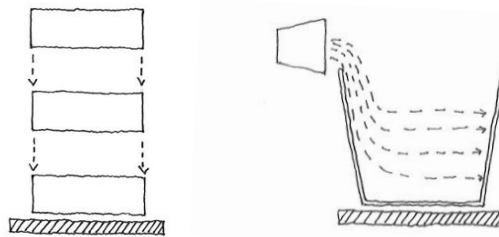
4.5 A pontszerű teher méretezése

A mérési módszer lehetőségein túl a terhelés mértéke volt a fő kérdés. Kezdetekben törekedtünk a lehető legprecízebb szakaszos terhelési módszer (méretlépcsők) kidolgozására. Két terhelési variáció felmerült a már kitalált mérési rendszerekhez:

a) Méretlépcsők egységsúlyokkal

Először meghatároztuk a méretlépcsők alapegységét, egy viszonylag nagy (kb. 1 kg) tömeget. Bár a kísérletet nem befolyásolta, a mérési rendszer miatt ki kellett választanunk a súly anyagát. Felmerült a súlyozó tárcsák vagy akár saját magunk által készített 1 kg tömegű beton vagy méretre vágott fadarabok alkalmazása is. A nagy méretlépcsők előnye, hogy az átszűrő erő nagysága biztosan megállapítható. Ez egy olyan érték, amely esetén minden további

befolyásoló körülmény hatására is valószínűsíthető rétegrendi kombináció átszűrődása. Hátránya, hogy pontos eredményeket nem ad és később túl sok rétegrendhez azonos eredmény fog társulni. Kísérletünk így elnagyolt lesz. Az alapegység csökkentésével végzett újabb számításokból egyértelműen pontosabb eredményeket kaptunk. Feltételezéseink alapján a legpontosabb mérési adatokat kb. 0,1-0,2 kg tömegű kis méretlépcsők esetén kapnánk. Az alapegység ilyen mértékű csökkentése viszont jelentősen növeli az egy kombináció terhelésére jutó időt.



A terhelés folyamatának lehetőségei sorrendben: egységsúlyokkal vagy fokozatos öntéssel.

b) Méretlépcsők egységsúlyainak elhagyásával

Rájöttünk, hogy ha nem adunk meg pontos méretlépcsőt és olyan anyaggal mérünk, mely folyamatosan adagolható, az eredmény is pontosabb lesz és az egy mérésre jutó idő is csökken. A fokozatos adagoláshoz a legjobb anyagnak a víz bizonyult, mellyel akár dekagrammra pontosan is megkaphatjuk a rétegrend maximális teherbírása. Ehhez a szűrőeszköze a víz fogadására alkalmas eszköz, egy vödör került rögzítésre. A mérés előnye és hátránya pontosan az ellenkezője a kis méretlépcsőkkel történő alkalmazásnak.

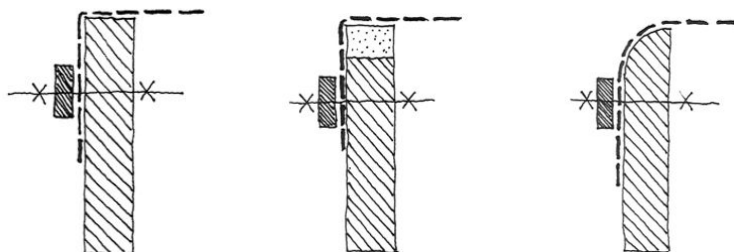
A méretlépcsők esetében 10 kg maximális tehernél az 1 kg-os méretlépcsővel tíz, a 0,1 kg-os méretlépcsővel száz súlyt kell gyártani vagy beszerezni, ami a munka folyamatát késlelteti. A víznek viszont minden tulajdonsága adott ahhoz, hogy gyorsan és aránylag pontosan tudjunk mérni. Aránylag pontos mérés alatt azt értjük, hogy kis hibaszázaléka lesz a mérésnek az átszakadás ideje és a víz öntése között eltelt minimális idő miatt. A végleges mérés folyamán a vízzel történő, lassú, fokozatos terhelés mellett döntöttünk.

4.6 A mérőeszköz tesztelése - „kísérlet kísérlete”

4.6.1 1-es számú mérőeszköz

Az első doboz belső kerülete 50x50 cm volt, mind a négy külső oldalán a vízszigetelést vonal menti megfogással. A szűrőfej alakja csonka kúp volt, a szűrőeszköz 1 cm átmérőjű vasrúdból lett esztergálva. A vízszigetelés oldalfalon való átfordulásánál keletkező feszültségek

csökkentése érdekében és a kísérleti doboz falai íves sarkú furnérlemezről lett levágva. A vízszigetelés vonal menti megfogás miatt egy műanyag lappal lett hozzászorítva az oldalfalakhoz. A doboz falának belső oldalán pántcsavarral és a külső oldalon, szárnyas anyával lett rögzítve a vízszigetelő lemez és az azt leszorító lap.



A vízszigetelés igénybevételeit csökkentő, lekerekített oldalfal kialakulásának fázisai.

Az első rétegrend lágy közetgyapot hőszigetelésen 1,2 mm-es kétrétegű szálerősítéses PVC vízszigetelés volt. Egy kísérlet elég volt, ahhoz, hogy megfelelő értékelést tudjunk kialakítani. Pontos mérés nem történt, a vödör szintezéséből, és a szerkezet önsúlyából kb. 9 kg-ra (kb. 90 N) lehet becsülni az átszűrődáshoz szükséges vízmennyiséget. A víz folyamatos öntése locsolócsővel történt, az ebből fakadó különböző erőket jelentéktelennek tekintjük.

Előnyök: A központosan terhelt fej mérési rendszer jól működött. A becsült 10 kg alatt halk pukkanás kíséretében megtörtént az átszűrődás. A vízöntés módszere megfelelő, a szerkezet kilengése megfelelő kitámasztás esetében jelentéktelen. A hőszigetelés vágási pontatlansága nem számottevő, a PVC vízszigetelés pedig az előzetes elvárásoknak megfelelően nagy alakváltozást szenvedett, mielőtt kilyukadt.

Hátrányok: Az 1 cm-es vasrúd hiába lett nagy szögben esztergálva, nem ütötte át teljesen a vízszigetelést, ezáltal nem állapítható meg pontosan, hogy mikor számít véglegesen tönkrementnek a rétegrend. Bár 10 kg alatt átszűrődött a kombináció, azt feltételeztük, hogy kemény hőszigetelés, és erősebb vízszigetelés esetében sokkal nagyobb erő hatására fog átszűrődni a rétegrend.

4.6.2 2-es számú mérőeszköz

A doboz mérete változatlan maradt, a szűrőfejet azonban az előző kísérlet hátrányai miatt újragondoltuk. Mivel nem volt megállapítható a végleges tönkremenetel, ezért ezt pontosítani kellett. A puha aljzaton elért eredményből arra lehetett következtetni, hogy az átmérőt is csökkenteni kell, és már nem a szűrőfej méretéhez becsültük a maximális tömeget, hanem a maximális tömeghez becsültünk egy olyan átmérőt, amivel még számottevő lesz a

hőszigetelésre való felfekvés és a hőszigetelés tartása: 2 mm-re csökkentettük a fej felületet. Az új, henger alakú – viszonylag éles peremű - szűrőfej biztosítja, hogy az átszakadás után azonnal beesik a vasrúd, ezt pedig az egyenesen levágott 1 cm-es fejrész fogja meg. Ezt 2-2 kísérleten végeztük el: két gyártótól származó 1,2 mm-es szálerezítéses PVC lemezt mértünk XPS és kőzetgyapot hőszigetelő aljzatokon.



Az első tompított végű kúp fejforma és a végleges 2 mm átmérőjű, viszonylag éles peremű, henger alakú szűrőfej.

Előnyök: A vízszigetelő lemez átszakadásának ereje megállapítható pontosan az új szűrőfejjel. A becsült eredmény bevált, 10 kg környékében megtörtént az átszúródás a legerősebbnek ítélt kombináción (PVC-XPS). Akasztós mérleggel ellenőrzött eredményekkel igazolható a mérés. A fejrész vödörrel együttes önsúlya pontosan 1 kg. Valószínűtlen, hogy bármelyik kombináció sem bírna ki ekkora tömeget.

Hátrány: A kísérlet további méréseihez rendkívül sok időt igényel egy rétegrend összerakása. A szűrőfej alakja nem biztosítja annyira a fokozatos átszúródást, de az átszúródás pontos megállapíthatósága esetünkben ennél fontosabb. A vízszigetelő lemezből vagy pontosan 65x65-ös elemeket kell vágni vagy felszerelés közben még méretre kell igazítani. A vízszigetelés feszességét nem lehet pontosan beállítani, mert nem minden anyagot lehet mindkét oldalra pontosan hajlítani. Megállapítottuk, hogy a 65x65-ös méret pazarló.

4.6.3 3-as számú mérőeszköz

A eddigi méréseket nem ítéltük meg működőképesnek a teljes kísérlet lebonyolítására, így újra kellett gondolni előről a méreteket. Ekkorra már az összes szükséges szigetelés be lett szerezve, így az összes kombinációval lehetővé vált a tesztelés. A szűrőfej jól működött mindegyik kombinációs vizsgálat alatt, azonban felmerült a kérdés, hogy feltétlenül szükséges-e 50x50 cm-es táblán mérni és a vízszigetelést négy oldalt befogni. A kezdetben meghatározott szűrőfej lekicsinyítése, és a vártnál egy-két gyártótól kevesebb anyag beszerzése miatt új mérődoboz döntése lett indokolt. A rétegrend 25x25-ös méretben és kétoldali befogással is életszerűnek bizonyul, ezért ezt a méretet határoztuk meg végső

eszköznek. Az összes felmerült hátrányt megpróbáltuk kiküszöbölni. Végül ez a mérőeszköz lett a végleges kísérletünkben.

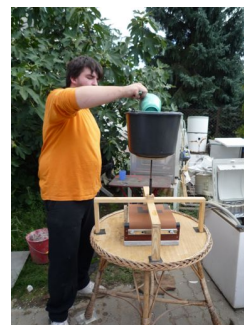
Előnyök: A vízszigetelés kétoldali megfogása gyorsítja a mérést, a kisebb felület pedig több kombináción történő kísérletezést tesz lehetővé. Emellett rendelkezik az első két mérőeszköz előnyeivel is.

Hátrányok: A kétoldali megfogásnál adódhatnak olyan esetek, amikor számítani fog a keresztirányú húzás hiánya. Egyes vízszigetelő lemezek így összehúzódhatnak és felgyűrődhetnek. Ezek a deformációk kihatással lehetnek a mérés végeredményére, mivel a nem feszes vízszigetelés a szűrőfejjel együtt fűrődik be a hőszigetelés anyagszerkezetébe.

5. A végleges kísérlet

5.1 Végleges eszköz

A végleges kísérleti eszköz esetében a 3-as számú, legkisebb felületű mérőeszközt választottuk. Ez a mérőeszköz rendelkezik a korábbi eszközök előnyeivel, hátrányai pedig nagy valószínűséggel a kísérleti eredményeket nem befolyásolják. Fontos megemlíteni, hogy időben a kg-os súlyoktól haladtunk a vízzel töltés megoldása felé. Végül kialakult egy lassú, fokozatos vízzel való mérést lehetővé tevő mérőeszköz. Mivel a vödör mindhárom általunk felvázolt mérési módszerrel kompatibilis, a megvalósíthatóság és a számolás hiánya lett a legfontosabb befolyásoló tényező. Ezek alapján döntöttünk a központosan terhelt fej mellett.



A végleges mérőeszköz jellemzői: henger alakú szűrőfej, a szigeteléseket rögzítő doboz és a szakaszos, vízzel történő terhelés.

5.2 A kísérletünk számszerűsíthető adatai

Szűrő eszköz tömege	0,52 kg
Vödör tömege	0,48 kg
Kísérletben használt vízszigetelő lemez mérete	36x25 cm $\pm$ 3%
Hőszigetelő tábla levágott mérete	25x25 cm $\pm$ 4%
Hőszigetelő tábla vastagsága	100 mm
Szűrőfej alsó részének hossza	10 mm
Szűrőfej átmérője	2,4 mm $\pm$ 1%
Szűrőfej felülete	18,1 mm ² $\pm$ 1%
Szűrőfej által kifejtett felületi nyomás a szűrő eszköz és vödör együttes hatására (1kg=9,81 N)	5,4199 x 10 ² KPa

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:

- Csak egy szűrőfejjel mérünk. A fej átmérőjének változtatása más adatokat, és más vizsgálati szempontokat is tud eredményezni. Tisztában vagyunk azzal, hogy egyes rétegrendeknél igenis számítana egy nagyobb fej, és akár kimagaslóan jobb eredményt tudna elérni.
- Az anyagfáradást sem mérjük, rendkívül megnyújtaná a kísérletezés időtartamát.
- Csak kvázi statikus, azaz lassú terhelést mérünk, dinamikus nem.

5.4 Végleges mérési módszer

A végső kísérletek folyamán a terhelés egy fél literes öntöző edénnyel történt, mellyel a mérések során kb. fél kilogrammos méretlépcsőben, fokozatosan adagoltuk a vizet. Ezt a lassú, fokozatos terhelést kvázi statikus terhelési módnak tekintjük. A méréseket csak a vödörrel együttes teherre mértük, a szűrőfej tömege minden esetben lemaradt. Ezt a többletterhet (0,52 kg), a mérés gyorsítása érdekében a jegyzőkönyvekben található értékhez utólag adtuk hozzá. Az első mérések után már a kísérletek időtartamát csökkenteni lehetett kombinációk becsült kezdő terhelésének alkalmazásával és pontosabb meghatározásával. A kezdő terhelés növelése nem változtat a kapott eredményeken, az átszűrődés pedig nem csak a deformáció idejétől függ.

A szűrőfejet minden első mérés esetén a 25x25-ös tábla középső pontjában helyeztük el. A megfigyelések alapján ez az anyagában összehúzódásra képes vízszigetelő lemezeknél sokat számított, míg bitumenes lemezeknél egyáltalán nem. A második mérést pedig az átszűrődött felület közelében, a befogásra merőleges középső tengelyen mozgattuk.

A lassú terhelés miatt rendkívül időigényes lett volna több külön mérés és azoknak az ellenőrzése. Minden kombinációt kétszer mértünk: első mérés és az ellenőrzése. Az utóbbi esetében már csak az első mérés átszűrődésénél kapott terhet tettük át új helyre. Amennyiben a kombináció ellenőrzésénél nem szűrődött át, vagy úgy éreztük, hogy az eredmény meglepően eltért a várttól (például ugyanaz a vízszigetelés nagyobb szilárdságú, és merevebb hőszigetelő tábla alatt hamarabb szűrődött át), új kísérletet végeztünk.

A kísérleteket külső térben, ősssel végeztük, napos időjárás mellett, délelőtt 10 és este 18 óra között. A hőmérséklet kis tartományon belüli változása észrevehetően nem befolyásolta a mérési eredményeket.

Terhelés módja	első mérés -> lassú, szakaszos terhelés (kvázi statikus terhelés)
	ellenőrzés -> mérésnél használt teher egyszerre történő ráhelyezése
	újra mérés -> lassú, szakaszos terhelés (kvázi statikus terhelés)
	szakaszos terhelés méretlépcsője kb. 0,5 liter víz
	kezdő terhelés anyagok becsült teherbírásához mérve változó
Terhelés helye	első mérés -> rétegrendi kombináció középső pontján
	ellenőrzés -> befogásra merőleges középső tengelyen
	gyűrődésre alkalmas anyagoknál szélső mezőkben nincs mérés
Mérések	Első mérés és ellenőrzése
	Ha az ellenőrzésre nem szűrődött át -> új mérés és annak ellenőrzése
	Ha nem várt eredmény következett be-> új mérés és annak ellenőrzése

5.5 Párosítások felállítása

A párosítások könnyebb dokumentálásához hőszigetelő táblák abc besorolást, a vízszigetelő lemezek pedig sorszámozást kaptak. Az így kialakult táblázatból tudtuk folyamatosan feljegyezni, hogy mikor melyik anyagkombináció következik. Az anyagok jellel történő ellátása biztosított egyfajta anonimitást is. Az anyagok változatos színe és tulajdonságai alapján általában sejtettük, hogy mit mérünk. Viszont így kísérletek során az azonos típusú

anyagok között nem tudtuk biztosan megállapítani a gyártót és ezzel nem tudtuk befolyásolni a kísérletet. *A kombinációkban szereplő anyagok pontos nevét és gyártóját lásd: VI.számú függelék: Kihajtható jelmagyarázat.*

5.6 A kísérlet dokumentációja

A végleges kísérlet előtti tesztelések során tapasztalt események tudatában készítettük el a jegyzőkönyvünk rendszerét. Tudtuk előre, hogy minimum két mérést fogunk végezni (első mérés és annak ellenőrzése) és fenntartottunk egy helyet egy esetleges újramérésnek is. A jegyzőkönyv kitöltésének módját egy kombinációhoz tartozó dokumentációs egység példáján szemléltetjük. *A kísérletek során kitöltött jegyzőkönyv digitális verzióját lásd: IV. függelék: Kísérleti jegyzőkönyv.*

Kitöltési útmutató

Kombináció	kombináció jelölése	Mérések	első számú mérés	ellenőrzés	új mérés
Megjegyzés	esetleges fontosabb megjegyzések, megfigyelt viselkedések leírása, nem várt események feljegyzése, meghatározott mérési módszertől való eltérés, mérésekkel kapcsolatos eltérés jelzése, sikertelen ellenőrzések és mérések lehetséges okai, 3. mérés indoklása, ellenőrzések száma, új információk dokumentálása, stb.				

Jegyzőkönyvből kimásolt példa

Kombináció	O/15	Mérések	*7,83	7,83	7,67
Megjegyzés	*nagy deformáció				

A jegyzőkönyvben szereplő értékek nem tartalmazzák a szűrőeszköz önsúlyát.

6. Analízis

6.1 Mérési adatok összegzése

A 19 különböző fajta hőszigetelő tábla és a 22 fajta, különböző vízszigetelés összes lehetséges kombinációjából 104 párosításon végeztünk kísérletet. Vizsgáltunk véletlenszerűen kiválasztott kombinációkat és sorozatokat is. Az utóbbiak esetében azonos hőszigetelő aljzatot terheltünk a lehető legtöbb különböző vízszigetelő lemezzel párosítva és fordítva. *A párosításokat lásd: IV. függelék: Mért kombinációk jegyzéke.*



Különböző általunk mért kombinációk.

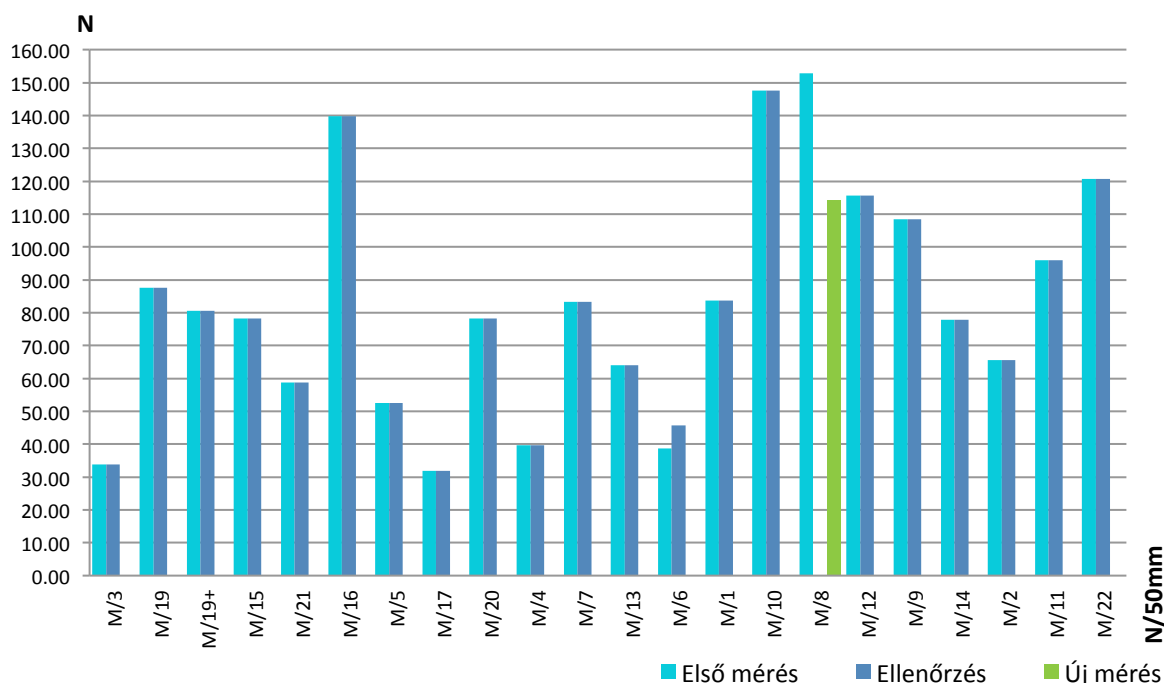
A könnyű összehasonlíthatóság érdekében a kapott eredményeket grafikusán ábrázoltuk. A pont- és az oszlopdiagramok esetében is az egyik tengely az átszűrődást kiváltó erő nagysága, a másik az anyagok - gyártók által közölt - szilárdsági értékeit jelöli. A hőszigetelő táblákat a 10%-os összenyomódás esetén mért nyomószilárdsági érték, a vízszigetelő lemezeket a szakítószilárdsági adatok növekvő sorrendjében rendeztük. Kísérleti tapasztalataink alapján 4,95 N (kb. 0,5 kg) különbség - ami nagyjából megegyezik a szakaszonként rátöltött víz súlyával – már számottevő eltérést jelenthet az eredmények között.

Az összes 1. mérési eredményt ábrázoló pontdiagramon a sorozatok értékeit automatikusan generált trendvonalakkal kötöttük össze, mellyel szemléltetjük a megfigyelt tendenciákat.

Az oszlop- és pont-diagramokon a jegyzőkönyv alapján az egy kombinációhoz tartó összes mért értéket külön megjelenítettük. A deviánsnak tűnő értékeket megjegyzésekkel láttuk el. *A kombinációkhoz tartozó mért adatokat lásd: IV. függelék: Kísérleti jegyzőkönyv.*

6.1.1 Mért sorozatok: azonos hőszigetelés – eltérő vízszigetelés kombinációk esetén

a) Habüveg (M) különböző vízszigetelésekkel kombinált sorozatának eredménye



- átlagosan alulteljesítő kombinációk: M/17 - M/3 - M/6

- átlagon felül teljesítő kombinációk: M/10 – M/16 – M/22

- minimális mérési eredmény: 31,88 N - M/17 - alacsony

- maximális mérési eredmény: 147,64 N - M/10 - magas

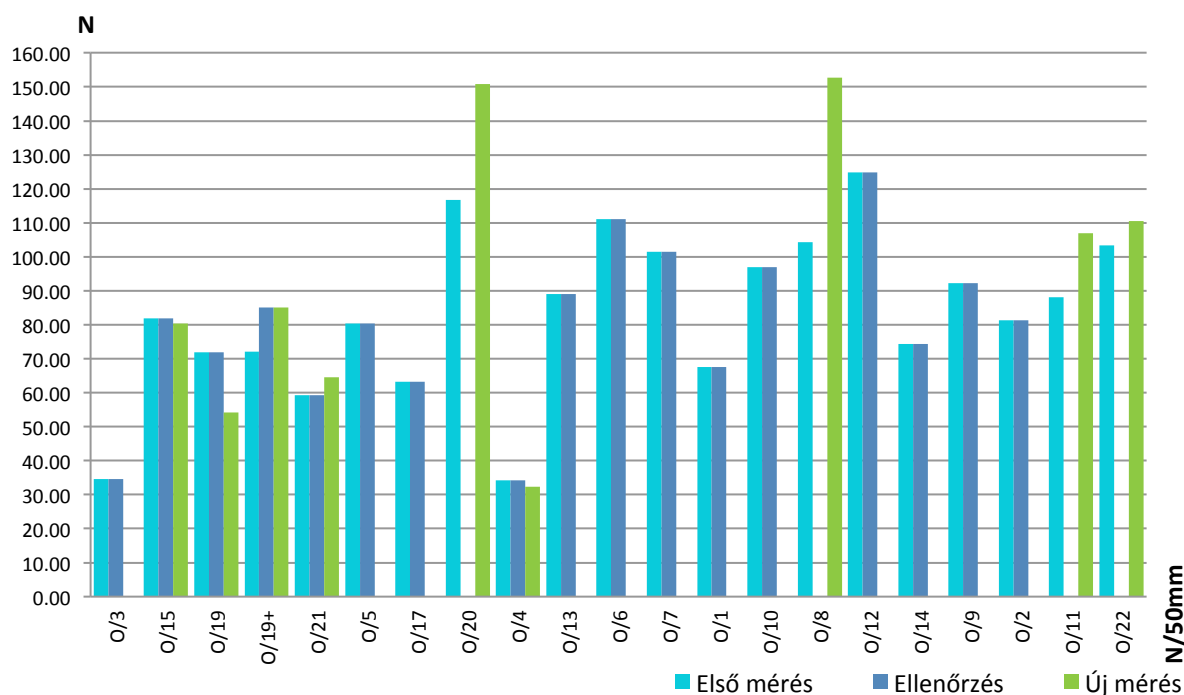
- szórás: 33,76643554 N – jelentős

- azonos húzószilárdságú vízszigetelések: 15-19-19+; 13-6-7; 8-10; 9-12-14

A diagramon jól látszik, hogy a nyomószilárdság növekedése nem jelent egyértelmű növekedést a vízszigetelések teljesítőképességében. Az alapvetően nagy nyomószilárdságú habüveg nem tudta a rendszerint alacsonyan lemezek (pl.: 3) teljesítőképességét jelentősen javítani. Ebből következik az, hogy a vízszigetelő anyagok teljesítőképessége a mi kísérleti módszerünk alapján meghatározóbb az aljzaténál.

A 15, a 19 és a 19+ jelű azonos húzószilárdságú vízszigetelések közel azonos eredményt értek el és az azonos anyagú 8 és 10 jelű hőszigetelések is hasonló teher alatt szűrődtek át. A 9,12 és 14 jelű azonos szilárdságú vízszigetelések viszont eltérően viselkedtek a pontszerű teher hatására habüveg aljzaton. Az utóbbi 3 esetben a két pvc szigetelőlemezrel szemben bevonat szigetelés teljesített rosszabbul.

b) Extrudált polisztirol hab (O) különböző vízszigetelésekkel kombinált sorozatának eredménye



- átlagosan alulteljesítő kombinációk: O/3 – O/4 – O/21

- átlagon felül teljesítő kombinációk: O/12 – O/20 – O/8

- minimális mérési eredmény: 32,27 - O/4 - alacsony

- maximális mérési eredmény: 152,64 - O/8 - magas

- szórás: 29,09712557 N - jelentős

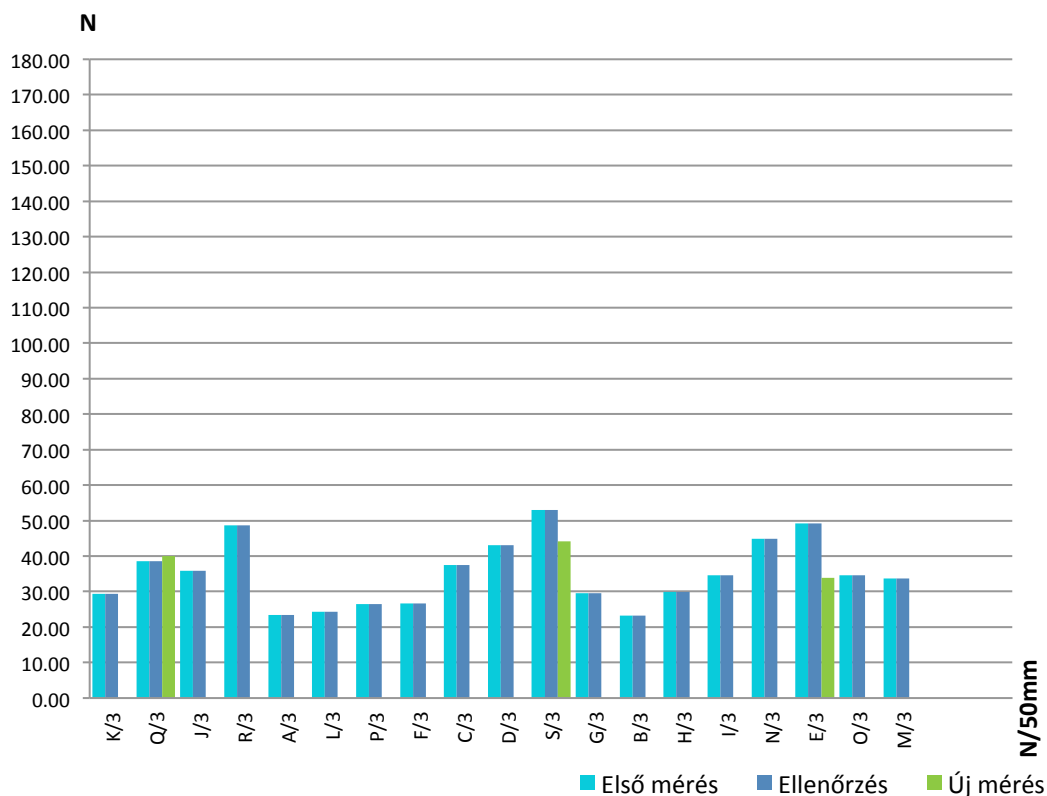
- azonos húzószilárdságú vízszigetelések: 15-19-19+; 13-6-7; 8-10; 9-12-14

Több vízszigetelésnél is azonos húzószilárdsági érték olvasható ki a gyártók által közölt adatlapokból. Az azonos szilárdságú vízszigetelések ebben a sorozatban azonos hőszigetelő aljzaton rendszerint eltérő teher hatására szűrődtek át. Ennek magyarázata a nem pontosan meghatározott húzószilárdsági érték vagy egyéb, általunk nem mért befolyásoló tényezők hatása.

Az ebben a sorozatban jelentősen kiugranak második mérési eredmények. Ez betudható az első mérésből leszűrt tapasztalatok alapján növelt kezdő tehernek. Így összességében kevesebb idő telt el a kezdőteher ráhelyezése és az átszűrődés időpontja között, mint az első mérésnél. Ezek alapján megállapítható, hogy az terhelés időtartama befolyással van a kísérlet végeredményére.

6.1.2 Mért sorozatok: azonos vízszigetelés – eltérő hőszigetelés kombinációk esetén

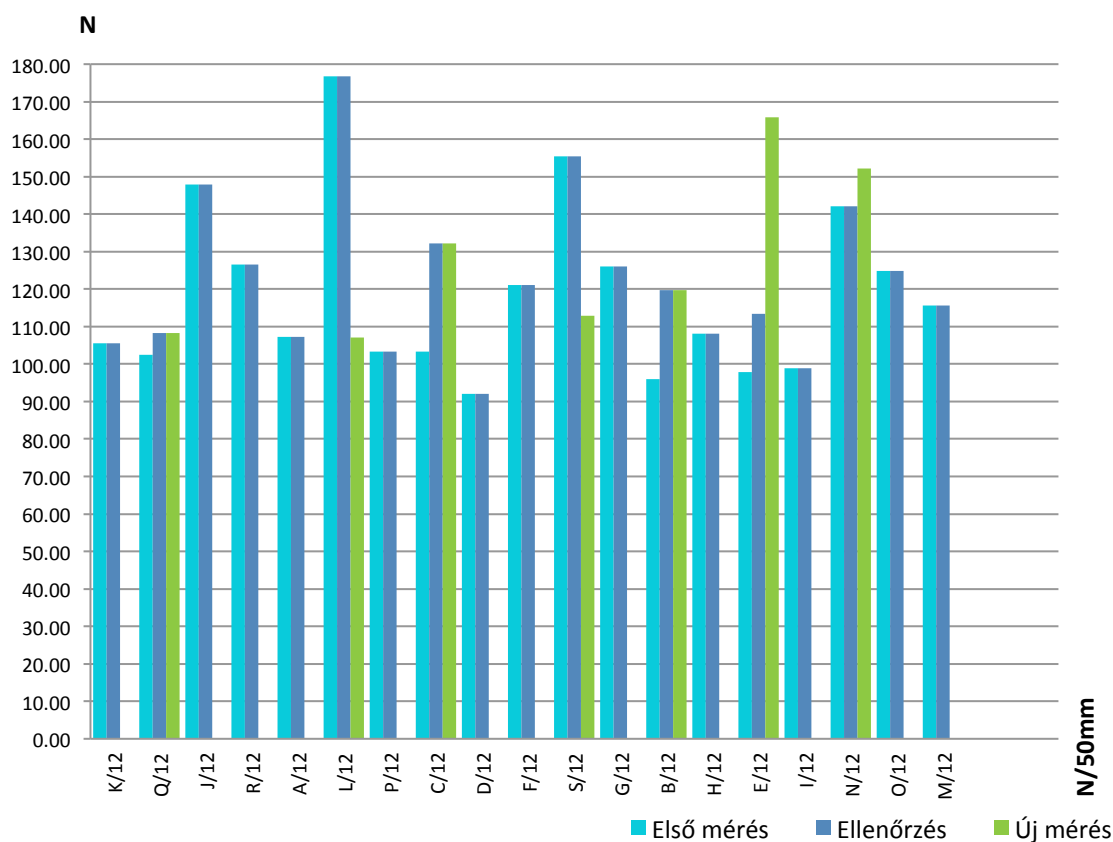
a) Oxidált bitumenes lemez (3) különböző hőszigetelésekkel kombinált sorozatának eredménye



- átlagosan alulteljesítő kombinációk: B/3 – A/3 – L/3
- átlagon felül teljesítő kombinációk: S/3 – E/3 – R/3
- minimális mérési eredmény: 23,25 N - B/3 - alacsony
- maximális mérési eredmény: 53,07N - S/3 - alacsony
- szórás: 8,843647021 N - kicsi
- azonos nyomószilárdságú hőszigetelések: K-Q ; J-R ; A-L-P ; C-D-F ; B-H ; E-I-N

A diagramon látható a mért eredmények közötti kis szórás és az új, második mérések eredményei sem adnak kiugró eredményeket. A rendszerint rosszul teljesítő vastag oxidált bitumenes lemezek teljesítményét egy nagyobb nyomószilárdságú aljzattal párosítva sem kaptunk egyértelműen ellenállóbb rétegrendet. Ez azt jelenti, hogy nem a hőszigetelés nyomószilárdságától függ egy jobb teljesítmény, hanem általunk nem mért más hatótényezőktől. Ezek a tényezők megfigyeléseink alapján a hőszigetelések felületképzéséből vagy anyagszerkezetéből is adódhatnak. A kiugrónak számító E jelű hőszigetelés esetében a nagyobb eredményt a hőszigetelő tábla felületi hálószerű kasírozása, míg az S jelű hőszigetelésnél az alumínium-kasírozás is indokolhatja. A sorozatban a közetgyapot aljzatok átlagon felüli teljesítménynek anyagszerkezeti okai lehetnek.

b) Többrétegű poliészter szálerősítésű PVC vízszigetelés (12) különböző hőszigetelésekkel kombinált sorozatának eredménye



- átlagosan alulteljesítő kombinációk: D/12, I/12, K/12

- átlagon felül teljesítő kombinációk: L/12, S/12, J/12

- minimális mérési eredmény: 176,78 – L/12

- maximális mérési eredmény: 92,12 N – D/12

- szórás: 21,79365 N – viszonylag nagy

- azonos nyomószilárdságú hőszigetelések: K-Q ; J-R ; A-L-P ; C-D-F ; B-H ; E-I-N

A diagramon közepes szórással láthatóak az eredmények, melyeket jelentősebb kiugrások szakítana meg. Ezek az átlagtól nagyon eltérő eredmények valószínűleg a terheléskor a többrétegű PVC vízszigetelés poliészter szálerősítésének eltalálása miatt lett.

6.1.3 Mért sorozatok: bevonat szigetelés – eltérő hőszigetelés kombinációk esetén

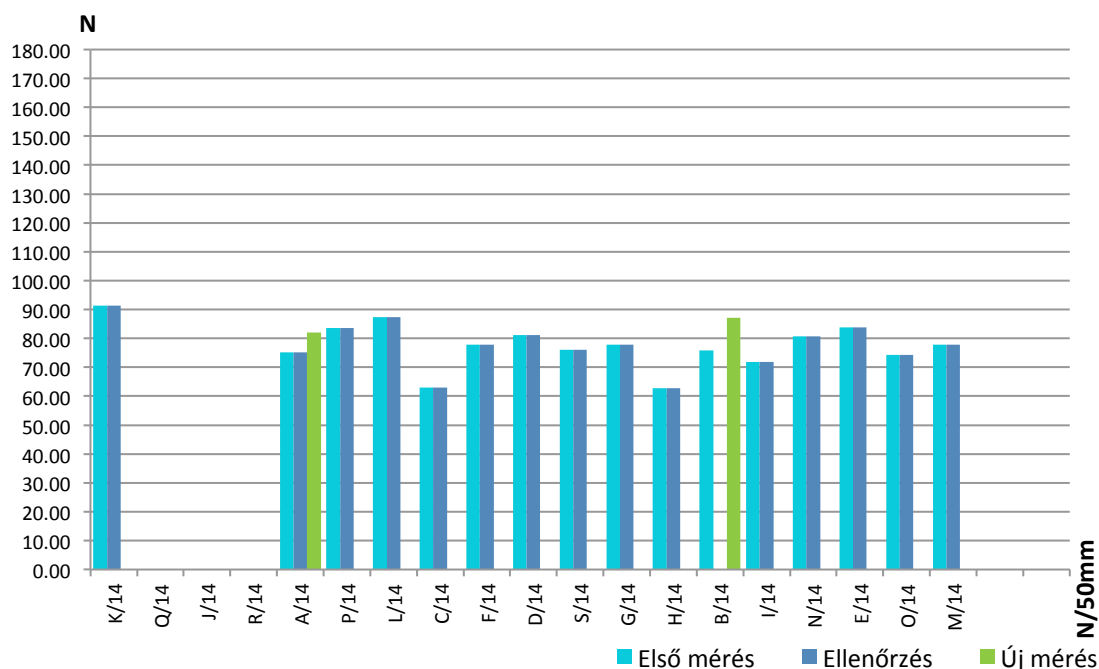
a) Bevonat szigetelés alkalmazása

A kísérlethez felhasznált kétkomponensű bevonat szigetelést (14) mi hordtuk fel a hőszigetelő aljzatokra. Az 1 m² terület lefedésére elegendő mennyiségű anyagot 16 darab, 25x25 cm-es, egymás mellé fektetett táblára felkentük és megkötés után szétválasztottuk. A felhasználási szokásoktól eltérően minden típusú hőszigetelés felületére közvetlenül kentük rá a bevonat szigetelést. Ebben kivétel volt a kőzetgyapot, ami a felhordott folyékony halmazállapotú anyagot azonnal beszívta. A beszívódás elkerülése miatt a másik két felhasznált kőzetgyapot esetében fóliát helyeztünk a vízszigetelés alá. Ezt a fóliát a mérés előtt eltávolítottuk. A felhasználási útmutatóban leírtak alapján a bevonat szigetelés elérte az ajánlott 2 mm-es vastagságot és a közbenső filc hordozóréteg eltűnt.



Az általunk készített egy négyzetméternyi felületű, 16 különféle hőszigetelésre felhordott bevonat szigetelés készítése.

b) Bevonat szigetelés (14) különböző hőszigetelésekkel kombinált sorozatának eredménye



- átlagosan alulteljesítő kombinációk: H/14 – C/14 – I/14

- átlagon felül teljesítő kombinációk: K/14 – L/14 – E/4

- minimális mérési eredmény: 62,69 N - H/14 – viszonylag magas

- maximális mérési eredmény: 91,43 N - K/14 – viszonylag alacsony

- szórás: 7,595381737N - kicsi

- azonos nyomószilárdságú hőszigetelések: K-Q ; J-R ; A-L-P ; C-D-F ; B-H ; E-I-N

Az eredmények alapján látszik, hogy a bevonat szigetelés teljesítménye viszonylag homogén módon gyenge. A kis szórású értéktartomány alapján megállapítható, hogy a bevonat szigetelés ugyanúgy teljesít a különböző nyomószilárdságú aljzatokon. Viselkedése a különböző aljzatoktól látszólag független. A kőzetgyapot aljzatok esetében valamivel jobb eredményeket kaptunk.

6.1.4 Megfigyelhető tendenciák

a) Átszűrődést kiváltó teher nagysága - hőszigetelések nyomószilárdsága³

A sorozatmérésekből kiolvasható, hogy rögzített vízszigetelés mellett az aljzat változásának különbsége nem hat lényegesen a kombinációk átszűrődési tulajdonságaira.

Érdekes, hogy a pvc vízszigetelésnél a nyomószilárdság növekedése látszólag éppen ellentétesen hat az átszűrődési tulajdonságokra. Ennek az a vélhető magyarázata, hogy az átszűrődést nem elsősorban az aljzat nyomószilárdsága, hanem annak egyéb tulajdonságai jobban befolyásolják. Ilyen befolyásoló tényező lehet a hőszigetelés belső struktúrája. Vagyis a nagy nyomószilárdságú hőszigetelések nem biztos, hogy a megfelelő struktúrájú aljzatot biztosítják. Ez a tendencia gyengébben, de ugyanúgy megfigyelhető a bevonat és bitumenes szigetelésnél is.

A random méréseknél jelentős szórás látható. Az egymás fölé eső adatok ponthalmaza csak arról tanúskodik, hogy többféle hőszigetelő anyagnak is azonos a nyomószilárdsági besorolása, melyben tendencia nem fedezhető fel.

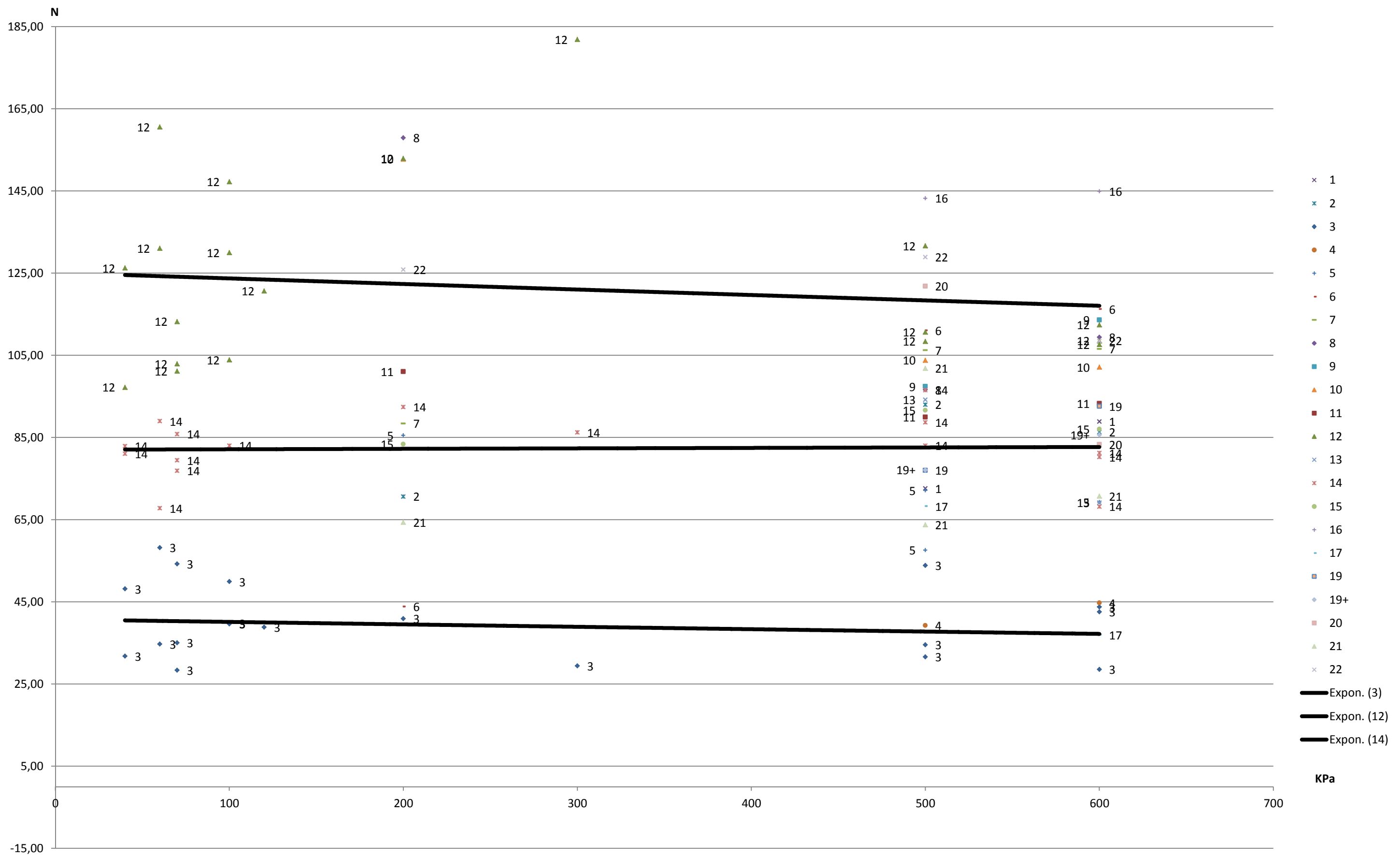
b) Átszűrődést kiváltó teher nagysága - vízszigetelések húzószilárdsága⁴

Az automatikusan generált trendvonal felvétele után látszott, hogy a vízszigetelések húzószilárdságával nő a kombinációk ellenállása.

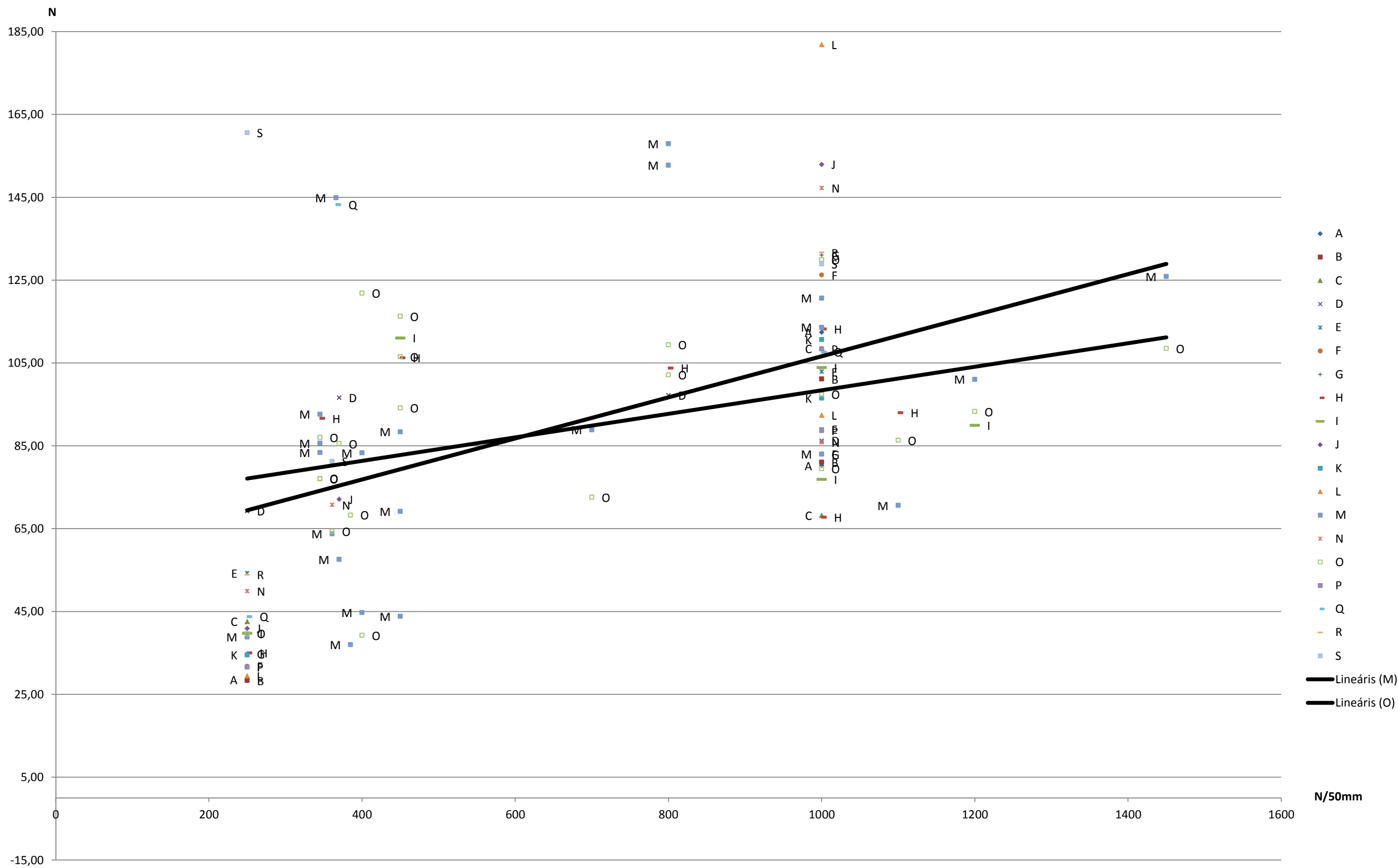
A kettő sorozat a hasonló anyagtulajdonságaik miatt, hasonló módon viselkednek. A meredekebb trendvonalból kiderül, hogy a kettő hőszigetelést összehasonlítva a habüveg (M) valamennyivel jobban teljesít, mint az extrudált polisztirol hab (O).

A diagramon az is látszik, hogy egy húzószilárdsági értékhez sok mérési érték tartozik, melynek oka a szabványok elnagyolt kategorizálási rendszere.

³⁻⁴ A pontdiagramok sorrendben a következő két oldalon találhatók.



³ Átszűrődást kiváltó teher nagysága
hőszigetelések nyomószilárdsága



⁴ Átszűrődást kiváltó teher nagysága
vízszigetelések húzószilárdsága

6.1.5 A kísérletek átfogó értékelése

A szűrőeszköz önsúlyából adódó nyomásra (kb. 1 kg) egyik kombináció sem szűrődött át. A mért értékek kb. 2,5 és 17,5 kg között mozogtak. Ebből a tartományból jól látható, hogy a kísérlet eleji teherre vonatkozó becslésünk (max. 10 kg) nem igazán vált be, mivel egyes kombinációk akár másfélszer nagyobb terhet is elbírtak. A szűrőfej növelésével a valóságos károsító hatások további típusai is vizsgálhatók lennének. A nagyobb teher kivitelezéséhez és pontos méréséhez már laboratóriumi berendezésre lenne szükségünk.

A diagramokból általános tendenciákat tudtunk megállapítani. Az oszlopdiagramokon látható eredményekből az következtethető, hogy azonos vízszigetelő lemezzel és különböző hőszigetelő aljzat esetén az átszűrődés mért értékei kisebb tartományon belül mozognak, mint fordított esetben. **Ebből következik, hogy pontszerű terhelés esetén, kis átmérőjű szűrőfejjel a vízszigetelő lemez fontosabb befolyásoló tényező a hőszigetelésnél.** Ezért konkrét tervezési feladat esetében ajánlott először az adott körülményekhez legoptimálisabb vízszigetelés kiválasztása.

A diagramokon jól látszik, hogy bizonyos kombinációk esetében mért értékek nem követik az egy sorozaton belül általánosan leolvasható tendenciákat. Ezek a kiugró értékek megmutatják, hogy bizonyos esetekben a hőszigetelés típusa kis mértékben javíthatja a vízszigetelés ellenállását és ezáltal a rétegrend teljesítését is. Erre példa a 6.1.1. a) és b) diagramokon található M/9 és O/9 kombinációk.

A szemrevételezések során a hőszigetelések anyagszerkezete jelentősen befolyásolja a mérési eredményt. Ez azt is jelenti, hogy a szűrőfej felületének növelésével, a hőszigetelések anyagszerkezete miatt az eredmények valószínűleg más képet mutatnának.

A kísérletünkből látszik, hogy a megadott értékeknél akár lényegesen nagyobb értékeket is elérhet egy-egy anyag teljesítménye. Az eredmények nagy szórása miatt számunkra nyilvánvaló, hogy a nyomószil besorolása egy anyagnál nem feltétlenül ad jellemző értéket (nem lehet megtippelni a mérési eredményt). A szabványok durva csoportokba rendezik az anyagokat, amelyekben jelentős tartalék lehetséges. Ráadásul a mérési módszertől is függ az eredmény. A különböző anyagokra különböző mérési szabvány vonatkozik, így a nyomószilárdság szerinti rendezés irreleváns. Ennek alapján nem lehet következtetést levonni..

Meglátásunk szerint a számszerű eredmények csak elnagyolt következtetésekre jogosítanak fel, és a tendenciák igazolásához sokkal nagyobb számú és több fajta kísérlet végzésére lenne szükség. *További kutatási javaslatok lásd: 7. fejezet.*

6.2 További megfigyelések

A kísérletek során különböző tényezők az előzetes várakozásainkkal szemben jelentősen befolyásolták a mérési folyamatokat és az eredményinket. Ezeket a jelenségeket nem mértük részben azért, mert az előfelvetéseinkkel nem álltak szoros kapcsolatban, részben pedig az idő hiánya és az így is nagyszámú 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. *A lejegyzett megjegyzéseinket lásd: IV. függelék: Kísérleti jegyzőkönyv.*

6.2.1 Az átszűrődés során megfigyelt viselkedési módok

a) A szűrőfej átszűrődésének módja

- lassú, folyamatos átszűrődés
- lassú, szakaszos átszűrődés
- sokáig jelentős ellenállás, majd hirtelen átszűrődés

b) A vízszigetelés viselkedése teher hatása alatt

- nincs látható megnyúlás
- nagymértékű megnyúlás
- felgyűrődés a szűrőfej környezetében (M/19)

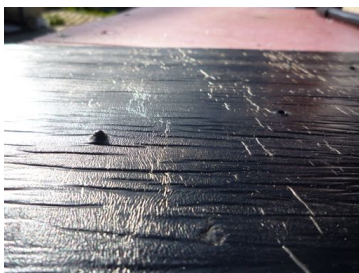
c) A hőszigetelés viselkedése teher hatása alatt

- benyomódás (a hőszigetelés a szűrőfejnél nagyobb területen követi a vízszigetelés alakváltozását)
- lokális deformáció
- deformációval szembeni ellenállás az átlukadás pillanatáig

Ezeket befolyásolhatja: anyagszerkezet, kéregerősítés, kasírozás, anyagszerkezet stb.

d) Az átszűrődásból adódó maradandó deformáció, sérülés

- vízszigetelés: a szűrőfej felületével megegyező lyuk, a szűrőfej felületénél kisebb sérülés, repedés, szemmel nem látható sérülés
- hőszigetelés: horpadás, lyuk, szemmel nem látható sérülés



A pontszerű kvázi statikus teher hatására keletkező tönkremenetel példái: bevonatszigetelés repedése, látszólagos átszakadt lemez deformációja az alsó felületen, a valószínűleg szálon eltalált vízszigetelést felvágva vizsgáltuk meg

6.2.2 Előre nem várt ható tényezők

a) időfaktor

A mérések tesztelése közben nem figyeltünk arra a részletre, hogy egy anyag bizonyos idő után kisebb terhelésre is átszűrődhat. A végső kísérletekben nem folyamatos, hanem lassú, szakaszos terhelést alkalmaztunk, hogy ne kelljen sok m^3 vizet elhasználnunk. A szakaszos terhelés során nem fordult elő, hogy két töltés között átszűrődött volna a rétegrend. Az viszont elképzelhető lehet, hogy egy rajtahagyott teher bizonyos idő elteltével, további terhelés nélkül is átszűrődást okoz. De az átlukadás időtartamának esetleges mérésével a kísérlet ideje sokszorosára nőtt volna.

b) vízszigetelések hordozórétege

A kísérlet előkészítő fázisában a vízszigetelések listájának összeállításánál elsősorban az anyagtípusra koncentráltunk és nem a különféle anyagcsoporton belüli specifikációkra. Tudtuk, hogy az anyagok tulajdonságait nagyban befolyásolhatja a hordozóréteg megléte, viszont arra nem számítottunk, hogy a kísérletezést más szempontból is befolyásolják. A kísérletek során amikor az ellenőrzés a nem várt módon alakult, vagy nem lyukadt át terhelésre a rétegrend akkor majdnem mindig kiderült, hogy a szálerősítéses anyagok szála miatt nem tudunk pontos eredményt kapni. Ha a szűrőfej egy szálát eltalált, akár másfélszer akkora terhet is elbirt a kombináció. A gyártók viszont nem teszik közzé az egyes vízszigetelések speciális szálerősítésére vonatkozó paramétereit (pl.: szálak átmérője,

távolsága stb.) így ezzel előre nem tudunk kalkulálni. Az általunk megállapított szűrőfej mérete rendszerint kisebb volt az anyagok két szál közti területénél.

c) egyedi vízszigetelési esetek

A vízszigetelések nyúlása és felületképzése is szerepet játszhatott abban, hogy egyes esetek a vártnál sokkal eltérőbb eredmények születtek. Az ásvánnyal porszórt anyagok között a kb. 2 mm-es fej azonnal áthatolt és a felületképzés sem nem mutatott nagy ellenállást. Ez valószínűleg nagyobb fejnél másként hatna.

Az előzetes felvetéseknél fontos tényezőnek gondolt lemezzvastagság sem volt mindig mérvadó. Erre jó példa a kb. 4 mm vastag oxidált bitumenes lemezek. Az ilyen vízszigetelésű kombinációk rendszerint alulteljesítettek az akár 1mm vastag vízszigetelésű kombinációkhoz képest.

d) hőszigetelés felületképzése

Az előfelvetéseink során megállapítottuk, hogy a hőszigetelés szilárdsága fog szerepet játszani a rétegrendi kombináció teherbírásának mérésekor. Így a hőszigetelések felületképzését a kezdetekben nem gondoltuk döntően befolyásoló tényezőnek. Megfigyeléseink alapján az átszűrődési folyamatot esetenként befolyásolta a hőszigetelő aljzat.

Amikor a vízszigetelés kis erő hatására szűrődött át, a hőszigetelés felülete befolyásolhatta az eredményt. A 3-as bitumenes vízszigetelő anyag például 3 és 4 kg közötti teherre szűrődött át minden hőszigetelésen. Egyes esetekben viszont láthatóan megállt a szűrőfej és csak 1 kg teher után szűrődött át. Valószínűleg a hőszigetelés felületképzése, vagy kasírozása állíthatta meg ideiglenesen az átszakadást. Ez nagyobb terhek esetében nem volt megfigyelhető.

e) hő- és vízszigetelő lemezek kapcsolata

A mérésünk a burkolt tetők változó hajlásszögével szemben vízszintesen mérte a rétegrendeket. Ettől függetlenül egyes kombinációk esetében a két anyag felületi kiképzése elősegítette az együtdolgozásukat.(habüveg-tetőfólia, habüveg-műanyag fátyol réteg, extrudált polisztirol habok-öntapadós anyagok, bevonat szigetelés bármilyen hőszigetelésen). Öntapadó alsó felületű vízszigetelések, bevonat szigetelés és az a hő és vízszigetelés tapadását elősegítő nagyobb súrlódásra képes felületképzésekkel megelőzhető lehet a vízszigetelő lemezek megcsúszása.

6.3 Ható tényezők felsorolása és fontosság szerinti osztályozása

A pontszerű átszűrődés kísérleti tapasztalatai alapján az eredményeket felsoroltuk majd a kísérleti befolyásának mértéke szerint osztályoztuk. Eszerint a ható tényezőket ABC jelöléssel illettük.

A – erősen befolyásoló tényező

B – közepesen befolyásoló tényező

C – nem vagy csak kismértékben befolyásoló tényező

Vízszigetelés	<i>nyúlóképesség</i>	A
	<i>hordozóréteg</i>	A
	<i>felületképzés</i>	C
	<i>vastagság</i>	C
Kombináció	<i>rétegek közötti tapadás</i>	C
Erő	<i>mód</i>	A
	<i>időtartam</i>	B
	<i>nagyság</i>	A
Szűrőfej	<i>terület</i>	A
	<i>forma</i>	B
	<i>anyag</i>	C
Hőszigetelés	<i>nyomószilárdság</i>	B
	<i>szerkezeti felépítés</i>	A
	<i>felületképzés</i>	B
Környezeti hatások	<i>hőmérséklet</i>	C
	<i>további időjárási tényezők</i>	C

6.4 Az eredmények összevetése az előfelvetésekkel

a) *A nagyobb szilárdságú hőszigetelő aljzat növeli a ráfektetett vízszigetelés ellenállását a kivitelezés során előforduló mechanikai hatásokkal szemben.*

A mi kísérletünk esetében a hőszigetelő aljzat szilárdsága nem befolyásolta jelentősen a mérési eredményeket. Feltehetőleg egy nagyobb felületű szűrőfej esetén a hőszigetelés nyomószilárdsága fogja befolyásolni a kísérletet.

b) *Pontszerű terhelés alatt a kisebb szakítószilárdságú vízszigetelés ellenállását javítja egy keményebb hőszigetelő aljzat.*

Pontszerű terhelés alatt kis felületű szűrőfej mellett kevésbé befolyásolja.

c) *Vastagabb vízszigetelő anyagoknak hőszigeteléstől függetlenül általában nagyobb az ellenállása.*

A kísérleti eredményeink alapján a vízszigetelő anyag vastagsága és pontszerű terheléssel szembeni ellenállása nem feltétlenül függ össze. Az ellenállást elsősorban a hordozóréteg és az anyag nyúlóképessége határozza meg.

d) *Hordozóréteggel rendelkező anyagok ellenálló-képessége rendszerint nagyobb.*

Az előfelvetésünk a kísérleti eredményeinkkel igazolható.

e) *Nagyobb nyúlóképességű vízszigetelő anyagok az alakváltozásuk miatt nagyobb teher hatására szűrődnek át.*

Az előfelvetésünk a kísérleti eredményeinkkel igazolható.

f) *A bevonat vízszigetelés a kísérleti viselkedés és valós építési tapasztalatok alapján feltehetőleg jó megoldás lesz.*

A bevonat szigetelés a hőszigetelő anyagra közvetlenül felkenve nem teljesített kiemelkedően jól, viszont különböző hőszigetelő aljzatokon nem kaptunk szélsőséges eredményeket.

g) A víz- és hőszigetelő anyagok szabványokban meghatározott értékeinek nem lesz jelentősége a kísérletünk esetén, mivel az értékek a szabvány által használt mérési módszert fejezik ki.

Az előfelvetésünk a kísérleti eredményeinkkel igazolható. Különböző, akár szabványokkal nem meghatározott ható tényezők tudják befolyásolni két különböző anyag kombinációjának átszűrődését.

7. További kutatások szükségessége

A kísérletünk fejlesztéséhez a megfigyelt jelenségek alapján további mérések szükségesek a burkolt tetők helyes anyagainak megválasztásához és az általunk javasolt rétegrendek pontosításához. A legfontosabb szükséges kísérleti lehetőségeket megfogalmaztuk. A cél az lenne, hogy a burkolt tetők tipikus egyenes rétegrendjeire valós kivitelezési körülmények között ható károsító igénybevételeket minél inkább megközelíteni.

- a) a rétegrendi kombinációk pontszerű átszűrődés időtartamának mérése adott tehernél
- b) a rétegrendi kombinációk dinamikus pontszerű teherrel szembeni ellenállása
- c) a rétegrendi kombinációk különböző alakú és méretű szűrőfejekkel történő pontszerű terhelése
- d) a rétegrendi kombinációk már mért, sérült próbatesteinek további terheléses vizsgálatai
- e) a rétegrendi kombinációk terhelése különböző valós időjárási viszonyok között
- f) a rétegrendi kombinációk terhelése különböző anyaghőmérsékleteken
- g) a rétegrendi kombinációk együttdolgozásának vizsgálata ferde helyzetben
- h) a rétegrendi kombinációk alkotóelemeinek külön terheléses vizsgálata és összehasonlítása a rétegrendi kombinációk alkotóelemeinek együttes teljesítőképességével.

8. Összegzés

A megalapozott és számszerű eredményeink ahhoz nem elegendők, hogy a burkolt tetők tipikus egyenes rétegrendjeire kizárólagos, ideális döntéseket, javaslatokat kínáljon. A kiértékelt adatokból viszont látszódnak a kombinációk közötti különbségek, tendenciák, melyek alapján Természetesen ezen ható tényezők pontosabb ismeretéhez szükséges a kísérlet folytatása. pontos okainak megállapításához ismernünk kellene a felsorolt ható tényezőket.

A kísérleti eredményeink előzetes felvetéseinkkel való összehasonlítása alapján megállapítható, hogy a burkolt tető tervezésekor az adott körülményekre legoptimálisabb vízszigetelés kiválasztása mérvadó a rétegrendi kombinációk teljesítésében. A nagyobb nyúlóképességű, hordozóréteggel erősített vízszigetelő anyagok alkalmazását javasoljuk. A különböző hőszigetelések esetében viszonylag kis szórást mutató vízszigetelések választása ajánlott mivel az ilyen vízszigetelések teljesítőképessége nem függ nagymértékben az alatta található aljzatokétól.

Kísérletünk felhívja a figyelmet arra is, hogy az anyagtulajdonságok jelölő szabványosított értékek elnagyoltak. Továbbá azt is igazolja, hogy valós körülmények között a szabványok által nem kellően figyelembe vett ható tényezők léphetnek fel. Jelenlegi szakmai környezet nem nyújt elegendő segítséget, hogy a tervezők ki tudják választani a számukra megfelelő anyagukat. Ennek orvoslására született a dolgozatunk, mely felhívja a figyelmet a további kutatások fontosságára is.

Bibliográfia

Épületszerkezetek általános ismeretei:

Dr. Dobszay Gergely PhD, 2011, Burkolt tetők épületszerkezetei. (PhD értekezés, Budapesti Műszaki Egyetem, Építészmérnöki Kar, Épületszerkezet-tani Tanszék)

Kapcsolódó tudományos közlemények:

Andrius Buska, Dorthe Lybye, Romualdas Maciulaitis, 2008, Effect of Dynamic Load on Value of Point Load of Mineral Wool Boards, Materials Science (Medziagotyra), 14. évfolyam, 3. szám, 268. oldal

Roger L. Bonafont, 1977, Application of Performance Concept in Evaluation, Specification and Selection of Roofing Materials, NRCA/NBS The 1977 Symposium on Roofing Technology, 11. tanulmány, Gaithersburg, 1977. szeptember 21-23.

R. J. Booth, J. M. Minialoff, M. Murphy, 1991, Field Experiences versus Standards and Design, 3th International Symposium on Roofing Technology, Applied technology, Gaithersburg, 1991. április 17-19.

Szabványok (a teljesség igénye nélkül):

MSZT/MB 120 Az építőiparban vízszigetelésre használt bitumenes, műanyag és gumi, hajlékony lemezek szabványosítása. Ezen belül a tetők vízszigetelésére, a talajnedvesség elleni szigetelésre használt hajlékony lemezek, az átfedésses tetők és a falburkolatok alátétlemez.

MSZ EN 12730:2001 Hajlékony vízszigetelő lemezek. Bitumenes, műanyag és gumilemezek tetők vízszigetelésére. A statikus terheléssel szembeni ellenálló képesség meghatározása.

MSZ EN 12311 – 1:2000 Hajlékony vízszigetelő lemezek. A húzóerő tulajdonságok meghatározása. 1. rész: Bitumenes lemezek tetők vízszigetelésére

MSZ EN 12311 – 1:2000 Hajlékony vízszigetelő lemezek. A húzóerő tulajdonságok meghatározása. 2. rész: Műanyag és gumilemezek tetők vízszigetelésére

MSZ EN 13172:2012 Hőszigetelő termékek. A megfelelőség értékelése

MSZ EN 826:1997 Építőipari hőszigetelő termékek. Az összenyomódási viselkedés meghatározása

MSZ EN 12430:2013 Hőszigetelő termékek épületekhez. A pontszerű terhelés alatti viselkedés meghatározása

Irányelvek:

Regulation (EU) No 305/2011, Directive 89/106/EEC (CPD) - Construction Products

Regulation – Az Építőipari Termékek Szabályozásának érdekében született, teljesítményelvű tervezést támogató direktíva