

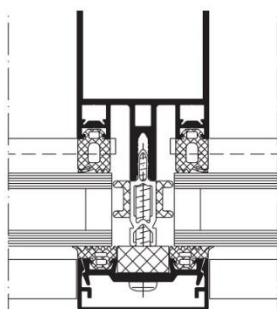
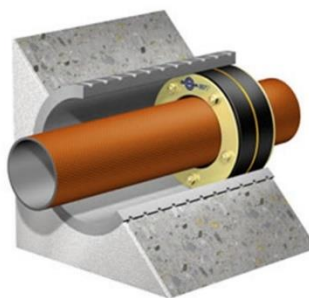
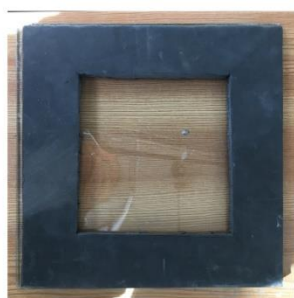


M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

BME Építésztechnológiai Kar
Tudományos Diákköri Konferencia
2023

A beszorítás hatása épületszerkezeti tömítések vízzáróságára

Wild Zsófia Mária



Témavezető: Dr. Dobszay Gergely
BME Épületszerkezettani Tanszék

A Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-23-2-I-BME-187 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.



KULTURÁLIS ÉS INNOVÁCIÓS
MINISZTERIUM



Új Nemzeti
Kiválóság Program



NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI
ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL

Tartalomjegyzék

Absztrakt	3
Bevezetés, a téma aktualitása és lehatárolása	5
Előfeltevések, hipotézisek.....	8
Szakirodalmi áttekintés.....	8
Módszertan és kísérleti eredmények	10
A kísérleti eredmények elemzése, következtetések.....	19
Az eredmények összegzése.....	23
Irodalomjegyzék.....	25

Absztrakt

Az épületszerkezeti hézagképzések közül a legnagyobb vízzárósági teljesítményt a beszorított-tömített kapcsolatokról várjuk. A beszorított tömítőanyagaink alakváltozási képességüknél fogva képesek felvenni az összekapcsolandó anyagok geometriai pontatlanságait, melyek közvetlenül csatlakoztatva a víz bejutási esélyét okoznák. A tömítések alakjának megváltoztatásához szükséges beszorító erőt ökölszabályok alapján szokták felvenni, de valójában nincs kellően gondos vizsgálat ennek a beszorító erőnek a mértékére a tömítőanyag tulajdonságait és a tömítendő felületek egyenetlenségeit figyelembe véve.

Kísérleti vizsgálataink arra vonatkoznak, hogy különböző felületi mintázatok és beszorító erők esetén a vizsgálat céljából választott habanyagú tömítés képes-e a víz megtartására az általunk létrehozott vizsgálati összeállításban. A tömítendő felület egyenetlenségét vagy érdességét leíró paramétereket, mértékegységet vagy más jellemzőt keresve felismertük, hogy a szokásos mutatókkal nem lehet jól jellemezni azokat a geometriai helyzeteket, amelyekről a tömítés vízzárósága karakteresen függ. Ebben az értelemben a vizsgálatunk egyfajta topográfiai vonatkozást azonosított. Kerestük azokat a matematikai eszközöket, amelyekkel a kritikus formák jobban parametrizálhatók, kiszűrhetők, természetesen csak a szóba jöhető épületszerkezeti aljzatok körében.

Reményeink szerint a létrejövő szemi-empirikus modell hasznos segítséget nyújthat az épületszerkezeti tömítések szükséges és elégséges beszorításának meghatározásához.

The effect of compression force on the watertightness of compression seals in building structures

The highest watertightness performance of all building construction joint types is expected from compression seal joints

Due to the deformability of the elastic sealant material being compressed it can compensate for the geometric inaccuracies of the materials to be joined, that, when directly connected, would allow the water to ingress.

The clamping force needed to change the shape of seals is usually based on rules of thumb, but in reality there is no careful consideration of the extent of this clamping force, taking into account the properties of the sealant and the roughness of the surfaces to be sealed.

We performed experiments with a test assembly apparatus to determine the compression forces needed for a particular foam sealant material to remain watertight.

In the search for parameters, units of measurement or other characteristics describing the evenness or roughness of the surface to be sealed, we realized that the usual indicators do not allow a good characterisation of the geometric situations on which the watertightness of the seal is characteristically dependent

In this sense, our study has identified a kind of topographical aspect of the problem.

We looked for mathematical tools to better parameterise and filter out critical shapes, of course, only for the range of relevant building substructures.

It is hoped that the resulting semi-empirical model will be useful in determining the necessary and sufficient confinement of structural seals.

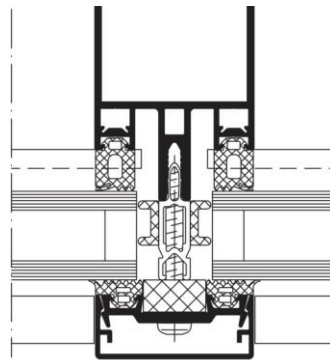
Bevezetés, a téma aktualitása és lehatárolása

Jelen TDK munka a "Kísérleti eljárások épületszerkezetek műszaki teljesítményének meghatározására" - című ÚNKP-23-2-I kutatási projekt részét képezi. A projekt annak az ellentmondásnak a felismerése nyomán indult, amely az épületszerkezeti tervezés jogi körülményeire nézve az EU-s és hazai szabályozás között fennáll. Amíg a 305/2011-es EU direktíva - a termékek és szolgáltatások szabad áramlásának érdekében - keretbe foglalja az építési termékek és készletek forgalmazásának harmonizált feltételeit (CPR), addig az ezt implementáló 275/2013 Kormányrendelet - messze túllépve az EU-s célokon - már az épületszerkezetek teljesítmény-elvű tervezésével foglalkozik. A kettő között az a különbség, hogy amíg az építési termékek vizsgálatára, minősítésére harmonizált szabványok léteznek, addig az épületszerkezetek többségére sem a követelményoldalról, sem a teljesítmény vizsgálata szempontjából - kevés kivételtől eltekintve - nincsenek sem egységes fogalmak, sem mérési eljárások. Az épületszerkezetek többségükben építési termékekből, valamint építőanyagokból jönnek létre, de a kész szerkezet teljesítménye nem vezethető le a komponensek teljesítményéből, mivel a szerkezet teljesítménye döntően függ az összeépítésük módjától, melyet a gyártók nem tudnak és nem is akarnak előre meghatározni. Az épületszerkezettan, mint tudományág, éppen ezzel foglalkozik: hogyan lehet anyagokból, termékekből olyan rendszereket építeni, melyek - megfelelő szabályrendszer alkalmazása esetén - alkalmasak olyan követelmények teljesítésére, amelyekre az egyes komponensek önmagukban nem képesek.

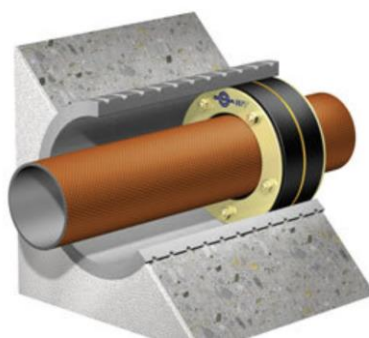
Amíg a régi (visszavont) hazai szabványok tételesen bemutatták egyes épületszerkezetek építésének "szabványos" módját, ma az építészeti szabadság jegyében az „egyedi”, sőt "deviáns" megoldások térhódításával "sorvezető" nélkül maradtak ezek épületszerkezeti megoldásait tervező szakemberek. Ezt a hiányt próbálják enyhíteni a szakmai szervezetek által kibocsátott irányelvek, azonban ezek nem képesek lefedni az előforduló épületszerkezeti részletmegoldások nagy többségét. Az építményekre vonatkozó követelményeknek való megfelelés felelőssége és igazolási kényszere ma paradox módon az egyéni mérnöki tapasztalat, megérzések, fölösleges kockázatvállalás terepén bolyong. Eközben az EU-s szabályozás lehetőséget ad a remélt teljesítmény deklarálására a tervező által készített műszaki specifikációk, mérési eljárások, próbák, saját definíciók alkalmazása által is.

A projekt célja tehát olyan egyszerűsített eljárások keresése, melyekkel bizonyos gyakran előforduló megoldások vagy éppen egyedi összeállítások teljesítménye harmonizált szabványok hiányában és bonyolult, drága akkreditált laborok bevonása nélkül is megbecsülhető, legalább **nagyságrendileg** fölvehető, amire különösen nagy szükség van a koncepcionális előtervezés fázisában, amikor a fő megoldási irányok eldöntése történik.

Első kísérletsorozatunkkal az épületszerkezeti hézagképzések terén a legnagyobb vízzárósági teljesítménnyel rendelkező beszorított-tömitett kapcsolatokat vizsgáljuk. Ilyen kapcsolatok az összes külső térelhatároló alrendszerben előfordulnak, ilyenek például a függönyfalak és üvegtetők szorítóléces megoldásai, gyakoriak a mélyépítési szigetelések szorítóperemes kapcsolatai, de ilyenek tekinthetők a külső nyílászárók csapadékszáró tömitései is. Néhány jellemző példa:



1. kép: A szorítóléces függönyfal példája, a beszorított üregek kamrás gumitömitések ún. "labirint" profilozásúak



2. kép: Az ún. "gyűrűstértömitések" a mélyépítésben fordulnak elő, működési elve a csavarokkal összehúzott gumi tömités harántkontrakcióján alapszik. {7}



3. kép: Az ablakok külső csapadékszáróságát nagy alakváltozási képességű "embrió"- vagy ún. "lengőnyelves" EPDM profilokkal érik el.

A tömítés beszorítása nemcsak a vízzárás, hanem pl. légzárás szempontjából, vagy a nyílászárók léghanggátlásánál is döntő lehet. A beszorításnak kettős szerepet tulajdoníthatunk: a tömítőanyagot alakváltozásra kell kényszeríteni, hogy hézagmentesen felvegyék a csatlakozó szerkezetek alakját, idomuljanak az összekapcsolandó anyagok geometriai pontatlanságaihoz, elzárjanak minden kapilláris "útvonalat" a belső tér irányába. Másrészt szükség van a tömítésnek is a pozicionálására, rögzítésére a beszorítás által, a ráható erőkkel szemben. Feltesszük továbbá, hogy bizonyos esetekben magának a tömítésnek tulajdonságai (vízfelvétele) is függhetnek a beszorítás mértékétől. A szükséges beszorító erő felvételére legjobb esetben is csak ökölszabályok állnak rendelkezésre, de valójában nincs kellően gondos vizsgálat ennek mértékére a tömítőanyag tulajdonságaitól, a tömítendő felületek egyenetlenségeitől és egyéb szempontoktól függően.

Jelen TDK-ban kísérleteink anyagául - megépült példák nyomán - egy állítólag nulla vízfelvételeű, kifejezetten összenyomódásra képes, vastag, XPE habanyagot választottunk, és arra kerestünk egyszerű eljárásokat, hogy különböző aljzatok, érdelességek, felületi mintázatok és beszorító erők esetén milyen mértékű víznyomás megtartására képes. A tömítendő felület egyenetlenségét vagy érdelességét leíró paramétereket, mértékegységet vagy más jellemzőt keresve felismertük, hogy a szokásos mutatókkal nem lehet jól jellemezni azokat a geometriai helyzeteket, amelyekről a tömítés vízzárósága karakteresen függ. Ebben az értelemben a vizsgálatunk egyfajta topográfiai vonatkozást azonosított. Kerestük azokat a matematikai eszközöket, amelyekkel a kritikus formák jobban parametrizálhatók, kiszűrhetők, természetesen csak a szóba jöhető épületszerkezeti aljzatok körében.

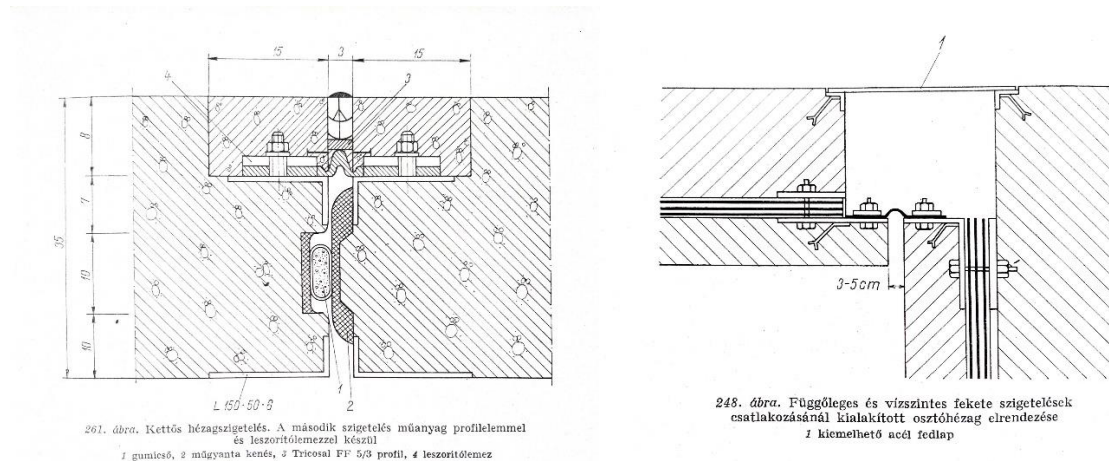
Előfeltevések, hipotézisek

1. Azt reméljük, hogy a vizsgált tömítőhab beszorításának mértékét és a víznyomást finoman szabályozva egy kvázi lineáris korrelációt tudunk rögzíteni, melynek segítségével ajánlást tudunk megfogalmazni az adott körülmények között és célra alkalmazott tömítőanyag szükséges mértékű beszorítására.
2. Azt reméljük, hogy a tömítőhab vízfelvétele és a beszorító erő között mérhető korreláció segítségével meg tudunk határozni egy minimum küszöbértéket a tömítőanyag beszorítására.
3. Azt gondoljuk, hogy a felületi érdességnek vagy geometriai mintázatnak döntő szerepe van abban, hogy egyáltalán reális beszorító erővel tömíthető-e az adott kapcsolat.
4. Megépült példák alapján azt vélelmezzük, hogy a tömítés szélességének nincs nagy jelentősége abban, hogy egy adott beszorítással milyen mértékű víznyomásnak tudunk ellenállni.
5. Az általában jellemzően megadott szorítóperem meghúzási nyomaték nem megfelelő paraméter a beszorítás biztosítására.
6. Az általunk vizsgált, relatíve vastag és könnyen összenyomható tömítőhab elsősorban a nagy amplitúdójú, de kis meredekségű kitérések esetén alkalmazható, de nem alkalmas vonalmenti, hosszanti geometriai deformítások eliminálására.

Szakirodalmi áttekintés

A kutatásunkat a hipotézisek megfogalmazása után szakirodalmi kutatással folytattuk. Kerestük azokat a tudományos kiadványokat, melyekben szó esik a tömítéses vízszigetelések kialakításáról, működési elvükről.

Elsőként dr. Rózsa László és Kelemen János Talajvíz elleni szigetelés című könyvét {1} lapoztuk fel, melyben elnagyoltan, de szó esik a szorítóperemes vízszigetelés csatlakozásokról. Ezeknél a megszakított szigetelést kb. 15 cm szélességben egy acéllemez aljzathoz csatlakoztatják, a lemez általában 10-15 mm vastagságú. A vízszigetelés tetejére egy ugyancsak 15 cm széles acéllemez (laza perem) kerül. Az egész konstrukciót egymástól max 15 cm-re elhelyezett, a fix peremhez vízhatlan hegesztéssel rögzített M20-as csavarokkal szorítják le. A szigetelés vastagság-változásait, anyaghalmozódását további lemezcskokkal javasolja kiegyenlíteni. A fogadó aljzatot egy megfelelően, merev, pontos és nem korrodáló anyagúnak feltételezi, a csatlakoztatandó felületek esetleges geometriai hibáira nem tér ki.



4. kép: Rózsa-Kelemen "tankönyvi" ábrák a vízszigetelések szorítóperemes toldásairól

Utánanéztünk, hogy mit ír elő az ÉMSZ irányelv {2} a tömítéssel vízzigetelések beszorításának mértékével kapcsolatban. Úgy véljük, hogy nem ad elég részletes megoldást ezzel kapcsolatban, nincs egyértelműen meghatározva a beszorító erő, valamint az anyag összeszorításának mértéke. Az irányelv úgy fogalmaz, hogy „az acélperemek közé átlapolások nélkül bevezetett szigetelést alátét és védőrétegekkel együtt kell az előírt nyomatékra, illetve nyomóerőre összeszorítani.” Az említett nyomatékra, valamint nyomóerőről konkrét adatokat nem közölnek.

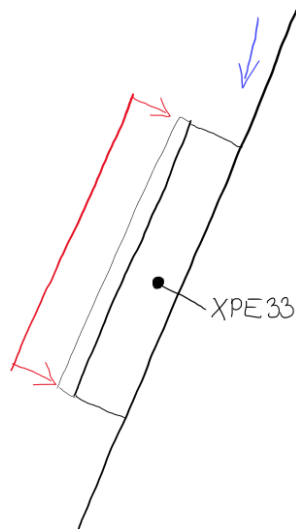
Idegennyelvű kutatások is fellelhetők a témában, elsőként N.V.D. Bossche – S.V. Linden {3} munkáját tanulmányoztuk, melyben azt találtuk, hogy kevés információ áll rendelkezésre azokról a paraméterekről, melyek befolyásolják a tömítések esővel szembeni ellenállását. Kutatásuk során kis nyomáskülönbség esetén is vízszivárgás lépett fel és vízvezetésről kellett gondoskodni. Tanulmányukban felmérték a tömítendő anyag és a beépítési paramétereket, melyek befolyásolhatják a tömítőanyag vízzáróságát.

M. Lacasse, H. Miyauchi, j: Hiemstra {4} munkájában arról olvashatunk, hogy az épületek hézagainak tömítésére használt anyagok öregedésére általában nem fektetnek elegendő hangsúlyt, mely a tömítés tönkremeneteléhez vezet, ami a vízzáróság elvesztését eredményezi. Ezt a jelenséget falpanelek illesztéseinek vizsgálták

Simon Tamás {8} tanulmányában az szerepel, hogy a vízzáróságot nem csak a beépített anyagok, hanem az építés körülményei is nagyban befolyásolják. A beton vízzárósága többek között függ a munkahézagok, a dilatációk, valamint a csőátvezetések tömítésétől is.

Módszertan és kísérleti eredmények

Első körben nagyon egyszerűnek képzeltük a vízzáróság vizsgálatát: a tömítendő szerkezetet egy ferde üveglap jelenthetné, melyhez a tömítőhabot pedig egy erőkaron keresztül szorítanánk hozzá. A tömítés és üveglap találkozásához felülről vizet csorgatnánk. Itt a beszorító erőt a súly változtatásával növelhetnénk. A tömítettséget egyszerűen szemrevételezéssel, az alsó élnél figyeltük volna.

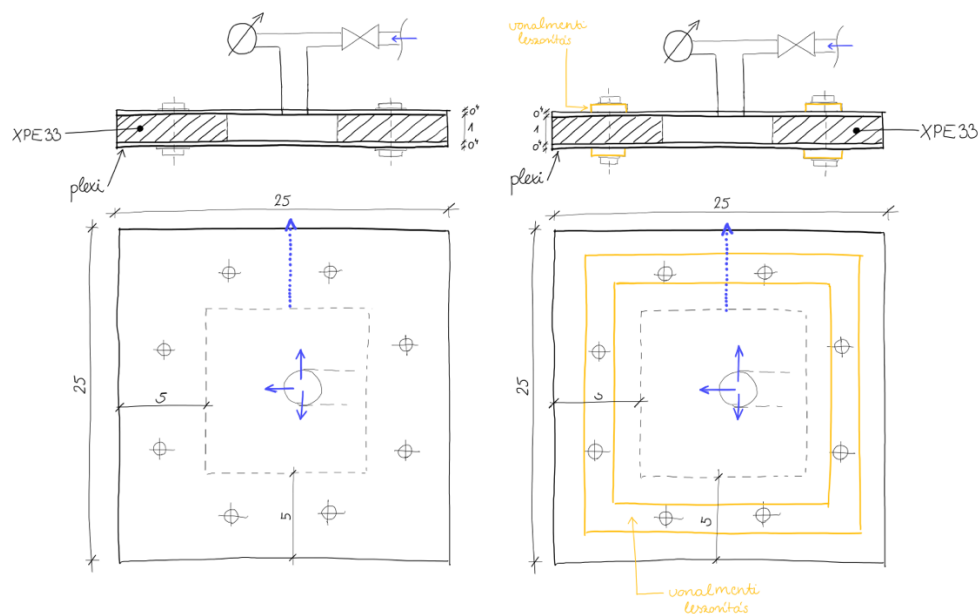


5. kép: Első kísérlet (gondolatkísérlet): az üveglapnak szorított tömítőhab

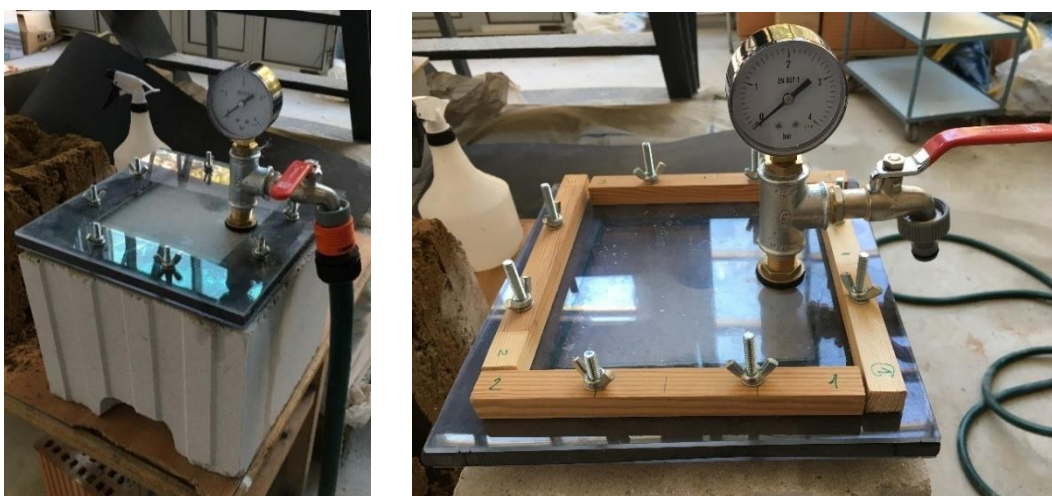
A kísérlet elvégzése abba a nehézségbe ütközött, hogy a beszorító erőt képező csuklós erőkar bonyolultan kivitelezhető, és a víznyomást ezzel nem lehet állítani. Így ezt a kísérletet nem hajtottuk végre.

Második összeállításunknál a nyomáskülönbséget a hálózati víznyomás segítségével hoztuk létre. A tömítendő hézagot két 25x25 cm-es, 4 mm vastag plexilappal állítottuk elő, a 10 mm vastag, 50 mm széles XPE33 tömítőhabból a közepén 15x15 cm-es üreget vágtunk ki, a két lapot a szorítóperemes csatlakozásokhoz hasonlóan, de az állíthatóság érdekében szárnyas csavarokkal szorítottuk össze. A tömítést lefogó csavarokat egymástól egyenlő távolságra helyeztük el, az egyenletes leszorítás reményében. A sarkokat számozással láttuk el, így pontosabban nyomon lehetett követni, hogy a modell mely részén jelenik meg hamarabb a víz.

A vizet a felső plexilap tetején átvezetett, nyomásmérővel kombinált szeleppel engedjük be, a plexin keresztül látható volt a víz útja. A nyomás alatti tér a négyzet közepén van, a belső, védendő teret az eszközön kívüli tér modellezi.



6. kép: Második kísérleti összeállítás: plexilapok közötti tömités, majd ennek megerősítése bordákkal.



7. kép: Második kísérleti összeállítás: plexilapok közötti tömités, majd ennek megerősítése bordákkal.

A szelepen keresztül fokozatosan engedjük rá a víznyomást, leolvastuk azt a nyomást, aminél a víz megjelent a szerkezeten kívül. Az eredményeket az 1. táblázatban foglaltuk össze.

Ezután a beszorítást 10%-os lépésekben folyamatosan növeltük. Rájöttünk, hogy a beszorító erő helyett a beszorítás geometriáját kell figyelni, ugyanis az erő vagy a meghúzási nyomaték elérése során az erő egy része a súrlódás legyőzésére fordítódik, így nem releváns a tömités beszorítása szempontjából (ellentétben azzal a gyakorlattal, ahogy sok gyártó

megadja a saját rendszere esetében - nyilván a saját kísérletei alapján a saját anyagaina vonatkozóan).

A csavarok között a plexi a tömítés feszítő hatására meghajlott, tehát a tömítés egyenletes beszorítása megszűnt. Ezért az egyenletes leszorítás érdekében lécekből vonalmenti bordákat készítettünk, így a plexi lapok teherbírása megnövekedett, a víznyomást magasabbra tudtuk emelni a rendszerben. Érdemi víznyomást azonban ekkor sem tudunk ráadni, mivel a plexi a modell közepén felpúposodott, majd recsegni is kezdett, megrepedt, és attól lehetett tartani, hogy szétrobbanva balesetet okoz. Megállapítottuk, hogy a következő modellhez légtelenítő szelepre és tágulási tartályra is szükség van, egyrészt, hogy azonnal víz érje a tömítést, másrészt a víz, mint összenyomhatatlan anyag "rideg" módon viselkedik, ami túlzottan igénybe veszi az eszközt. Ehelyett a tágulási tartály a beállított nyomást rugalmasan tartja és biztosítja a belső tér állandó nyomását.

Megfigyeltük, hogy a plexi modellünkénél több esetben is a csavarozásnál jelentek meg az első vízcseppek, valamint a kettes jelöléssel ellátott sarokban. A modell szétszedésénél láttuk, hogy a kettes sarok közelében a tömítésen alig látható, keresztirányú karcolás volt, és ennek tulajdonítottuk, hogy itt jelent meg először a víz. A pontszerű piszkok és plexiforgácsok nem jelentettek problémát a tömítésnél, azonban a vonalmenti sérülések a vizet képesek láthatóan "átvezetni" a tömítés szélességén. Úgy gondoljuk, hogy egy helyszíni kivitelezés során ilyen apró sérülés a szállítás, tárolás és beépítés során bármikor jelentkezhet, tehát a tömítést olyan beszorítás alá kell helyezni, amely ezeket a "kapillárisokat" képes bezárni.



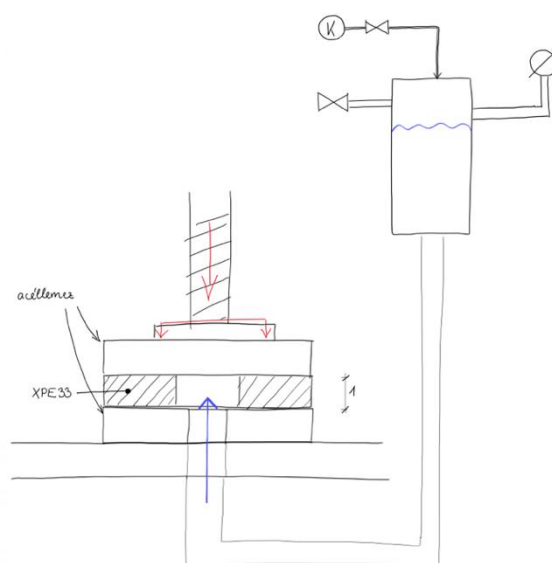
8. kép: Vonalmenti sérülés a tömítőanyagban; jól látszik az összenyomódás-különbség a tömítés szélén.

Mérés száma	Beszorítás [%]	Összvastagság [cm]	Nyomás [bar]	Megfelelően tömített-e?	Megjegyzés
Második modell: plexilapok közötti tömítés					
1003_01	100	1,8	0,1	X	csavaroknál szivárog
1003_02	80	1,6	0,25	X	csavaroknál és oldalt szivárog
1003_03	64	1,44	0,35	X	megrepedt a plexi
Bordákkal erősített modell, egyenletes leszorítással					
1003_04	80	1,6	0,25	X	egyenletes leszorítás
1003_05	64	1,44	0,45	X	egyenletes leszorítás
1009_01	60	1,4	0,21	X	2-es saroknál ereszt
1009_02	50	1,3	0,5	X	2-es saroknál ereszt (mérés utáni maradó alakváltozás: ~0,81 cm)
MATEST C435-01					
1016_01	90	3,9	1,2	X	szabványos gép, rossz volt a hegesztés, de a tömítés tetején is jön a víz
1016_02	90	2,9	1,2	X	
1016_03	90	3,12	1,9	X	nem tudtuk finoman szabályozni a nyomást
1016_04	80	3,02		X	
1016_05	70	2,91		X	
1016_06	60	2,81		X	
1016_07	50	2,72		X	
1016_08	40	2,61		X	
1016_09	30	2,5		✓	első alkalommal nem eresztett
1016_10	30	2,52	1,1	✓	magasabb nyomásnál már nem megfelelő

1016_11	20	2,41	1,8	✓	2 bar-on már spriccel
Vaslemezek közötti tömítés					
1025_01	100	1,62		X	
1025_02	90	1,52	0,35	X	
1025_03	80	1,42	0,5	X	elkezdte kitolni az anyagot
1025_04	70	1,32	0,6	X	már 1 cm-re kitolta az anyagot
1027_01	70	1,32	0,2	X	otthagytuk a modellt az adott leszorítással, vízzel töltve, 2 nap alatt lejjebb esett a nyomás

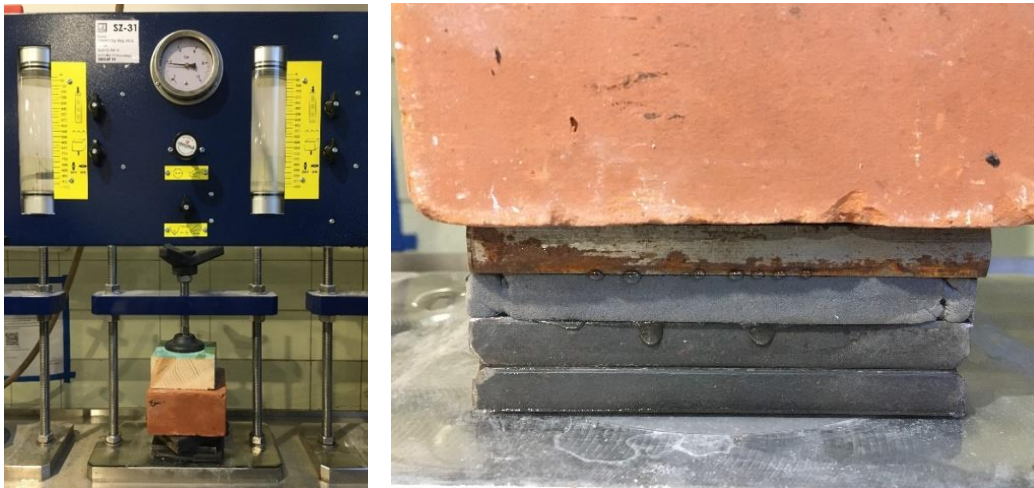
1. táblázat: kísérleti eredmények időrendben. A beszorítás mértéke a tömítőanyag eredeti vastagságának arányában megadva.

A harmadik mérési sorozatot a BME Építőmérnöki Kar Anyagtani Laboratóriumában, dr. Nagy Balázs segítségével végeztük el, 2023. október 16-án. Lehetőségünk adódott az itt található olasz Matest C435-01 beton-vízzáróság mérővel dolgozni, ez a műszer alapvetően ismert nyomás mellett a víz betonba való behatolási mélységének meghatározására szolgál. Nehézséget okozott a berendezést a gyártási céljától eltérő feladatra használni. Ennek érdekében két vastag acéllemez közé helyeztünk el a négyzetes tömítőhab-mintákat, melyek közepén a víznyomásnak kitett üreg volt található.



9. kép: A MATEST C435-01 Concrete water impermeability apparatus és annak működési sémája

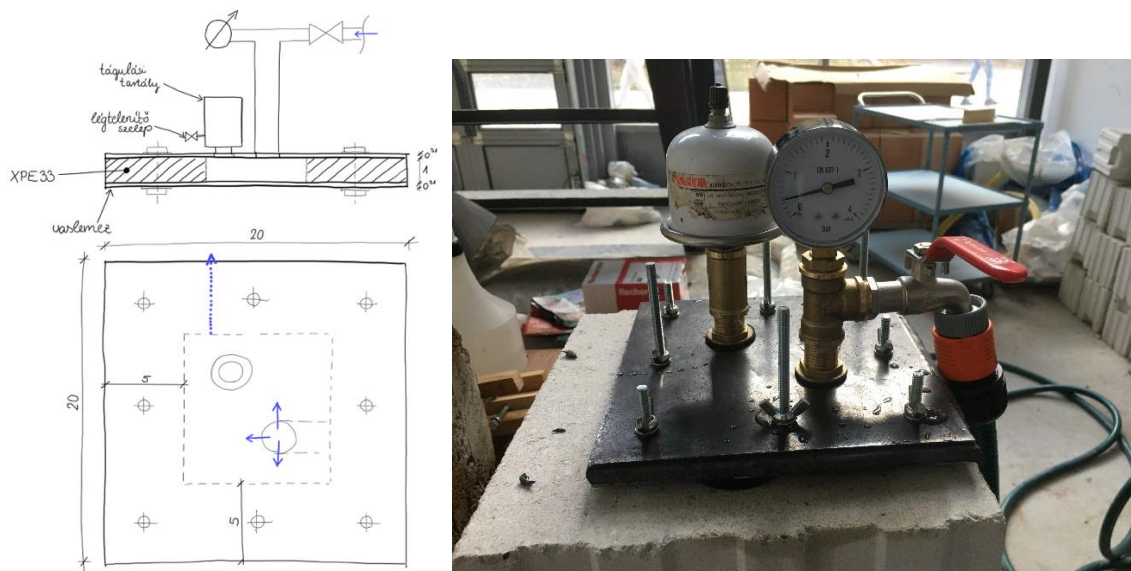
A problémát itt az okozta, hogy a berendezés az 5-10 bar tartományra van optimalizálva, a 2 bar alatti, finoman állított nyomásviszonyokat nem lehetett létrehozni. Az első életképes mérést 30-40%-ra történő összenyomásnál tudtuk mérni, 1,8 bar nyomás mellett. Ekkora nyomás (kb. 18 m vízoszlop) a magasépítésben nyilván nem, de a mélyépítésben minden további nélkül előfordulhat. Ugyanakkor a 40%-ra történő összenyomás irreális, mert éppen az alakváltozási tartalékát emészti fel az anyagnak, amivel a nagyobb mértékű kitéréseket kellett volna felvennie. 2 bar nyomásnál pedig semmilyen beszorítás mellett nem tudunk vízzáróságot produkálni, valószínű, hogy mélyépítési környezetben ez a tömítőhab nem, vagy csak felszín közelében alkalmazható. A tetőkre, csapadékvízre jellemzőbb, 1 bar alatti nyomásokat ezzel a műszerrel nem lehetett megmérni.



10. kép: A MATEST C435-01 Concrete water impermeability apparatus használat közben, víz szivárgása a tömítésnél

A negyedik mérésünknel (2023.10.25.) visszatértünk a saját összeállításunkhoz, azzal a különbséggel, hogy a plexi helyett 3 mm-es acéllemezből készítettük a tömítendő hézagot, valamint tágulási tartályt és légtelenítő szelepet is beépítettünk a rendszerbe. Ezzel az eszközzel sikerült végre életszerű összenyomás mellett reális víznyomásoknak ellenálló példákat produkálni, itt azonban más probléma adódott. A vaslemez fúrásához a fúrószár olajozására volt szükség, amit később letisztítottunk, azonban valószínűleg így is befolyásolta a kísérlet kimenetelét, mivel a víznyomás hatására a tömítés jelentősen megcsúszott az acéllemezek között, oldalirányban kitüremkedett, majdnem 10 mm szélességben, ezért az így elért 0,6 bar nyomás és 70%-os összenyomás mellett a kísérletet be kellett fejeznünk, mert

tartani lehetett a tömítőanyag kiszakadásától. Ez a fajta megcsúszás a felületek szennyeződése miatt a valódi építési környezetben is előfordulhat, akár az acél szorítóperem poros vagy olajos szennyeződése, akár a felületek túlságosan sima (polírozott, üveg, műanyag) felülete esetén, így a felület kérdését a későbbi ajánlásokban mindenképpen figyelembe kell venni.



11. kép: Az acéllemezek közötti beszorítás, tárgulási tartállyal és légtelenítő szeleppel

Az XPE tömítőhab lemez tulajdonságai, a beszorítás hatása annak vízfelvételére: Modellünkben tömítésként 10 mm vastag polietilén hablemezt használtunk, mely a gyártói adatok alapján, 7 nap alatt történő vízfelvétele kevesebb, mint 1 térfogat %.

A gyártói adatlap szerint az anyag vízfelvétele a DIN 53428 szabvány szerint mérve < mint 2% (de nem nulla), sűrűsége 33(+/-5) kg/m³, shore keménysége >38. Vélelmeztük, hogy a habanyag beszorítása csökkentheti ezt a vízfelvételt, ami elvárható egy magasépítési hézagtömítés esetén, ha azt tartós víznyomás éri. Meg kell jegyezni, hogy a csapadékkal terhelt tetőkben ritkán alakul ki állandósult érdemleges víznyomás. Ennek akkor van jelentősége, ha a szerkezettel szemben vízhatlansági követelményt fogalmaztak meg.

FIRST POLYOLEFIN
IN FINE FOAMSFIRST POLYOLEFIN
IN FINE FOAMS

Product designation: XPE 33

Property	Indicative value	Unit	Test Standard
Density	33 ± 5	kg/m ³	ISO 845
Tensile Strength	> 176	kPa	ISO 1798
Tensile Elongation	> 120	%	ISO 1798
Compressive Strength			
deflection 10%	> 32		
deflection 25%	> 48	kPa	ISO 3386/1
deflection 50%	> 98		
Compression Set			
23 °C, 22 h charge, deflection 25%			
0,5 h after discharge	≤ 15		
24 h after discharge	≤ 7	%	ISO 1856
Thermal Conductivity			
at 10 °C	0,036	W/mK	DIN 52612
at 40 °C	0,039		
Working Temperature Range	-80/+90	°C	ISO 2796
Dimensional Stability	< 5%	%	ISO 2796
Water Absorption (7 days)	≤ 2	vol.%	DIN 53428
Specific Volume Resistance	≥ 10 ¹⁵	Ωcm	DIN 60093
Shore Hardness 00	> 38	-	internal
Horizontal Burn Rate	< 100	mm/min	FMVSS-302
Flammability (0,63 mm thickness)	B 2		DIN 4102-1

This information is presented to our best knowledge. All test data are indicative values and should be considered as guidelines only.

Release date: 01 April 2018

Comments on the norms

Determination of bulk density DIN ISO 845

According to the norm the density is measured on the full thickness after removal of the skins. The test pieces are 100 mm x 100 mm x net thickness. Please note smaller pieces cutted out from the middle of the bun may have lower density.

Compressive Stress DIN ISO 3386-1

According to the norm the compressive strength is measured on a test specimen, which has a width/thickness ratio of 2:1 (50mm x 50mm x 25mm) and a surface of 25cm². The speed is 100mm/min.

Differing from the norm the force is read in the first cycle.

Determination of compression set DIN EN ISO 1856

Differing from the norm the test piece is deflected by 25% of its thickness and held for 22 h at room temperature of 23° C.

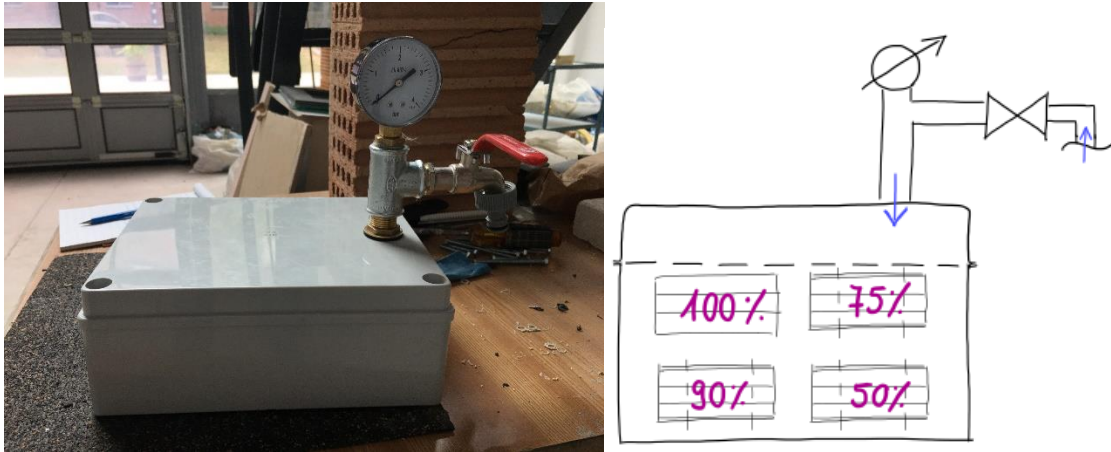
Test for dimensional stability DIN EN ISO 2796

Differing from the norm the specimen is tested only by dry conditions in a temperature but not humidity controlled chamber.

12. kép: Egy XPE 33 tömitőhab gyártói adatlapjai

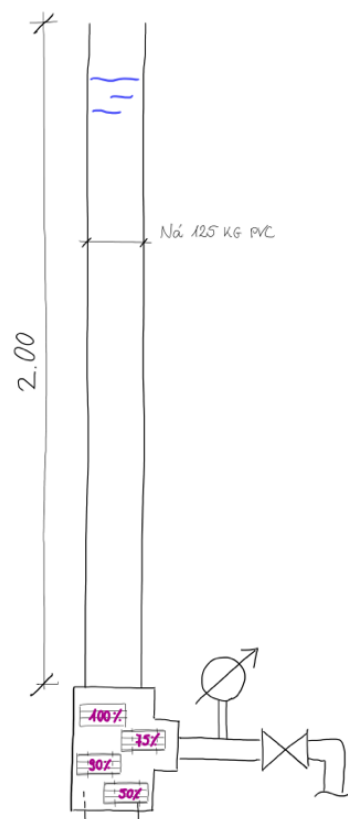
Megfigyeltük, hogy az anyag a gyártói (sütött) élek mentén és az általunk vágott élek mentén nem azonos anyagjellemzőkkel rendelkezik. A gyártói élek mentén nem látszódtak a pórusok, keményebb, sötétebb volt ezeken a helyeken, ezért igyekeztük ezeket az éleket kihagyni a vízfelvételi kísérletből. Négy féle mintát készítettünk a méréshez: az első, amikor az anyag teljes keresztmetszetében van, egyáltalán nincs összenyomva, a második 90%-ra, a maradék kettő 75%-ra, illetve 50%-ra került összenyomásra. Arra számítottunk, hogy a különböző mértékben összenyomott anyagok különböző mennyiségű vizet tudnak felvenni, a bennük lévő pórusok összenyomásának mértékével arányosan.

A vízfelvételt a száraz és vízzel telt állapot tömegének összehasonlításával terveztük megállapítani, ehhez a minták súlyát egy ezredgramm finomságú analitikai labormérlegen előzetesen megmértük. A méréshez a mintákat egy vízálló műanyag kazettában helyeztük el, melyet nyomásmérővel ellátott szelepen keresztül hálózati víznyomással töltöttünk föl. Sajnos a kazetta érdemleges nyomás elérése előtt ereszteni kezdett, így a kísérletet le kellett állítani.



13. kép: A vízfelvételi kísérlet eszköze és működési sémája

Ennek a kísérletnek a sikertelensége után arra jutottunk, hogy elegendő lenne magasépítési környezetben életszerű nyomás gravitációs modellezése, ezért a következő ábra szerinti összeállítást találtuk ki. A gondolat lényege az, hogy a hidrosztatikai nyomás csak a vízoszlop magasságától függ, tehát a PVC szennyvíz elvezető cső vízzel való felöntésével is produkálni tudjuk az életszerű, kb. 0,2 bar nyomást, melyet 24 órán keresztül a minták fölött tartunk. Ezt követően kerül volna sor a minták súlyának ismételt mérésére. Sajnos ezt a kísérletet idő híján már nem tudtuk befejezni.



14. kép: A módosított vízfelvételi kísérlet eszköze (nem lett végrehajtva)

A fenti kísérletektől azt vártuk, hogy egy kvázi lineáris korrelációt tudunk felismerni az XPE tömítés beszorítása és víznyomás-ellenállási képessége között. Tervezett további kísérleteink arra irányultak, hogy különböző anyagú és felületű próbatesteket helyezünk el a tömítés egyik oldalán, és megfigyeljük, hogy a már ismert beszorítás-víznyomás értékpárok hogyan módosulnak akkor, ha változik a tömítendő felület geometriája. Azt a korábbiakban már láttuk, hogy a felületi hibák (pontoszerű szennyeződések), karcok (átmenő kapillárisok) és a felület maga (kicsúszás az olajszenyeződés miatt) jelentős hatással vannak a teljesítményre. Látni szerettük volna, hogy az épületszerkezetek jellemző anyagai (pl. szigetelőlemezek) és jellemző geometriai mintázatok (pl. anyaghalmozódás, ráncolódás, gyűrődés, toldások) hogyan hatnak a tömítés vízzáróságára. Ezekre a vizsgálatokra a kutatás jelenlegi kiméréte mellett nem volt lehetőség, ezeket egy következő fázisban lehet végrehajtani.

A kísérleti eredmények elemzése, következtetések

1. A kísérletek során arra jutottunk, ha egy minimális beszorító erőre mindenképpen szükség van: nulla beszorításnál egyáltalán nem alakul ki tömítettség a felületi feszültség ellenére sem, a legcsekélyebb víznyomás esetén sem, mert kisebb-nagyobb felületi hibák, szennyeződések szinte mindig "elemelhetik" a tömítést a felülettől, így megnyitva ezzel a víz útját. A minimális beszorító erőnek a tömítés saját vízfelvételében is jelentősége van: a nagy alakváltozási képességű habanyag ugyanis normál állapotban nem nulla vízfelvételű. Minél nagyobb amplitúdójú a felveendő geometriai hiba, annál vastagabb, minél "élesebbek" ezek a hibák, annál "puhább" anyagra van szükség: de mindkettő növeli az anyag vízfelvételét, melyet a tömítés "előfeszítésével" szeretnénk mérsékelni. Így a vastag anyag alakváltozási potenciáljának egy része erre a kezdeti beszorításra fordítódik, mintegy "elvész" a geometriai hibák felvétele szempontjából.

2. Felvetődik az a kérdés, hogy egy valós építési helyszínen hogyan lehet meghatározni (és betartatni) a szükséges mértékű beszorítást. Általános gyakorlat (pl. Schüco alkalmazástechnikai katalógus {6}) szerint a csavarokra meghúzási nyomatékot adnak meg, itt azonban a csavarra gyakorolt erőhatás jelentős része nem is a tömítés beszorítására, hanem pl. egy önmetsző csavar menetvágására fordítódik. Ugyanezt a csavart egy karbantartás során

később kihajtva majd újra becsavarva már jóval kisebb erő mellett is elérjük ugyanazt a geometriai pozíciót, az itt elért ugyanazon nyomaték mellett ugyanaz a tömítés esetleg már egy szükségtelenül nagyobb összenyomódást szenved - kontrollálatlanul. Mindebből rájöttünk, hogy a beszorító erő helyett a beszorítás geometriáját kell figyelni, hibás az a gyakorlat, amely pusztán a nyomatékkal kívánja biztosítani a tömítés szükséges beszorítását. Ehelyett célszerűnek látszik egy olyan gyakorlat bevezetése, amely a nulla beszorítást (egy a tömítés vastagságával egyező ékkel beállítható) követően a csavar x fordulattal való elfordításával valóban az összenyomás mértékét tudjuk beállítani:

SCHÜCO System FW 50* Andruckprofile

Hinweise zum Anzug der Andruckprofile bzw. Deckschalen

im Bereich der Schraube
Richtig:
 - Kein Ausbeulen der äußeren Dichtung
 - Keine Vertiefungen im Andruckprofil

mittig zwischen den Verschraubungen

Falsch:
 - Anpressdruck zu hoch - austretende Dichtung
 - Vertiefungen im Andruckprofil
 - Abheben des Andruckprofils zwischen den Verschraubungen

Vorgehensweise bei der Verschraubung

- Schraubengewinde müssen beim Einsatz des Butyl-Dichtbandes grundsätzlich eingefettet sein (säurefreies Glycerfett verwenden Art-Nr. 298 118).
- Schrauber mit einstellbarer Drehmomentbegrenzung verwenden.
Drehmomente einstellen:
 Aluminium-Andruckprofile auf ca. 4,5 Nm
 KS-Andruckprofile auf ca. 3,5 Nm
 Die Verschraubung soll im Abstand von 250 mm erfolgen.
- Nach dem Anzug der Schrauben die äußere Dichtung und das Andruckprofil optisch und maßlich überprüfen. Die Dichtungen dürfen seitlich nicht ausbeulen, das Andruckprofil darf nicht nach innen durchbeulen. Wenn nötig das Drehmoment am Schrauber zurück nehmen.
- Der Anpressdruck ist richtig, wenn die äußere Dichtung überall gut aufliegt und die Maßdifferenz zwischen den Punkten A und B nicht mehr als 0,5 mm beträgt.

Metrikus ISO-menet
ISO 261 (DIN 13)
Külső menet
Élszög 60 fok

Menet-méret M	Külső menet átm. mm	Emelkedés mm
6	5,974	1
8	7,972	1,25
10	9,968	1,5
12	11,966	1,75
14	13,962	2
16	15,962	2
18	17,958	2,5

15. kép: A szükséges meghúzási nyomaték egy függőnyfal alkalmazástechnikában és a metrikus menetemelkedés egy csavartáblázatban.

A baloldali ábra arra is felhívja a figyelmet, hogy a szorítósin kis inerciája esetén egy helyi nagyobb szorítóerő a sín és ezzel a tömítés deformációját, és ezzel egyenlőtlen tömítést is eredményezhet, ezért sem alkalmas a nyomatékok módszere a kapcsolat jó kivitelezésére.

3. A vízzáróság esélye különböző felületek esetén:

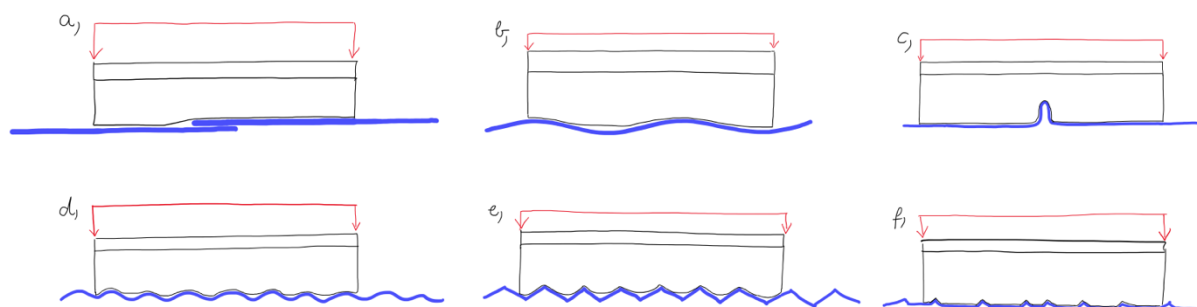
Úgy gondoltuk, hogy a különböző beépítési situációkban a tömítendő felületek eltérő minősége meghatározó lehet a tömítőanyag kiválasztásánál. Sokszor adódik olyan helyzet, hogy nem síkfelületet kell tömíteni, hanem valamilyen felületi textúrával rendelkező építőanyag kerül beépítésre, vagy két anyag találkozásánál szükséges elhelyezni a tömítést,

ahol a csatlakozások miatt végigmenő síkváltással találkozhatunk. Ezeket az eseteket tekintve felismertük, hogy nem mindegy, milyen rugalmassággal rendelkezik a tömítő anyag, hiszen a puhább tömítés könnyebben felveszi az egyenetlenségeket, de ezeknek az anyagoknak a vízfelvétele is nagyobb, mint kevésbé rugalmas, jobban habos társaiknak. A megfelelő megoldás az optimum megtalálása lenne, ahol a tömítő anyag vízfelvétele még tűréshatáron belül van, de rendelkezik akkora alakváltozó képességgel, hogy a felület egyenetlenségeit fel tudja venni.

A vízvándorlás szempontjából nem mindegy, hogy ezek a felületi textúrák végigmenő hézagokat jelentenek-e, ezzel elősegítve a kapilláris vízvándorlást, vagy kisebb, lokálisan megjelenő geometriai eltérések.

Az általunk vizsgált tömítőanyag 1 cm vastagsággal rendelkezik. Ha 100%-os anyagvastagsággal alkalmazzuk, tehát nem szorítjuk össze az anyagot, akkor biztosan minden esetben át fogja ereszteni a vizet. Az elvégzett vizsgálataink során 30-40%-ra történő összenyomódás mellett tudtunk megfelelően tömíteni, tehát az anyag 3-4 mm vastagsággal dolgozott. Ennek alapján úgy gondoljuk, hogy nem lehet akármekkora ugrásokkal rendelkező felületet tömíteni, ha túl magas ugrás található egy felületen nincs lehetőségünk a tömítés megfelelő mértékű leszorítására. Példák a tömítendő felületek deformitásaira:

- anyaghalmozódás vastag szigetelőanyag átfedésénél
- meghullámosodott merev felület fölötti tömítés
- gyűrődés, ráncolódás esete
- sűrű hullámosság (a tömítőanyag alakváltozási képességét meghaladó)
- éles hibák hirtelen geometriai ugrások (a tömítőanyag alakváltozási képességét meghaladó)
- palazúzalékos bitumenes lemez példája



16. kép: Szoba jöhető felületi textúrák és azok tömítése. Jól látszanak azok tömítetlen hézagok, melyeket a tömítőanyag nem képes a saját alakváltozási képességével lekövetni.

4. A probléma matematikai interpretációja:

Annak eldöntésére, hogy képes lesz-e egy adott tömítőanyag bármilyen beszorítóerő mellett lekövetni az aljzat geometriai hibáit, jellemezni kellene annak felületét. Az térképészetben a földfelszín domborulatait szintvonalas alaprajzzal írják le, ilyen a szóba jöhető felületekre is készíthető. Manapság a 3D szkennelés, illetve fotogrammetriai eszközök állnak rendelkezésre, melyek a felületet szinte tetszőleges pontossággal képesek pontfelhő formájában leképezni. Könnyen el tudjuk képzelni, hogy ezekről tetszőleges számú és finomságú metszet készíthető, digitalizálható, melyek numerikus eszközökkel elemezhetők.

A felület lekövethetősége szempontjából nem is a felületi hibák mérete (amplitúdója) az elsődleges, hanem a metszetgörbe helyi meredeksége (kiállások), illetve a változások hirtelensége, melyek az első derivált maximumaival, illetve a második derivált előjelváltásaival írhatók le vagy érhetők tetten. Tehát numerikus eszközökkel keresendők az ilyen helyzetek, és ezek száma alapján, valamint a tömítőanyag alakváltozási tulajdonságait jellemző paraméterek ismeretében esély van annak eldöntésére, hogy az adott geometria lefedhető-e egyáltalán a tömítőanyaggal, illetve mekkora beszorítás szükséges ennek megbízható kivitelezéséhez.

Valószínű, hogy a vízzárás síkjára merőleges kapillárisok soha nem tömíthetők le tökéletesen, mert ehhez végtelen alakváltozás lenne szükséges bizonyos pontokban, Ugyanakkor a pontszerű hibákat az őt körülvevő részek tömítése mintegy elszigetelheti, lokalizálhatja. A vízzárás feltétele az, hogy az ilyen elszigetelt hibahelyek között maradjon egy olyan szélességű folytonos védelmi "vonal" vagy zóna, amely sehol sem lép ki a szorítóperemek kontúrjából. Ilyen algoritmus meglátásunk szerint könnyen létrehozható.

5. Vízzáróság vs. vízhatlanság követelményének kérdése: A víz átjutásának mértéke alapján többféle szerkezetet különböztetünk meg, a belső térre vonatkozó szárazsági követelménynek megfelelően. Ha egy szerkezet a belső térbe a vizet nem engedi át, azonban annyi nedvesség átjut, amennyi a belső térben el tud párologni, akkor vízzárónak tekinthetjük. Ezzel szemben vízhatlanságról beszélhetünk, ha egyáltalán nem enged át vizet, semmilyen halmazállapotban. Az OTÉK 57.§-a értelmében a huzamos emberi tartózkodásra szolgáló helyiségeket a talajból érkező nedvességhatások ellen vízhatlan szigeteléssel kell ellátni, ez tehát a csapadékvízre nem vonatkozik. Mégis elvárható, hogy a határoló szerkezetek hézagai az általános felülettel egyenértékű teljesítményűek legyenek. Így ezek csak akkor alakíthatók

ki "csak"vízzáró, tehát nem vízhatlan kapcsolattal, ha az elsődleges hézagzárás mögött olyan másodlagos védelem van, amely a csapóeső hatására a "csak" vízzáró kapcsolaton esetlegesen bejutó kis mennyiségű vizet a szerkezet károsítása nélkül a külső tér irányába ki tudja vezetni (dekompressziós hézag, dréncsatorna, csurgalékvíz kivezetés). Természetesen ezekben az esetekben a vizsgált XPE tömítések átnedvesedése, csekély mértékű vízáteresztése is megengedhető, amire jó példát adnak az üvegtető, függönyfalak, nyílászárók szokásos és közismert részletképzései.

Az eredmények összegzése

Kutatásunk fő célja az volt, hogy egyszerűen végrehajtható kísérleti módszereket dolgozzunk ki épületszerkezetek teljesítményének becslésére. Több különböző ötlet is felmerült ennek megvalósítására, melyek közül 4 modellen méréseket is végeztünk, valamint több elméleti rendszer is született, melyeket továbbfejlesztve mérésre alkalmas modelleket sikerült készítenünk. Válaszok az előfeltevéseinkre:

1-2. előfeltevések: A tömítőhab beszorításának mértéke és a víznyomás állóság közötti egyszerű lineáris korrelációt nem tudtuk felállítani, mert a méréseinket csak egy szűk paraméter tartományban tudtuk végrehajtani. Megállapítottuk, hogy a tömítések beszorítás nélkül nem alkalmasak a vízzáróságra.

3-4. előfeltevések: Különböző felületű anyagok és geometriai deformitások mérésére, valamint a tömítőanyag szélességének változtatására az adott idő nem volt elegendő. Vizsgáltuk a tömítendő felületek minőségét, megállapítottuk, hogy az átmenő hézagokon kapilláris vízvándorlás léphet fel, melynél a tömítés kis mértékben, de ereszt a vizet. Úgy gondoljuk, hogy szükséges lenne a jövőben durvább, különböző textúrájú és felületi érdekességű anyagok tömítésének mérésére, a jelenlegi módszerek továbbfejlesztésével.

5-6. A meghúzási nyomaték helyett sikerrel alkalmaztuk a beszorítás beállításához a csavar menetemelkedési táblázatainkat, melyek az építési helyszínen történő összenyomás pontos beállítására alkalmasabbnak tűnnek. Az anyag eredeti vastagságának 30-40%-ra történő összeszorításánál értünk el komoly víznyomás-állóságot, amely viszont a későbbi alakváltozási képesség csökkenésével jár, és kérdéssé teszi a jelentős amplitúdóval bíró hibák ilyen módon való tömítését.

Összegezve úgy értékeljük, hogy az elemi komponensekből szakmai szabályok alapján összeépített komplex épületszerkezetek egyszerűsített, becslő teljesítmény-mérésére nemcsak szükség van, hanem a valóságban sok esetben ilyen eljárások mérnöki eszközként jogi értelemben is bevonhatók a tervezés folyamatába.

Irodalomjegyzék

- {1} Rózsa - Kelemen: Talajvíz elleni szigetelés, Műszaki könyvkiadó, 1974
- {2} Horváth Sándor - Vladár Péter: Talajnedvesség és talajvíz elleni szigetelések tervezési és kivitelezési irányelvei, ÉMSZ irányelv
- {3} Nathan Van Den Bossche - Stéphanie Van Linden: Pre-Compressed Foam Sealing Tapes to Seal Joints between Building Envelope Components Watertight: An Experimental Assessment, 2023, DOI: 10.3390/buildings13030661
- {4} Michael Lacasse - Hiroyuki Miyauchi - J. Hiemstra: Water Penetration of Cladding Components—Results from Laboratory Tests on Simulated Sealed Vertical and Horizontal Joints of Wall Cladding, Journal of ASTM International, 2009, DOI: 10.1520/JAI102048
- {5} B. Francke - E. Sudo: Durability of Joint Sealing Tapes on the basis of a Pre-Compressed Polyurethane Foam, 2019, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci.Eng. 473 012022
- {6} Fassaden und Lichtdächer: Schüco alkalmazástechnika
- {7} Link Seal, elemes gyűrűstér tömítés
- {8} Tamás Simon: Joint sealing principles of watertight structures and their combination