

A NYITOTT FUGÁJÚ TETŐBURKOLATOK VÍZÁTERESZTÉSÉNEK KÍSÉRLETI VIZSGÁLATA



Készítették: Holczer Eszter
Seres Balázs

esztifuti@gmail.com
balazs.seres91@gmail.com

Témavezető: dr. Dobszay Gergely

gdobszay@epsz.bme.hu

BME Építészmérnöki Kar
Épületszerkezzettani Tanszék

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés
 - 1.1. A téma bemutatása, aktualitása, fontossága
 - 1.2. Alapvetések és fogalmak
 - 1.3. Fizikai paraméterek
2. Elméleti előkészítés
 - 2.1. Előfeltevések
 - 2.2. A kutatás lehatárolása
 - 2.3. Tudományos környezet, a szakirodalom vizsgálata
3. A kísérletek megtervezése
 - 3.1. PVC csöves módszer
 - 3.2. Hőszigetelő táblás módszer
4. A kísérletek előkészítése és lebonyolítása
 - 4.1. Első kísérletsorozat, életképek, tapasztalatok, a szükséges módosítások
 - 4.2. Második kísérletsorozat
5. Kísérleti eredmények
 - 5.1. Objektív megfigyelések a kísérletekből
 - 5.2. Eredmények értékelése
 - 5.3. A nem várt jelenségek kiemelése
6. Következtetések, javaslatok
 - 6.1. A nyitott fugájú burkolatok vízzáróságában, önszabályozó jellegében szerepet játszó tényezők felsorolása, fontossági sorrendje
 - 6.2. Tervezési ajánlások
 - 6.3. Tudományos kutatási javaslatok
 - 6.4. Összegzés

IRODALOMJEGYZÉK

FÜGGELÉK

1. BEVEZETÉS

1.1. A téma bemutatása, aktualitása, fontossága

A modern építészet levetette a díszítményeket, a tömegformálást hozta előtérbe. Eleinte az építészettörténethez ragaszkodva az egyszerű geometrikus formákat örökítette meg (hasáb, gömb, stb.). Napjainkra az építéstechnológia fejlődésének köszönhetően lehetővé vált igen bonyolult tömegek megépítése. Ez a kötetlenség a tervezés szabadságát hozta meg. A korstílusok – különösen a 2000-es évekre – eltűntek, az egyéni stílusok uralják az építészetet.

A hagyományos szerkesztési elvű magastetős házak mellett egyre több egyéni kialakítású épület tűnik fel. Elmondható, hogy a formálás már elsőbbséget élvez a tervezésben.

A 21. században a tervezésnek egy olyasfajta iránya figyelhető meg a sztárepítészetben, mely az épületet homogén tömegként kívánja láttatni. Úgy jelenik ez meg, hogy a homlokzatburkolati anyag és struktúra átfordul a tetőre.

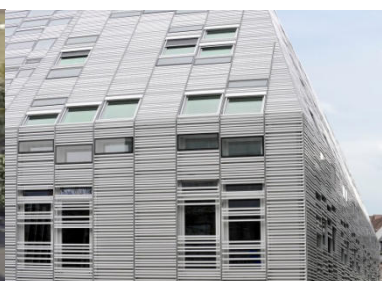
Ez a törekvés felrúgja a szakmai hagyományokat, speciális megoldásokat követel: új tetőrétegrendeket, új csomópontokat. A témával épületszerkezettanilag dr. Dobszay Gergely foglalkozott legtöbbször. Megállapította, hogy az ilyen módon felépülő tetők önálló szerkezetcsoporthoz tartoznak, melyeket „burkolt tetőknek” nevezett el.

Ezeket az épületeket tetőfedések helyett tetőburkolatok határolják. A homlokzatburkolatok alapján különféle anyagú és struktúrájú tetőburkolatok vannak. Nagy csoportot alkotnak nyílthézagos változatok, melyek fugáin a víz szabadon közlekedhet, ezért felkeltették az érdeklődésünket. Ezek többnyire szerelt, esetleg ragasztott burkolatok. Anyaguk jellemzően kő, kerámia, beton. Szerkezetükről részletes tájékoztatást ad az [a] publikáció.

A számottevően sok terv és megépült ház bizonyítja a téma aktualitását és serkentett bennünket, hogy foglalkozni kell ezzel a szegletével. Példák:



1. kép: Keller Ferenc, Hönich Richárd, Sólyom Benedek, Fialovszky Tamás: Kodály Kulturális Központ, Pécs, 2010



2. kép: M. Fuksas: Markthäuser 11-13., Mainz (Németország)



3. kép: B. Wörtz: K42 Médiaház, Friedrichshafen (Németország)

•



4.kép: É. Gouesnard: Soulié-Bertho ház, Sarzeau (Franciaország)



6.kép: Ellermann, Lucas, v. Vugt:

ház, Sarzeau (Franciaország)



5.kép Eternit Mono Cover épülete

Zuiderhof, Amsterdam (Hollandia)

1.2. Alapvetések és fogalmak

1.2.1. Az alátétzigetelés szerepe

Csapadékvíz-behatolásnak nevezik, ha az épületek felső síkján összegyűlt víz a tetőfedés (vagy burkolat) repedésein (vagy hézagain) keresztül áthatol. Ez épületszerkezeti károkat okozhat: szétfagyást, penészesedést, a hőszigetelő hatás drasztikus csökkenését, a tartószerkezet meggyengülését, stb..

Már a hagyományos – például cserépfedésű - (magas) tetőknél is a fedés aljzata alá alátét héjazatot kell beépíteni. Ugyanis csak megfelelő átfedésű – többnyire - alátét fóliával lehet az előírt vízzáró vagy fokozottan vízzáró követelményt kielégíteni. Ennek az az oka, hogy a szél hatására a vízküszöböt átlépve csekély nedvesség mégis kerülhet a szerkezetbe. A átfedés mértékéről, a vízzárósági követelményekről részletesen az ÉMSZ irányelvek rendelkeznek.

Ezzel szemben a burkolt tetők nem vezetnek le felületükön a teljes csapadékvíz-mennyiséget, hanem annak jelentős részét a fugákon lecsapolják. Ezért ezeknél a tetőknél **különleges alátét héjazat** tervezendő. Ennek az alátét héjazatnak többnyire vízhatlan alátétzigetelésnek kell lennie.

Ezt a fokozatot az irányelvek már nem kategorizálják, pedig fontos lenne tudni, hogy a csapadékvíz mekkora hányadát lehet ily módon elvezetni. Kutatásunk céljából tűztük ki, hogy segítséget adjunk a különféle tetők tervezéséhez olyan tekintetben, hogy legyen elképzelés az alátét héjazaton folyó csapadékvíz mennyiségéről. Természetesen ezt csak ésszerű tartományon belül tudjuk vizsgálni.

1.2.2. Az igénybevételek és jellemzésük

Az [1] irodalom szerint a jelenség szempontjából az alábbi, csapadékból származó nedvesség hatások, igénybevételek lehetnek fontosak:

1. víznyomás
2. áztatás, tartós nedvesítés
3. víz bejutása a szerkezetbe
4. csapóeső
5. vízterhelés az alsóbb rétegek síkján
6. cseppenési pont
8. vízgátak

Ezeknek az igénybevételeknek egy része modellezhető, így kísérletekkel mérhető, de sokszor inkább csak becsülhető. Bennünket a csapóeső hatása foglalkoztatott.

Már [1] is sejti, hogy a lassú, áztató jellegű eső fajlagosan jobban terheli az alátétzigetelést, mint a gyors, heves zápor.

A nedvesség okozta igénybevételek szempontjából kiemelten fontos teendő a terhelés meghatározása. Hasznos lenne a tervezéshez, ha földrajzi és klimatikus viszonyok szerint vízhozam-adatokkal rendelkeznénk.

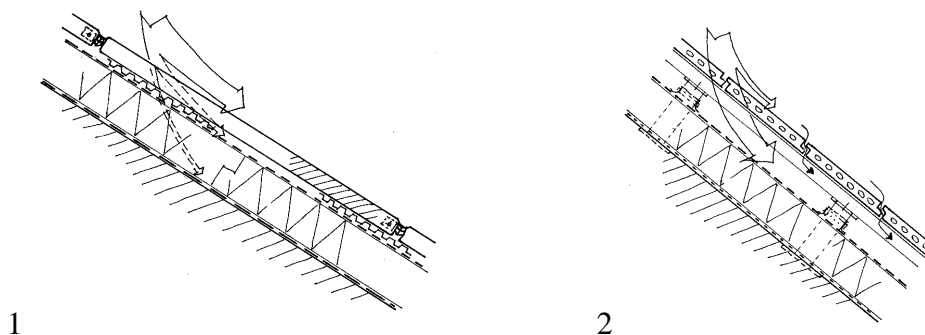
1.2.3. A TVSZ szám

Ezt a fogalmat [1] vezette be. Az ilyen különleges esztétikájú épületeknél tehát a tetőburkolat a homlokzatburkolat mintájára készül: jellemzőek a nyílthézagos fedések, melyek természetesen – kitöltéstől függően - vízáteresztőek. (Mi kizárólag a szabad, kitöltés nélküli változattal foglalkoztunk.)

Bizonyos esetekben ez a tulajdonság hasznos lehet. Egyidejűleg meredek hajlásszögű, hosszú lejtéshosszú és sima felületű hagyományos magastetőkön a vízelvezetés különleges szerkezetet igényelne. Ezeknél azonban a hézagok a lezúduló esővíz jelentős részét leeresztik. A tehermentesítésnek köszönhetően a felszínen folyó víz elvezetésére nem kell nagyobb ereszt méretezni.

Már az előbbi, meredek tető tervezésénél is az alátéthéjazatra különös figyelmet kell fordítani. Az (akár egyidejűleg) kis hajlásszögű, érdes felületű tetőburkolatokon a víz kevésbé tud felgyorsulni, a hézagok a csapadékvíz nagyobb hányadát csapolják le, ezért az alátéthéjazatot már akár vízhatlanra kell méretezni. Amíg a magastetők esetében a vízzáró alátéthéjazat csak másodlagos, biztonsági szigetelést jelent, addig a nyitott hézag esetében az alátétszigetelés jelenti az elsődleges védelmet.

Tehát ennek a vízáteresztésnek a mértéke erősen függ a burkolat típusától. (1.ábra, [1]-ben 41.oldal 17. ábra) Ennek jellemzésére [1] bevezette a TVSZ fogalmát.



1. ábra: A felső és az alsó vízelvezetés eltérő arányai
1 – takart fugájú nagyelemes burkolat, a víz túlnyomó része a felületen folyik
2 – nyitott fugájú, kiselemes burkolat, a víz nagyobb része a szigetelésen folyik

Definíció: „ A Többszintű Vízelvezetés a burkolt tetőknek azt a működési sajátosságát jelöli, hogy a csapadékvíz és az egyéb nedvesség a szerkezet vizuális burkolatát jelentő réteg alá jut, az alsóbb síkokon közlekedik a vízelvezetés irányába. A **Többszintű Vízelvezetési Szám** (TVSZ) a burkolt tetők vizuális burkolatát jelentő rétegen közlekedő vízmennyiségnek (Q_f) és az alsóbb síkokon közlekedő vízmennyiségnek (Q_a) az aránya (mértékegység nélkül).”

Néhány burkolattípus becsült TVSZ számai:

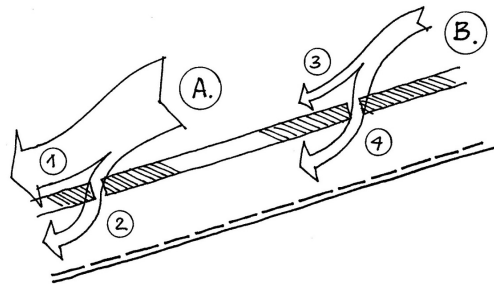
- vízáteresztő fugázású kőlap: 5-10 (rengeteg csapadékot elvezet a burkolat felszínén)
- profilozott nagyelemes kerámia: 0,5-1 (nagyjából ugyanannyi víz folyik a burkolaton, mint az alátéthéjazaton)
- nagytáblás szálcement nyitott fugával: 0,2-0,3 (ennél már akár el is hanyagolható a felső síkon folyó víz).

1.2.4. Az „önszabályozó rendszer”

Már [1] is feltételezte, hogy heves záporok esetén akár több centiméter vastagon folyhat a víz, mely a burkolatra már nyomással hat. Ennek elosztására hasznos lehet egy nyílthézagos

burkolat, mely a rés szélességétől és mélységétől függően korlátozza víz folyását. [1] kutatásaiból kiolvasható, hogy ezek a szerkezeti kialakítások egy „önszabályozó” rendszert működtetnek.

Definíció: A csapadékintenzitás növekedésével - egy bizonyos értékig, adott fugaszélesség és lapvastagság mellett - a csapadékintenzitás növekedésével nem nő korlátlanul a hézagon átszivárgó víz mennyisége; a nagy intenzitásból fajlagosan kevesebb jut a vízszigetelésre, mint a lassú, áztató jellegű esőből. Ezt nevezhetjük a fuga „önszabályozó” jellegének. (2.ábra, [1]-ben 40. oldal 15. ábra)



2.ábra: Az önszabályozó nyitott fuga
A. heves zápor esete
B. csendes eső esete

Az értekezés ebben a kérdésben azonban megmaradt a feltételezés szintjén, kísérletek hiányában a jelenség léte bizonyítatlan maradt. A természetes műszaki érzék is azt súgja, hogy a jelenség létezik. Azonban ezt kísérleti úton még nem vizsgálták, és különösen nem adtak hozzá mennyiségi becsléseket, adatokat. Jelen tanulmány olyan eredményeket mutat fel, melyekkel a kérdés érdekességét és fontosságát tanúsítja.

1.3. Fizikai mértékegységek

1.3.1. Hajlásszög ($^{\circ}$) -sebesség (m/s)

Mivel a burkolt tetők formálásán jellemzően jól látszódik a tervező tollvonása, a hajlásszög is az esztétikai célnak van alárendelve. Ezért ezek széles tartományban fordulnak elő: jellemzően 5° -tól (akár nulla lejtés) a meredek 60° -ig.

Ennek kiemelt jelentősége lehet, mert a víz sebessége részben ettől fog függeni. Könnyen belátható, de csak feltételeztük, hogy meredekebb hajlásszög esetében a víz hamarabb felgyorsul, nagyobb végsebességet ér el a fugánál. Ezért jó eséllyel át fogja „ugrani” a hézagot. Úgy gondoltuk, hogy ily módon a hajlásszög és a sebesség között egyenes arányosság van.

A sebesség pedig azért fontos tényező, mert feltételeztük, hogy:

Ha a csapadékvíz a burkolaton gyorsan folyik le, akkor az alátéthéjazaton kevés csapadékvizet kell elvezetni. Ha lassan folyik, ideje marad a résekbe befolyjni, így az alátéthéjazatra sok víz kerül.

1.3.2. Hézagszélesség (mm)

Az önszabályozó rendszer szempontjából különös jelentősége lehet ennek a tényezőnek: úgy gondoltuk, hogy egy bizonyos hézagszélesség elérése után jóval kevesebb víz fog átáramlani a rés felett.

Ezek a fugaméretetek jellemzően a burkolat típusától függenek: a skála 1 mm-től az 1 cm-ig terjedhet.

1.3.3. Vastagság (cm)

Úgy gondoltuk, számít az is, hogy ez a tetőburkolat milyen vastag: azt vártuk, hogy adott hajlásszög és hézagszélesség mellett a vastagabb burkolatokon - a fugákban keletkező örvények miatt – több víz folyik majd le.

A hatás megértése érdekében a járatos 2, 4, 6, 8 cm-es vastagságok mellett vizsgálni kell a látszólag nulla, illetve egy nagyobb vastagságot.

1.3.4. Érdesség

[1] megállapítása szerint a víz gyorsulását „befolyásolja a felület érdessége és a burkolat időszakos víznyelő képessége.” Kevésbé mérhető paraméter, de a víz lefolyási sebességére eltérően hatnak a különféle felületű burkolatok: kő, kerámia, fémlemez stb. Úgy véltük, hogy strukturált felületű, érdes (kő) burkolaton kevesebb víz folyik le.

/A DIN 1986-2. szabvány és a „Rheinzink – Csapadékvíz elvezetés, a tervezés és alkalmazás alapismeretei” c. irányelvek a különböző anyagú tetőfedéseket eltérő c lefolyási tényezőkkel jellemzik. Az áramlástan csőhálózatokra és nyílt medrekre ad meg Δ érdességi tényezőket. A tetőburkolatok anyaga más, ezért számunkra ezen a ponton sem nyújtanak segítséget. /

Az utóbbi három mennyiséget egymástól függetlennek tartjuk.

1.3.5. Vízhozam adatok

A csapadék többféle jellegű terhelést okoz. Ezek figyelembevételéhez az alábbi fizikai mennyiségekre lenne szükségünk:

- heves (2 perces) zápor vízhozama
- rövidebb idejű (max. 10 perces), nagy mennyiségű zápor intenzitása
- középhosszú (1-2 órás) záporintenzitás
- hosszú, csendes eső időtartama és mennyisége
- intenzitás-időtartam közti összefüggés: térfogatáram-idő diagram; „eső-történet”; eső karakter

A térfogatáram a tető geometriája szerint származtatott fajlagos érték, amelyet a tető hézagainak vízcsökkentő hatása is befolyásol.

/Jelenleg ilyen mennyiségek állnak rendelkezésünkre: 10 perces záporintenzitás, napi vízmennyiség./”

Ha léteznének ilyen vízhozam-adatok, akkor a tetőt érő csapadékvíz mennyisége a helyszínre jellemző csapadékintenzitás és a tető alaprajzi vetületi hosszának szorzataként kiszámíthatóvá válna.

2. ELMÉLETI ELŐKÉSZÍTÉS

2.1. Előfeltevések

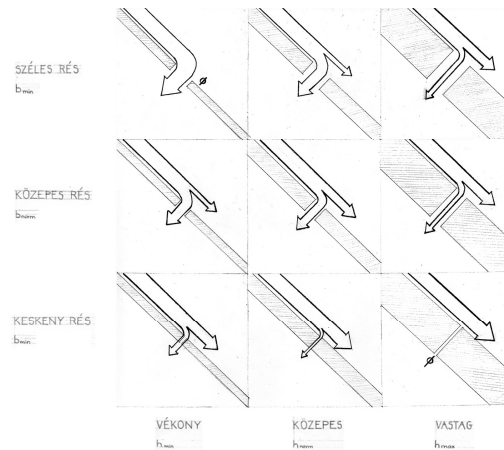
A három döntőnek vélt fizikai paraméterünk tehát a következők voltak: hajlásszög (α), lapvastagság (h), résszélesség (b). Úgy gondoltuk, hogy a vízmennyiség alakulása – legalább tendenciaszinten – ezekkel megbecsülhető. A lehetséges kombinációk száma hat, ezért az alábbi hat grafikonon a mennyiségeket következőként ábrázoltuk: az y (mért) tengelyen a vízmennyiséget, az x (változó) tengelyen pedig ezeket a paramétereket jelöltük. Egy grafikonon több görbét is feltüntettünk.

A variációk ábrázolása során az állandónak vett mennyiségeket egy jellemző középértékkel képzeltük el.

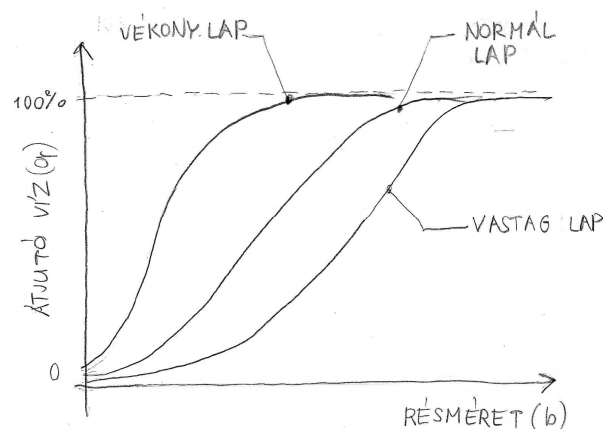
A grafikonok alatt kiemeltük az adott szituáció jellegzetességeit.

2.1.1. A résméret hatása az átjutó víz mennyiségére állandó (közepes) hajlásszög és különböző lapvastagságok esetén:

Szigorúan monoton növekedő függvényre számítunk két inflexiós ponttal. (3. ábra, 1. grafikon)



3. ábra: A résméret hatása az átjutó víz mennyiségére állandó (közepes) hajlásszög és különböző lapvastagságok esetén

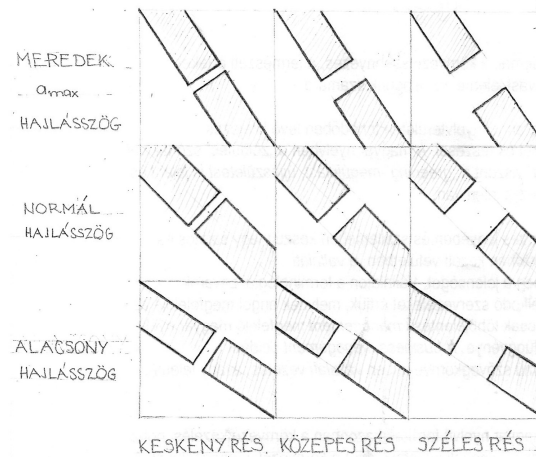


1. grafikon: A résméret hatása az átjutó víz mennyiségére állandó (közepes) hajlásszög és különböző lapvastagságok esetén

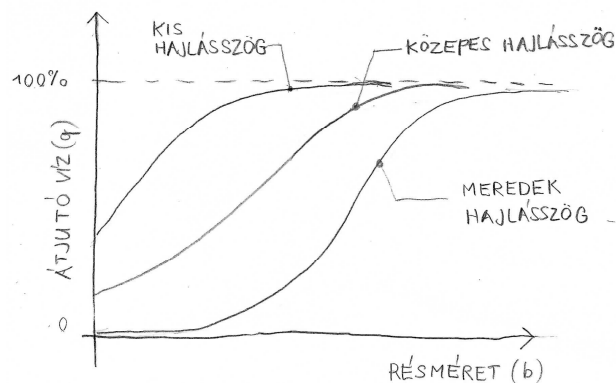
- **Vastag lap** esetén a rés növelése mellett sem jelentkezik nagy vízáteresztés: oka a nagy lapvastagság melletti jelentős résellenállás, mely nagymértékben gátolja a vízáttutást. Széles rés esetén ez az ellenállás megszűnik, és a vizet teljes egészében átereszt. A burkolatok közvetlenül egymás mellé szorításával sem zárjuk ki pár csepp víz átszivárgását.
- **Közepesen vastag lapnál** is az előző pontban feltárt hatások érzékelhetők, ám kevésbé szignifikánsan: már a kis résszélességek növelésével is több víz szivárog át, és valamivel kisebb résméreten is átengedi a teljes mennyiséget.
- A **vékony burkolatoknak** már kezdetben sincs vízvisszatartása. A rés tágításával közel lineárisan, de drasztikusan több vizet engednek át. Mielőtt a teljes mennyiséget áteresztik, hosszú tartományon a növekedés mértéke jóval gyengébb. Minden esetben megfigyelhető, hogy a vékony burkolatoknak a legerősebb a vízáteresztése, mely viszonylag hamar eléri maximumát.

2.1.2. A résméret hatása az átjutó víz mennyiségére állandó (közepes) lapvastagság és különböző hajlásszögek mellett:

Szigorúan monoton növekedő függvényre számítunk, legalább egy inflexiós ponttal. (2. grafikon, 4. ábra)



4. ábra: A résméret hatása az átjutó víz mennyiségére állandó (közepes) lapvastagság és különböző hajlásszögek mellett

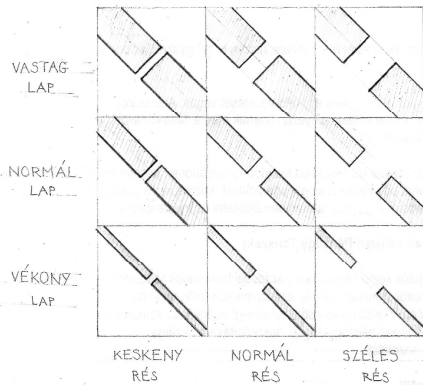


2. grafikon: A résméret hatása az átjutó víz mennyiségére állandó (közepes) lapvastagság és különböző hajlásszögek mellett

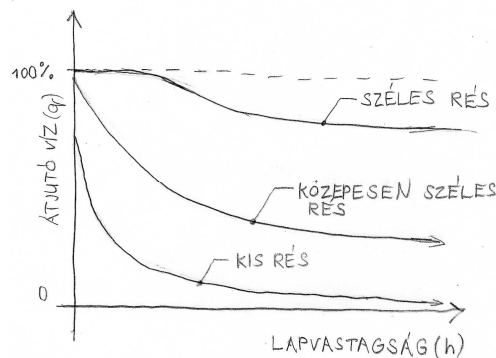
- A **meredek hajlásszög** a lezúduló vizet olyannyira felgyorsítja, hogy kis-közepes fugaszélességig minimális mennyiség folyik a fugába. Ez a hatás annyira erős, hogy nagyon nagy rés kell a teljes áramlat lecsapolásához, de még elképzelhető olyan szélesség, ahol ez elérhető. Közepes szélességeknél a növekedés közel egyenletes és drasztikus. Nem zárható ki azonban, hogy pár csepp víz a burkolat alá ne kerüljön.
- **Közepes hajlásszög**nél az éleket összeérintve is bizonyosan több víz szívárog át, mert a nehézségi erő erősödik az áramlat esésirányú mozgatóerőjével szemben. Ez a végpont az előző esethez képest kisebb résméretnél következik be.
- **Kis hajlásszög** esetében a gravitáció hatása olyan erős, hogy a folyamatban kicsi az a résméret-tartomány, ahol egyáltalán valamennyi víz átlépheti a fugát. Így már kezdetben is a kiinduló mennyiségnek egy része kifolyik. Már közepes résméretnél elveszíthetjük az összes vizet.

2.1.3. A lapvastagság hatása az átjutó vízmennyiségre állandó (közepes) hajlásszög és különféle résszélességek mellett:

Szigorúan monoton csökkenő függvényre számítunk legalább egy inflexiós ponttal. (3. grafikon, 5. ábra)



5. ábra, A lapvastagság hatása az átjutó vízmennyiségre állandó (közepes) hajlásszög és különféle résszélességek mellett

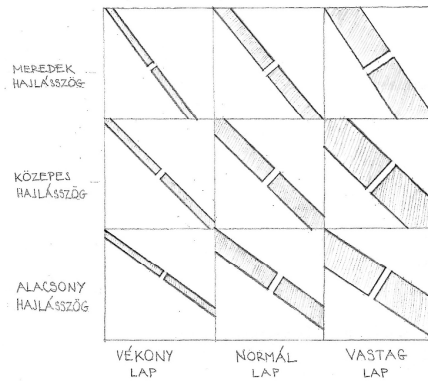


3. grafikon: A lapvastagság hatása az átjutó vízmennyiségre állandó (közepes) hajlásszög és különféle résszélességek mellett

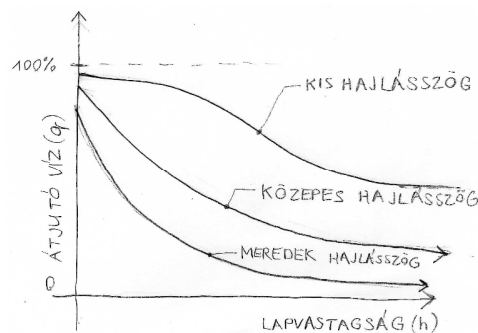
- **Keskeny rés** mellett még a közel nulla vastagságú tábla is segíti - kismértékben - a vizet a burkolatsíkon maradásban. Ha elegendően (nagyon) vastag a tábla, a kis rés gyakorlatilag elzárja a vizet. Ezt azzal magyarázzuk, hogy a fugában - a víz átugrását segítő - örvények, illetve további - még ismeretlen - taszítóerők alakulhatnak ki. (Az általunk folyó-analógiának nevezett jelenség szerint ez a csökkenés a végtelenhez tart: ha például a Dunát alulról egy ponton meglékelnénk, valószínűleg a folyó vízhozamához képest csak elenyésző veszne el, mert a nagy áramlat átsuhan felette).
- A **közepesen széles rés** szakadékhatasát már kevésbé befolyásolja a növekvő lapvastagság. Hatása kis résszélességeknél már nem érzékelhető, azaz a közel nulla vastagságú lap ekkora résen már az összes vizet átterszti. Ha legalább közepesen vastag burkolatunk van, a hézag ellenállása még mértékadó lehet. Vagyis a teljes mennyiséget egy még végtelenebbül vastagabb burkolattal lehetne visszatartani.
- A **széles rés hatása** nagyon erős, mert az említett belső feszültségek nem alakulnak ki. Közepesen-nagyon vastag lap kell ahhoz, hogy ellenállást érzékeljünk. Valószínűleg el sem képzelhető olyan vastag burkolat, amely ebben a felállásban a vízmennyiségnek akár a jelentős részét visszatartaná. Az említett kezdeti eseménytelenség miatt a görbén két inflexiós pontot feltételeztünk.

2.1.4. A lapvastagság hatása az átjutó vízmennyiségre állandó (közepes) résméret és különböző hajlásszögek mellett:

Szigorúan monoton csökkenő függvényre számítunk, legalább egy inflexiós ponttal. (4. grafikon, 6. ábra)



6. ábra: A lapvastagság hatása az átjutó vízmennyiségre állandó (közepes) résméret és különböző hajlásszögek mellett

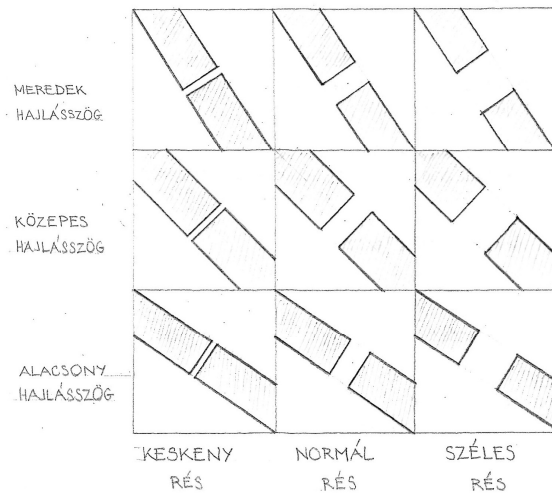


4. ábra: A lapvastagság hatása az átjutó vízmennyiségre állandó (közepes) résméret és különböző hajlásszögek mellett

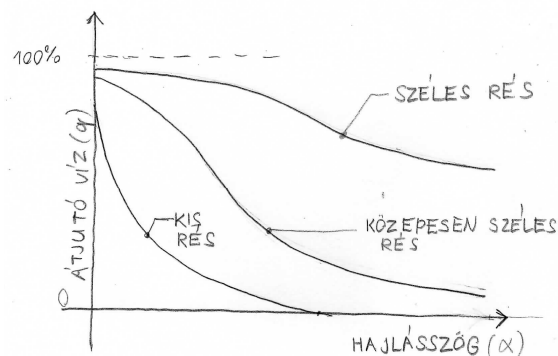
- **Meredek hajlásszögnél** még érzékelhető a kis-közepes vastagságok résellenállása, mert a súlyerő lejtőirányú vektorkomponense sokkal nagyobb, mint a síkra merőleges (a fuga irányába ható), kis vektornagyságának még ellenállnak. Természetesen itt is a vastag burkolatoknak van igazán „vízzáró” hatása. A vízmennyiség csökkenő tendenciája tart a végtelenbe, mert létezhet olyan vastag burkolat, ami kvázi-teljesen vízzáró.
- **Közepes hajlásszög** mellett hasonló csökkenést feltételeztünk, de a nagyobb nehézségi erőknek a fugába mutató komponensét már nehezebben ellensúlyozzák a hézagban kialakuló feszültségek. Az áramlatok a lendületük miatt még átugorhatják a hézagot. A közel nulla vastagságú burkolat fugájának már elhanyagolható ellenállása van. A közepes hajlásszögnél a vastag burkolatok is több vizet engednek át. (Ha van olyan vastag burkolat, ami az összes vizet távoltartja, akkor az végtelenül nagy.)
- **Kis hajlásszög** esetében a nehézségi erők uralkodnak, ezért ennél számíthatunk a legtöbb átszivárgó vízre. A vékony burkolatok víztaszító hatását elhanyagolhatónak tekintjük. A vékony-közepesen vastag burkolatok határán is valószínűleg van egy inflexiós pont, amelytől több vizet veszít a burkolat. Ennél a variációnál már valószínűleg nem létezik olyan vastag aljzat, ami a kizárná a szivárgás lehetőségét.

2.1.5. A hajlásszög hatása az átjutó vízmennyiségre állandó (közepes) lapvastagság és különböző résméretek esetén:

Szigorúan monoton csökkenő függvényre számítunk, legalább egy inflexiós ponttal. (5. grafikon, 7. ábra)



7. ábra: A hajlásszög hatása az átjutó vízmennyiségre állandó (közepes) lapvastagság és különböző résméretek esetén

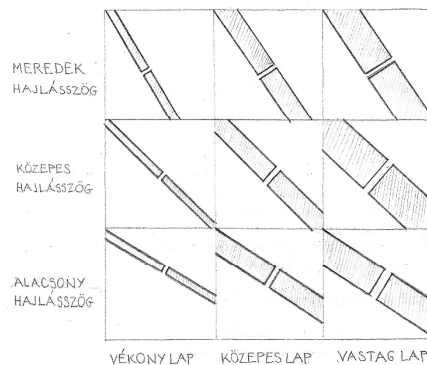


5. grafikon: A hajlásszög hatása az átjutó vízmennyiségre állandó (közepes) lapvastagság és különböző résméretek esetén

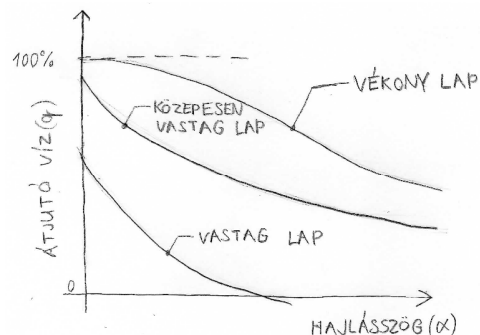
- **Keskeny résnél** már a kis hajlásszögek szakaszában is megfigyelhető, hogy a kezdeti mennyiségnek egyre nagyobb hányada a burkolatsíkon marad. Még a függőleges sík elérése előtt lehet olyan meredek hajlásszög, amelynél megáll az átszivárgás.
- A **közepes méretű rés** alacsony dőlésszögeinél a nehézségi erő hatása fokozott, ezért roppant kevés víz lépheti át a hézagot. Kis-közepes hajlásszögnél jóval kevesebb vizet enged át, majd meredeknél gyengül ez a tendencia. Függőleges síknál - szélnyomásmentes körülmények között - a hézagnak nincs vízáteresztése.
- A **széles résnél** kialakuló tendencia az előbbivel analóg, kis-közepes és meredek hajlásszögek között jóval több vizet átenged. Azonban még függőleges sík esetén is feltételezünk némi vízbejutást.

2.1.6. A hajlásszög hatása az átjutó vízmennyiségre állandó (közepes) résszélesség és különböző lapvastagságok esetén:

Szigorúan monoton csökkenő függvényre számítunk, legalább egy inflexiós ponttal. (6. grafikon, 8. ábra)



8. ábra: A hajlásszög hatása az átjutó vízmennyiségre állandó (közepes) résszélesség és különböző lapvastagságok esetén



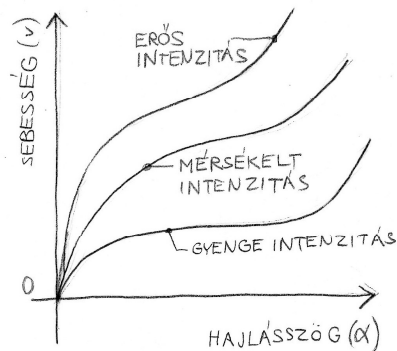
6. grafikon: A hajlásszög hatása az átjutó vízmennyiségre állandó (közepes) résszélesség és különböző lapvastagságok esetén

- **Vastag lapú** résen csak közepes-meredek hajlásszögek eléréséig szivároghat át a víz. Kis dőlésszögeknél még némiképp tapasztalható a résellenállás, de csak a kiinduló mennyiség egy részét engedi át. Közepes hajlásszögtől feltételezhetően már nincs vízáteresztés.
- A **közepesen vastag lapnál** vélt tendencia az előbbihez hasonló, de alapvetően több vizet enged át. Csak a derékszög elérésekor áll meg a csökkenés. Kis hajlásszögnél is csak kismértékű a víztaszító hatás.
- A **vékony lapnál** nem alakulnak ki belső feszültségek, ezért a közepes hajlásszögek eléréséig a fugák a teljes vízmennyiséget lecsapolják. A legtöbb vizet ez a variáció engedi át, de 90° felett a gravitációs hatás okán ennél is kizárjuk a víz átszivárgását. A görbe elején is van egy inflexiós pont, amelytől a növekvő dőlésszög hatására jelentősebben gyengül a szivárgás mértéke.

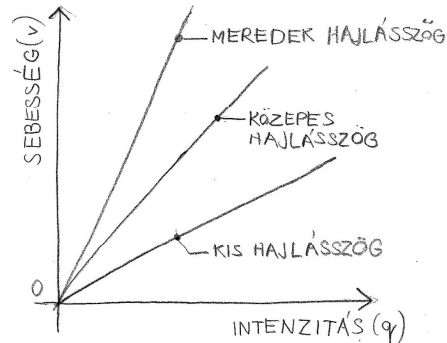
A következő grafikon a már korábban is leírt, feltételezett hajlásszög-sebesség arányosságot ábrázolja.

2.1.7. Összefüggés a hajlásszög és a sebesség, illetve az intenzitás-sebesség között, állandó lapvastagság mellett:

Szigorúan monoton növekvő függvényeket feltételezünk: arányosság lehet a mennyiségek között.



7.grafikon: Kapcsolat a hajlásszög és a sebesség között



8.grafikon: Kapcsolat az intenzitás és a sebesség között

- A **hajlásszög** emelésével növekedik a **sebesség**, melynek értéke az intenzitástól függ. A változást nem egyenletesnek gondoljuk. (7.grafikon)
- Másik megközelítésünk, hogy az érkező víz intenzitásának növekedésével is nagyobb sebesség érhető el, hajlásszögtől függően. Az **intenzitás és a sebesség** között egyenes arányosság lehet. (8. grafikon.)

2.2. A kutatás lehatárolása

A kísérletek megtervezése előtt megvizsgáltuk a fent említett objektív tényezők mérhetőségét, továbbá a nehezen jellemezhető fizikai paraméterek létjogosultságát, korlátait. A következőkben ezeket részletezzük.

2.2.1. Az érdesség szabályozhatósága

Mivel a víz sebességének nagy jelentőséget tulajdonítunk, fontos lett volna a felület érdességét is modellezni, figyelembe venni. Erre alkalmas anyagokat találni és többféle variációban megismételni a méréseket, nem fért bele a rendelkezésre álló időbe. Ezért úgy döntöttünk, hogy ezt a paramétert nem változtatjuk.

A megépült burkolt tetős példák jelentős hányada kőburkolatú. Az volt a célunk, hogy a natúr kőfelülethez közel álló anyagot találjunk. A célnak megfelelőnek tartottuk az XPS hab hőszigetelő táblát. (Végső soron ténylegesen eltérő felületeket kellett használnunk: lásd:1.5.3.fejezet) A fajlagosan drágább anyag választását a vízáteresztés megakadályozásával indokoltuk.

2.2.2. A résszélesség beállíthatósága

A fugaszélesség alapvetően meghatározza a lecsapolás mértékét. A hézagszélességet kézi mérőeszközökkel elég pontosan be lehetett állítani. Mi 0 mm-től 4 mm-ig minden esetben megvizsgáltuk ezeket a hézagszélességeket. Ahol 4 mm-nél is tapasztaltunk mérhető vízmennyiséget, nagyobb résszélességet is beállítottunk.

2.2.3. A lapvastagság lehetőségei

A különféle vastagságú burkolatok vízvezetéséről is szerettünk volna képet kapni. A lapvastagságot különböző méretű hőszigetelő táblákkal értük el: 2 és 4 cm, illetve speciális esetként a közel nullvastagság és a 10 cm. 2 és 4 cm vastagságú XPS táblákat vásároltunk, 10 cm vastag EPS táblát kaptunk, 2 mm vékony rozsdamentes acéllemez pedig rendelkezésünkre állt. (Kőburkolatok esetében a járatos vastagságok 2, 4, 6, 8 cm, azonban a működés megértéséhez meg kell vizsgálni a kvázi-nulla, illetve a nagy, legalább 10 cm-es vastagságokat.) A valóságban még jellemző 6 és 8 cm-el mérés keret hiányában kimaradt.

2.2.4. Folyadék sebességének szabályozhatósága, mérhetősége

A lefolyó víz átugrása a nyitott hézagokon alapvetően a víz sebességétől függhet. Ennek mérését pontosan csak laborban, optikai mérőeszközök segítségével lehetne elvégezni. Ezekkel mi nem rendelkezünk.

Kísérleteink során ezért kézi mérőstopperrel próbáltuk meg mérni a nulla kezdősebességről induló folyadékáram eljutását a hézagig, illetve a lejtő aljáig. Meg kell jegyezni, hogy egyrészt a reflexek reakcióidejével, másrészt a folyadékáram határainak pontatlan beláthatóságával számolni kellett.

A sebességet legegyszerűbb módon a vízforrásból érkező víz intenzitása határozná meg, de a nagyszámú esetek szelektálása végett egyféle (közepesen erős) intenzitással foglalkoztunk.

Kezdetekben úgy próbáltuk szabályozni a lefolyó víz gyorsulását, hogy a több, meglévő hézagunkból néhány felsőt lezárunk. Ezzel a víz fel tudott volna gyorsulni az alsóbb hézagok eléréséig. Ha ezeket a hézagokat nem zártuk volna le, akkor kisebb végsebességet lehetett volna elérni a pont(ok)nál.

2.2.5. A hajlásszög állíthatósága

A burkolt tetők hajlásszögükben jelentősen eltérhetnek egymástól, ezért ezt a tényezőt állítani kellett. Másrészt a lefolyó víz sebességét ez alapvetően meghatározza. Az elkészített modell hajlásszöge egyszerűen állítható volt, ezért ezt meg is tettük.

2.2.6. A tetőburkolatok hézagrajza

Az [1]-ben feltárt építészeti példákon az látható, hogy a nyitott hézagú tetőburkolatokat kötésben és hálóban is szokás fektetni.

Kötésben rakás esetén a víz egy burkolólapnyi hosszon folyik a felső síkon, majd ugyanilyen távolságon „szakadék” van. Ha ez a ritmus ismétlődik, akkor feltételezzük, hogy a víz folyása a tetősíkra vonatkoztatva egyenletesnek tekinthető.

Az építész fontosnak tartja a markáns hálójazot, ezért a hézagrajz ennek van alárendelve. A rácsban készülő struktúránál – felület mentén egyenletesen megoszló esőt feltételezve - a végigfutó esésirányú fugán közvetlenül is bejuthatna a víz, ezért további hatásokkal is számolnunk kellene.

A hézagrajz hatásától függetlenül, kutatásunk ezúttal csak a vízszintes fugákra fókuszál.

2.2.7. Másodlagos hatások

Mi csupán ezekkel a mennyiségekkel tudtunk foglalkozni, azonban nem szabad megfeledkezni arról, hogy ezek a tetők bármilyen éghajlaton megépülhetnek és meteorológiai

körülménynek ki lehetnek téve: nem tudunk foglalkozni a szél hatásával, ezáltal a csapóesővel, melyről számos tudományos cikket találtunk: [], [], []

Még laboratóriumi körülmények között is fellép némi felületi párolgás, illetve minden burkolat csekély mértékben vízáteresztő. Nem tudtuk mérni a lefolyás közbeni elpárolgott víz mennyiségét. Kutatásainkból tudjuk, a párolgás mértéke feltehetően olyan csekély, hogy erős szél esetén lehet csak jelentősége. Ezeket a hatásokat el kellett hanyagolnunk, de a szakirodalom részletesen foglalkozik velük.

Végül, de nem utolsó sorban a víz intenzitását, a térfogatáram hatását nem tudjuk számszerűsíteni, mert nincsenek olyan mérőeszközeink. Úgy gondoljuk, hogy a hajlásszög és a sebesség alkalmas arra, hogy ennek a paraméternek a hiányában is megfelelően sok variációt mérve valóságos tendenciákat tudjunk kiolvasni.

2.3. Tudományos környezet, a szakirodalom vizsgálata

Jelen tanulmány a tetőt érő csapadékvíz áramlástan és anyagi viselkedésébe kíván épületszerkezettani szemmel belefolyani.

2.3.1. A munka alapforrása Dobszay Gergely Ph. Doktori értekezése: „Burkolt tetők épületszerkezetei”. [1]

Ez a disszertáció az első publikáció, amely felhívta a figyelmet erre az új szerkezet típusra, az azt érő igénybevételekre, követelményekre és azok lehetséges teljesítésére. Az önszabályozó rendszer felvetése során bevezette a TVSZ számot, és megbecsülte a különböző burkolatok tulajdonságait. Mivel tanulmányunk számtalan helyen kapcsolódik az értekezéshez, ezért itt nem részletezzük a benne megállapítottakat, hanem a megfelelő fejezetekben utalunk rá.

Arra törekedtünk, hogy ezt a nyílthézagot rendszer kísérletekkel alaposabban feltárjuk.

2.3.2. Dr. Lajos Tamás: Az áramlástan alapjai. [2]

Az áramlástan az építész képzésben - sajnálatunkra - háttérbe szorul. Egy építész számára a matematikailag korrekt modelleket nehéz az épületszerkezeti megoldásokra alkalmazni.

Ez a könyv a közegek (köztük a víz) áramlástan viselkedéséről nyújt alapismereteket. Kiindulópontul szolgálhat a jelenségek megértéséhez szükséges későbbi kutatásokhoz, ezért a jövőben ezt a forrást alaposabban át kell tanulmányozni.

2.3.3. dr. Palotás László, „Mérnöki kézikönyv”, 3. kötet, 4.1.2. fejezet: Hidromechanika. [3]

A könyvnek ebben a fejezetében képet kapunk a víz mozgásáról mechanikai szempontból.

Bár a tető nem csővezeték, mindenesetre a cső analógiájára bizonyosan súrlódási ellenállása van, melyet - többek között - egy bizonyos Reynold-szám határoz meg.

Az osztályba sorolás szempontjából a tetőt nyílt medernek tekinthetjük. Ellenállásának jellemzésére táblázatban adottak a nyílt medrek érdességi tényezői. Azonban ezeknek a tulajdonságoknak egyikét sem tudjuk a tetőburkolatokkal szinkronba hozni.

2.3.4. dr. Palotás László, „Mérnöki kézikönyv”, I. kötet, 5.2.3. fejezet: Vízmozgás a kapilláris erők és a gravitáció egyidejű hatására. [4]

A talajnál megismert kapilláris erők összefüggései akár adaptálhatók a hézagainkban megfigyeltekre.

Ezenkívül az interneten folytattunk kutatásokat a Scopus tudományos adatbázison keresztül, mely cikkeket többnyire a ScienceDirect adatbázisában tudtuk elolvasni.

A kereséshez használt hívószó-kombinációk ('keywords'):

- vízzáróság és tető ('watertight and roof')
- vízzáróság és cserép ('watertight and tile')
- vízzáróság és cserép és tető ('watertight and tile and roof')
- vízhatlanság és tető ('waterproof and roof')
- vízhatlanság és cserép és tető ('waterproof and tile and roof')
- hézag és szivárgásmentesség ('joint and leak tightness')
- hézag és kő és homlokzatburkolat ('joint and stone and cladding')
- eső és betörés ('rain and penetration')

Több, a témához közelítő cikket találtunk, melyekre még kitérünk.

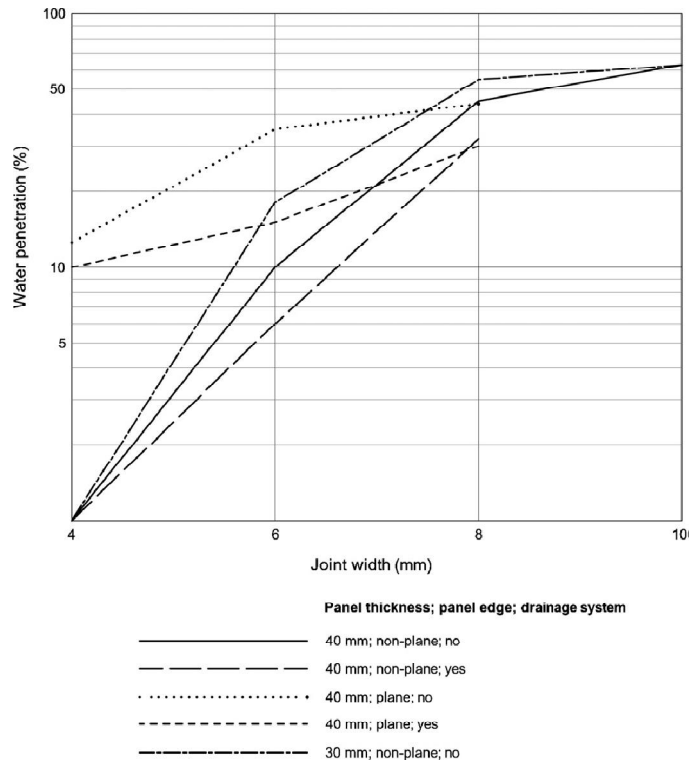
A legközelebbi találatunk a következő cikk volt, melyet ki szeretnénk emelni.

2.3.5. Ángeles Mas, Javier Gutiérrez, Enrique Gil, Alba Gil, Vicente Galvañ, „Design and construction recommendations to improve impermeability in rainscreen walls built with natural stone coverings”, 'Tervezési és szerkesztési ajánlások az átszellőztetett légréseles szerelt kőburkolatú falak vízzáróságának javítására'. [5]

Ez a tanulmány a kő homlokzatburkolatokkal folytatott kísérleti méréseket. Csapóesőt szimulálva permeteztek vizet a különféle vastagságú, 90x60 cm méretű kőtáblákból kirakott felületre. Ilyen körülmények között mérték az átszivárgó víz mennyiségét, beállított fugaméreteket (4 mm-től 1 cm-ig) és különböző élkialakítás mellett.

Megállapították az alábbiakat:

- a víz beszivárgását befolyásoló fizikai paraméterek: nagyobb hézagoknál a gravitáció és a víz mozgási energiája, kisebbeknél a felületi feszültségek és a kapilláris erők,
- a panelélnek különleges szerepe van: a hornyos kialakítás képes jelentősen lecsökkenteni a burkolat mögé jutó víz mennyiségét,
- főbb tapasztalataikat az alábbi (9.) grafikonon összegezték:



9. grafikon: A homlokzatburkolat fugaszélességének és vízáteresztésének kapcsolata

A bemutatott eredményekkel kapcsolatban komoly fenntartásaink vannak:

- a kísérleti vízszög 45 fokos kúpban érte a fugát, ami nem a csapóeső formájára jellemző,
- nem derül ki, hányszor végeztek kísérleteket, ami komoly eltérésekhez vezethet,
- a kőtáblák körülhornyolását nem tartjuk reális épületszerkezeti megoldásnak, mert felső élén felfagyhat, illetve mikor végigfolyik a víz ezen a köcsatornán, jó eséllyel a burkolati síkon belülré fog csöppenni.

Bár ez a cikk áll legközelebb a vizsgálódásainkhoz, viszont ténylegesen kevés információt nyertünk belőle, mert:

- a homlokzati csapóeső-vizsgálat nem nyújtott releváns információt a tetőkre, hiszen a hatótényezők közül kiemelten a gravitáció játsza a főszerepet, míg a homlokzatburkolatoknál a szélnyomás a meghatározó,
- a mérések tökéletesen kiegyenlített légnyomás mellett készültek, mely tetők esetében soha nem áll fenn,
- a spanyol mediterrán körülmények mellett mértek, nedves-kontinentális éghajlatunk ennél kritikusabb.

2.3.6. Rong Liu and Qiusheng Liu, „Instabilities and transient behaviors of a liquid film flowing down a porous inclined plane” ’A ferde porózus felületen lefolyó vízfilm instabilitása és átmeneti viselkedése’. [6]

A ferde porózus felületen lefolyó víz által létrehozott vízfilm viselkedését elemzi. Bár a vízfilm kialakulása, vastagsága és viselkedése lényeges a mi kutatásunkban is, ténylegesen a rés hatásával nem foglalkozik.

2.3.7. B. Blocken, D. Derome, J. Carmeliet, „Rainwater runoff from building facades”, *A review* ’Az épülethomlokzaton lefolyó esővíz – Egy áttekintés’. [7]

A tudományos közlemény témája: az esőcsepp és a homlokzatburkolati felszín kapcsolatát tárja fel.

A csapóesővel érkező vízcseppek lehetséges reakciói:

- fröccsen
- pattan
- elpárolog
- ha az anyag porózus, felveheti egy részét: abszorpció
- rátapad az épülethomlokzatra
- (a repedésekbe folyik: adhézió)

Ha több csepp összeolvad, szétterül, vízfilmet képeznek. Ekkor még a felületi feszültség összetartja a vízcseppeket.

Mihelyt növekszik a vízfilm vastagsága, a gravitáció hatására lefolyik a víz a homlokzatról. Ha a víz lefolyása folytonos, keskeny áramok alakulnak ki. Ha folyamatosan folyik, akkor a vízfilm szélessége és hossza nagyságrendekkel nagyobb, mint a vastagsága.

A lefolyó víz sebességére három fokozatot különböztetettek meg.

2.3.8. T. Bennett, D. Poulikakos, „Splat-quench solidification”, estimating the maximum spreading of a droplet impacting a solid surface. 'A szilárd felületre becsapódó csepp terjedésének becslése'. [8]

Ez a cikk egy becsapódó esőcsepp maximális terjedési átmérőjét próbálta meghatározni. Az volt a cél, hogy legyen egy jellemző kiszámítható konstans számérték, amely megmondja, hogy a becsapódó és a szétterülő csepp átmérője között milyen arány van.

Az energiamegmaradás törvényének eleget téve a becsapódó esőcsepp mozgási energiája az anyagviszkózitási és a felületi erők energiájából tevődik össze.

Kutatásunk nem veszi figyelembe az eső dinamikus hatását, bár ez kétségtelenül növeli a bejutó víz mennyiségét, ha a fajlagos hézagsűrűség aránylag nagy.

2.3.9. Bert Blocken, Jan Carmeliet, „A review of wind-driven rain research in building science”, '„Egy csapóesőállásról végzett kutatás áttekintése”'. [9]

A csapóeső-vizsgálatok szempontjából nagy jelentősége van a záporintenzitások ismeretének rövid és hosszú időtartamon, ezekhez vezettek be új mennyiségeket.

Számunkra az volt benne az érdekes, hogy bevezették az éves átlagos csapóeső-indexet: hosszú időtartamra. A porózus anyagok átnedvesedésének becslésére például alkalmas lehet.

Grafikonjaik 10 perces osztásúak.

2.3.10. Nathan Van Den Bossche, Michael A. Lacasse, Arnold Janssens, „A uniform methodology to establish test parameters for watertightness testing part II”, Pareto front analysis on co-occurring rain and wind 'A csapóeső és a szélnyomás kapcsolatának áttekintése'. [10]

Ennek a cikknek a lényege, hogy a csapóeső-vizsgálatok számára a hatótényezők hogyan függnek össze. A vizsgált záporintenzitások: rövid periódus, 10 perces, 1 óras. Figyelembe vették, hogy ezek az intenzitások 50-100 évre viszonyítva mekkorák lennének.

A különféle extrém esetek (szél, eső) előfordulási gyakoriságát is taglalták. Azonban ez a cikk nem foglalkozott ténylegesen a vízzárósággal. A kutatásainkhoz szükséges hatótényezőket, bemenő adatokat egészítették ki, pontosították.

2.3.11.E.C.C. Choi, „Modelling of wind-driven rain and its soil detachment effect on hill slopes” 'A csapóeső modellezése ferde hegyoldalon'. [11]

A kutatók számítógépes analízissel vizsgálták a lehulló esőcseppeket: kétdimenziós hegy körül végeztek számításokat.

A mozgó esőcseppek normálsebességét a szél kevésbé befolyásolta, inkább a cseppátmérő. Az érintőleges sebesség azonban egyenesen arányosságban volt a szélesebséggel.

Szó esett a cikkben a záporok esőcseppméretének-eloszlásáról: képletet adtak meg és kiderült, hogy minél nagyobb a záporintenzitás, annál több nagyméretű csepp várható.

Bár a lehulló eső minősége a záporintenzitástól függően befolyásolhatja a mi általunk vizsgált folyamatot is, ténylegesen a mostani mérésorozatban ennek hatásával nem foglalkozunk.

2.3.12.Moira A. Wilson, W.D. Hoff, Christopher Hall, „Water Movement in Porous Building Materials-XIII.” - Absorption into a Two-Layer Composite 'A víz mozgása porózus anyagokban XIII.” – A víz felszívódása két rétegben'. [12]

A vastagságok, porozitás, vízoszlop jelentőségével foglalkoztak.

Eredményeik leginkább ragasztott kőburkolatok esetén lennének hasznosíthatók.

A fentiekén kívül a kivonatuk alapján további cikkeket is érdekesnek találtunk, de teljes verziójuk nem volt számunkra hozzáférhető :[13]-[27]

A további kutatáshoz javasolnánk a következő hívószó-kombinációkat:

- cserép és vízzáróság és átfedés (tile and watertight and superimposition (=overlap)):a cserépfedés átfedéseire vonatkozó szélsőértékek tapasztalataira lennének vele kíváncsiak
- palatetők és vízzáróság és átfedés (slat(ed roof) and watertight and superimposition)
- áramlástan (fluid mechanics)

A kereséshez a következő adatbázisokat ajánljuk, melyekben hasonló témák lehetnek: Scopus, ScienceDirect, Web of Science.

A számos talált cikk jól mutatja a szakma érdeklődését az épületszerkezetek vízzáróságát illetően. Jól látható, hogy a konkrét vizsgálati témánkhoz illeszkedő cikkek száma elenyésző. Mindez érthető, ha a bevezetőben említett építészeti tendencia újszerűségére, érdekességére gondolunk.

A többé-kevésbé releváns cikkek sem nyújtanak a mi vizsgálatunknál értékesebb információt a jelenségről. Így azt mondhatjuk, hogy kutatásunk hiánypótló, rendkívüli fontosságú.

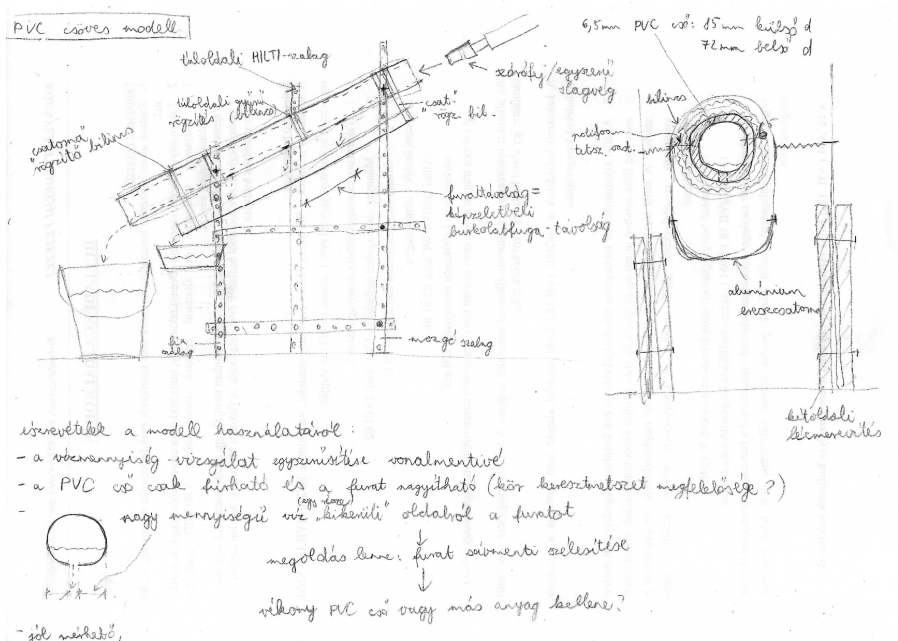
3. A KÍSÉRLETEK MEGTERVEZÉSE

Miután felismertük a téma fontosságát, és elhatároztuk a kísérletek elvégzését. Több hetet fordítottunk a leginkább megfelelő kísérleti módszer kidolgozására. Fontos szempont volt, hogy laborkörülmények hiányában kizárólag házilag elkészíthető eszközökből építkezzünk. Ugyanakkor a kísérleteink minden esetben megismételhetők, ellenőrizhetők legyenek. Ezért fontosnak tartottuk az általunk készített kísérleti berendezés pontos dokumentálását is.

Többféle kísérleti berendezést képzeltünk el, melyeket az alábbiakban bemutatunk, és közülük a lejátszódó folyamat szempontjából a legcélravezetőbbnek képzelt variáció mellett döntöttünk.

3.1. PVC csöves módszer

Alapgondolat: Adott hosszúságú, megfelelően tömített csatlakozású PVC csőbe vizet öntünk, adott ideig, különböző sebesség mellett. Ami a végén kifolyik, a burkolaton elvezetett csapadékvíz-mennyiséget szimulálja. A PVC csövön kezelhető számú (kb. három) egyforma lyukakat alakítunk ki, melyeket későbbi kísérleti fázisban növelni lehet. A lyukakon átfolyó víz az alátét héjazaton folyó vizet fogja jelenteni. A sebesség a hajlásszöggel ill. a különböző (magasságú) lyukak befogásával változtatható lenne.



9.ábra: A PVC csöves modell

A kiinduló vízmennyiség ismeretében elegendő lenne, ha a csatornán lefolyó (kádba folyó) víz mennyiségét mérnénk, hisz a csöpögő víz mennyisége származtatható.

Ha a PVC cső különféle vastagságú bélést vagy burkolatot kapna, akkor a lyukaknál elméletben lehetne vele különféle lapvastagságokat szimulálni. Mivel a cső és a burkolat közötti kapcsolat tökéletesen nem kivitelezhető, ezért ennél a modellnél a vastagságok mérésétől el kellene tekintenünk.

Felváztunk egy bonyolult, összetett megoldást, amit le lehetett volna egyszerűsíteni egy min. 3 m hosszú, két fél PVC csőből készített csatornára. Ezt a szerkezetet a 9.ábra mutatja be.

Ezen kísérlet során a fizikai mennyiségek: a hajlásszög változtatható, a lefolyó víz sebessége (kétféleképpen) változtatható, a fuga szélessége növelhető lett volna, míg a burkolat vastagsága állandó.

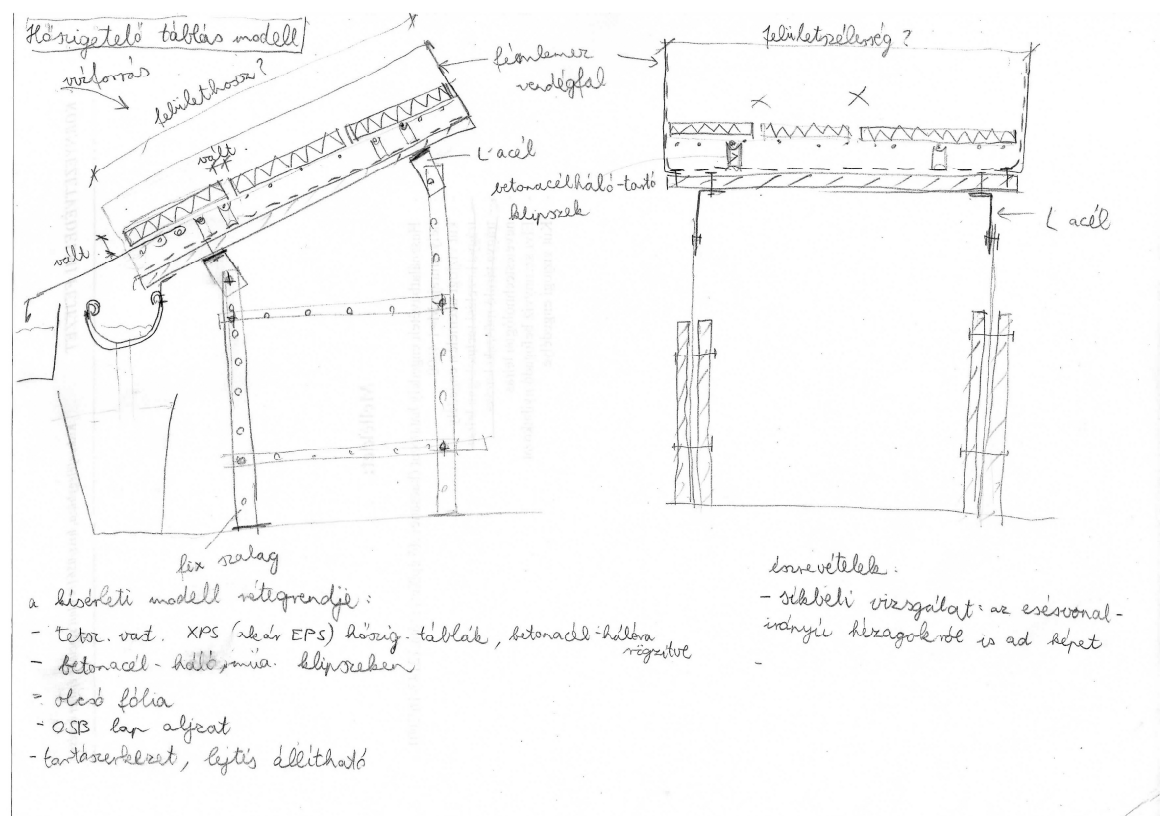
A PVC csövön aránylag súrlódásmentesen képes a víz lefolyni.

A vízforrás: helyes egy adott térfogatú tartály vízmennyiségét lefolyatni. Ahhoz, hogy a tartályban lévő víz nyomása állandó maradjon, a tartály vízmennyiségét folyamatosan pótolni kell. Egy ilyen vízforrás biztosítása nehézkesnek tűnik.

A kísérlet hiánya, hogy csupán vonalmenti vízgyűjtés mérésére alkalmas. Felvetődött az probléma is, hogy a furatokat nagy mennyiségű víz kikerüli, ezért kör keresztmetszetű furatok helyett bemetszésekkel kell fűrészelni, vékony PVC csőbe.

A félkörszelvényű cső pontatlanul modellezi a tetőfelületen lejátszó folyamatot, így a kísérlet egyszerű kivitelezhetősége ellenére, ezt a modellt el kellett vetnünk.

3.2. Hőszigetelő táblás módszer



10. ábra: A hőszigetelő táblás módszer

Alapgondolat: A különböző vastagságú hőszigetelő táblák jobban utánozzák az építészeti jellemző burkolattípusokat (például kő, műpala, fémburkolatok). Itt már figyelembe vehető a burkolat vastagsága, ill. a hézagszélesség.

Egy általunk felvázolt, bonyolult megoldással (pl. átlapolásban rakott táblák) és annak leegyszerűsítésével világossá vált, hogy ez a módszer képes mindarra, amire az előző, és még többre. Leegyszerűsítése azért lehetséges, mert az átlapolásban rakott tetőburkolat megengedi, hogy csak a vízszintes fugákon lefolyó vízzel foglalkozzunk. Megjegyezzük, hogy kísérleteink kötésben rakott burkolatokat feltételeztünk, hálós kiosztású burkolt tetők nem annyira jellemzők. Az esésirányú fugák a vizet közvetlenül az alátétszigetelésre engedik, ám éppen ezért ez a vízmennyiség nagyon jól számítható. Így a kísérletünket kizárólag a

vízszintes fugára irányítottuk. A különböző hézagrajzokról alkotott elképzeléseinkről részletesebben az 1.5.6. pontban írtunk.

Az elképzelt szerkezetünket a 10. ábra mutatja be.

Két elegendően magas párhuzamos deszka közé XPS hőszigetelő táblákat feszítünk be. Az extrudált felületet azért tartottuk megfelelőnek, mert aránylag sima és nincs vízáteresztése. Számunkra azonban érdekesebb felületű állt rendelkezésre, ami viszont a gyakran alkalmazott kőburkolatot jobban modellezte. Szükségesnek ítéltük meg, hogy minden táblát legalább két ponton alátámasszunk. Úgy gondoltuk, hogy legalább 3 m hosszúságú berendezést készítünk. Az építészeti példák alapján ez a hosszúság elegendőnek mutatkozott arra, hogy a víz mennyiségét kellően figyelembe tudjuk venni.

A tetősík modellezéséhez elegendőnek véltük a táblákat 40-50 cm szélesre szabni: úgy gondoltuk, hogy egy csövön kifolyó víz ennél jobban nem terjeszkedik szét.

Ami a táblák hossz méretét és a réskiosztást illeti, kezdetben úgy gondoltuk, hogy a réseket logaritmikusan csökkenő távolságra kellene elhelyezni. Ezáltal által az előző részhez érkező víz sebessége ugyanakkora lehet, mint az adott részhez érkező víz sebessége.

Úgy gondoltuk, hogy a táblák szabását különös pontossággal kell elvégezni ahhoz, hogy a rések precízen mérhetőek legyenek. Ezt úgynevezett nullpróbával szeretnénk volna ellenőrizni. Ezért a táblákat szikével vagy körfűrészsel terveztük vágni. A deszkapár közé a tábláknak be kellett feszülni, a széleket megfelelően tömítése is szükséges.

A kőburkolat vastagságának megfelelően 2, 4, 6 cm vastagságot kellene vizsgálni. 1 cm XPS vastagság elvileg nem létezik, ezért ez talán elhanyagolható, 2 cm-el akár beérhetjük.

A fugaszélesség 1-10 mm tartományban mozog, elegendő először az 1, 5, 10 mm vastagságot vizsgálni, majd ha szükségesnek látjuk, finomítani lehet a skálán.

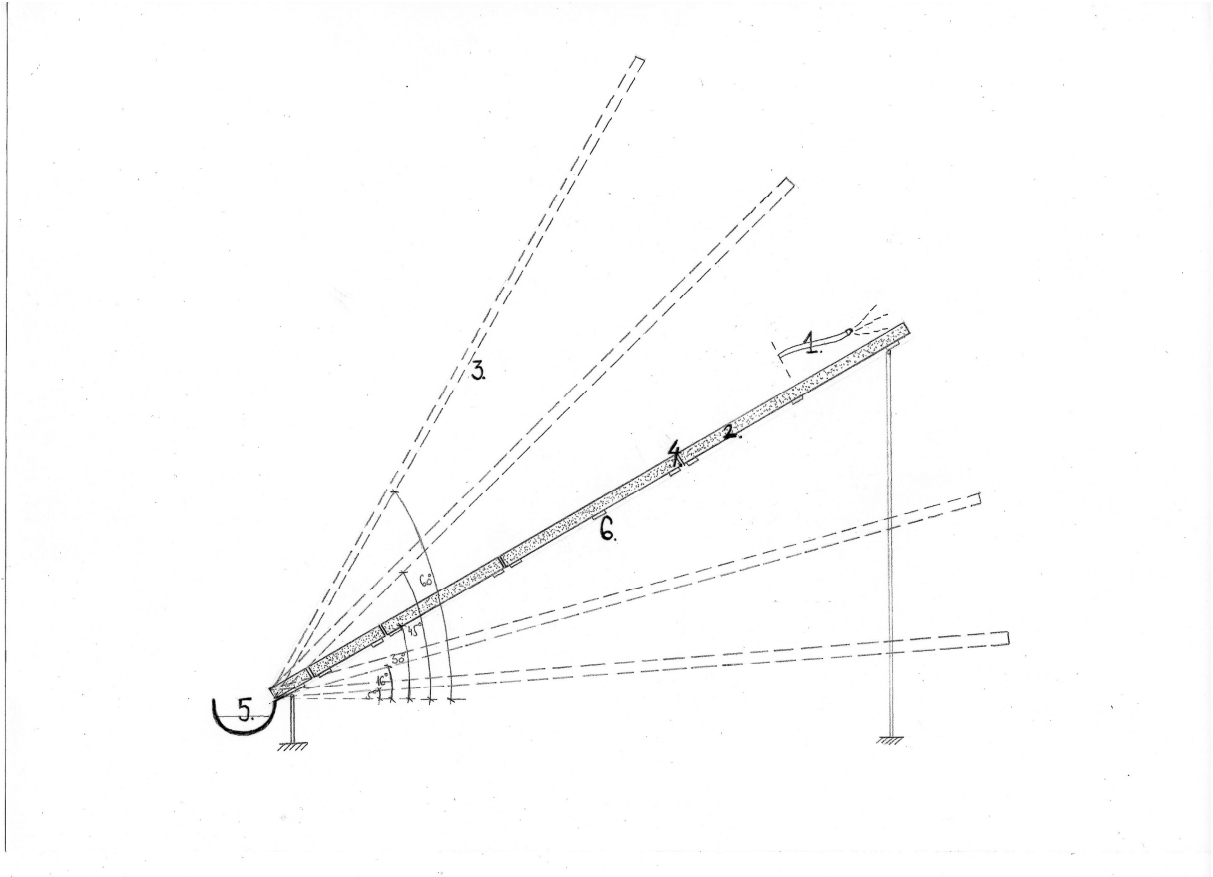
A vízforrás megoldása lehet az előző módszerrel analóg, de a régi felvetés szerinti is: a szél által permetezett víz. (Utóbbinak problémája, hogy ezt az intenzitást állandóvá nem tudjuk tenni, vagy ha mégis, akkor mérhetetlen, hogy mennyi vizet veszítünk.)

Az eltérő sebesség modellezéséhez úgy gondoltuk, hogy a táblák összetolásával illetve széthúzásával a rések egyszerűen áthelyezhetőek (amit a csöves módszer esetén a lyukak befogásával értünk volna el).

Mivel ez a modell egyszerűnek tűnő kivitelezés mellett sokkal közelebb áll a tető valódi geometriájához, ezt a módszert igyekeztünk alkalmazni.

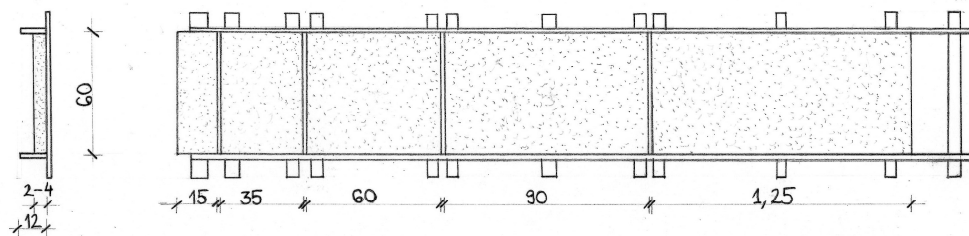
4. A KÍSÉRLETEK ELŐKÉSZÍTÉSE ÉS LEBONYOLÍTÁSA

4.1. Első kísérletsorozat (2013. 07. 13-14.), életképek, tapasztalatok, a szükséges módosítások



11.a. ábra: Az első kísérleti modell oldalnézete

1: rögzített vízmenyiség, 2: változó lapvastagság, 3: változó hajlásszög, 4: változó résszélesség, 5: mért vízmenyiség, 6: ritkított alátámasztás



11.b. ábra: Az első kísérleti modell metszete és felülnézete

A helyi építőanyag kereskedésben vásároltunk 3-3 tábla 2 cm, illetve 4 cm vastagságú hőszigetelő táblát. A vártnál érdekesebb felületű táblákat kaptunk, melyeket a következő

hosszakra osztottuk: 125 cm (egész), 90 cm, 60 cm, 35 cm, 15cm. (Egy 50 cm-es darab hulladék.)



7. kép: A nullhözág zárási tökéletlensége 4 cm XPS táblánál



8. kép: Az oldaldeszka kiegészítő merevítése



9. kép: A hajlásszög pontos beállítása

Kerültük a táblák vágását, mert azt reméltük, hogy a gyári vágások pontosabbak a mi kézi vágásainknál. Ehhez képest a 4 cm vastag anyag gyárilag a végei felől néhol ki volt öblösödve, ezért ott egyenesíteni kellett rajta. A várakozás ellenére a gyárban paralelogramma formájúra gyártották őket, ezért variálni kellett az oldalak beállításával.

A helyi fatelepen két szál 4 m hosszú, a lehető legegyszerűbb deszkát választottuk ki, ennek ellenére volt némi hosszirányú ferdesége, de azt a keresztirányú összekötések később javították. Belső oldalukat csiszológéppel elsimítottuk.

A táblákat távtartóknak használva, kiegészítő merevítésekkel a deszkapárt kellően szorosra sikerült csavarozni. (lásd: 8. kép) Az összekötéseket 90 cm hosszúra vágtuk, gyengébb minőségű lambéria anyagból. Ezekre rögzítettük kétoldról a kiegészítő merevítéseket. Minden tábla alá minimum két (szélső) összekötést tettünk (alátámasztásnak), nagyobb tábláknak még egy további középsőt.

A 2 cm táblák behelyezését a kis vastagság miatti felpúposodás nehezítette, 4 cm-nél már az élek egyenessége.

A kísérlet Kiskunfélegyházán, aránylag védett udvarban zajlott, ennek ellenére némiképp megküzdöttünk a széllel. Egy táblát a deszka helyi görbesége miatt nem sikerült befeszíteni, ezért szögelni kellett, mert a szél rendszeresen alákapott. Ennek ellenére nem gondoljuk, hogy a vízünk esését befolyásolta.

Célunk a 0 kezdősebesség és később az állandó sebesség biztosítása volt: előbbit a slag felfelé irányításával, utóbbit a csökkenő táblamérettel (sűrűsödő fugákkal) akartuk elérni.

A használt mini zsompzivattyú hivatalosan 25 liter vizet emelt ki percenként.

A felszivattyúzott víz biztosítására és az összegyűjtött víz mérésére egy-egy 130 literes puffertartályt állítottunk be. Mindkét hordót be kellett kalibrálnunk 10, 2, majd 1 literenként - a pontosság végett a helyükön vízszintbe állítani. Kisebb vízmennyiségek mérésére literes mérőedényt használtunk.

A kifolyt víz mérésére használt hordónak gödröt ástunk. Ebbe a hordóba csatornadarabbal engedtuk a vizet, természetesen biztosítva a vízzel távolságot.

A hajlásszöget állítható acél bakkal és további alátámasztásokkal (deszkák, faékek, egyéb, méretes tárgyak) biztosítottuk. Az ÉMSZ irányelvekben leírt határszögekhez híven a következő lejtéseket állítottuk be: 5°, 16°, 30°, 45°, 60°.

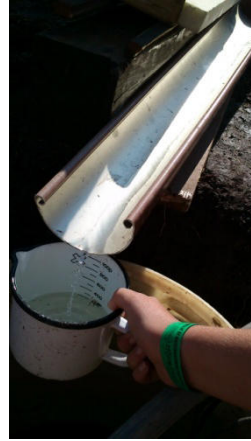
A szerkezet összeszerelése, az anyagok beszerzése még a kísérletezést megelőző napon történt meg. Ez a kísérlet 2 napig tartott: szombaton a hosszas előkészületek után 2 cm, vasárnap 4 cm vastagság mellett mértünk.



10.kép: A nulla kezdősebességű pont meghatározásához a slagot fölfelé irányítottuk



11.kép: A szerkezet váza és a beásott hordó



12.kép: A kis mennyiségű vizet mérőedényben fogtuk fel



13.kép: A puffertartály kalibrálása

Méréseink sorrendjét alapvetően a beállítás nehézségei határozták meg: egy adott vastagság és hajlásszög fixálása után a fugaméretet helyben állítottuk be. Végigmérve azt a szöveget, emeltünk a bakon és ugyanúgy mértünk tovább. Ha ezt minden lejtésnél elvégeztük, földre fektettük a szerkezetet és táblákat cseréltünk (vastagságot állítottunk).

A méréseket lassította az összes hézag méretének beállítása, átvizsgálása.

Célunk a 0 kezdősebesség és később az állandó sebesség biztosítása volt: előbbit a slag felfelé irányításával, utóbbit a csökkenő táblamérettel akartuk elérni.

Nullás mérésnek tekintjük a táblák összetolásával végzett kontrollmérést, melyen átszivárgásnak nem szabadna jelentkeznie. Ehhez a táblákat összetoltuk és szigetelőszalaggal megpróbáltuk lezárni, kevesebb sikerrel. A víz mindig megtalálta a réseket, a befedített oldalán is. (Ezt a nullhézagos mérést 5° hajlásszög mellett végeztük.) A korábbi elképzelés, miszerint a nagy sebességet a felsőbb táblaközök lezárásával, a víz útját meghosszabbítva érjük el, így sajnos elvetődött.

A búvárszivattyú szerkezetünk kitűnően működött, ennél kisebb állandó víznyomásra alkalmas szerkezetet nem ismertünk, vagy amire gondoltunk (csapolt hordó), beszerzése problémát okozott volna. Számításaink szerint ez az intenzitás is egy közepes felhőszakadással érhető fel.

Legtöbbször csekély vízmennyiség ért le a csatornáig, ezért azt mérőedénnyel mértük. A hordó(k) vízállását rendszeresen feljegyeztük, a különbségből a lefolyt vízmennyiséget megállapítottuk.

Tapasztaltuk, hogy általában az első fugán a nagyja víz kifolyt, de mindenesetre az utolsó fugát ritkán érte el. Az első fugában örvények alakultak ki.

Soha nem volt állandó intenzitású a víz lefolyása a felületen: az elején az áramlat meglódult, aztán sokszor meg is állt, ezért akkor a vizet leállítottuk. A jelenséget az magyarázhatja, hogy kvázi-száraz felületen a víz megtalálta az útját, míg nedvesen talán a vízrészecskék kohéziója miatt a mozgás gátolt. Talán ha ugyanennyi fuga mellett állandó táblahosszakat használtunk volna, a víz fel tudott volna gyorsulni, több lefolyt volna.

A víz egy kéztartásból kb. 20-30 cm széles sávban folyt a felületen, ezért mozgattuk a csövet.

Általában nem sok értelme volt tökéletesen vízszintesbe állítani a szerkezetet, mert a víz valamelyik oldaldeszka irányába akart folyni, ezért szükség esetén állítani kellett a szerkezet harántirányú szögén.

A hajlásszöveget vízimértékkel és szögmérővel együttesen ellenőriztük.

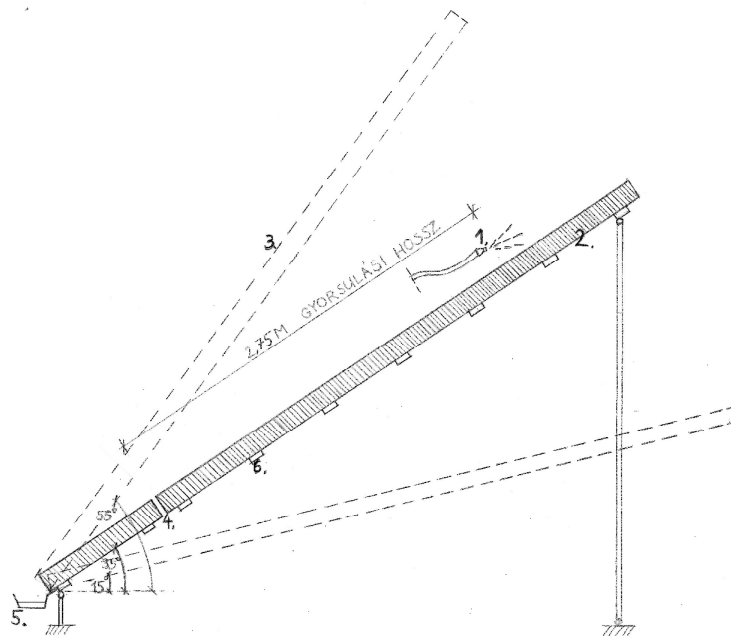
Az 5°-os hajlásszögnél, 2cm-nél 1mm-nél már a víz megtalálta a kifolyást a szélek mentén is.

A kísérlet előtt azt hittük, hogy a 6 cm vastagág elérhető egy 2 és egy 4 cm vastag anyag egymásra tételével. Ezzel a módszerrel a fugák beállítása rendkívül pontatlanná vált, ezért csak egy esetet mértünk: 5°-os hajlásszög, 1mm fugaszélesség mellett 1,6 l vizet jegyeztünk fel.

Az ábrázolhatóság végett az adott beállításnál a legalább 3-4 mérési adat meglétét tartottuk szem előtt, a víz mennyiségétől függetlenül.

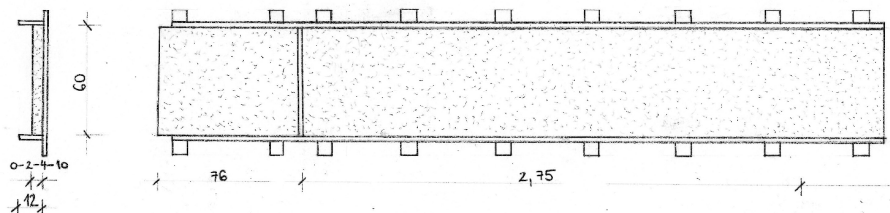
Az 1.kísérletsorozat kevésbé volt sikeres, fő buktatója az volt, hogy az első fugán elvesztettük a víz jelentős részét, így nem tudtunk érdemi vízmennyiségeket összehasonlítani. De ez a próbálkozás mindenesetre rávilágított, mire kell legközelebb odafigyelni a második mérésorozatban, ha eredményesebb mérést szeretnénk.

4.2. Második kísérletsorozat (2013. 08. 05-09.)



12.a. ábra: A második kísérleti modell oldalnézete

1: rögzített vízmennyiség, 2: változó lapvastagság, 3: változó hajlásszög, 4: változó résszélesség, 5: mért vízmennyiség, 6: ritkított alátámasztás



12.b. ábra: A második kísérleti modell metszete és felülnézete

A szerkezetünk alapváza, aljzatai megmaradtak, felállítási módja is változatlan.

Ezúttal fokozottabb figyelmet fordítottunk a szélek menti tömítésekre: butil alapú kéményszegély-tapaszt, illetve széles celluxot használtunk.

A legfontosabb eltérés az első kísérletekhez képest az, hogy a megfelelő víz sebességének eléréséhez csak egy fugát hagytunk meg a lejtő alsó szakaszán. A vágott tábláinkat ugyanúgy felhasználtuk aljzatként, ezért köztük lévő rések áthidalására PVC fóliát terítettünk a felső szakaszra, melyet a deszkához rövid, laposfejű szögekkel rögzítettünk. (Lásd: 12. ábrák)

A megváltozott táblaelrendezés további alátámasztó lambériákat igényelt.

Az önszabályozó fuga igazolására vagy cáfolására ezt a sorozatot 10 cm-es EPS táblákkal kezdtük el, melyek 50 cm szélesek voltak. A deszkaközt ezek darabjaival ékeltük ki, így 50 cm széles szakaszt működött. (Később láthattuk, a vízszögár 32 cm szélesen terült csak el.)

Ez a kísérlet már kimondottan arra törekedett, hogy minimalizálja a veszteségeket.

Ez a program 4 napig tartott: csütörtökön a témavezető és egy segítőkész családtag közreműködésével mértünk a 10cm vastagsággal, illetve a fémlemez lappal. Pénteken délután a fémlemez lappal folytattuk (alatta 4 cm XPS). Szombaton a 4 cm, hétfőn a 2 cm XPS táblákkal végeztünk méréseket.

Az előző kísérletnél azt láttuk, hogy az ötféle hajlásszög-kombináció túl közeli eredményekhez vezet. Számunkra az vált fontossá, hogy lássuk a különféle beállítások során kialakuló szélsőségeket, ezért áttértünk három hajlásszögre (5°, 35°, 55°), és olykor ezeket sem mindet mértük meg. A hajlásszöget vízmértékkel és szögmérővel állítottuk.



14. kép: Az EPS tábla jellegzetes fugája: porózus felület, gömbölyű élek, részleges vízdugó kialakulása



15. kép: Az XPS tábla jellegzetes fugaképe az élek mentén kialakuló víztorlódással



16. kép: A hátoldali és a felületen folyóvíz szétválasztásához beillesztett PVC fólia



17. kép: Hátoldali fotó a tartószerkezettel az XPS tábla alsó élével és az ereszcatornával

A vízfolyás időtartamának pontosítása végett ezúttal megfigyelés alapján bejelöltük a felületen azt a kezdővonalat, amelynél a víz kezdősebessége nullának tekinthető. Ennek a kísérletnek az volt a célja, hogy a víz minél jobban fel tudjon gyorsulni, mire a hézaghoz ér, ezért ezt a hosszat nem kerek számhoz kötöttük, hanem a számunkra elérhető lehető legnagyobb értékig: a víz útja a fugáig 2,75m, a fugától a tető aljáig 76 cm.

A rés beállításához a colostock vastagságát, skáláját használtuk. A tábla inkább paralelogramma alakja miatt nem mindig sikerült pontosan tartani a távolságot, ilyenkor átlagosan figyeltük az előírányzott résszélesség meglétét.

Néha nem egyeztek a síkok (fogasság), ilyenkor vékony alátámasztásokkal emeltünk valamelyik táblán. Sokkal gyorsabb volt, hogy csak egy sávnak kellett pontosan beállítani a hézagméretét, kiküszöbölni a síkfogasságát.

A vékony táblavastagságok méréséhez 2 mm-es rozsdamentes acéllemezt használtunk. A fémlemez oldalról, csavarral ideiglenesen a felülethez szorítottuk. Ugyanazokból a kalibrált hordókból és szivattyúval engedjük a vizet, mint az első méréseknél. Kisebb mennyiségnél pontosabb mérővödörrel, illetve mérőedénnyel mértünk.



18. kép: A fémlemez fugája alulról fotózva a vízdugóval: az alsó felület teljesen száraz



19. kép: A benedvesített alsó felületnél a vízdugó átszakadt

Kezdetben 50 liter vizet juttattunk a felületre, amely pontosabb mérést tesz lehetővé, ám nagyon lelassítja a kísérletet. Ezért - nagyobb számú mérés érdekében - úgy döntöttünk, hogy 25literrel fogunk dolgozni, így egy mérés kb. 1,5 percre tartott. Az átállással együtt, legjobb esetben 5 percenként tudtunk egy mérést elvégezni.

A legnagyobb hajlásszög milliméteres hézagánál megfigyeltük a hézag vízgát szerepét: a vízcseppek a felső tábla élén kipúposodva jelennek meg.

2 mm-es hézagnál láttuk, hogy a hézagban a vízfilm megszakad, buborékokat láttunk. Az áramlás is megváltozott. 3 mm-nél már a hézagon kicsöpögő víz csobogása is hallhatóvá vált. 4 mm után többet nem kellett a hézagon növelni és ebben az állapotában csökkentettük a hajlásszöget 35° -ra: ekkor drasztikusan lecsökkent a vízmennyiség.

A kísérlet során végig figyeltük az átszivárgó vizet, de csak sok mérés elvégzése után figyeltük meg, hogy az átszivárgott víz a burkolat hátoldalán lefolyva belesöpög a csatornába. Itt fedeztük fel, hogy a víz képes végigfolyni a burkolat hátsó síkján. Ebből következően néhány mérésünk pontatlan lehetett. Ennek orvoslására a hátoldalon folyó víz útját a fémlemez-lappal illetve a butil tömítőszalaggal próbáltuk elzárni. Mivel ez nem vezetett eredményre (a víz ezeken is átfolyt), ezért az alsó hőszigetelő tábla bütijébe vízorrt fűrészeltünk, melybe egy darab PVC-t fűztünk. Mindezel elértük, hogy a felületen és a hátoldalon végigfolyó vizet szétválasszuk, és a csatornába csak az előbbi jusson le.

Azt a pár mérést, amelyeknél felmerült a gyanú, hogy ez a jelenség pontatlansághoz vezetett, megismételtük.

Még az első kísérletnél felfigyeltünk a száraz/nedves felület hatására, ezért ezúttal mindig nedves felületen mértünk. Ennek különösebb jelentősége a fémlemez esetében volt: a napon hamar felforrósodott, mely szárazon az eredményeinket befolyásolta volna.

A slagot igyekeztünk mindig azonos helyzetben, egyenesen tartani. Ennek ellenére ritkán alakult ki teljesen homogén vízfolyam, inkább szakaszos áramlást és „vízpogácsákat”, „vízszigeteket” figyeltünk meg a folyam tetején.

A fémlemezt mindig pontosan be tudtuk állítani. Nagyrészt ennek tulajdonítjuk, hogy egészen 2 mm hézagig nem szivárgott át a víz a fugán. Mikor az alsó felületén ujjunkat végighúztuk, csepegni kezdett a víz. Ilyen viszonyok mellett később az összetolt fémlemeznél is láttunk némi csepegést. Ennek magyarázatára is még kitérünk.

Mivel a fémlapnál jobb értékekre számítottunk, alpból a legkisebb hajlásszöggel mértünk. Miután még itt is elég nagy értékeket kaptunk, a második ütemben egy új, még kisebb lejtéssel mértünk: 5°-al. Ezúttal is elég nagy és pontos értékeket kaptunk, melyek jól kirajzolnak egy érdekes tendenciát.

A 2 cm-es táblák széle pontatlanabb volt, az esetleges öblösödések a táblákat összetolva hézagokká váltak, ezért azt a pár mérés adatot fenntartással kezeltük.

Kísérletünk kezdetekor azt vártuk, hogy nagy vastagságnál nem tudunk majd alacsony hajlásszögnél vízmennyiséget mérni, ezért rögtön a legmeredekebb beállítással kezdtünk.

Mivel ezúttal nagyobb mennyiségű vizet mértünk, az adataink arányaiban jobban mutatják a tendenciákat. A minimális mérési adatszámra nem kellett aggódni, általában egészen a lefolytatott vízmennyiség 10%-ának eléréséig mértünk.

A kísérleti eredményekről mérési napló készült, melyet a Függelékben közlünk.

A későbbiekben részletezett felfedezett jelenségek és mérési eredmények miatt ezt a kísérletet kimondottan sikeresnek tekintjük.

5. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK

5.1. Objektív megfigyelések a kísérletekből

Az ábrázolt grafikonok a kezdeti hipotéziseinkkel összehasonlíthatók, mivel ugyanazokat az adatokat mértük. Felhívjuk a figyelmet, hogy a burkolatsíkon lefolyó vízmennyiséget tudtuk mérni, így grafikonjainkon azt ábrázoltuk. Az alátéthéjazatra eső víz mennyisége a kiinduló mennyiség és a mért adat különbségéből származtatható.

5.1.1. Első kísérlet

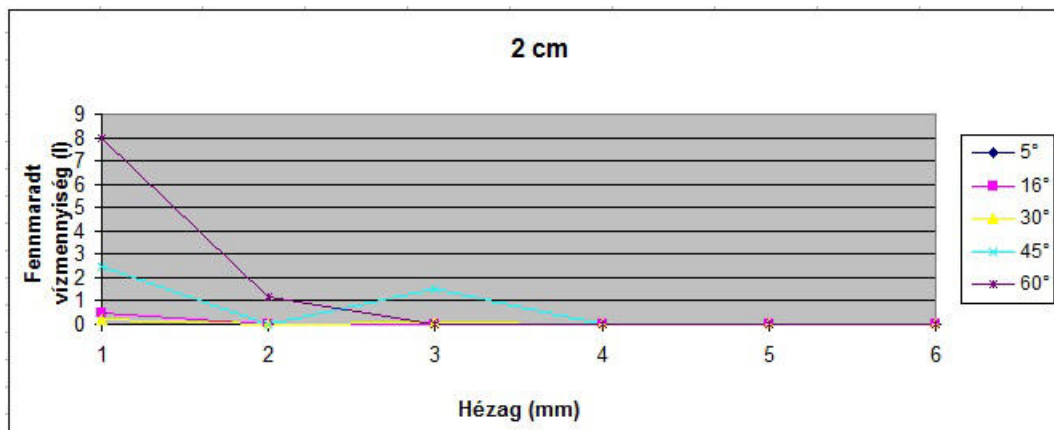
A táblázat eredményeit különböző összevetésekben grafikonon is ábrázoltuk.

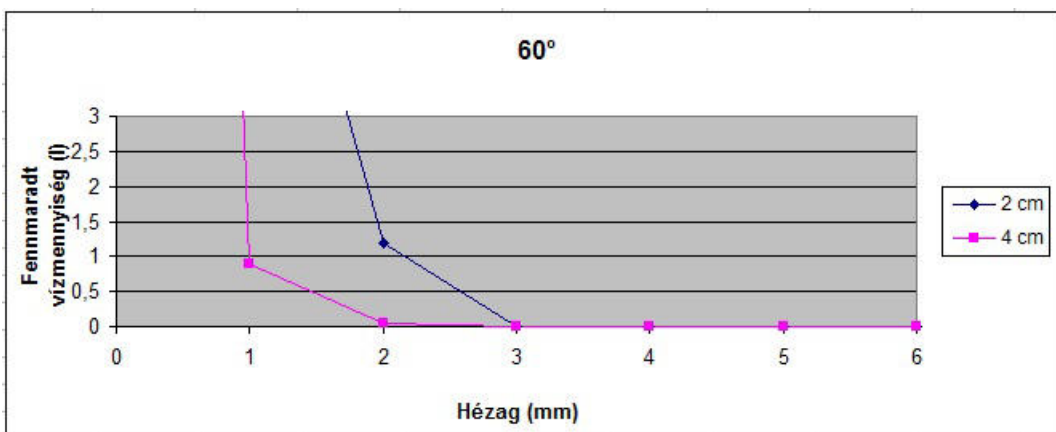
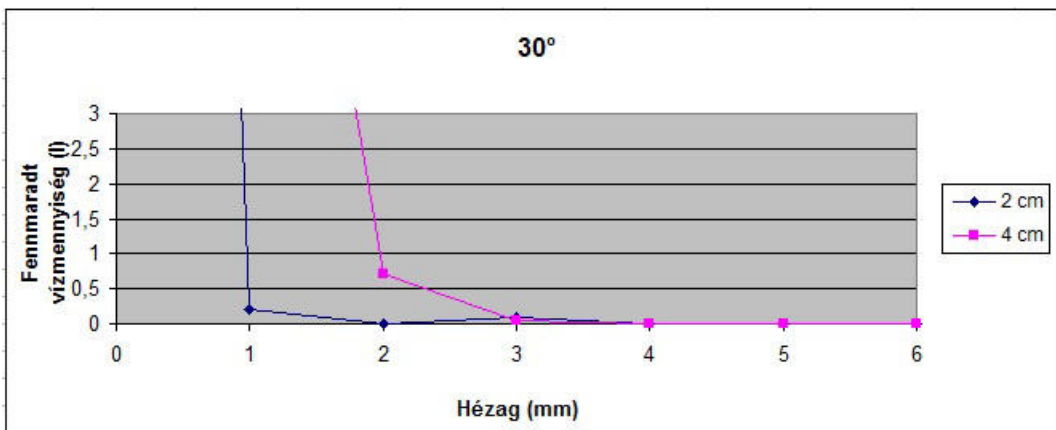
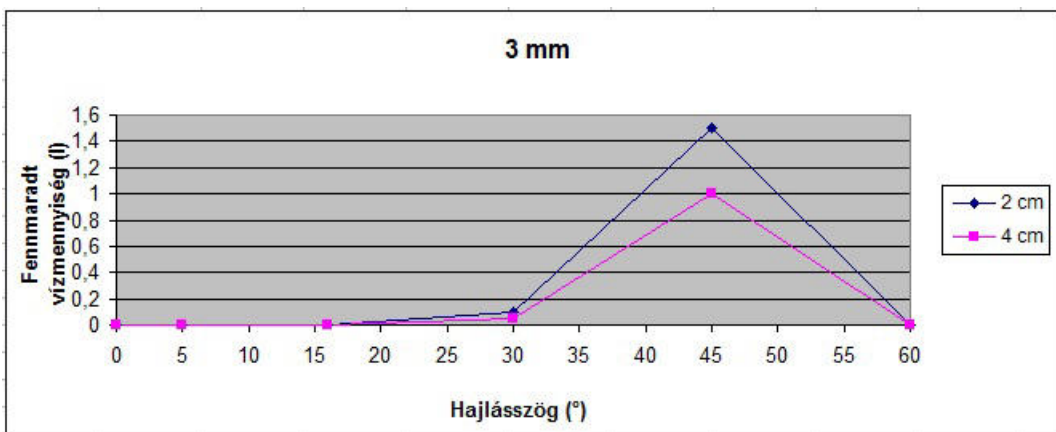
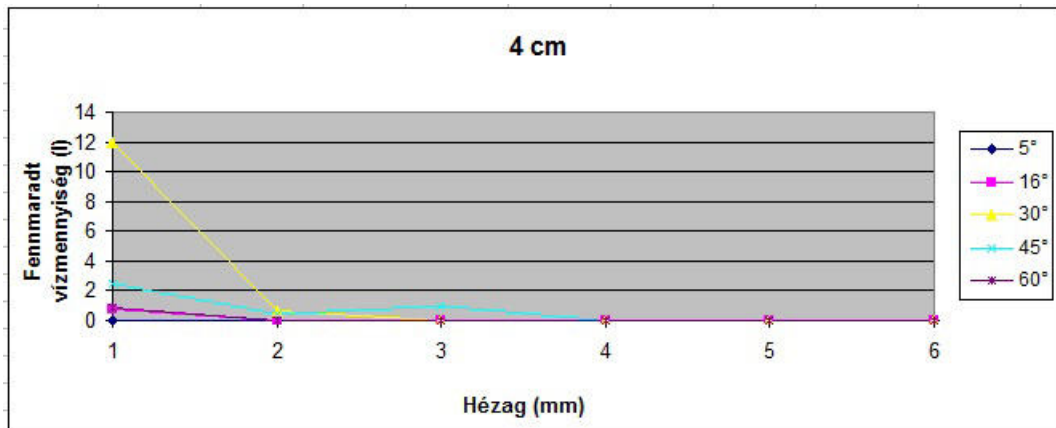
A mért literértékek táblázatosan a függelékben olvashatók.

- A számokból is kiderül, hogy 2cm-es lapvastagságnál 45° -tól jelentkezik vízmennyiség.
- A 4 cm-es lapvastagságnál mért adatok nagyon nem illeszkedtek az elméletünkbe: 30° -tól csökken a burkolaton haladó víz mennyisége.
- Több helyen (45° -nál) lokális ugrás van a burkolatsíkon lefolyó vízmennyiségben.
- 45° felett jelentek meg a nagyobb értékek.
- A jelek arra utaltak, hogy kis hajlásszögnél vastagabb lapon több víz fennmarad, nagy hajlásszögnél pedig a vékonyabb lapon.
- Úgy tűnik, az eredmények afelé mutatnak, hogy a lapvastagság ténylegesen növeli a vízmennyiséget. Az adatok messze nem mutatják azt a megbízható tendenciát, amit az elején feltételeztünk.

Véleményünk (akkori állása) szerint a kísérlet eredményessége így foglalható össze:

- bizonyos esetekben beváltak az elképzeléseink, ezért azoknak kell, legyen valóságalapja
- a sok említett pontatlanságnak bizonyosan szerepe van az eredmények alakulásában
- az elképzeléseinkkel ellentétes eredmények arra ösztönözhetnek, hogy -a hibáktól eltekintve- meg kell magyaráznunk őket, gondolkodni, kutatni kell
- a témát alaposabban megismerve jó lenne találni egy pontosabb és költséghatékonyabb kísérleti modellt és legközelebb kezelhetőbb mennyiségeket szeretnénk mérni

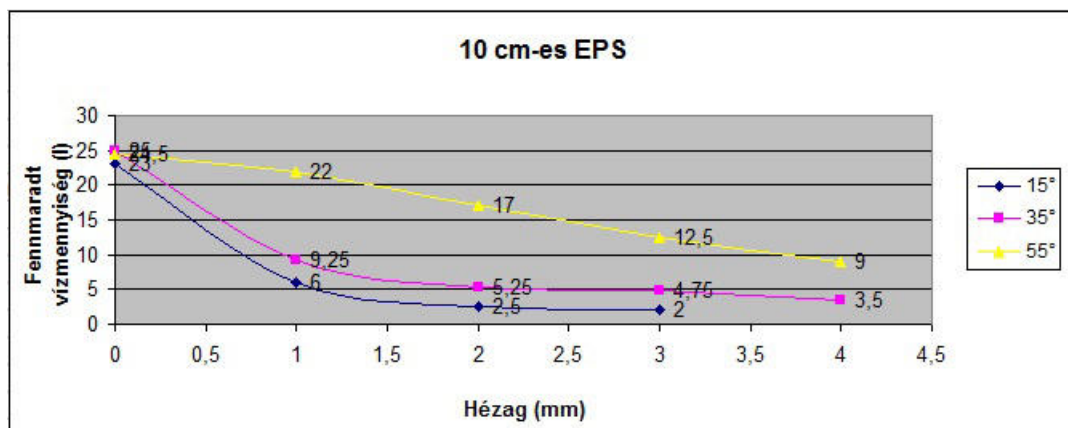


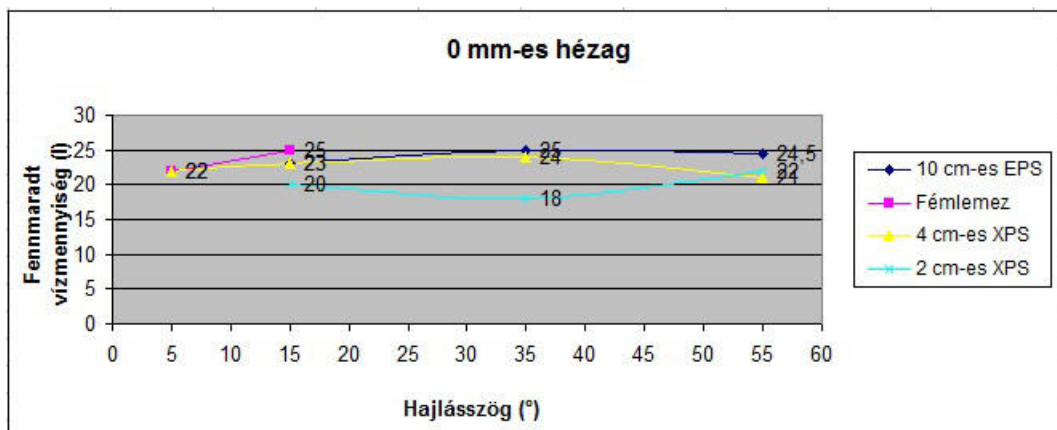
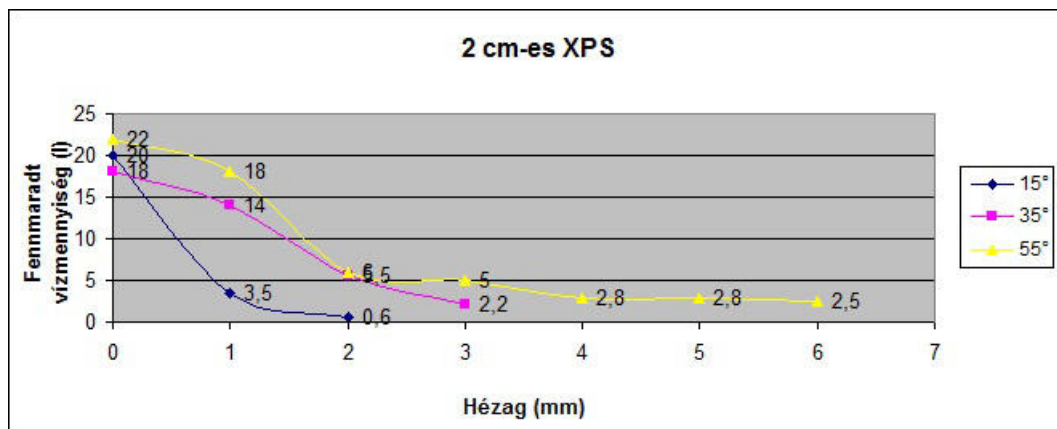
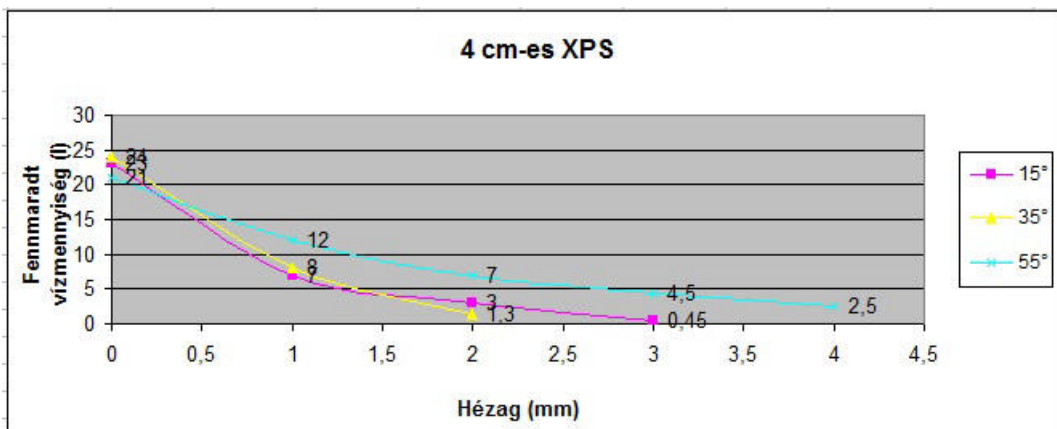
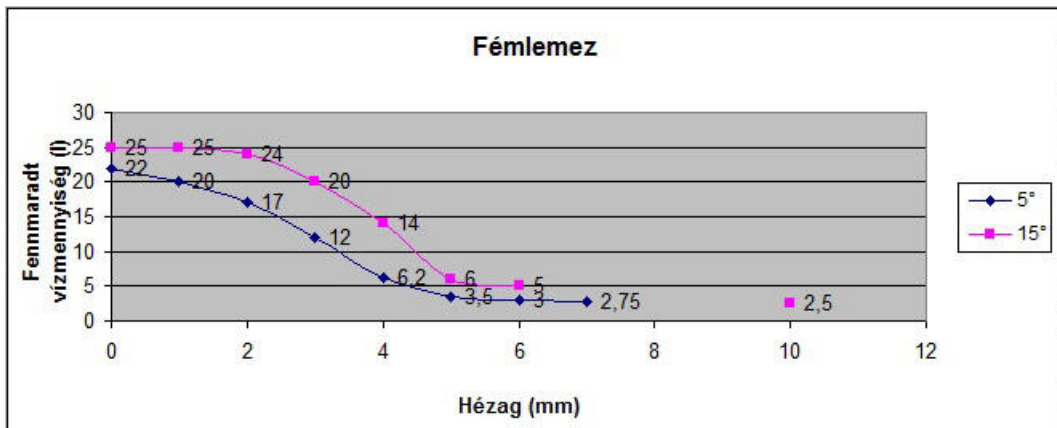


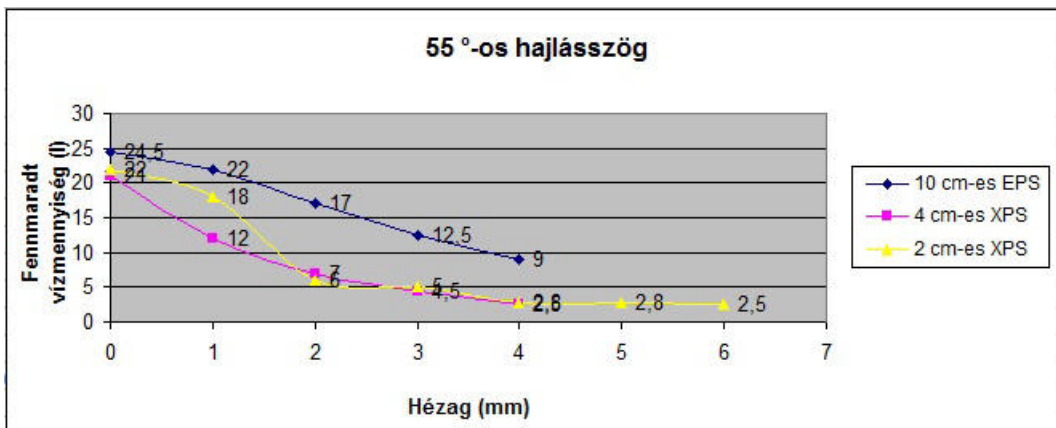
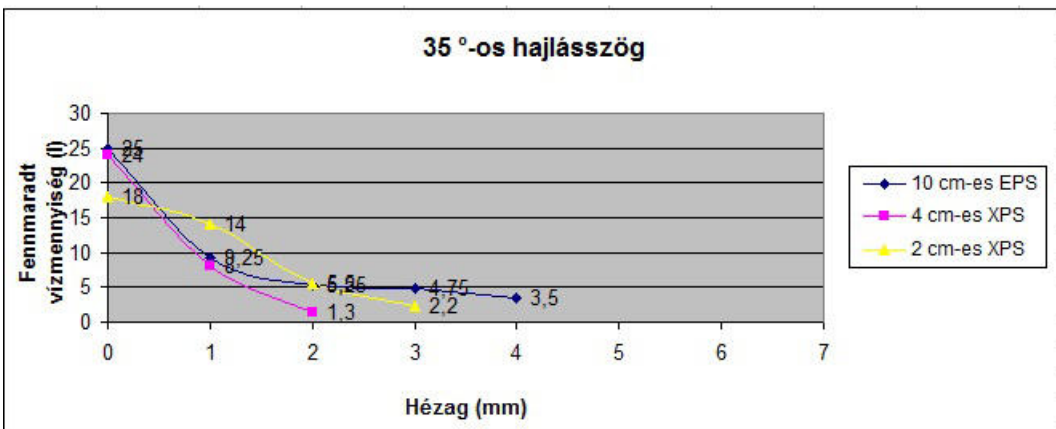
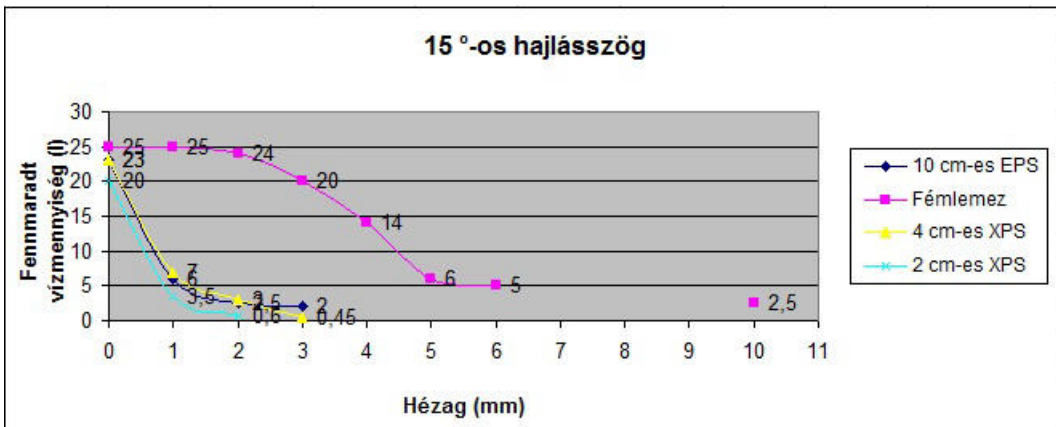
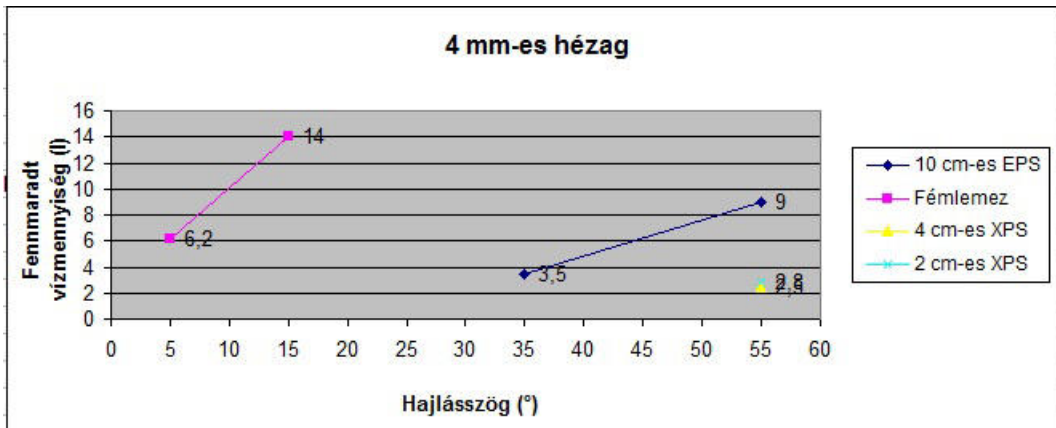
Második kísérlet

A mért literértékek táblázatosan a függelékben olvashatók.

- 10 cm-es vastagságnál a hézag növekedése ellenére a nagy hajlásszög hatása fokozottan érzékelhető (jelentős vízzárás).
- Fémlemez esetében a hézag növekedésével áthaladó víz mennyisége 2 mm-nél kezd el növekedni, alacsony hajlásszög mellett. Még kifejezetten széles hézag esetén is számottevő fennmaradó vízmennyiség tapasztalható.
- 4 cm vastagságnál a rés legkisebb megnyílása esetén is drasztikusan csökkent a fennmaradó víz mennyisége, de a magas hajlásszögnél még ekkor is érzékelhető volt az ellenállás.
- 2 cm vastagságnál közepes és meredek hajlás esetén a görbe a várt módon alakul, a rés növelésével az áthaladó mennyiség monoton növekszik. Kis hajlásszögnél azonban a rés megnyílásával rögtön eltűnik a burkolatról a víz. A nagy hajlásszög hatása várakozásunknak megfelelően jól látható.
- A különféle anyagok mérése kapcsán láttuk, hogy az összetolt hézag (0 mm), amely ténylegesen a mérésorozatunk kontrolljaként szolgált volna, nem bizonyult vízzárónak. Ennek a magyarázatát a táblaélek pontatlanságában láttuk, amelyet csak részben ellensúlyoz a nagy táblavastagság. A vastagság szerepe a fuga vízzáróságában csak a 4 mm-es hézagnál volt megfigyelhető, és csak nagyobb hajlásszögeknél. 15° -os hajlásszög mellett - bár kicsik a különbségek - a várt csökkenés kimutatható. A 35° -os hajlásszögnél készített grafikon azt mutatja, hogy - a várakozással ellentétben - a hézag növekedésével 2 cm vastagságnál kevesebb víz folyik át a burkolaton, mint 4 cm-nél. Ennél jelentősebb vastagságkülönbségeknél viszont már látszódik a mennyiségbeli különbség: vékonyabb lapoknál kevesebb víz folyik a felületen. Ugyanezeket figyelhetjük meg az 55° -os hajlásszögnél készített grafikonon. Kézi stopperórával azt is megmértük, hogy a nulla kezdősebesség pontjától a fugáig (2,85 m), illetve a tető aljáig mennyi idő alatt ér le a víz. Minden mérésnél nagyjából azonos ideig tartott a vizet feljuttatni, tehát közel állandó intenzitással folyt. Azt tapasztaltuk, hogy a megnyitástól a résig, a víz lejutási ideje nagyjából azonos, a hajlásszög növelésével kismértékben csökken (a sebesség növekszik). Azonban az az idő, ami alatt a víz elhagyja a felületet, nagyon pontatlanul mérhető, de lényegesen több, mint az első adag víz útjának ideje. (1. táblázat)







	A	B	C	D	E	F	G
1	Távolság a víz indulása és a rés között: 2,85 m						
2	kísérlet száma	hajásszög (°)	részélesség (mm)	első víz a résnél (s)	~utolsó víz a résnél	a szivattyú leáll	a víz lefolyási ideje a vízforrás megszüntetésével (E-F)
3	2	55	0	01:62	04:29:05	04:27:16	00:01:89
4	3	55	0	01:89	02:13:03	2:09:51	00:03:52
5	4	55	1	0:02:25	2:19:05	2:16:03	00:03:42
6	5	55	1	0:02:56	2:15:00	2:09:28	00:05:72
7	7	55	2	0:02:20	2:13:92	2:05:59	00:08:33
8	8	55	3	0:01:89	2:33:18	2:27:60	00:05:58
9	9	55	3	0:03:01	2:32:82	2:27:28	00:05:54
10	10	55	4	0:02:20	2:17:38	2:14:46	00:02:92
11	11	35	4	0:02:25	2:13:33	2:10:14	00:03:19
12	12	35	3	0:03:33	2:20:67	2:15:72	00:04:95
13	13	35	2	0:02:83	2:10:99	2:04:669	00:06:321
14	14	35	2	0:02:79	2:27:37	2:21:43	00:05:94
15	15	35	1	0:03:20	2:31:74	2:24:57	00:07:17
16	17	35	1	0:03:10	2:26:88	2:17:79	00:09:09
17	21	35	1	0:02:87	2:48:97	2:42:99	00:05:98
18	24	15	0	0:03:42	2:07:09	2:03:79	00:03:30
19	26	15	2	0:02:79	02:04:06	01:59:74	00:04:32
20	28	15	0	0:04:32	2:11:49	2:06:72	00:04:77
21	30	15	1	0:03:55	2:16:98	2:10:23	00:06:75
22	32	15	2	0:04:41	2:08:70	2:03:07	00:05:63

1. táblázat: A víz lefolyásának időtartamai

5.2. Eredmények értékelése

Az előző fejezetben bemutatott kísérleti eredményeket összevetve a kezdeti elképzeléseinkkel, azt tapasztaltuk, hogy előfeltevéseink egy része bebizonyosodott, több helyen azonban nem várt eredményeket kaptunk.

5.2.1. Az önszabályozó fuga jelenségének igazolása

Mind az első, mind a második kísérletünk számos esetben bemutatatta - sőt szabad szemmel is látványosan is megmutatkozott -, hogy a burkolaton folyó víz képes a hézag fölött áthaladni, esetleg „a hézagon átugrani”. Ezzel a szakirodalomban leírt, ám kísérletileg még senki által nem igazolt ÖNSZABÁLYOZÓ FUGA JELENSÉGÉT BEBIZONYÍTOTTUK. Természetesen ez a jelenség sok paramétertől függ, melyeket az alábbiakban részletezünk.

5.2.2. A vízdugó jelensége

A víz részben azért képes átlépni a fugát, mert abban vízzár, ún. „vízdugó” alakulhat ki. Ezt fotók is alátámaszthatják.

A vékony fémlémezzel végzett kísérletek tanúsították, hogy már ilyen vékony burkolatnál is kialakulhat a víz átjutását segítő vízzár

Úgy véljük, hogy ennek a **vízdugónak a szerepe sokkal jelentősebb, mint a lap vastagságával összefüggő résellenállás hatása** a fennmaradó víz mennyiségére. A burkolat nagy vastagsága miatt a résben kialakuló örvények hatása nehezen mérhető. Ennek jelenségére még később visszatérünk. Ellenben ez a vízhíd **még széles hézag mellett is**

kialakul, gyakorlatilag a burkolat vastagságától függetlenül! Ismereteink szerint ez a jelenség a folyadék és a felület közötti adhéziós erőkkel magyarázható.

Ez a jelenség hasonló egy képzeletbeli buborék kipukkasztásához, hirtelen szűnik meg. Kísérletünk során, amikor már 2 mm-es hézag mellett sem szivárgott a víz, ujjunkat alulról végighúztuk a résen. Ekkor a vízdugó átszakadt, és a fuga erőteljesen elkezdett csepegni. A természetben elképzelhető, hogy az éppen a fugába csapódó esőcseppek is képesek ezt a „vízhidat” áttörni.

Nagy vastagságnál vízdugó helyett már vízoszlopról kell beszélnünk, amelynek súlya az adhéziós erőkkel szemben hat, és képes azt legyőzni, vagyis a dugó a hézagból kifolyik.

Ezeket a hidraulikai folyamatokat az áramlástan bővebb ismeretében lehetne tovább elemezni.

5.2.3. Az anyag szerepe

Általánosságban minden burkolati anyagról elmondható, hogy a porozitása, érdessége és hidrofób/hidrofil tulajdonsága a víz lefolyását alapvetően befolyásolja. A porózus anyagok több vizet szívnak magukba, az érdes felületeknek szabvány alapján figyelembe vehető, bizonyított ellenállása van. Ezt mások kutatásai is megállapították: [1-2-3]

Kísérletünk megmutatta, hogy a burkolatminőségnek kiemelt szerepe van: precíz, sima burkolaton a lefolyó víz képes akár 1 cm-es fugát is átlépni, míg ez vastagsággal és érdes felületképzéssel 5 mm-nél is nehezen képzelhető el.

5.2.4. Az él szerepe

Az előző ponthoz hasonlóan - az anyagtól függően - a burkolólapok élei is különböző pontosságúak lehetnek. Úgy gondoljuk, hogy ennek a pontosságnak mind felülnézetben, mind metszetében nagy hatással van a víz átjutására. A pontatlan lapoldalak közötti hézag változó szélességű (ezért nem tudtunk 0 mm résszélességnél komoly vízzáróságot érzékelni). A rücskös élek lelassítják, és szabálytalan formájukkal beszívják a lefolyó vizet a fugába. Simább felületek és pontosabb élek esetén a víz egyszerűbben átugorja ezt a szakadékot. A pontatlan élképzésű fuga - ilyen megközelítésben - „vízgátként” fogható fel.

Az EPS táblás kísérleteink során a vízgát-jelleg láthatóvá is vált: az él mentén a víz feltorlódott, szabályosan „felpúposodott”.

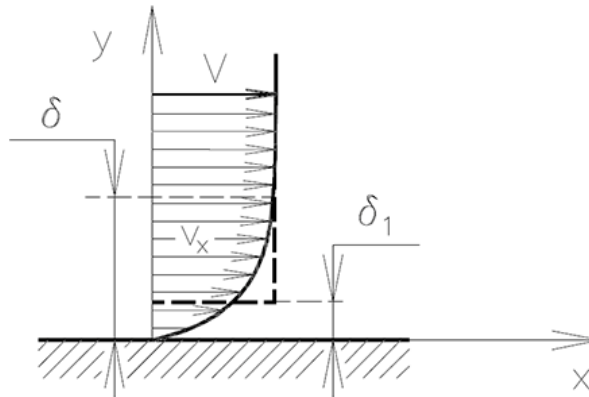
A fémlappal végzett kísérleteink megmutatták, hogy kiemelt jelentősége van az él pontosságának. Az előbbi megállapításokhoz visszakapcsolódva ez részben anyagjellemző, de inkább a megmunkálástól függ. A gyakorlatban nagyobb pontosság érhető el kerámiaburkolatoknál, mint például a forrásvízi mészkőnél. Ilyen szempontból előnyösebb a csiszolt megmunkálás, mint a durvább felület.

5.2.5. A víz sebességének vonatkozásai: a tömegáramok, a hajlásszög

Alacsony hajlásszögeknél és/vagy nagyobb hézagoknál láttuk, hogy csak a nagyobb intenzitással, sebességgel érkező víznek van esélye átugrani a hézagot, mert annak jelentős mozgási energiája van. A tömegáram és a sebesség tehát egymással kapcsolatban álló mennyiségek. A burkolatsíkon lefolyt víz mennyisége és sebessége között arányosság van.

A vízfolyam mozgása részletesen elemezve úgy zajlik le, hogy a vastag vízfilm felsőbb rétegei nagyobb sebességre tesznek szert, mint aljzathoz közelebbi rétegek. Az aljzat és a folyadék közötti adhéziós tapadás éppúgy lassítja a lefolyást, mint a vízrétegek egymás

közötti súrlódása. A felsőbb vízrétegek a már sebességgel rendelkező, alsóbb vízrétegekhez képest tovább gyorsulnak, így a vízfilm vastagsága nagy mértékben segíti a csapadékvíz átugrását a résen. (A vízfilm vastagságának sebességeloszlását a 13. ábra mutatja be, ami Lajos Tamás „Az áramlástan alapjai” c. előadásjegyzetének 11.4. ábrája.)



13. ábra: A víz rétegeinek parabolikus sebességeloszlása

Mindez nedves alapfelületre értendő: száraz síkon nem alakul ki a részecskék között vonzás, ezért gyorsan „legurulnak” a lejtőn. Miután rátapadt egy réteg a felületre, következik a rétegek kohéziója, az áramlás lassulása, végül a felső rétegek gyorsulása.

A folyadékáram egyenlőtlen sebességeloszlását a természetben is el tudjuk képzelni - ez a folyó-analógia: A mederfenék és a partközeli vízrétegek lassabban áramlanak, mint a folyó közepén a vízfelszín.

Az az elképzelésünk, miszerint a vízsebességet a hajlásszög változtatásával tudjuk modellezni, egyértelműen nem igazolódott. A víz sebessége enyhén növekedett, ám a lefolyás sebessége szemmel láthatóan inkább a víz mennyiségétől, a csapadék intenzitásától függött.

5.2.6. A hátoldali víz jelensége

Kísérleteink nagy megfigyelése volt, hogy a burkolat alá jutó víz nem feltétlenül csöppent le, hanem annak hátoldalához tapadva folytatta útját az ereszt irányába. Ez a tapadás meglepően nagymértékű lehet. A vízrészecskék kohéziója itt éppen a víz mozgását indította meg.

Nyilvánvaló, hogy a burkolat hátoldalán folyó víz viselkedését az erővektorok játéka határozza meg: az adhéziós és a kohéziós, valamint a tehetetlenségi erők ellen a nehézségi erő dolgozik. A hátoldalhoz való tapadás vagy lecsöppenés ezen erővektorok arányától függ. Emiatt – a meredek hajlásszögtől közelítve a függőlegeshez -, amikor egyre kisebb a súlyerőnek a felületre merőleges (leszakító) komponense, ott a hátoldali vízmozgás könnyebben létrejön. Miután felfigyeltünk erre a jelenségre, a kísérletsorozat végén meg is tudtuk figyelni ezeket az eltérő hatásokat. A burkolaton és a hátoldalon folyó vizet szétválasztottuk, utóbbinak az aránya a résméret növelésével egyre növekedett. A nagyobb hézag még jobban rásegített a jelenségre: mivel így több víz került az alsó élre is, több indult meg esésirányban. Bár szerkezetünkkel nem ezt a mennyiséget kívántuk mérni, de a pontatlan csomóponti kialakításunk azt eredményezte, hogy a hátoldali víz mennyiségét jól meg tudtuk figyelni, becsülni.

A hátoldali víz mennyiségének kísérleti vizsgálata fontos feladat lehet a jövőben, ehhez célravezetőbb modellt kell felépíteni.

5.2.7. A lapvastagság hatása

A lapvastagság hatását nem sikerült az előfeltételezésekben vélt mértékben igazolni.

A jelenség létezését viszont igen, ahogy a ... számú grafikon ezt tanúsítja. A grafikonok között ellenpéldákra is bukkantunk, ennek az lehet az oka, hogy a különböző lapminőségek, élképzések, pontosságok sokkal inkább befolyásolják a folyamatot, mint a lapvastagság.

Úgy gondoljuk, hogy ennél fogva a különféle vastagságoknak nincs akkora jelentősége, mint az újonnan felismert befolyásoló tényezőknek.

5.2.8. A fugában kialakuló állapotok

Már az első kísérletünknel is megfigyeltük, hogy a rés szélességétől, a lapvastagságtól és a sebességtől függően a résben háromféle víz-levegő összetétel alakulhat ki:

a) csak víz (a vízdugó)

Kis hézagoknál várható. A jelenségről részletesebben az 5.2.1. fejezetben írtunk.

b) levegő-víz elegy

Ebben a fázisban a víz és a levegő mennyisége a fugában összemérhető. A víz és levegő részecskék keverednek, jellegzetes csobogó hang mellett a fugát egyfajta habos közeg tölti ki. A valóságban a benzín porlasztásához hasonló jelenség történhet. Ebben a fázisban vélhetőleg jelentkezik egyfajta vízáteresztési ellenállás, ám az kisebb mértékű, mint az előző pontnál.

c) víz és levegő

Széles fugánál az összes víz kifolyik, a víz zuhatagként ömlik át a résen, és kevésbé keveredik a levegővel.

5.3. A nem várt jelenségek kiemelése

- A burkolat minőségének kiemelt szerepe van, mert precíz, sima burkolaton jobban felgyorsul a víz, képes akár 1 cm-es fugát is átlépni, míg ez vastagsággal és érdes felületképzéssel 5 mm-nél is nehezen elképzelhető.
- A „vízdugó” már kis vastagságnál és akár 2 mm hézagnál is kialakulhat, vízhídként segítve a víz átjutását.
- Az él markáns vízgátként működik a pontosságának és érdességének függvényében.
- A nagyobb tömegárammal érkező víznek van esélye átugrani a hézagot.
- A tömegáram rétegekben folyik, melyek a burkolatsíktól távolodva egyre nagyobb sebességet érnek el, közülük a legfelsők tudják átugrani a fugát.
- A burkolat alá jutó víz adott esetben annak hátoldalához tapadva is képes folytatni az útját. Bizonyos feltételek mellett nagy mennyiségű víz is képes ily módon lefolyni.
- A víz sebességének hajlásszöggel való modellezhetősége nem bizonyosodott be, helyette a víz mennyisége és a csapadék intenzitása vált jelentőssé.

6. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

6.1. A nyitott fugájú burkolatok vízzáróságában, önszabályozó jellegében szerepet játszó tényezők felsorolása, fontossági sorrendje

Javasoljuk, hogy a bemutatott szerkezet tervezése során a burkolat alá jutó víz mennyiségét az alábbi szempontok alapján határozza meg a tervező:

A táblázatban a befolyásoló tényezőket az alábbi módon állítottuk fontossági sorrendbe:

1: nagy jelentőségű, 2: közepesen jelentős, 3: kis jelentőségű, 0: nem vizsgáltuk.

Jelenségek, befolyásoló tényezők	Fontosság
hajlásszög	2
csapadékvíz-intenzitás	1
a felület anyaga	3
a felület érdessége	2
az él geometriája	1
részélesség	2
lapvastagság	3
hidrofób tulajdonságok	nem egyértelmű
légtörési nyomásviszonyok	0
felületi párolgás	0
fugarajzolat	0
oldalélek profilozása	0
a felület tisztasága	3

2. táblázat: A nyitott fugás tetők vízáteresztését befolyásoló tényezők

6.2. Tervezési ajánlások

Mivel bizonyítást nyert, hogy a tetőfelületre jutó csapadékvíz – intenzitástól függően – még nyitott fuga esetén sem jut teljes mennyiségben az alátétszigetelésre, valamint feltártuk a jelenséget befolyásoló tényezőket, innentől kezdve a tervező lehetősége, hogy a – részletképzéstől függően saját maga is szabályozza, tervezze a víz levezetésének módját. Bizonyos esetekben célszerűnek látszik a víz lecsapolása a felületről (pl. faanyagú burkolat), melynek módja a fugák sűrítése és a víz bevezetését elősegítő élképzés.

Más esetekben a cél a víznek a külső felületen tartása (az alátétszigeteléssel szemben támasztott követelmény csökkentése, vagy csekély vastagságú szivárgó réteg a burkolat alatt). Ebben az esetben a víz átugrását segítő precíz élképzés a víz felgyorsulását segítő ritkított lehet a megoldás.

A kutatás során bebizonyosodott, hogy adott körülmények mellett nem csak az alátéthéjazaton, hanem a tetőburkolat hátoldalán, ahhoz tapadva is jelentős mennyiségű víz folyhat le. Emiatt az alátéthéjazat mellett a burkolatot igen körültekintően kell kiválasztani. A hátoldali víz hatására a burkolat rejtett fagykárt szenvedhet, ami adott esetben súlyos balesetveszéllyel járhat (lapok lecsúszása, törése). Ez a jelenség körültekintő tervezéssel nagymértékben befolyásolható:

A tetőburkolat anyagának és hátoldalának impregnálásával: egyrészt nem csak az időjárásnak kitett oldalt kell impregnálni, hanem (talán különösebben) a hátoldalát. Ennek különösen akkor van jelentősége, ha az adott tetőburkolat és a tartóváz, illetve ágyazat aljzata közti távolság kicsi. Az anyag megrendelése során is fontos lehet, hogy ne csak helyszínen lássák el impregnálással, hanem – lehetőleg - még a gyárban, anyagában.

A hátoldalra merőleges akadályok, vízgátak felállításával: a burkolat keresztirányú sínrendszere megfelelő kiosztás mellett ezt a szerepet betöltheti. Különleges lejtésképű tetőkön más akadályokra lehet szükség.

6.3. Tudományos kutatási javaslatok

A felismert jelenségeknek több esetben áramlástani magyarázatokat adtunk. Mivel ezen a téren a képzettségünk nem elég részletes, fontos lenne a szakterületen jártas munkatárs bevonása a további kutatásokba. Szükség lenne a vízfilm különböző rétegeinek pontos sebességeloszlásának ismeretére, hogy ennek hatását tovább elemezhessük. Szükséges továbbá annak ismerete, hogy a jellemző záporintenzitások milyen vastag vízfilmeket képesek létrehozni a felületen. (Az egyik szakirodalom ennek a vízfilmnek a vastagságára homlokzatburkolatoknál 0,26 mm-t határozott meg. Az előzetes számítások a mi esetünkre 0,4 mm-t adtak, természetesen homogén vízfilm és egyensúlyi állapotok esetén.)

Vizsgálendő továbbá az egyéb fizikai tényezőktől (lapvastagság, résszélesség, sebesség) függő vízmozgás. (A részbe érkező folyadékáram a gravitáció folytán a résfalnak csapódik, melynek hatására sebességétől, így egy képzeletbeli határvonaltól függően kétféle útra térhet. Ha elegendően nagy sebessége révén a határvonal fölé csapódik, „visszapattanhat” a burkolatsíkra, máskülönben a részbe esik.)

Annak is bizonyára fizikai magyarázata van, hogy az áramlatok között száraz szigetek alakultak ki.

A kutatásunk során talált számos homlokzati csapóeső-állóság kísérletből megtudtuk, hogy a valóság félempirikus módszerekkel jól közelíthető, gyorsan megbecsüljük a vízmennyiséget, a részletes térbeli és időbeli meghatározásra a numerikus módszerek alkalmasak, melyek komoly előkészítést és sok szempontot figyelembe vevő számításokat igényelnek.

Ami a vízdugó kialakulását, valamint a burkolat hátoldalán folyó víz mennyiségét illeti, az adhéziós és kohéziós, illetve gravitációs erők és a mozgási energia viszonyát kellene meghatározni. Idő és keret hiányában jelen kutatásunk nem tért ki a hátoldalán folyó víz mennyiségének mérésére, azonban egy későbbi kutatás céljából ezt javasoljuk.

A műszaki szempontoknál azért sem tudunk további konkrét tervezési adatokat szolgáltatni, mert a sikeres kísérleteinket egy rés mellett végeztük, egy vízforrásból. Több, sűrűn elhelyezett vízforrással, magasabb és szélesebb tetőfelülettel is jó lenne kísérletezni az

átfogóbb kép kedvéért. Közelebb állna a valósághoz, ha ebbe akár bele lehetne integrálni egy csapóeső-szimulációt (a szélnyomás hatását is).

Továbbá több burkolattípust is ajánlunk megvizsgálni: a mi kísérleteink inkább a kőburkolat szimulálását célozták meg. Jó lett volna ehhez a miénknél simább felületű XPS táblát beszerezni.

6.4. ÖSSZEGZÉS

Összegzésül elmondhatjuk, hogy a dr. Dobszay Gergely által felismert önszabályozó hézag jelenségét igazolni tudtuk. Meghatároztuk és sorrendbe állítottuk azokat a tényezőket, amelyek a jelenséget befolyásolják. Olyan fontos jelenségekre hívtuk fel a figyelmet, melyekkel a későbbiekben foglalkozni kell. Úgy gondoljuk, hogy az általunk alkalmazott kísérleti módszer és a mérési eredményeink jól közelítik egy nyitott fugájú, valódi burkolt tető működését, ezért dolgozatunk, javaslataink hasznosak lehetnek az ilyen szerkezetek tervezésével foglalkozók számára is.



IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Dobszay Gergely: „Burkolt tetők épületszerkezetei”, (*Ph. Doktori értekezés*), BME Épületszerkezettani Tanszék, 2011.
- [2] Dr. Lajos Tamás: Az áramlástan alapjai, *Ismeretlen Kiadó*, 2008.
- [3] dr. Palotás László, „Mérnöki kézikönyv”, III. kötet/4.1.2. Hidromechanika/4.1.2.1. Hidromechanikai alapfogalmak; 4.1.2.2. Vízszállító vezetékek hidraulikai vizsgálata. *Műszaki Könyvkiadó, Budapest*, 1985.
- [4] dr. Palotás László, „Mérnöki kézikönyv”, I. kötet/5.2.3. Vízmozgás a kapilláris erők és a gravitáció egyidejű hatására. *Műszaki Könyvkiadó, Budapest*, 1981.
- [5] Ángeles Mas, Javier Gutiérrez, Enrique Gil, Alba Gil, Vicente Galvañ, „Design and construction recommendations to improve impermeability in rainscreen walls built with natural stone coverings”, *Department of Architectural Constructions, Polytechnic University of Valencia, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, Spain Department of Structural Construction Polytechnic University of Valencia, Camino de Vera, s/n, 46022.*, 2010.
- [6] Rong Liu and Qiusheng Liu, „Instabilities and transient behaviors of a liquid film flowing down a porous inclined plane”, *Key Laboratory of Microgravity (National Microgravity Laboratory), Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China*. Ismeretlen dátum.
- [7] B. Blocken, D. Derome, J. Carmeliet, „Rainwater runoff from building facades”, A review. *Ismeretlen Kiadó, Ismeretlen évszám*.
- [8] Bert Blocken, Jan Carmeliet, „A review of wind-driven rain research in building science”, *Laboratory of Building Physics, Department of Civil Engineering, Katholieke Universiteit Leuven, Kasteelpark Arenberg 51, 3001 Leuven, Belgium Building Physics Group, Faculty of Building and Architecture, Technical University Eindhoven, P.O. Box 513, 5600 MB Eindhoven, The Netherlands*. Ismeretlen dátum.
- [9] T. Bennett, D. Poulidakos, „Splat-quench solidification”, estimating the maximum spreading of a droplet impacting a solid surface. *Department of Mechanical Engineering, University of Illinois at Chicago, IL60680, USA*. Ismeretlen dátum.
- [10] Nathan Van Den Bossche, Michael A. Lacasse, Arnold Janssens, „A uniform methodology to establish test parameters for watertightness testing part II”, *Pareto front analysis on co-occurring rain and wind Ghent University. Faculty of Engineering and Architecture, Department of Architecture and Urban Planning, Jozef Plateaustraat 22, Ghent, Belgium; National Research Council, Canada*. 2012.
- [11] E.C.C. Choi, „Modelling of wind-driven rain and its soil detachment effect on hill slopes”, *School of Civil and Structural Engineering, Nanyang Technological University, Nanyang Avenue, 639 798 Singapore*, 2002.
- [12] Moira A. Wilson, W.D. Hoff, Christopher Hall, „Water Movement in Porous Building Materials-XIII”, Absorption into a Two-Layer Composite , *Department of Building Engineering, UMIST, P.O. Box 88, Manchester M60 1QD, U.K., Schlumberger Cambridge Research, P.O. Box 153, Cambridge CB3 0EL, U.K.*, 1995.
- [13] Chew, M.Y.L., „A modified on-site water chamber tester for masonry walls”, *Construction and Building Materials 15 (7)* , pp. 329-337. 2001.
- [14] Tang, R., Etzion, Y., „Comparative studies on the water evaporation rate from a wetted surface and that from a free water surface”, *The Desert Architecture Unit, J. Blaustein Inst. for Desert Res., Ben-Gurion University of the Negev, Negev 84990, Israel*. Ismeretlen dátum.

- [15] P. Marsh, „Air and rain penetration of buildings”, *The Construction Press Ltd., Lancaster, England*, p. 174. 1977.
- [16] Garcez, N., Lo., De Brito, J., Sá, G., „Pathology, diagnosis and repair of pitched roofs with ceramic tiles”, Statistical characterisation and lessons learned from inspections. *Construction and Building Materials* 36, pp. 807-819. 2012.
- [17] Lewis, „M.D. Status on development of code requirements for exterior stone cladding”, *ASTM Special Technical Publication 1499 STP*, pp. 70-73, 2007.
- [18] Silvestre, J., De Brito, J.: Nota técnica, „Análisis estadístico de los defectos de juntas cerámicas”, Technical note: Statistical analysis of defects of tiles' joints, *Materiales de Construcción* 57 (285), pp. 85-92., 2007.
- [19] Carbary, L.D., Ryan, M.W., „Secondary drainage system for architectural panel systems”, *ASTM Special Technical Publication(1453)*, pp. 3-13, 2004.
- [20] Ismeretlen Szerző, „Durability of Building and Construction Sealants and Adhesives”, 2004, *ASTM Special Technical Publication*, 1453.
- [21] Klosowski, J.M., Gorman, P.D., „New weathering test method for sealants and preliminary experimental results”, *Conference Paper*
- [22] Barrett, Peter, „Rain penetration through masonry walls”. *Ismeretlen Kiadó*, Ismeretlen dátum.
- [23] Mualem, Y., Assouline, S., „Mathematical model for raindrop distribution and rainfall kinetic energy”, *Ismeretlen Kiadó*, Ismeretlen dátum.
- [24] S.A. Morsi, A.J. Alexander, „An investigation of particle trajectories in two-phase flow systems”, *J. Fluid Mech.*, 55, pp. 193–208. 1972.
- [25] Ismeretlen Szerző, „Guideline for condition assessment of the building envelope”, *ASCE Standard (30-0)*, pp. 1-52. 2000.
- [26] Kevin L. Rens, P.E., A.M.ASCE; Oswald Rendon-Herrero, „Paul A. Bosela: Stone Cladding Failure”, *The Cause and Consequences. Forensic Engineering*. 2000.
- [27] Larkin, James H., „Securing the stone”, *Civil Engineering* 68 (1), pp. 65-67. 1998.
- [28] Freyburg, Sabine, „Beitrag zur Bewertung der Dauerbeständigkeit historischer Dachziegel”, [Study of the evaluation of the durability of historic clay roofing tiles]. *Ismeretlen Kiadó*. Ismeretlen dátum.
- [29] Garnier, Pierre, „Use of shaped sheets for housing roofing tile support. Concrete roofing tiles.”, *Lyon, J.D.R.* 1974.
- [30] Cárdenes, V., Monterroso, C., Rubio, A., Mateos, F.J., Calleja, L., „Effect of freeze-thaw cycles on the bending strength of roofing slate tiles”, *Engineering Geology* 129-130, pp. 91-97. 2012.
- [31] Zhang, J. New, „Waterproof insulation roof building materials and the construction”, *Advanced Materials Research* 261-263, pp. 633-637. 2011.
- [32] J. W., „Roofs you walk on Lstiburek”, *ASHRAE Journal* 53 (3), pp. 62-68. 2011.
- [33] Bastert, H., Conrad, W., „WU-Dächer”, *Weißer Dächer und Decken aus Stahlbeton. Beton-und Stahlbetonbau* 108 (6), pp 421-428. 2013.
- [34] Wang, J., Wang, Z.-F., Sui, Q.-M., Li, S.-C., Li, S.-C., Li, L.-P., Liu, B., „Research of FBG strain system in laneway water inrush model test”, *Guangdianzi Jiguang*, „Journal of Optoelectronics Laser”. 21 (12), pp. 1768-1772. 2010.
- [35] Stephens, David H., „Water storage roof”, *Ismeretlen Kiadó*. 1974.
- [36] C.A. Price, „The decay and preservation of natural building stone”, *Chem Br*, 11 (10), pp. 350–353). 1975.
- [37] Tschacha, F., Schmid, H. Stone, „Look from an injection mold”, *Kunststoffe International* 101 (11), pp. 6-8. 2011.

FÜGGELÉK

A 2. kísérletről készített mérési napló, táblázatokkal és az akkori észrevételekkel

Eredmények a 10 cm-es EPS vastagságra:

Hajlásszög/ Fugaszélesség	0	1	2	3	4
15	23	6	2,5	2	
35	25	9,25 á	5,25 á	4,75	3,5
55	24,5	22 á	17	12,5	9

/Megjegyzés: Az „á” jelzés egy átlagérték után látható./

A kezdeti nullhézagos próbamérések, 55° mellett:

1. mérés: 55°, 0 mm

2. 55°, 0 mm: elérhető magasságba tartva a slagot belőttük, melyik az a pont, amettől a víz átlagosan visszafolyik, azaz 0 kezdősebességgel elindul a tetőn. Megmértük, hogy 2,85 m hossz jutott neki a felgyorsulásra, majd ha át tudott ugrani a fugán, 76 cm maradt a csatornába jutásra. Stopperrel megmértük, hogy a víz 4,5 s alatt ér a tető aljára.

A tábla pontatlansága miatt az egyik oldalon milliméteres rés alakult ki, mely miatt (még 50l-nél) 1 l vizet veszítettünk, de ez még jónak számít.

3. 55°, 0 mm: sikeres

Hézagos mérések:

4. 55°, 1 mm: megfigyelhető, hogy a vízcsepp a felső tábla alsó élén kipúposodva jelenik meg.

5. 55°, 1 mm

6. 55°, 2 mm

7. 55°, 2 mm: lehet, hogy itt valamiféle határ van az áramlásban és már van helye a levegőnek is a fugában

8. 55°, 3 mm: a levegő-víz keverék már olyan arányban van a résben, hogy felülről a réshez közel hajolva csobogó hangot hallhatunk. A víz 2,5 s alatt ér a fugába.

9. 55°, 3 mm

10. 55°, 4 mm: erősebb csobogó hang

11. 35°, 4 mm: a hajlásszög csökkentésével drasztikusan csökkent a vízmennyiség

12. 35°, 3 mm: innentől már vödörrel mértük az összegyűlt vizet

13. 35°, 2 mm

14. 35°, 2 mm

15. 35°, 1 mm
16. 35°, 1 mm
17. 35°, 1 mm
18. 35°, 0 mm
19. 35°, 0 mm: a szivárgó vizet figyelve észrevettük, hogy alulról csöpög a víz a csatornába. Itt fedeztük fel, hogy a víz képes végigfolyni a burkolat alsó síkján. Eszerint pontatlan a modellünk, ezért a víz útját a fémlemez-lappal illetve a butil tömítőszalaggal próbáltuk elállni. A víz ezen is átszivárgott, ezért az alsó hőszigetelő tábla szélébe vízorrt fűrészeltünk, melybe egy darab PVC-t fűztünk. Ezt a PVC-t már korábban elő kellett vennünk a víz túlcsapása miatt.
20. 35°, 0 mm. A hibát észrevéve szükségesnek láttuk a gyanúsán kis vízmennyiségek ellenőrzését.
21. 35°, 4 mm
22. 35°, 3 mm
23. 15°, sikertelen nullhézagbeállítás.
24. 15°, 0 mm
25. 15°, 1 mm
26. 15°, 2 mm
27. 15°, 3 mm

Mérések a fémlemizzel

1. 15°, 0 mm: a víz szivárgás nélkül teljes egészében lefolyt
2. 15°, 1mm: ugyanúgy minden víz lefolyt, nem hisszük el
3. 15°, 1 mm: ismét minden víz lefolyt, de az alsó élt benedvesítve azokon a helyeken elkezdett csöpögni a víz
4. 15°, 1 mm
5. 15°, 2 mm: az alulról is nedves fémlemizzel már fél-1 litert veszítettünk.
6. 15°, 3 mm
7. 15°, 4 mm
8. 15°, 5 mm

9. 15°, 6 mm: megfigyeltük, hogy ekkora résen a víz átjutása mennyiségfüggő. A nagyobb áramokban érkező víz képes a fugán átjutni, a egyenletesen érkező víz kifolyik. Még mindig jelentős víz folyik át, ezért ugrunk
10. 15°, 1 cm: még a vízmennyiség 10%-a lefolyik! Még tisztábban megfigyelhető, hogy a víz vastagsága mértékadó: ha lökéskeppen érkezik, többnek marad lendülete az átugrásra.
11. 6 mm, 5°: a felületet a biztonság kedvéért előnedvesítettük (forró fémlemez és száraz tábla).
12. 5°, 7 mm: a csövet mozgattuk, ezért a mérést megismételtük
13. 5°, 7 mm: (ismétlés)
- 14.
15. 5°, 5 mm:
16. 5°, 4 mm: vízmennyiségben ugrás, és ez látható is.
17. 5°, 3 mm
18. 5°, 2 mm
19. 5°, 1 mm
20. 5°, 0 mm
21. 5°, 0 mm
22. 15°, 0 mm

Eredmények a fémlemez lap mérése kapcsán:

Hajlásszög/ Fugaszélesség	0	1	2	3	4	5	6	7	10
5	22	20	17	12	6,2	3,5	3	2,75	
15	25	25	24	20	14	6	5		2,5

/Megjegyzés: Az „á” jelzés egy átlagérték után látható./

Mérések 4 cm XPS táblával

1. mérés, 15°, 1 mm: keveseltük a 3 litert, ezért javítottuk a fugakapcsolatot és újramértük
2. 15°, 1 mm: sikeres
3. 15°, 2 mm: az előzőnél többet mértünk, ezért megigazítottam

4. 15°, 2 mm: sikeres
5. 35°, 2 mm
6. 35°, 3 mm
7. 35°, 3 mm
8. 35°, 1 mm
9. 35°, 0 mm: kevesebbet mértünk a kelleténél, ezért megigazítottam a táblát
10. 35°, 0 mm: sikeres
11. 55°, 0 mm: 25 l, jónak tűnne, de később mégsem.
12. 55°, 1 mm: 22 l, jónak tűnne, de később mégsem!
13. 55°, 2 mm: csobogó hangjelenség észlelhető. Egyúttal megfigyeltem, hogy a táblán visszafolyó víz mértéke 55°-tól számottevővé válhat.
14. 55°, 3 mm
15. 55°, 4 mm
16. 55°, 1 mm: Mivel az erősen visszafolyó víz láttán a 22 l gyanúsnak tűnt, igazítottunk a kísérleti modellen – úgy mozdítottuk a csatornát, hogy csak a PVC-ből jusson víz a hordóba. A PVC-ről a csatornába visszafolyást a csatornába tett kődarabbal gátoltuk meg. Fényképen is rögzítettem, hogy nemcsak a PVC-ről, de a csatornából is víz folyik! Szemmel láthatóan kb. harmadakkora árammal. Bizonyítja ezt, hogy ezúttal 10 literrel kevesebbet mértünk. Néhány beállítást ezért visszamenőleg meg kell ismételni! A tábla alsó szélébe vágott vízzel ennél a vastagságnál már nem tölti be teljeskörűen a szerepét, mert nem elég vastag a tábla, hogy a víz ne jusson el a csatornáig.
17. 55°, 0 mm: szerencsére kevesebbet mértünk az előzőnél, 25 helyett 21 litert.
18. 35°, 0 mm
19. 35°, 0 mm
20. 35°, 1 mm

Eredmények a 4 cm-es XPS tábla mérése során:

Hajlásszög/ Fugaszélesség	0	1	2	3	4
5	22				
15	23	7	3á	0,45	
35	24	8	1,3		
55	21	12	7	4,5	2,5

/Megjegyzés: Az „á” jelzés egy átlagérték után látható./

Mérések 2 cm-es XPS táblával

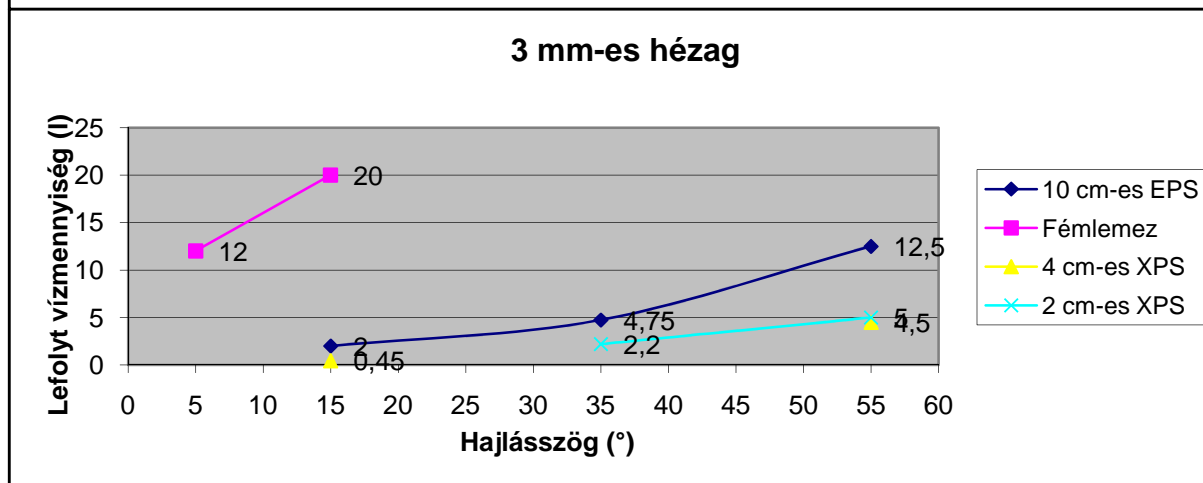
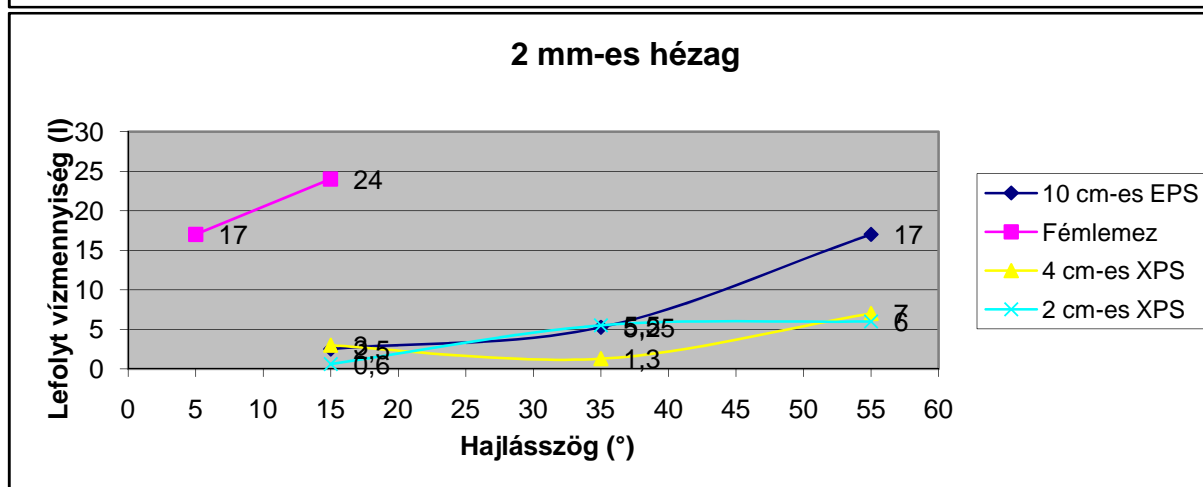
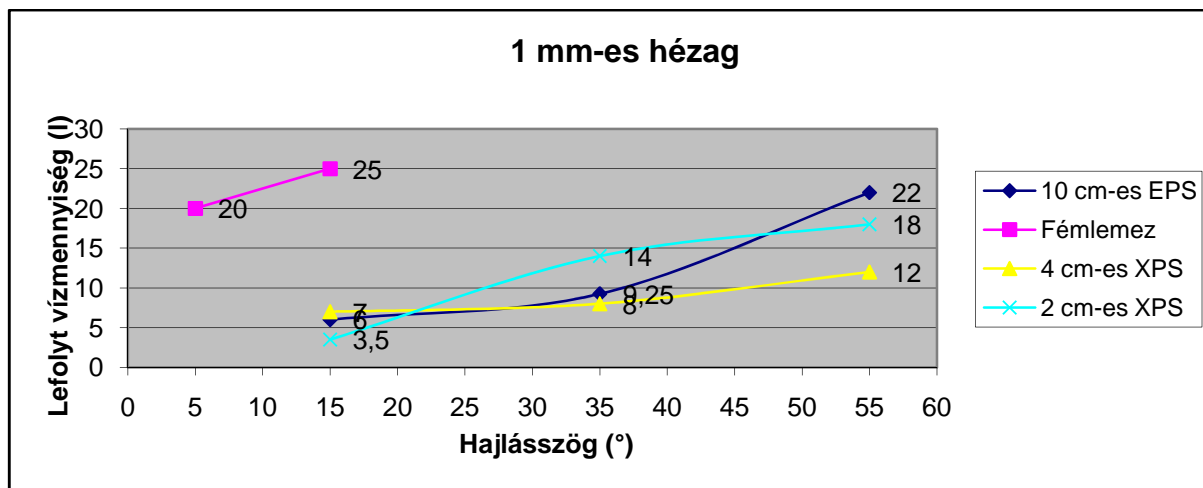
1. mérés: 35°, 0 mm
2. 35°, 0 mm: belátjuk, hogy ilyen táblákkal nullhézagot beállítani nem tudunk.
3. 35°, 1 mm
4. 35°, 2 mm
5. 35°, 2 mm
6. 35°, 3 mm
7. 55°, 0 mm: kecsésnek bizonyult, megismételjük
8. 55°, 0 mm: jó érték lehet
9. 55°, 1 mm: egyre több víz folyik a csatornából
10. 55°, 2 mm: majdnem annyi víz folyik a csatornából, mint a PVC-ről
11. 55°, 2 mm
12. 55°, 3 mm
13. 55°, 4 mm
14. 55°, 5 mm
15. 55°, 6 mm
16. 15°, 0 mm
17. 15°, 1 mm: látjuk, sokkal kevesebb víz folyik, ezért megismételjük
18. 15°, 1 mm: jól láttuk
19. 15°, 2 mm: annyira kevés víz folyt le, hogy már jól látszódtak a tömegáramok. A csatornából pedig látszólag kétszer olyan intenzitással folyt a víz.

Eredmények a 2 cm-es XPS tábla mérésére:

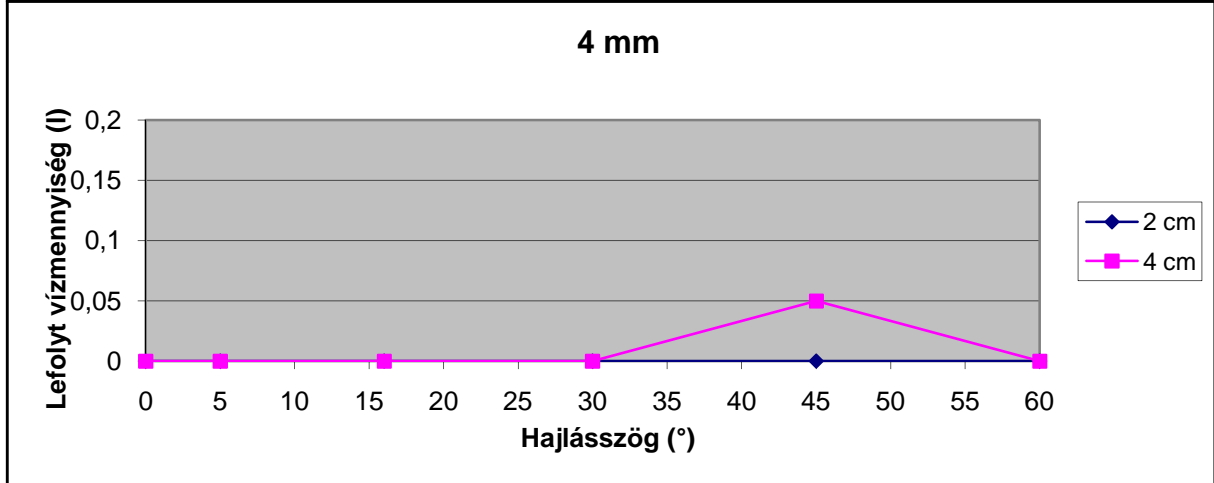
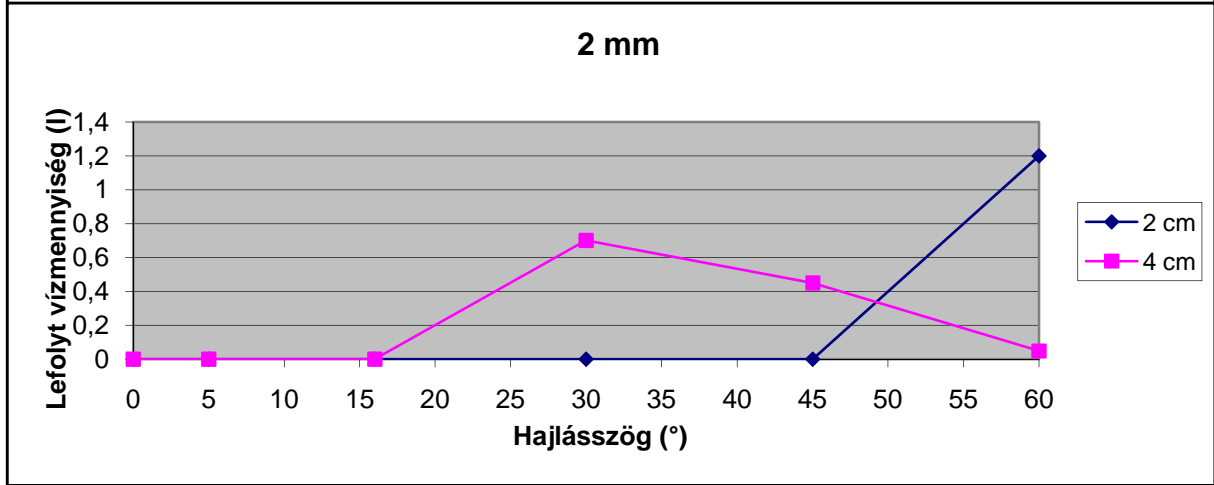
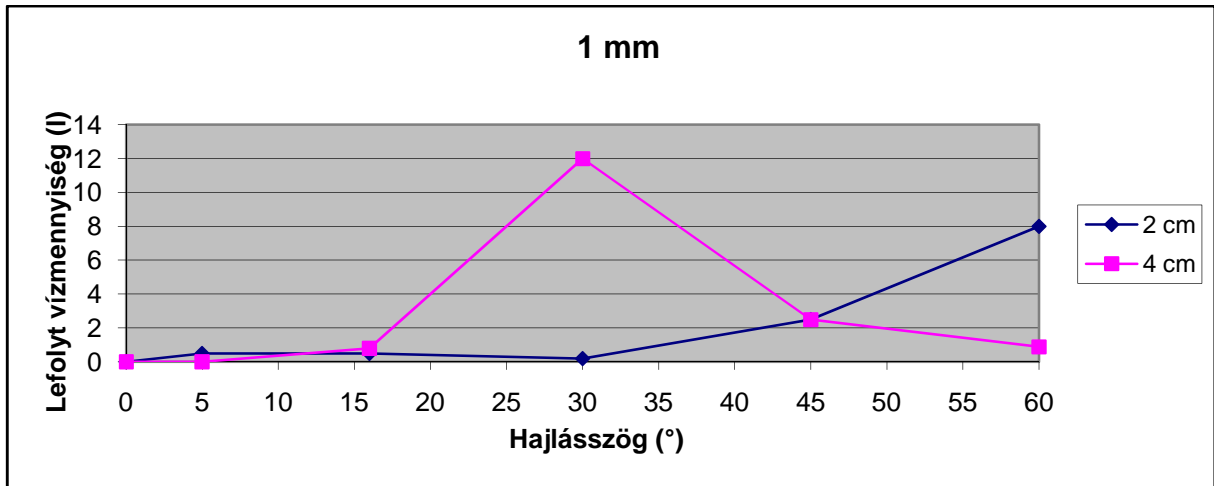
Hajlásszög/ Fugaszélesség	0	1	2	3	4	5	6
15°	20p	3,5á	0,6				
35°	18p	14	5,5	2,2			
55°	22p	18	6	5	2,8	2,8	2,5

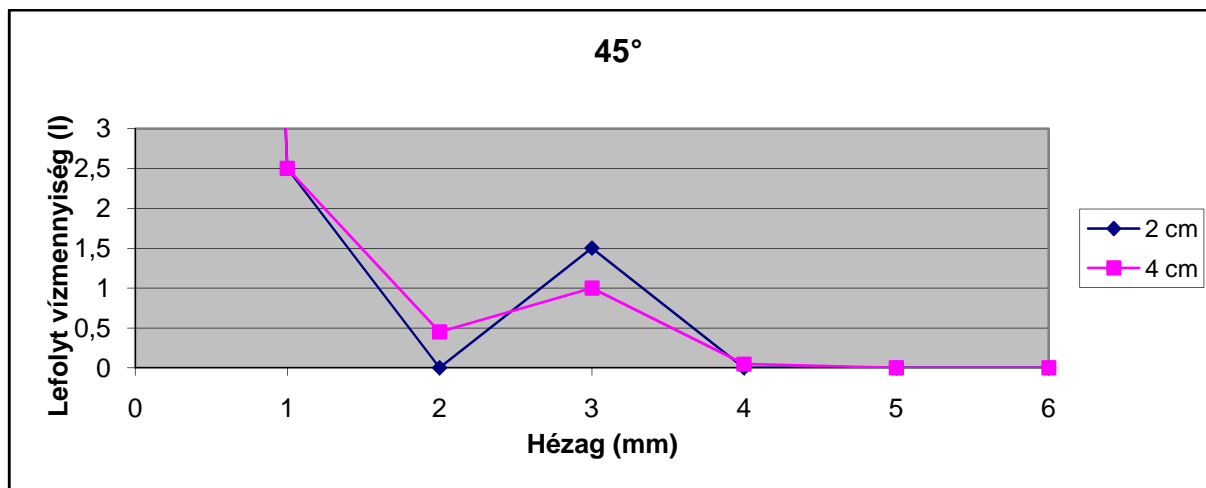
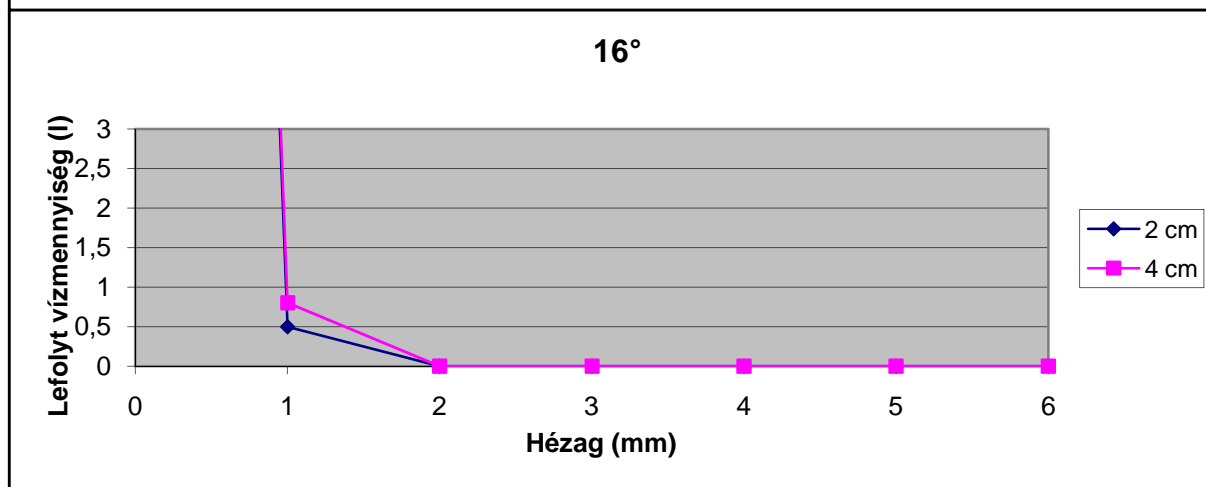
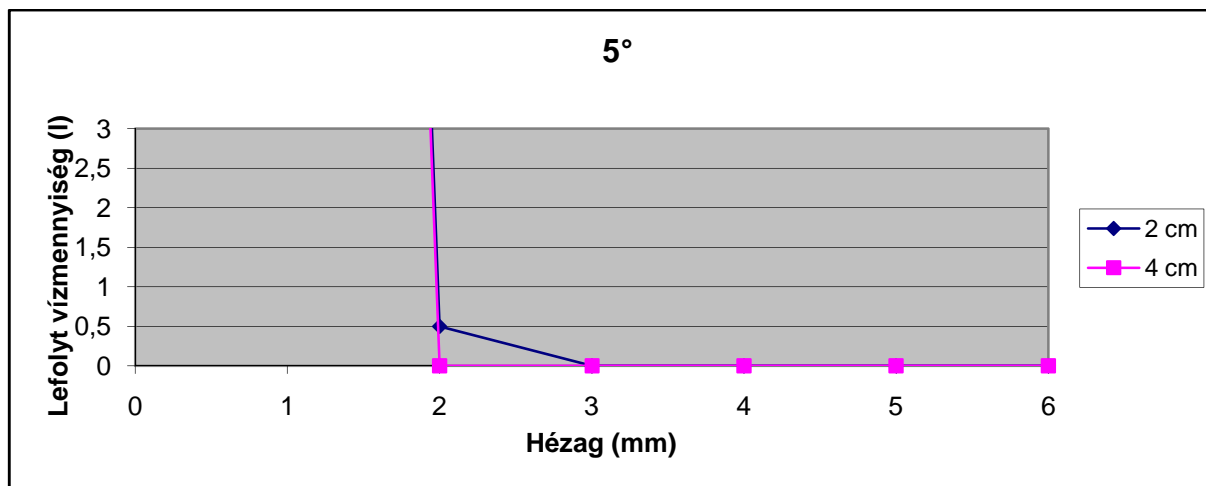
/Megjegyzés: A 0 mm fugaszélesség oszlopában lévő számok utáni p betűk a nullhézag beállíthatatlanságára hívják fel a figyelmet. Az „á” jelzés egy átlagérték után látható./

A 2.kísérlet alapján készített, de fel nem használt további grafikonok



Az 1. kísérlet alapján készített további, fel nem használt grafikonok





Az 1. kísérlet mérési eredményei táblázatosan

Mérési eredmények a 2 cm-es lapvastagságra:

Lejtés/Fugaszélesség	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm	5 mm
5°	0,5 l				
16°	0,5 l				
30°	0,2 l		0,01 l		

45°	2,5 l		1,5 l	0	0
60°	8 l	1,2 l			

Mérési eredmények a 4 cm-es lapvastagságra:

Lejtés/Fugaszélesség	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm	5 mm
5°	0				
16°	0,8 l				
30°	12 l	0,7 l	0,05 l		
45°	2,5 l	0,45 l	1 l	0,05 l	
60°	0,9 l	0,05 l			

A kihagyott mezők mérése véletlenül elmaradhatott vagy várható jelentéktelensége miatt elhanyagolhatónak tartottuk. A fugák beállítása körülményes volt, ezért sem erőltettünk több mérést.