



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

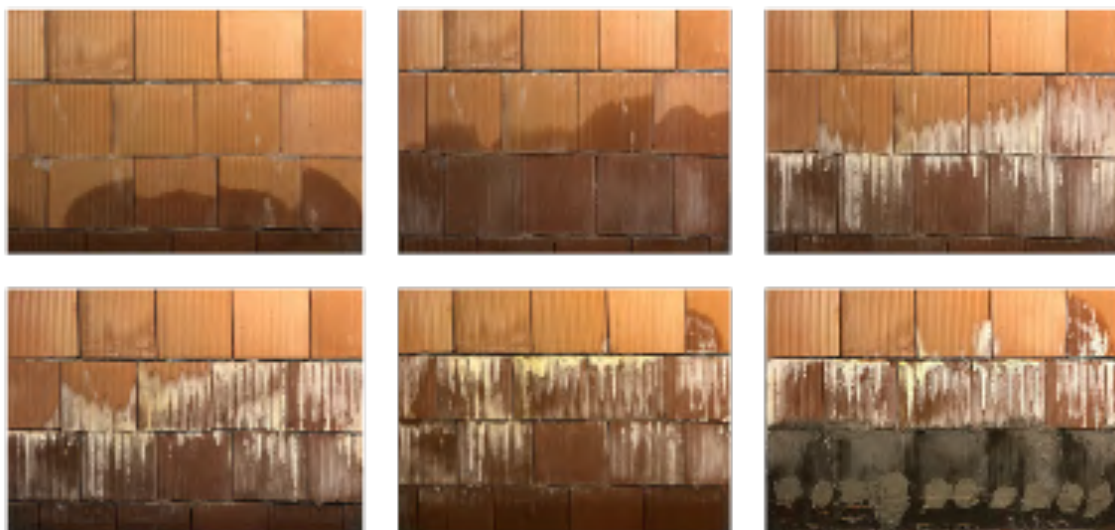
Építészmérnöki Kar

Tudományos Diákköri Konferencia

2023

**Falazatok kapilláris vízfelvételének vizsgálati módszerei és
utólagos nedvességvédelmi beavatkozásai**

**Methods of testing capillary water absorption in masonry and
remedial damp-proofing interventions**



Készítette: Druga Richárd, Nyári Marcell József

Témavezetők: Kapovits Géza mesteroktató, Épületszerkezzetani Tanszék

Dr. Nagy Balázs egyetemi docens, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

Dr. Nemes Rita egyetemi docens, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	3
1.1. Absztrakt.....	3
1.2. Abstract.....	3
1.3. A dolgozat aktualitása, témája, lehatárolása	4
2. Szakirodalmi áttekintés	5
3. Hipotézisek összefoglalása.....	6
3.1. Nedvességvizsgáló mérőműszerek objektív értékei	6
3.2. Átnedvesedett falazatok száradási folyamatai	6
3.3. Különböző oldatokkal telített anyagok nedvességmérő műszeres mérése	6
4. Vizsgálataink módszertana.....	7
4.1. Mintafalakon végzett vizsgálatok	7
4.2. Mintavételek (só-) és nedvességvizsgálatai	10
4.3. Különböző oldatokkal telített anyagok nedvességmérő műszeres mérése	11
4.4. Mintakockákon végzett vizsgálatok.....	11
5. Nedvességvizsgáló műszerek objektív értékei.....	13
5.1. Nedves falak vizsgálati lehetséges módszerei	13
5.1.1. Hőkamerás lokalizáció.....	13
5.1.2. Mintavételes labormérések (Darr-eljárás)	13
5.1.3. CM (Kalcium-karbidos) mérés	13
5.1.4. Elektromos, roncsolásmentes nedvességmérő eszközök	13
5.2. Vizsgálatok eredményei és értékelése	14
6. Átnedvesedett falak száradási folyamatai	19
6.1. Sók építéskémiai alapjai	19
6.2. Falazatok sóvizsgálati eredményei és értékelése	20
6.2.1. Sóvizsgálat értékelése – injektálás előtti mintavétel	20
6.2.2. Sóvizsgálat értékelése – injektálás utáni mintavétel.....	21
6.3. Száradási folyamat eredményei, értékelései	21
6.3.1. A száradást befolyásoló tényezők.....	21
6.3.2. Silka (mészhomok) falazat száradása	22
6.3.3. Porotherm (vázkerámia) száradása	23
6.3.4. Ytong (pórusbeton) falazat száradása	25
6.3.5. Nagyméretű (égetett agyag) tömör téglá száradása	26
6.3.6. Száradási folyamatok összegzése	27
6.3.7. Légpórusos vakolatok hatása a száradásra	28
7. "B"-jelű hipotézis vizsgálata.....	29
7.1. Különböző oldatok vezetőképességének mérőműszerekre gyakorolt hatásai	29

8. Utólagos nedvességvédelmi beavatkozások ismertetése.....	31
8.1. Utólagos beavatkozások alapjai.....	31
8.1.1. Szerkezetek átnedvesedésének következményei	31
8.1.2. Utólagos beavatkozások célja.....	32
8.1.3. Szárazsági követelmények.....	32
8.2. Utólagos vízszigetelések fő részei	33
8.3. Vízszintes vízzárak szigetelési lehetőségei.....	34
8.3.1. Szakaszos falkibontás	34
8.3.2. <i>Furatkiöntéses (Massari-féle) eljárás</i>	36
8.3.3. <i>V-vágásos (Kunz-féle) eljárás</i>	36
8.3.4. Résvágásos eljárás	37
8.3.5. Acéllemez beverés	38
8.3.6. Nyomás nélküli (gravitációs) injektálások	39
8.3.7. Nyomás alatti injektálás.....	40
8.3.8. <i>Fagyasztott vegyi eljárás</i>	41
8.4. Utólagosan kialakított függőleges fal- és padlószigetelések	42
8.4.1. Modifikált bitumenes lemezek	42
8.4.2. Műanyag szigetelő lemezek.....	42
8.4.3. PMBC bevonatszigetelési rendszerek.....	42
8.4.4. MDS bevonatszigetelési rendszerek	43
8.4.5. FPD bevonatszigetelési rendszerek	43
8.5. Tömbinjektálás – injektált mélységi védelem.....	43
8.6. Fátyol- és hátúrinjektálás	44
8.7. Ellenszerkezetek hidrosztatikai nyomásra	45
8.7.1. Statikus víznyomásra méretezett vasbeton ellenszerkezet	45
8.7.2. Statikus víznyomásra méretezett acél ellenszerkezet	45
8.7.3. Nyílt vízszint-tartásos védelem – szerkezet felett	46
8.7.4. Nyílt vízszint-tartásos védelem – szerkezet alatt.....	46
8.8. Függőleges vízzárak.....	47
9. Utólagos szigetelések tervezési mátrixa.....	48
10. Összefoglalás, fő megállapítások	53
11. A kutatás további céljai, lehetőségei	53
Irodalomjegyzék.....	54

1. Bevezetés

1.1. Absztrakt

Az épületállományunk jelentős része alépitményi vízszigetelés nélkül készült, az 1930-as évek táján indult meg az efféle intézkedések tömeges alkalmazása. Napjaink egyre inkább meghatározó feladata a történeti épületeink rekonstruálása, magasabb komfortfokozatra hozatala, ezen munkálatok kiemelkedő hányadát az utólagos nedvességvédelmi beavatkozások képezik.

A beavatkozásokat megelőzően a nedvességdiagnosztikai vizsgálatok elvégzése szükséges, melyhez a jelen kor technológiájának köszönhetően különböző roncsolásmentes mérési műszerek állnak rendelkezésre. Ezek a műszerek segítséget nyújtanak a roncsolásos mintavételi helyek megválasztásában, valamint a beavatkozás szükségességének eldöntésében, de csak tájékoztató jellegű képet adnak a falazatban előforduló háromdimenziós nedvességeloszlásról és nem adják meg a pontos tömegszázalékban mért só- és nedvességtartalmat sem.

A kutatás egyik célja, hogy a roncsolásmentes vizsgálatok által „in situ” adott értéket leolvasva, minél közelebb kerüljünk a laborvizsgálatokkal körülményesen kapott eredményekhez. Másik célunk az utólagos vízszigetelési módszerek rendszerezése, értékelése a száradási folyamat eredményességének, valamint a higroszkópikus sók hatásának függvényében. A tanulmány próbál támogatást nyújtani a mérnöki faldiagnosztika terén a mérőműszerek tudatosabb használatához és az utólagos szigetelési eljárások megválasztásához.

1.2. Abstract

A significant part of our building stock was constructed without waterproofing the substructure, and the mass application of such measures started around the 1930s. Today, the reconstruction and upgrading of our historic buildings is an increasingly important task, the remedial damp-proofing interventions comes out at considerable proportion of this work.

Prior to these interventions, it is necessary to carry out moisture diagnostic tests, for which various non-destructive measuring instruments are available thanks to the technology of the present day. These instruments can help in the selection of destructive sampling sites and in deciding the need for intervention, but they give only an indicative picture of the three-dimensional moisture distribution in the masonry and do not give the exact salt and moisture content measured in weight percent.

One of the aims of this study is to provide a reading of the value given by non-destructive tests "in situ", as close as possible to the results obtained by laboratory tests. Another objective is to systematize and evaluate the remedial damp-proofing courses taking into consideration of the drying process and the effect of hygroscopic salts. The study tries to provide support in the field of engineering masonry diagnostics for a more conscious use of measuring instruments and the choice of remedial damp-proofing procedures.

1.3. A dolgozat aktualitása, témája, lehatárolása

„A statisztikai adatok alapján a hazai épületállomány cca. 60 %-a szigetetlen, vagy a szigetelése mára már erodálódott. A pincék és alapfalak szigetelés nélküli kialakítása az építés korára jellemző, alacsonyabb igényszintű rendeltetés miatt adódik, de közrejátszik a szigetelőanyagok avulása, azaz a papír, jutaszövet hordozóbetétek korhadása, illetve a gyártott lemezek, vagy helyszínen felhordott kenések illó anyagainak elpárolgása is. A XX. század utolsó évtizedeiben létesült épületek szigetelés-kivitelezési hibái tovább növelik e részarányt, így az összesített cca. 60 % már bizonyára nem túlzás. E szám pedig azt is mutatja, hogy a nedvességátadások elleni utólagos védelem komoly szakmai kihívást jelent. Ennek egyik fő mozgatója, hogy a korábban nem hasznosított pincék új rendeltetést kapnak, ahol lényeges a megnövelt szárazsági igényszint elérése.” (1)

A rekonstrukciós munkálatok tehát egy bővülő szakaszban lévő iparág, ennek ellenére a témában a fontosságához képest kevés kutatás történt (nemzetközi szinten is), valamint a kapcsolódó szakirodalom is ritkaságszámba megy. Az utólagos szigetelési beavatkozások azonban nem csak történeti épületeiknél jelennek meg, számos kortárs épület is hibás, elrontott szigeteléssel készült, azaz napjaink építőipari tevékenysége is von maga után utólagos szigetelési eljárásokat, ezzel együtt épületdiagnosztikai felmérést is. Ennek okán a dolgozatunk hiánypótló jelleggel illeszkedik a témába. A tanulmány során foglalkozunk az épületdiagnosztikai felmérésekkel és az utólagos szigetelések beavatkozásaival.

A három különféle mérési elven működő elektromos, roncsolásmentes nedvességmérő műszertípust vizsgáljuk, hogy a tájékoztató jellegű értékeket pontos nedvességfelvételi (m%) értéként tudjuk értelmezni, mely a későbbi beavatkozás megválasztásán pontosíthat. Ehhez különféle anyagokból épített mintafalakon és mintakockákon végzett méréseink alapján vontunk le következtetéseket.

A mintafalak vizsgálata során végeztünk só- és nedvességvizsgálatot mintavételes labormérésekkel, így minden mérési technikát összevetve olyan komplex adatbázissal dolgoztunk, mely a szakirodalmi áttekintést követően is újdonságnak tekinthető.

Vizsgáltuk az említett mérőműszerek mérési eredményét befolyásoló tényezőket, azaz a falakban lévő oldatok összetétele (pl. talajvíz összetétele, injektlószer jelenléte) milyen hatással vannak a műszerértékek torzítására.

Tanulmányoztuk a mintafalaink utólagos szigetelést követő száradási folyamatait, az injektlálás eredményességét, mindezt a sók hatásainak figyelembevételével.

Kutatásunk kiterjed az utólagos szigetelések kialakítási lehetőségeinek vizsgálatára, azok értékelésére és geometriai vonatkozású osztályozására, melynek ilyen átfogó elemzése hiánypótlónak tekinthető a szakirodalomban.

Célunk, hogy ezen dolgozat kutatási eredményei, tapasztalatai, állításai megkönnyítsék a mérnöktársadalom tervezési és kivitelezési feladatait, visszaszorítsák ezen a területen az esetleges építési hibákat.

2. Szakirodalmi áttekintés

A bibliográfiánk egyik alapvető részét hazai anyagvizsgálati szabványok (2) (3) (4) (5) (6) (7) és szerkezetek nedvességátvitelével foglalkozó irányelvek (8) (9) (10) teszik ki. A német nyelvterületű szabályozási dokumentumok közül jelentős hivatkozási alapot adnak a bevonatszigetelési irányelvek (11) (12) (13), valamint a minősítési leírások (14) (15).

A nemzetközi szakirodalom tekintetében *Frank Frössel* munkássága (16) (17) mérvadó, mely a só- és nedvességátvitel és az utólagos szigetelések tekintetében alpműnek tekinthető. Hazai kiadások között *dr. Kakasy László* vonatkozó könyvrészlete (18) nyújt hasznos, tapasztalatokkal gazdag információkat.

A nemzetközi publikációkat tekintve kapcsolódik *Engerst Y. és társai* (Universidad Politécnica de Madrid) mérés-technikai vizsgálatai (19), miszerint falazóhabarcsok kapilláris nedvességfelvételt vizsgáltak kapacitív és elektromos ellenállás alapon. Mindkét vizsgálati módszeren 3 különféle adalékanyaggal készülő habarcsminta esett át. Bebizonyították, hogy a dielektromos mérési rendszerüknél szoros összefüggés, korreláció van a kapilláris nedvességfelszívásból adódó víztartalom m%-os alakulása és a kapacitív mérési értékek között. Kialakítottak egy rezisztív alapú érzékelő rendszert, ami valós időben mutatja a nedvességtartalom (m%) változását, ezt az elektromos ellenállóképesség nedvesség által befolyásolt tulajdonságaiból eredeztetik a rendszer; melynek mérési eredményeiből fontos tendenciák vonhatók le a különböző adalékanyagú habarcsok tekintetében.

Jitka H. és társai (Brno University of Technology) (20) kutatásai, dolgozata az újonnan kifejlesztett hőszigetelő vakolatokkal bevont falazott pillérek építését foglalja magában, azzal a céllal, hogy a hőszigetelő vakolatok nedvességfelvételt vizsgálják. A higrotermikus tulajdonságok változására két vizsgálati módszert alkalmaztak: az elektromos impedancia spektrometria (EIS) elvét és a kapacitív műszeres mérés-technikát. A nedvességtranszport bonyolult és hosszas folyamat, így az érdemi tanulságokhoz ezen jellemzőket hosszú időn keresztül kell vizsgálni.

Alessandro S. és társai (National Research Council) (21) – által készített kutatásban egy felújító vakolati rendszert vizsgáltak (melyet a gyártó nedvesség- és sómentesítésre javasol). A dolgozatban leírják a vakolatrendszer nedvesség- és sótranszport működését, illetve összevetik azt a hagyományos vakolatokkal. A felújító vakolatrendszer teljesítményvizsgálatához kísérletekkel modellezték azt. Kis méretű labormodelleken és terepvizsgálat során kutatták az eredményeket; az időben eltolt só- és nedvességminták elemzésével. Ebből az az eredmény volt konklúzióként levonható, hogy a folyamatos nedvességterhelés mellett a felújító vakolat felhordása után nem mértek a nedvességtartalom csökkenését a falakban. A helyszíni terepvizsgálat során a vakolatrendszer szintén nem eredményezte a fal nedvességtartalmának csökkenését a korábban meglévő cementalapú vakolathoz viszonyítva.

Radoslaw M. és társai (Warsaw University of Technology) (22) – érdekes kutatása a nedves falak száradásának vizsgálatairól. A cikkben egy meglévő pincefalazat fűtőpakkeres (thermo-injection) falszáritási technológiájának leírásáról és annak monitorozásának értékeinek eredményességéről szól. A későbbi szigetelési beavatkozásnak egy fontos lépése a falazat helyreállítása.

3. Hipotézisek összefoglalása

3.1. Nedvességvizsgáló mérőműszerek objektív értékei

A különféle szerkezetnedvesség-mérőműszerek roncsolásmentes technológiája egy egyszerű, gyors vizsgálati módszert tár a mérnökök felé, ennek ellenére a gyártói útmutatások ezeket a készülékeket csak tájékoztató jellegű mérések alkalmazására javasolják a mérési bizonytalanságok gyakori előfordulása okán. A szakmagyakorlók körében is hasonló, feltáró jellegű mérések végzésére alkalmazzák ezen eszközöket.

További problémát okoz a műszerek alkalmazása során, hogy a szubjektív módon, saját mérési elvük (pl. kapacitív, mikrohullámú, elektromos ellenállás alapú) alapján felépített skálákra kalibrálva adnak értékeket, nem pedig mérhető, objektív nedvességtartalmat határoznak meg. Az értékek az alkalmazástechnikában megfogalmazott tartományokban értelmezhetők száraznak vagy nedvesnek (esetként további osztályokra bontva) egyes műszereknél anyagcsoportokra vonatkoztatva. Ezekre az adatokra alapozva nem építhető fel egy utólagos nedvességvédelmi beavatkozás technológiai leírása.

Feltevésünk, hogy a készülékek által kapott eredmények átkonvertálhatók pontosabb fizikai mennyiségekké és így az eszközök alkalmazási területe is egy szélesebb területet fedhet le. Ha a labormérések összehasonlítása során nem is határozható meg pontos átszámítási algoritmus, legalább egy pontosabb képet kapunk az alkalmazási hibákról, feltételekről, határokról. Nem állítjuk, hogy az egzakt, mintavételes labormérések kiválthatók, de a helyszíni vizsgálatok egyfajta továbblépését szolgálhatja.

3.2. Átnedvesedett falazatok száradási folyamatai

Az átnedvesedett, utólagos szigeteléssel ellátott falak száradása egy frekventált kérdéskör, hiszen ez határozza meg a majdani, rendeltetésszerű használatbavétel idejét, a végleges felületképzés lehetőségét, ezzel szemben a válasz nem ilyen egyszerű. A száradás köztudottan függ a légállapot tényezőitől, de a falazat felületképzésének és az utólagos nedvességvédelmi beavatkozás hatásairól már jelentősen kevesebb információ áll rendelkezésre.

A köztudatban az a gondolat él, hogy a "csupasz" fal szárad a leggyorsabban, mivel így a szabad felület könnyebben tudja leadni a belső nedvességből származó párárt; viszont ez a gondolat korántsem ilyen egyértelmű, hiszen így a visszamaradó higroszkópikus sók megkötik a felületen a párárt, amik visszanedvesíthetik a felületet. Ennek a jelenségnek az arányában merül fel a kérdés a felújító vakolatok használatának célszerűségére.

További feltevés, hogy az injektált vízzárak alkalmazása során a bejuttatott folyadék (vizes keverésű vegyianyag esetén) növeli a beavatkozás előtti nedvességtartalmat, valamint feljebbi zónákba szoríthatja a nyomás alatti injektálás (vegyianyag bázisától függetlenül) a már beállt nedvességszintet; ellentétben a mechanikai eljárásokkal. Kérdéses az injektálószer milyen mértékben és mennyi ideig rontja a falazat hidrotechnikai tulajdonságait.

3.3. Különböző oldatokkal telített anyagok nedvességmérő műszeres mérése

Kérdésként merült fel, hogyan befolyásolja az anyagokban jelenlévő nedvesség kémiai összetétele a roncsolásmentes nedvességmérő készülékek eredményeit. Egyes műszerek (pl. Trotec T510) értékeit - gyártói tájékoztatás alapján - torzíthatja a vízzel oldható sók jelenléte, viszont ez nem egyértelműen kijelenthető minden műszerre. Mindemellett kérdéses továbbá, hogy a vegyi injektálószer, az agresszív talajvíz jelenlétére hogyan reagálnak a készülékek.

4. Vizsgálataink módszertana

4.1. Mintafalakon végzett vizsgálatok

2021. augusztusban vízhatlan kádakba négy különböző falazóanyagból építettünk mintafalakat a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék Anyagvizsgáló Laboratóriumában. A falazóanyagok a következők: **Silka HM 200 NF+GT** (mészhomok), **Porotherm 30 N+F** (vázkerámia), **Ytong Classic 600x200x250** (pórusbeton), **bontott nagyméretű tömör tégl**a (égetett agyag). A falazatokhoz **Sakret HM-2,5** (mész-cement kötésű) falazóhabarcsot használtunk. A falak hosszúsága azonosan 120 cm; szélességük vázkerámia: 30 cm, pórusbeton: 25 cm, mészhomok: 20 cm, nagyméretű tömör tégl: 30 cm. A falazatok magassága következőképp alakult, vázkerámia: 130 cm (5 sor), pórusbeton: 125 cm (6 sor), mészhomok: 125 cm (6 sor), nagyméretű tömör tégl: 120 cm (15 sor). A vizsgálatok pontosságának érdekében a falazóanyagok fontosabb paramétereit saját mérések, számolások alapján határoztuk meg. (1.táblázat)

	ANYAG	ÁLLAPOT	SZÁRAZ TESTSÚRÚSÉG [kg/m ³]	POROZITÁS [-]	W _f [kg/m ³] (m%)	W _{max} [kg/m ³] (m%)
SILKA	mészhomok	új	1668	0,197	158,9 (9,5)	196,8 (11,8)
POROTHERM	vázkerámia	új	728	0,771	127,4 (17,5)	141,7 (19,5)
YTONG	pórusbeton	új	465	0,625	326,93 (70,0)	626,82 (134,7)
NAGYMÉRETŰ TÉGLA	égetett agyag	bontott	1515	0,46	373,59 (24,7)	459,92 (30,4)
SAKRET	mész-cement kötésű falazóhabarcs	új	1569	0,248	196,81 (12,5)	247,6 (15,8)

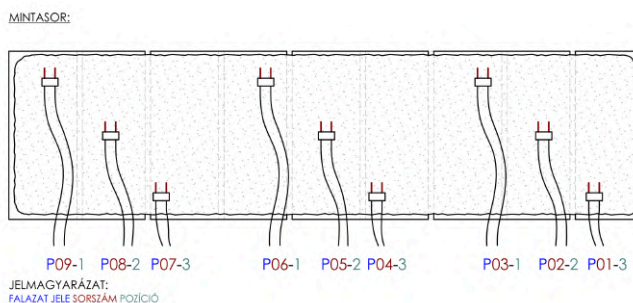
1. táblázat: Az anyagok fontosabb paramétereit, jellemzőit

2022.07.18. és 08.12 között A falak elkészültével a kádakat feltöltöttük vízzel (csapvíz minőség), a falak felépítése és a kádak vízzel való feltöltése több szakaszban készült. (1.ábra) Így teremtettük meg egy vízszigetelés nélkül, vagy elavult, hibás vízszigeteléssel készült földszinti fal helyzetét lehetőleg jobban megközelítő körülményeket, ami tisztán felszívódó nedvesség hatásának van kitéve (lábazatra felferődő nedvesség kizárásával).

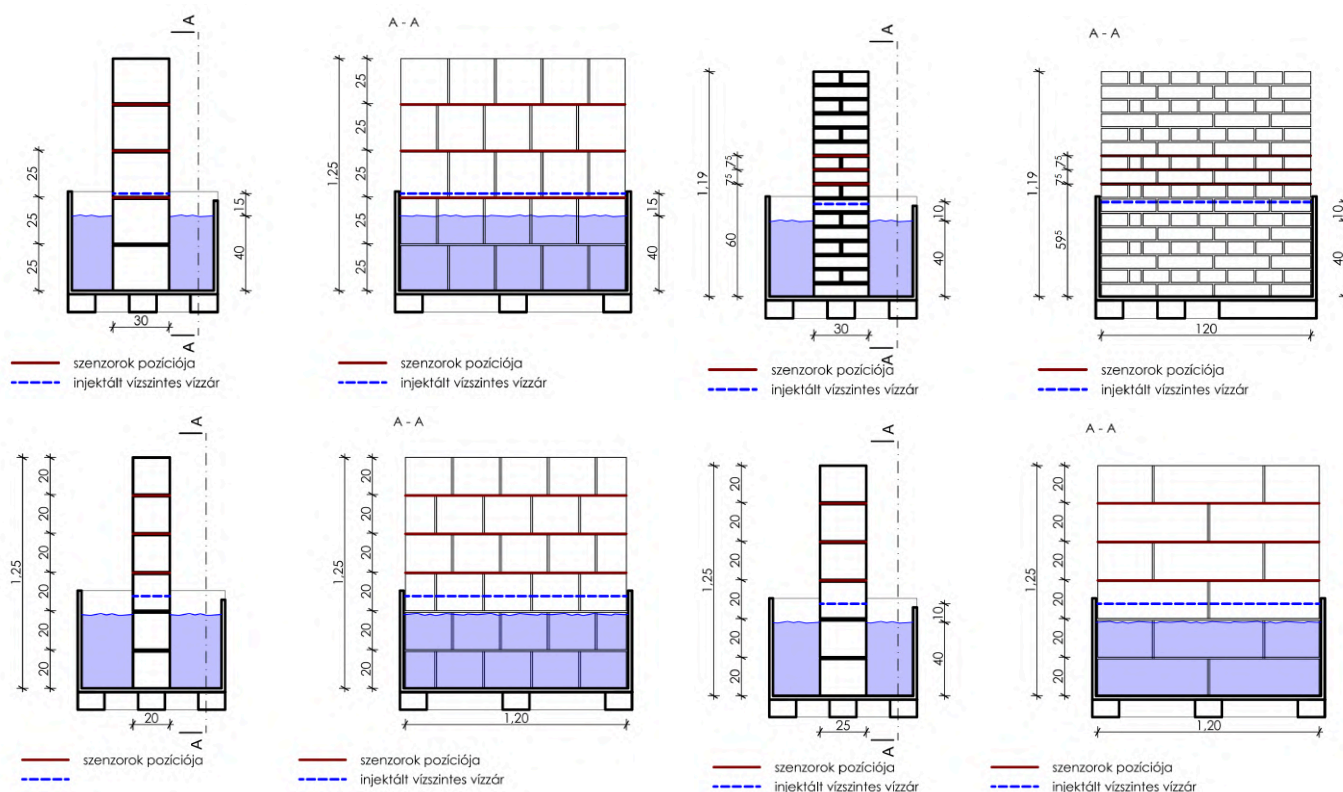
A falakban a nedvességtartalom monitorozását a fent említett 3 műszerrel végeztük. Minden falon kijelöltünk 27 mérési pontot a Trotec T510 alkalmazásához (a műszer működési elvének megfelelően), 3 egymás feletti vízszintes fugasorban a falazóhabarcsba ágyasztunk szenzorokat az építés során, melyek további 3 síkra osztályozhatók, a két külső és a közbenső szakaszra diverzifikáltuk a mérési tartományt. A sorokban egységesen 9 szenzort helyeztünk el. (2.ábra) A szenzorokat jelkóddal elláttuk a falazatok és pozíciójuk szerint: S – Silka (mészhomok), P – Porotherm (vázkerámia), K – nagyméretű tégl, Y – Ytong (pórusbeton), 01-27 – sorszám alsó sortól indítva, 1-3 – falkeresztmetszetben elfoglalt pozíció. (3.ábra)



1. ábra: Nagyméretű tégl mintafal



2. ábra: Jelkód magyarázata Porotherm fal első sorára vonatkoztatva



3. ábra: Falak kialakítási sémája: Porotherm (bal-fent), Nagyméretű tégl (jobb-fent), Silka (bal-alsó), Ytong (jobb-alsó)

A Trotec T660 (4. ábra) és Trotec T610 (5. ábra) műszerekkel ezeket a pozíciókat igyekeztünk lekövetni és folytatni a méréseket. Mindkét roncsolásmentes műszerrel a szenzorok (6., 7. ábra) kiosztásának analógiájára 3x9 mérési pontban tanulmányoztuk a nedvesség felszívódását és a műszer értékeit; így további két mérési módszer eredményeit is tanulmányoztuk. A laborhelyiségben a páratartalmat a lehetőségekhez mérten szabályoztuk egy páraelszívó készülékkel, így a légállapot **RH = 60±2%** és **T=16-23°C** szerint alakult. A kádakból elpárolgott és kapillárisan felszívott vízmennyiséget folyamatosan utántöltöttük, így általánosságban elmondható, hogy közel azonos szinten volt a töltővíz magassága a vizsgálat fennálló ideje alatt (cca. 40 cm vízszlop). A falazatokon a száradási folyamat előidézéséhez a



4. ábra: Trotec T660 mérés



5. ábra: Trotec T610 mérés



1. ábra: Szenzorok hátoldalon



7. ábra: Szenzorok beépítése

nedvességátadás megszüntetése elengedhetetlen. Ennek következtében a ma leginkább használatos utólagos vízzár kialakítására, az injektált vegyi szigetelést alakítottunk ki, mely a legnagyobb építéskémiai változást idézheti elő a falon belül. A kád töltővizét továbbra is meghagytuk nedvességforrásként, így ellenőrizhető az injektálás sikeressége. A kialakítás során igyekeztünk a gyártói alkalmazástechnika szerint eljárni, de a szempontjaink szerinti létrehozható furatkiosztási kép, nem minden esetben megfelelő. Az injektált vízzár kialakítási módjának szempontjai a következők voltak:

- A vízzár magassági pozíciója ne érjen bele a vízbe (lehetőleg a hatáshenger sem), hogy ne kapjon víznyomást, csak kapilláris vízfelszívást modellezzünk
- A vízzár magassági pozíciója a lehető legalacsonyabban legyen, minél nagyobb falfelületen tudjon száradni és minél nagyobb felület maradjon a további monitorozásra (valamint a fugában lévő alsó szenzorsor is továbbra is mérhető legyen)
- Az előző pontból adódik a legkisebb helyigényű injektálási technológia megválasztása

A fent leírtaknak leginkább a vízszintes, egysoros furatolás technológiája felel meg, így a választás erre esett, viszont tömör és az üreges falazóelemekből épített falak más injektálási eljárással kezelendők.

A **tömör falak** esetén középnyomáson (cca. 20-25 bar) injektáltunk be egy oldószermentes, egykomponensű, kovasavészter bázisú, póruuszukító és hidrofóbizáló koncentrátumot (WTA-minősített), az építési termék: Remmers Kiesol; felhasznált anyagmennyiség falanként: 5 liter. Míg az **üreges** vázkerámia falnál gravitációs módon juttattunk be szilán-sziloxán bázisú, hidrofóbizáló krémet (WTA-minősített), az építési termék: Remmers Kiesol C basic; felhasznált anyagmennyiség: 550 ml.

A tömör falak nyomás alatti injektálásához furatolást megelőzően megtisztítottuk a falfelületeket a sókristályoktól. Ezt követően felhordtunk két rétegben egy nagy tapadóképesű cementiszap (MDS) technológiai szigetelést a falazat mindkét oldalára. Az építési termék: Remmers WP Sulfatex. Ezután lehetett megkezdeni az egysoros furatkép kialakítását 11,5 cm-ként, 12 mm-es furatátmérővel. (8.ábra) Majd az elkészült furatokat pumpa segítségével pormentesítettük azokat. Az így kapott furatszájakba beütöttük a műanyag pakkereket (9.ábra), amire ezt követően csatlakoztattuk az injektáló berendezés tömlőjét. Az injektáló csonksort végiginjektáltuk, mindig pakkerkapcsolatig (10.ábra) telítettük a falazatokat, majd a maradék kiporciózott (5 liter) vegyi anyagot azokon a csomkokon juttattuk be, amelyek engedték még a további telítést.(11.ábra)

A **vázkerámia falnál** a vízszintes furatsort közvetlenül a vízszintes habarcsréteg felett készítettük 11,5 cm-ként, 12 mm-es átmérővel. Ezt követően a furatport eltávolítottuk pumpa segítségével, majd a tubusos anyagot egy tömlő segítségével kézi erővel juttattuk be. A furatvégeket helyszíni keverésű cementhabarccsal zártuk.



8. ábra: Furatolás kivitelezése



9. ábra: Pakkerek beütése



10. ábra: Pakkerkapcsolat



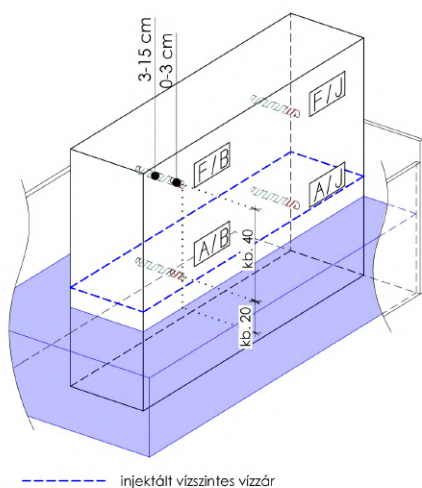
11. ábra: Injektológép

Ezen intézkedésekkel igyekeztünk elérni a falazat nedvességutánpótlás megszakítását, így a továbbiakban fentebb már ismertetett műszerekkel és mérési pontokon további monitorozással vizsgáljuk a falazat száradását (nedvesség eloszlás alakulását).

4.2. Mintavételek (só-) és nedvességvizsgálatai

2023.03.10-én az injektált vízzár kivitelezése előtt furatpor mintákat vettünk az ekkor már kb. 8 hónapja vízzel árasztott falazatokból. A mintavétel idején a levegő hőmérséklete 21 °C, relatív páratartalma 59% volt. A minták tömege 5 és 10 gramm között változott, simítózáras polietilén zacskóban tároltuk a mintákat a nedvességmegőrzésre figyelve. A vázkerámia falazat esetén darabos mintavételezés történt és az így kapott mintát porítottuk, hiszen a lamellás cellaszerkezete nem tette lehetővé az furatolásból származó minimális pormennyiség elérését. Falanként 4 felületi (0-3 cm-ig) és ugyanebben a pozícióban 4 mélységi (3-15 cm-ig) mintavételi pontot választottunk. (12.ábra) Így összesen 24 furatmintát és 8 darabos vizsgáltunk. A Porothersm falazóelemek kivételével minden esetben útvefűréssal készítettük a furatokat. A pormintákat jelkóddal elláttuk a falazatok és pozíciójuk szerint: S – Silka (mészhomok), P – Porothersm (vázkerámia), K – nagyméretű téglá (égetett agyag), Y – Ytong (pórusbeton), A – alsó pont, F – felső pont, B – bal oldali, J – jobb oldali, 0-3 – felületi fűrás, 3-15 – mélységi fűrás. (13.ábra)

A mintavételt megelőzően a mérési pontokon a roncsolásmentes műszerek (Trotec T610 és T660) vizsgálati értékeit lejegyeztük, így azok a labormérések eredményeivel összeegyeztethetők.



12. ábra: Mintavételi helyek sémája

SILKA	YTONG
S A B 0-3	Y A B 0-3
S A B 3-15	Y A B 3-15
S A J 0-3	Y A J 0-3
S A J 3-15	Y A J 3-15
S F B 0-3	Y F B 0-3
S F B 3-15	Y F B 3-15
S F J 0-3	Y F J 0-3
S F J 3-15	Y F J 3-15
PTH	NAGYMÉRETŰ
P A B 0-3	K A B 0-3
P A B 3-15	K A B 3-15
P A J 0-3	K A J 0-3
P A J 3-15	K A J 3-15
P F B 0-3	K F B 0-3
P F B 3-15	K F B 3-15
P F J 0-3	K F J 0-3
P F J 3-15	K F J 3-15

13. ábra: Furatminták jelkódjai

Vettünk mintát a töltővízből is (minden kádából), így azok pH-értékéből igazolható a kellően semleges kémhatás.



14. ábra: Furatporok oldatai



15. ábra: NO₃⁻ tartalom mérés



16. ábra: AgNO₃ adagolás



17. ábra: K₂CrO₄ adagolás

A pormintákat szabványos só- és nedvességvizsgálatai laborméréseknek vetettük alá. (14., 15., 16., 17. ábra) A nedvességtartalmat MSZ 21470-2:1981 Környezetvédelmi talajvizsgálatok szabvány, az összes sótartalmat MI-04-320:1992 Átnedvesedett falak vizsgálata műszaki irányelv, szulfácion, kloridion tartalmat MSZ 448-13-82 Ivóvízvizsgálat szabvány, nitrácion tartalmat MI-04-88-5-82 Agresszív közegek vizsgálata szilárd anyagok, talajok műszaki irányelv alapján végeztük. **2023.10.06-án** további

következtetések levonásához megismételtük a vizsgálatot az injektált vízzár kivitelezése után. Ezáltal összesen reprezentatív mennyiségű **64 minta** só- és nedvességvizsgálatát végeztük el. (3) (4) (5) (6)

4.3. Különböző oldatokkal telített anyagok nedvességmérő műszeres mérése

2023.08.15. és **2023.08.17.** között elsőként szárítószekrényben 65 °C hőmérsékleten tömegállandóságig szárítottunk, majd helyszíni körülmények között telítettünk 2-2 db nagyméretű tömör téglá (6,5x6,5x6,5 cm) és Ytong (10x10x10 cm) mintakockákat 2 óra, majd ezt követően 48 óra hosszáig a következő folyadékokkal:

- csapvíz
- NaCl-dal túltelített csapvíz
- Remmers Kiesol kovasavészter bázisú, póruszűkítő és hidrofobizáló koncentrátum (a tömör anyagú mintafalak esetében az injektált vízzár elkészítéséhez használt injektálószer, sűrűsége a vízéhez hasonló: kb. **1,15 g/cm³**)

Mindkét telítettségi állapot elérése után (18.ábra) a nedvességmérő műszerekkel mérést végeztünk, majd ezeket diagramokon ábrázoltuk. Fontos megemlíteni, hogy a mintakockákon való használat mellett Trotec T610 mikrohullámú, reflexiós elv alapján mérő műszer alkalmazástechnikájának (5.1.4. fejezetben taglalt alkalmazási korlátok) nem tudtunk megfelelni, ezért 4.4. pontban részletezett módon, egymás mögé helyezve a kockákat végeztük a méréseket. Ezek után az átitatott mintakockákat hagytuk száradni és a kikristályosodott felületen is végeztünk méréseket. (19.ábra)



18. ábra: Oldatok vizsgálata (csapvíz – NaCl oldat – injektálószer)



19. ábra: Felületi sószakáll hatása a mérési eredményekre

4.4. Mintakockákon végzett vizsgálatok

2023. szeptemberben a falazóelemekből kimunkáltunk fajtánként 3-3 db mintát. A vázkerámia 11x11x11 cm, a pórusbeton 10x10x10 cm, a mészhomok 8x8x8 cm és a bontott nagyméretű tömör téglából 6,5x6,5x6,5 cm közelítő méretekkkel. A falazóhabarcsból Hägermann sablonba kiöntött 4x4x16 cm befoglaló méretű mintadarabokat készítettünk.

Elsőként szárítószekrénybe tettük a mintadarabokat 65 °C hőmérsékletre és 24 óra eltéréssel végzett kontrollmérés után tömegállandóságot mértünk, ezzel megállapítva a mintakockák száraz tömegét. (7) Majd ezt követően klímakamrába helyeztük a mintadarabokat (20.ábra) és az egyes légállapotokon (meghatározott relatív páratartalom és léghőmérséklet) (2.táblázat) 24 óra eltéréssel végzett kontrollmérés után tömegállandóságot mértünk, azaz meghatároztuk az egyes pontokon mért nedvességfelvételét az anyagoknak. (2) A tömegmérések mellett vizsgáltuk a roncsolásmentes műszerek (Trotec T610 és T660) mérési eredményeit is ez egyes légállapotoknál.

No.	T (°C)	RH (%)
1	23	33
2	23	53
3	23	75
4	23	85
5	23	93

2.táblázat: Klímakamra légállapot határozói (2)

Elvégeztük a szabványos fokozatos telítési vizsgálatot a kockákon, miszerint 2 órán keresztül 1/3 magasságig, majd 2 órán keresztül 2/3 magasságig árasztottuk el vízzel (21.ábra), ezt teljes vízbemerítés követte 48 órán át. Az idő leteltével, a tömegek lemerésével meghatározható a szabvány szerinti szabad vízfelvétel (w_f). (7) Ez nem egyezik meg az anyagok tényleges, maximális szabad vízfelvételével, hosszabbtávú telítéssel nagyobb nedvességfelszívódás érhető el. A lehető legnagyobb telítési értékeket (w_{max}) légritka térben lehet elérni, ennek okán a nedves mintákat vákuum-exszikkátorba helyeztük (a vákuumedény illesztéseinél vákuumzsírt alkalmaztunk a szivárgás elkerülése végett), majd cca. 65 Hgmm nyomáskülönbséget hoztunk létre szivattyúval az edény belsejében. (22.ábra) Ezt követően a vákuumtérbe vizet engedtünk, olyan magasságig, hogy a mintadarabokat teljesen ellepje a folyadék, így a próbatestek nyílt pórusainak légtelenítésével nagyobb pórustérfogat adott a nedvesség fogadására. Ezt a légritkított állapotot 24 óráig tartottuk fenn; majd további 24 óráig légköri nyomáson, víz alatt tároltuk a mintadarabokat, így többlet kényszer éri az anyagot a vízfelvételre, ezáltal a mért tömegekből meghatározható a maximális vízfelvétel. A laborhelyiség hőmérséklete $T=21\pm 2^\circ\text{C}$ volt a vizsgálat időtartama alatt. Ezeknél a vizsgálatoknál is tömegmérések mellett szintén jegyzőkönyveztük a roncsolásmentes műszerek mérési eredményeit. (23.ábra)



20. ábra: Mintakockák klímakamrában 21. ábra: Fokozatos telítés 22. ábra: Vákuum-exszikkátor 23. ábra: Trotec T510 mérés

Fontos megemlíteni, hogy a mintakockákon való használat mellett a műszerek alkalmazástechnikai útmutatói szerint a Trotec T660 kapacitív elv alapján mérő műszer hitelesnek tekinthető eredményeket adott, azonban a Trotec T610 mikrohullámú, reflexiós elv alapján mérő műszer alkalmazástechnikájának (5.1.4. pontban taglalt alkalmazási korlátok) nem tudtunk megfelelni teljeskörűen. Annyival enyhítettünk a mérési eredményekbe bevitt hibán, hogy az útmutatóban leírt mérési mélységet (20-30 cm) a mintakockák egymás mögé helyezéssel biztosítottuk, azonban az érintkezési felületet (min. 20 cm-es átmérőjű kör) nem tudtuk biztosítani.

Az így kapott eredményekből felvázolható az anyagok teljes szorpciós izoterma diagramja. Mindemellett ugyanezen (relatív nedvességtartalom - vízfelvétel) függvényen ábrázolható a műszerek -adott pontokhoz rendelhető- saját értékei, így meghatározható, hogy adott műszer mérési értékhez milyen nedvességtartalom tartozik.

A következőkben a telítettséget az ezen vizsgálatból kapott telítési vízfelvételből számítottuk a következő képlet segítségével (9):

$$S = \frac{w_i}{w_{max}} [\%]$$

ahol,

w_i az adott minta nedvességtartalma [m%]

w_{max} az adott anyag telítési vízfelvétele [m%]

5. Nedvességvizsgáló műszerek objektív értékei

5.1. Nedves falak vizsgálati lehetséges módszerei

5.1.1. Hőkamerás lokalizáció

A hőkamera által kibocsátott infravörös tartományú elektromágneses hullámok detektálja a felületen a hőenergia különbségeket, ezt egy ún. termovíziós kép formájában vetíti elénk. Az átnedvesedett anyag alacsonyabb felületi hőmérsékletéből lokalizálhatjuk a nedvességeloszlás formáját, de nedvességtartalom becslésre nem alkalmas, inkább csak a mintavételi pontok meghatározására lehet alkalmas.

5.1.2. Mintavételes labormérések (Darr-eljárás)

Furatport vagy darabos mintát nyernek a helyszínen a falból, majd labormérések során a nedves és száraz tömeg különbségéből meghatározzák a bemért anyag nedvességtartalmát. Ezen eljárás pontos képet ad a nedvességről, de hosszas, laboránsok által végzett vizsgálatokra van szükség.

5.1.3. CM (Kalcium-karbidos) mérés

A mérés során mintavételezünk anyagot a kívánt felületből, majd ezt egy acélpalackba helyezve (törő acélgolyókat és) nedvességre érzékeny kalcium-karbid kapszulát helyezünk. A CaC_2 reagál az anyag nedvességével és gázt fejleszt, ezen nyomás a gáztörvény összefüggései alapján visszavezethető a manométeren leolvasott nedvességtartalom értékeire. A technológia leginkább az aljzatbetonok visszamaradó nedvességének mérésére használatos.

5.1.4. Elektromos, roncsolásmentes nedvességmérő eszközök

Az épületdiagnosztikában igen elterjedt ezen műszerek alkalmazása, annak egyszerűsége és gyorsasága okán. Jellemzően három mérési elv alapján sorolhatók be az eszközök (egyben kutatási műszereink):

Kapacitív mérőműszer (Trotec T660)

A szakmagyakorlók között a leginkább elterjedt mérési technológiájú, roncsolásmentes műszer, felületi nedvességmérésre. A kapacitív mérési metódus a kondenzátorok működési elvén alapul. A műszer fém gömbfejű végében egy kondenzátor működése (alapjelű feszültségen) lép életbe, a különböző felületek érintésével, ezáltal az érintett anyag dielektromos állandója (relatív permittivitása) változtatja a kondenzátor kapacitását, mely egy vonatkozó skálán értéket rendel mellé a kijelzőn.

A dielektromos állandó (DK), az anyagok elektromos mezővel való kölcsönhatását, annak áteresztő képességét jellemző mennyiség. A víz DK értéke 80, míg a legtöbb szilárd építőanyag DK értéke cca. 2-10 közé esik. Ezen nagy permittivitásbeli különbség teszi lehetővé, a kapacitív nedvességmérési elv lehetőségét. A műszer alkalmazási korlátai, mérési értékeket befolyásoló tényezők:

- max. 40 mm mélységig érzékeli a mérendő anyag átnedvesedésének mértékét
- 20 mm-nél vékonyabb anyagok nem mérhetők biztonsággal
- a mérési pont a saroktól, szélektől min. 8 cm-re lehet
- száraznak tekinthető 40 érték alatt, nedvesnek 40-80 és vizesnek 80-200 között az anyag a műszer alapján (egy általános falazati anyag esetén)
- az esetleges fém elemek teljesen torzíthatják a mérést

Megjegyzés: a mérési eszköz kezelési útmutatója nem tér ki a nedvesség összetételére, az oldott sók jelenlétének befolyásolására.

Mikrohullámú mérőműszer (Trotec T610)

Az szakmai gyakorlatban elterjedtebb felületi nedvességmérő eszközökkel ellentétben ez a műszer mélységi mérésre alkalmas. A működési elve, hogy elektromágneses hullámokat bocsájt ki, amik az építőanyagon keresztül terjednek és visszaverődnek. Mérési elve pedig a víz dielektromos tulajdonságain alapul. A kibocsátott hullámok és a visszavert hullámok aránya függ a dielektromos veszteségektől, így a csökkenés egy nedves anyagban sokkal több lesz, mint egy száraz anyagban (arányosan a nedvesség mennyiségével), ezáltal a visszavert hullámok arányában megállapítható az átnedvesedés mértéke.

A műszer alkalmazási korlátai, mérési értékeket befolyásoló tényezők:

- átnedvesedéstől függően 20-30 cm mélységig érzékeli a mérendő anyag által visszavert hullámokat (a maximális behatolási mélység jelentősen csökken, ha a felszínközeli terület át van itatva)
- a felülethez közeledve a befolyásolás súlya nagyobb, mint a felülettől az anyag belseje felé haladva
- a mérési értékek függetlenek a falazat sótartalmától, vagy bármilyen a falazatban lévő nedvesség vezetőképességétől (mivel a kibocsátott elektromágneses hullám frekvenciájának növekedésével (>1 GHz) elhanyagolhatóak ezeknek a hatásai a dielektromos veszteségekkel szemben)
- a mérendő anyag oldalhatáraitól min. 10 cm-es távolságot kell tartani

Megjegyzés: a műszer figyelmen kívül hagyja, hogy egy higroszkópos sók által visszanedvesített felület torzíthatja (a behatolási mélység csökkentésével) az eredményeket.

Ellenállás elvű mérőműszer (Trotec T510)

Az ilyen mérési alapú mérőműszerek használata leginkább fa nedvességmérések irányában terjedt el, de alkalmazható szilikát szerkezetek esetén is. A műszer elektromos áramot vezet át az anyagon keresztül, az elektródákon át. A nedvességtartalom függvényében változik az anyag elektromos vezetőképessége, a nagyobb nedvességfelvételhez kisebb elektromos ellenállás tartozik, így a rendszeráram veszteségéből számol nedvességet egy független skálán. Az eszköz nem csak direkt mérőtűkkel alkalmazható, kábeles hosszabbítással közvetett mérés is végezhető.

A műszer alkalmazási korlátai, mérési értékeket befolyásoló tényezők:

- a mérési pont a saroktól, szélektől min. 3 cm-re lehet
- az oldható sók jelenléte befolyásolja a mérési eredményeket

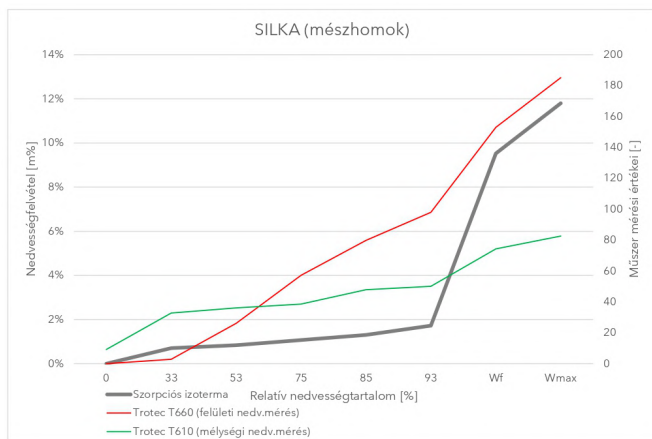
5.2. Vizsgálatok eredményei és értékelése

A vizsgálataink lényege, hogy helyszíni szemrevételezés alatt a műszerek értékeit leolvastva ne csak viszonyszámokat lássunk, hogy hol számíthatunk több-kevesebb nedvességre, hanem be tudjuk sorolni bizonyos határok közé, hogy amit látunk, milyen m%-ban (vagy kg/m³-ben) kifejezett nedvességtartalom értéknek vagy telítettségeknek felel meg. Továbbá tisztább képet szerettünk volna kapni arról, hogy a mért értékek változása milyen nedvességeloszlást tükröz, valamint milyen - a falazat belsejében lezajló – folyamatokról szolgáltat információt.

A vizsgálat eredményeképpen egy diagramon ábrázoltuk az adott bevizsgált anyag szorpciós izotermáját, valamint a nedvességmérő műszerek által mért értékeket. Jól láthatóan a műszerek által mért értékek általánosságban lekövetik a nedvességtartalom értékeket. A közölt diagramok alapján szabtuk intervallumokat, amelyek határai között az egyes függvények lineárisnak tekinthetők, abból a célból, hogy ezen tartományokban könnyen át tudjuk számolni a nedvességtartalmakat a mért értékek alapján. Ez az egyszerűsítés főképp a 0-93%-os relatív páratartalom értékek között felvett nedvességtartalom

értékek tartományában torzít, ahol a nedvességfelvétel olyan alacsony telítettségi érték alatt van, hogy az esetleges átszámítási hibák nem vonnak maguk után káros következményeket. (24-27.ábra; 3-6. táblázat)

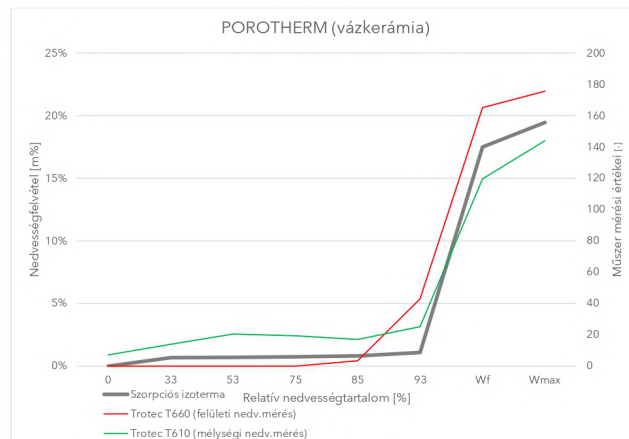
A falazóanyagokra viszonyítva a Trotec T510 műszer nem szolgál nekünk nedvességfelvételi vagy telítettség értékkel (csupán habarcsban van szenzor), így az ebből kapott átszámítási táblázat alapján csak a habarcs telítettségét tudnánk meghatározni, ami fajlagosan kevésbé mértékadó egy falazatra viszonyítva. Ennek ellenére a habarcsmintákon végzett mérések mutatják, bizonyítják, hogy az ellenállás elven működő Trotec T510 műszerrel történő szenzoros mérés értékei is arányosak a habarcs telítettségével. (28.ábra)



24. ábra: Mészhomok téglá sorpciós izotermája és a hozzá tartozó mérési értékek

SILKA	Trotec T610 [-]	Nedvességtartalom [m%]
	9 - 50	0 - 1,7
	50 - 74	1,7 - 9,5
	74 - 83	9,5 - 11,8
SILKA	Trotec T660 [-]	Nedvességtartalom [m%]
	0 - 97	0 - 1,7
	97 - 153	1,7 - 9,5
	153 - 188	9,5 - 11,8

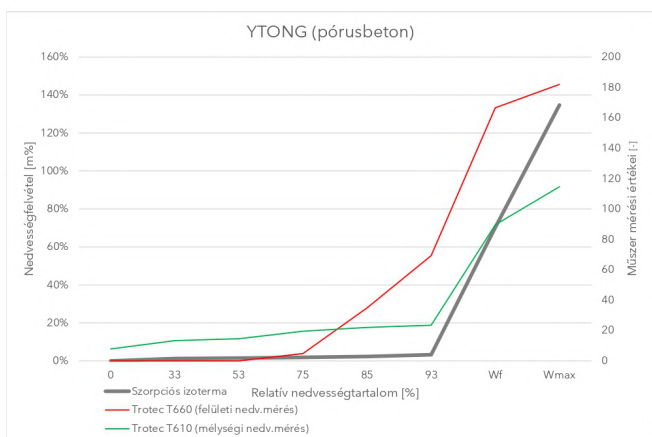
3. táblázat: Mészhomok téglán mért értékek átszámítási táblázata



25. ábra: Vázkerámia falazóblokk sorpciós izotermája és a hozzá tartozó mérési értékek

PTH	Trotec T610 [-]	Nedvességtartalom [m%]
	7 - 25	0 - 1,1
	25 - 120	1,1 - 17,5
	120 - 144	17,5 - 19,5
PTH	Trotec T660 [-]	Nedvességtartalom [m%]
	0 - 43	0 - 1,1
	43 - 165	1,1 - 17,5
	165 - 186	17,5 - 19,5

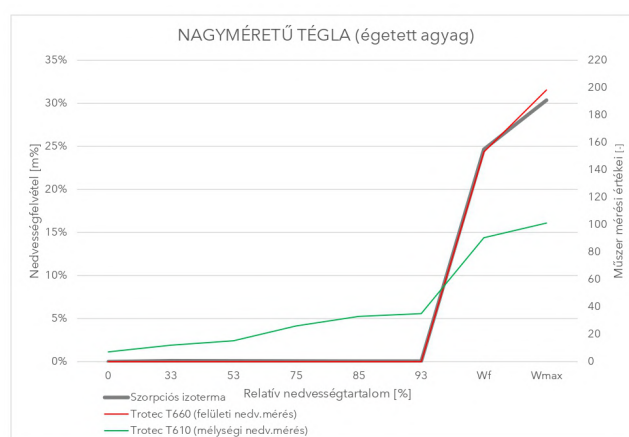
4. táblázat: Vázkerámia falazóblokkon mért értékek átszámítási táblázata



26. ábra: Pórusbeton falazóelem sorpciós izotermája és a hozzá tartozó mérési értékek

YTONG	Trotec T610 [-]	Nedvességtartalom [m%]
	0 - 23	0 - 3,2
	23 - 90	3,2 - 70,0
	90 - 115	70,0-134,7
YTONG	Trotec T660 [-]	Nedvességtartalom [m%]
	8 - 69	0 - 3,2
	69 - 167	3,2 - 70,0
	167 - 189	70,0-134,7

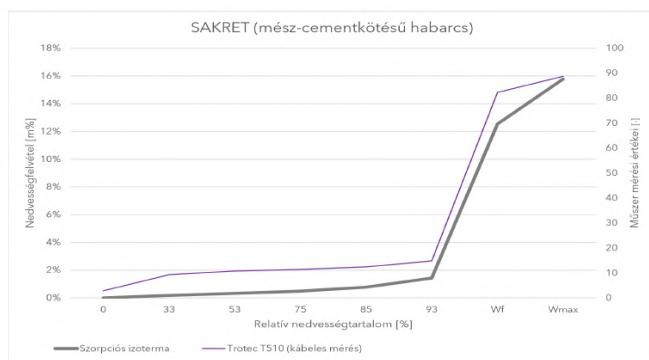
5. táblázat: Pórusbeton falazóelemen mért értékek átszámítási táblázata



27. ábra: Nagyméretű tömör téglá sorpciós izotermája és a hozzá tartozó mérési értékek

NAGYMÉRETŰ TÉGLA	Trotec T610 [-]	Nedvességtartalom [m%]
	0 - 35	0 - 0
	35 - 91	0 - 24,7
	91 - 101	24,7 - 30,4
NAGYMÉRETŰ TÉGLA	Trotec T660 [-]	Nedvességtartalom [m%]
	7 - 153	0 - 24,7
	153 - 200	24,7 - 30,4

6. táblázat: Nagyméretű tömör téglán mért értékek átszámítási táblázata



SAKRET	Trotec T510 [-]	Nedvességtartalom [m%]
	3 - 15	0 - 1,4
	15 - 82	1,4 - 12,5
	82 - 89	12,5-15,8

28. ábra: Mész-cement kötész habarcs szorpciós izotermája, a hozzá tartozó mérési értékek és az átszámítási táblázat

Miután a laborban a mintakockákban végzett vizsgálatok alapján meghatároztuk az átszámítási táblázatokat, ellenőriztük, hogy ezek milyen mértékben, milyen határokon belül tekinthetők biztonsággal alkalmazhatónak egy valós szituációban, helyszíni szemrevételezés során. Majd összevetettük a mintakockákban mért eredményeket a felépített mintafalakon - amik a lehető legjobban mintázzák egy tisztán kapillárisan felszívódó nedvességforrásból átnedvesedett fal helyzetét – mért eredményekkel, így a különféle mérés technikákat összevetettük ellenőrzésként.

SILKA			PTH			YTONG			NAGYMÉRÉ		
Mintavétel pozíciója	Telítettség [%]	Mérési értékek	Mintavétel pozíciója	Telítettség [%]	Mérési értékek	Mintavétel pozíciója	Telítettség [%]	Mérési értékek	Mintavétel pozíciója	Telítettség [%]	Mérési értékek
SFJ 0-3	11%	52,3	PFJ 0-3	17%	3,6	YFJ 0-3	3%	17,5	KFJ 0-3	1%	27,8
SFB 0-3	22%	161,8	PFB 0-3	20%	36,6	YFB 0-3	3%	15,3	KFB 0-3	1%	66,7
SAJ 0-3	90%	158,7	PAB 0-3	87%	175,5	YAJ 0-3	47%	95,2	KAJ 0-3	69%	200,0
SAB 0-3	99%	195,6	PAJ 0-3	88%	181,4	YAB 0-3	48%	131,7	KAB 0-3	69%	200,0
SFJ 3-15	12%	42,4	PFJ 3-15	47%	14,1	YFJ 3-15	5%	16,8	KFJ 3-15	1%	30,8
SFB 3-15	14%	46,8	PFB 3-15	60%	26,8	YFB 3-15	5%	14,9	KFJ 3-15	2%	30,5
SAJ 3-15	96%	73,2	PAB 3-15	89%	88,6	YAJ 3-15	52%	79,5	KAJ 3-15	67%	80,5
SAB 3-15	98%	72,7	PAJ 3-15	89%	83,2	YAB 3-15	52%	83,5	KAB 3-15	82%	85,5

SILKA			PTH			YTONG			NAGYMÉRÉ		
Mintavétel pozíciója	Telítettség [%]	Mérési értékek	Mintavétel pozíciója	Telítettség [%]	Mérési értékek	Mintavétel pozíciója	Telítettség [%]	Mérési értékek	Mintavétel pozíciója	Telítettség [%]	Mérési értékek
SFJ 0-3	10%	103,0	PFJ 0-3	10%	39,9	YFJ 0-3	3%	20,1	KFJ 0-3	7%	190,7
SFB 0-3	12%	104,3	PFB 0-3	21%	36,3	YFB 0-3	3%	20,3	KFJ 0-3	8%	200,0
SAJ 0-3	54%	163,2	PAB 0-3	81%	158,6	YAJ 0-3	40%	82,9	KAB 0-3	66%	200,0
SAB 0-3	66%	175,0	PAJ 0-3	82%	175,5	YAB 0-3	45%	93,7	KAJ 0-3	98%	200,0
SFJ 3-15	12%	38,9	PFJ 3-15	27%	14,6	YFJ 3-15	5%	16,2	KFJ 3-15	5%	51,3
SFJ 3-15	14%	41,4	PFB 3-15	39%	21,1	YFB 3-15	5%	16,5	KFB 3-15	5%	43,5
SAJ 3-15	66%	62,2	PAB 3-15	84%	88,2	YAB 3-15	48%	72,2	KAB 3-15	81%	76,1
SAB 3-15	68%	67,5	PAJ 3-15	85%	81,7	YAJ 3-15	49%	75,9	KAJ 3-15	85%	92,3

SILKA			PTH			YTONG			NAGY-MÉRÉ		
Trotec T610 [-]			Trotec T610 [-]			Trotec T610 [-]			Trotec T610 [-]		
9 - 50			7 - 25			0 - 23			7 - 35		
50 - 74			25 - 120			23 - 90			35 - 91		
74 - 83			120 - 144			90 - 115			91 - 101		
Telítettség [%]			Telítettség [%]			Telítettség [%]			Telítettség [%]		
0 - 14,4			0 - 5,6			0 - 2,3			0		
14,4 - 80,5			5,6 - 89,7			2,3 - 52,0			0 - 81,2		
80,5 - 100,0			89,7 - 100,0			52,0 - 100,0			81,2 - 100,0		

SILKA			PTH			YTONG			NAGY-MÉRÉ		
Trotec T660 [-]			Trotec T660 [-]			Trotec T660 [-]			Trotec T660 [-]		
0 - 97			0 - 43			0 - 69			0 - 153		
97 - 153			43 - 165			69 - 167			153 - 200		
153 - 188			165 - 186			167 - 189					
Telítettség [%]			Telítettség [%]			Telítettség [%]			Telítettség [%]		
0 - 14,4			0 - 5,6			0 - 2,3			0 - 81,2		
14,4 - 80,5			5,6 - 89,7			2,3 - 52,0			81,2 - 100,0		
80,5 - 100			89,7 - 100,0			52,0 - 100,0					

	A telítettség megfelel annak, amennyit az átszámítási táblázatból kapnánk	
	Alacsonyabb a telítettség, mint amennyit az átszámítási táblázatból kapnánk	
	Magasabb a telítettség, mint amennyit az átszámítási táblázatból kapnánk	

7. táblázat: Mintafalak furatporokból mért telítettség értékei felületi és mélységi mintavételekre osztva – átszámítási táblázat

A 4.2. pontban ismertetett vizsgálat szerint a mintavételek helyein alkalmaztuk a felületi (Trotec T660) és a mélységi (Trotec T610) roncsolásmentes nedvességmérő műszereket. A felületen mért értékekkel a 0-3 cm-es mélységben vett minták nedvességtartalmai, a mélységi méréssel kapott értékekkel pedig jó közelítéssel a 3-15 cm-es vett minták hozhatók párhuzamba. (7.táblázat) (függelék: 27. oldal)

Az átszámítási táblázatok intervallumai és a valós szituációt modellező falakból vett furatmintákból adódó nedvességtértek összevetései alapján a következő észrevételeket tettük:

- általánosságban elmondható, hogy műszerek által adott értékeknek **nagy a szórása**
- a két nedvességtartalom vizsgálat adatai alapján kimondható, hogy a műszerek legfőképpen a **93% relatív páratartalom felett**, a kapilláris kondenzáció tartományában mérnek **pontosan**

- ezen tartományban ($93\% - w_f - w_{\max}$) a határok között linearitást feltételezve és interpolálva az itt felvett értékek között, a szorpció izoterma konvexitása miatt a **biztonság javára** tévedünk, ha az **átszámítási táblázatot** használjuk
- telítettségre levetítve a **közepesen nedves; erősen nedves; vizes** kategóriában nagy **biztonsággal** alkalmazhatóak a műszerek (8.táblázat)

Nedvességi fokozatok	Telítettség
légszáraz	< 20%
kissé nedves	20-40%
közepesen nedves	40-60%
erősen nedves	60-80%
vizes	>80% feletti

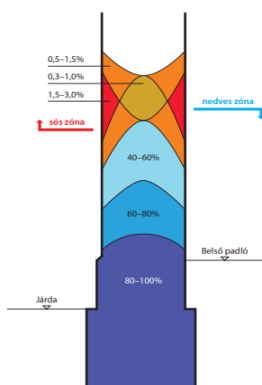
8. táblázat: Furatminták nedvességi fokozatai (10)

Megjegyzés: Pontosítható lenne a táblázat 93 - 100%-os relatív páratartalom értékek mellett felvett nedvességtartalmak meghatározásával, hiszen a porózus anyagok ezen tartományban jelentős nedvességet vesznek fel, azaz ezen intervallumon célszerű több mérési pontot beiktatni a klímakamrában.

A 4.1. pontban ismertetett vizsgálatok alapján a mintafalakon hónapokon át tartó monitorozást végeztünk. Ezzel vizsgáltuk a műszerek hatékonysága mellett a kapilláris felszívás folyamatát, valamint az injektálás hatásait a falra. Azt, hogy ezek a mérési értékek mennyiben adtak valós képet a falakban zajló jelenségekről, a fentebb taglalt két vizsgálat (furatminta laborvizsgálata, szorpciós izoterma – átszámítási táblázat) támasztja alá. Ezen mérések a laborvizsgálathoz képest ugyan pontatlanabb értéket adnak, viszont a falazatban a nedvességeloszlásról egy egységes, tendenciát követő képet alkotnak. (függelék: 1-15. oldal)

Az átszámítási táblázatok és a furatminták nedvességtartalmainak vizsgálata alapján a következő észrevételeket tettük:

- a Trotec T510 **ellenállás alapú** műszer mutatja a **legkisebb szórást** az egyes mérések között, értelemszerűen a szenzorok kötött pozíciója, illetve a működési elvének köszönhetően
- a Trotec T510 műszeren tisztán **látszik a nedvességeloszlás** a különböző magasságokban és mélységekben: a falközépre beépített szenzorok rendre magasabb értéket mutatnak, mint a felület közelében beépített szenzorok, természetesen habarcshezagonként felfelé is csökken a telítettség, ez alátámasztja a kapilláris felszívással nedvesedő fal nedvességeloszlásáról szóló ismereteinket (29.ábra)



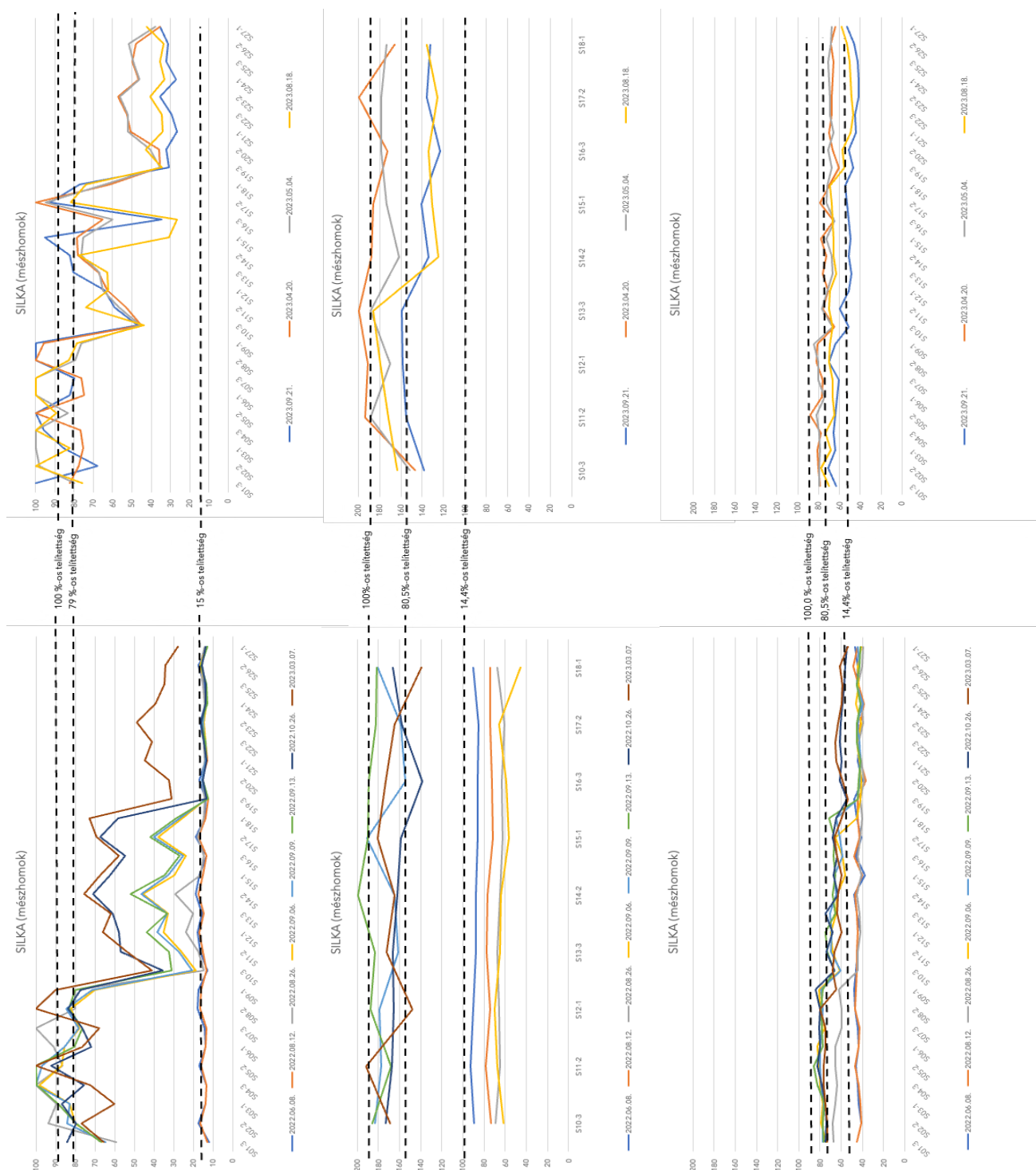
29. ábra Kapilláris felszívódásból nedvesedő fal só- és nedvességeloszlása (10)

- azonban a falazat **inhomogenitása** (vízszintes és függőleges habarcshezagok kitöltöttsége) nagymértékben **torzíthatja** ezt az elvi eloszlást (függelék:17.oldal)
- az egyes műszereket összevetve látható, hogy a **habarcs telítettsége** és a **falazóanyag telítettsége nem** tekinthető minden esetben **azonosnak**, változó mintafalanként, hogy a

falazóelem vagy a habarcs telítődik-e előbb (Trotec T510- habarcs, Trotec T660 és T610-falazóanyag)

- helyszíni **vizsgálatok** során meg tudjuk állapítani, hogy amennyiben lentől felfelé haladva méréseket végzünk, ezeket összevetjük a grafikonokkal, táblázatokkal; megbizonyosodhatunk, hogy **tisztán kapilláris** felszívás útján veszi-e fel a nedvességet a falazat (tehát ezáltal belátható, hogy nem csőtörésből, függőleges falszigetelés hibájából, stb. adódik a nedvességtérhelés)
- nagy **biztonsággal** és **gyorsan** képet kaphatunk a nedvesedő falak **telítettségéről**, ezzel a beavatkozások geometriai paramétereit is pontosabban tudjuk megváltoztatni (30.ábra)

Megjegyzés: Porotherm falnál az injektálás a szonorsor zónájába esik, így azok hitelesen további nedvességtérhelés alatt állnak, melyet a vonatkozó ábrák is alátámasztanak (függelék: 3.oldal)



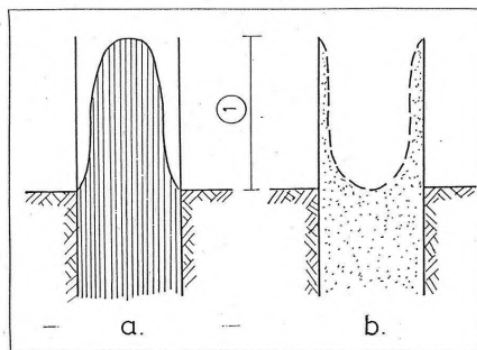
30. ábra: Mészhomok mintafal mérési eredményei injektálás előtt (bal oszlop) és utána (jobb oszlop), Trotec T510 (első sor), Trotec T660 (második sor) és Trotec T610 (harmadik sor)

6. Átnedvesedett falak száradási folyamatai

6.1. Sók építéskémiai alapjai

Pórusos építőanyagainkba a felszívódó nedvesség hatására a talajból nem csupán víz, hanem különböző vízzel oldható sók is bekerülnek. Akár szerves anyagok bomlása során (nitrit, nitrátok), az eső által a levegőből kioldott kéntartalom miatt (szulfátok), az utak téli sózásából fakadóan (kloridok), többféle vegyület elegyedhet a talajban lévő nedvességgel. Mindazonáltal nem csak a talajból, de a falak, falazatok anyagából, az esővízből és egyéb forrásokból is kioldódhatnak különféle sók. (7)

Esetünkben a kapilláris felszívódással nedvesedő falakban a sók folyamatos nedvességgel való áramlása és a fal felületi párolgása miatt a felületközeli zónákban jellemző sófeldúsulás történik. (31.ábra):



31. ábra: Talajból felszívódó nedvesség (a) és sótartalom (b) eloszlása talajszint fölött, azonos falazatban (26)

Ezen sók falazatba való bekerülésük után több módon is károsíthatják a falazatot:

Kristályosodási nyomás: Az oldható sók káros hatása az oldhatóságukra és a vízfelvevő képességükre vezethető vissza. A nedvesség hatására a falazatba transzportált sók későbbi kiszáradásuk közben a kristályvíz (olyan víz, amely a kristályos anyagok kristályszerkezetébe épül be) megkötése mellett kristályosodnak ki, ezáltal (függően az adott só által megkötni képes vízmolekulák számától) térfogatnövekedést szenved el, amely, ha azt a pórustérfogat gátolja, nyomást fejt ki a pórusfal oldalára.

Hidratációs nyomás: Olyan esetben alakul ki, ha a kikristályosodott sóban a kristályvíz aránya megváltozik, tehát újabb vízmolekulákat vesz fel.

Nedvesség visszatartása (száradás lassítása): A sóoldatok jelenléte csökkenti a falazatban létrejövő párányomást, ezzel jelentősen lassítva a párolgás, és ezáltal a száradás folyamatát.

Kémiai korrózió: A teljesség igénye nélkül ide soroljuk az ettringit- vagy taumazitképződést (szulfát és cement jelenlétében jöhet létre, mintafalaink esetében csak a habarcsban) valamint a mésztelenítést.

Higroszkópos nedvességfelvétel: A száradás következtében kikristályosodott sók közül bizonyos sók (legfőképpen a nitrátok és kloridok) a levegő páratartalmából is képesen nedvességet felvenni, ezáltal a kapilláris felszívódás forrásától független helyen is

A fentiek miatt látható, hogy a legtöbb esetben a nedvességállapotváltozás (párolgás, vízfelvétel, kiszáradás) ciklikussága révén károsítanak az oldható sók. Az ezekből adódó kristályosodási és hidratációs nyomás sokszorosa lehet a falazataink és kötőanyagaik húzószilárdságának, ezáltal málláshoz és tönkremenetelhez vezetnek.

6.2. Falazatok sóvizsgálati eredményei és értékelése

A szabványos só és nedvességvizsgálat eredményeit táblázatba gyűjtve közöljük. (9.táblázat)

INJEKTÁLT VÍZZÁR KIVITELEZÉSE ELŐTT								
Jel	Nedve ség	pH	NO2	NO3 [m%]	Cl [m%]	SO4 [m%]	Össz [m%]	Telítets ég
SAB 0-3	11,64	10,2	-	0,0000	0,0000	0,0281	0,3410	98,65
SAB 3-15	11,51	10,3	-	0,0000	0,0000	0,0233	0,3106	97,55
SAJ 0-3	10,66	10,0	-	0,0000	0,0093	0,0468	0,4426	90,34
SAJ 3-15	11,28	10,3	-	0,0000	0,0147	0,0443	0,5014	95,60
SFB 0-3	2,61	9,6	-	0,0000	0,0430	0,0264	0,4610	22,13
SFB 3-15	1,62	10,0	-	0,0000	0,0093	0,0306	0,4740	13,72
SFJ 0-3	1,26	10,0	-	0,0000	0,0091	0,0458	0,5284	10,68
SFJ 3-15	1,38	10,4	-	0,0000	0,0429	0,0312	0,6403	11,67
PAB 0-3	16,92	9,6	-	0,0000	0,0171	2,3161	3,7640	87,00
PAB 3-15	17,30	9,5	-	0,0000	0,0046	1,4139	1,9135	88,94
PAJ 0-3	17,13	9,5	-	0,0000	0,0095	1,4955	2,2347	88,06
PAJ 3-15	17,32	9,6	-	0,0000	0,0232	0,0187	1,9708	89,03
PFB 0-3	3,83	9,5	-	0,0000	0,0416	1,3604	1,5635	19,69
PFB 3-15	11,68	9,4	-	0,0000	0,0139	1,2672	2,3068	60,06
PFJ 0-3	3,32	9,6	-	0,0000	0,0093	1,3801	2,1688	17,07
PFJ 3-15	9,17	9,7	-	0,0000	0,0235	1,4072	2,3479	47,16
YAB 0-3	64,09	9,4	-	0,0000	0,0089	2,7077	4,9454	47,58
YAB 3-15	69,58	9,6	-	0,0000	0,0050	2,0448	3,4932	51,66
YAJ 0-3	63,25	9,5	-	0,0000	0,0103	2,8044	4,9373	46,96
YAJ 3-15	69,57	9,8	-	0,0000	0,0000	1,2684	2,9781	51,66
YFB 0-3	4,59	9,9	-	0,0000	0,0132	1,0962	2,2267	3,41
YFB 3-15	7,05	9,3	-	0,0000	0,0047	1,1332	2,1027	5,24
YFJ 0-3	4,16	10,3	-	0,0000	0,0196	0,7383	1,8800	3,09
YFJ 3-15	7,26	9,3	-	0,0000	0,0047	0,9588	2,3329	5,39
KAB 0-3	20,96	8,7	-	0,4690	0,1059	0,1043	1,4969	69,04
KAB 3-15	24,84	9,2	-	0,6190	0,3134	0,0165	2,2800	81,81
KAJ 0-3	20,93	9,7	-	0,0444	0,0788	0,0607	0,4362	68,93
KAJ 3-15	20,22	9,5	-	0,0562	0,0234	0,0965	0,4341	66,59
KFB 0-3	0,32	8,8	-	0,0000	0,0333	0,5316	1,0461	1,06
KFB 3-15	0,26	9,9	-	0,0000	0,0242	0,1537	0,4145	0,87
KFJ 0-3	0,22	9,3	-	0,0000	0,0186	0,0913	0,2102	0,73
KFJ 3-15	0,54	10,1	-	0,0000	0,0093	0,1828	0,2787	1,79

INJEKTÁLT VÍZZÁR KIVITELEZÉSE UTÁN								
Jel	Nedve ség	pH	NO2	NO3 [m%]	Cl [m%]	SO4 [m%]	Össz [m%]	Telítets ég
SAB 0-3	7,75	10,1	-	0,0000	0,0000	0,0591	0,1991	65,68
SAB 3-15	8,01	10,4	-	0,0000	0,0000	0,1610	0,1837	67,89
SAJ 0-3	6,43	10,3	-	0,0000	0,0000	0,0776	0,2012	54,50
SAJ 3-15	7,77	10,5	-	0,0000	0,0043	0,0711	0,3055	65,85
SFB 0-3	1,47	9,9	-	0,0000	0,0045	0,1191	0,3213	12,46
SFB 3-15	1,42	10,4	-	0,0000	0,0000	0,0595	0,2286	12,03
SFJ 0-3	1,18	10,1	-	0,0000	0,0097	0,0838	0,2949	10,00
SFJ 3-15	1,71	10,8	-	0,0000	0,0000	0,0630	0,1976	14,49
PAB 0-3	15,86	9,7	-	0,0000	0,0046	0,9711	1,4421	81,53
PAB 3-15	16,43	9,6	-	0,0000	0,0046	0,7727	1,5614	84,46
PAJ 0-3	16,02	9,6	-	0,0000	0,0048	0,9435	1,7738	82,35
PAJ 3-15	16,53	9,8	-	0,0000	0,0050	0,8384	1,4858	84,98
PFB 0-3	4,19	9,6	-	0,0000	0,0140	0,8818	1,7387	21,54
PFB 3-15	7,53	9,6	-	0,0000	0,0135	0,9765	1,7408	38,71
PFJ 0-3	1,93	10,0	-	0,0000	0,0417	1,5000	2,7868	9,92
PFJ 3-15	5,33	9,9	-	0,0000	0,0050	1,1131	2,0338	27,40
YAB 0-3	60,30	9,8	-	0,0000	0,0054	1,8510	3,2736	44,77
YAB 3-15	64,91	9,8	-	0,0000	0,0000	1,5992	2,7563	48,19
YAJ 0-3	54,49	9,8	-	0,0000	0,0150	1,7649	3,2488	40,46
YAJ 3-15	66,06	9,9	-	0,0000	0,0000	1,5868	2,7973	49,05
YFB 0-3	3,78	10,6	-	0,0000	0,0046	0,3789	0,8081	2,81
YFB 3-15	7,00	10,0	-	0,0000	0,0000	0,3268	0,9443	5,20
YFJ 0-3	3,38	10,6	-	0,0000	0,0000	0,2264	0,7790	2,51
YFJ 3-15	6,08	10,0	-	0,0000	0,0047	0,4729	1,1096	4,51
KAB 0-3	20,00	9,4	-	0,4371	0,0754	0,6860	2,0465	65,86
KAB 3-15	24,69	9,5	-	0,4409	0,1040	0,1126	1,4872	81,31
KAJ 0-3	29,87	10,0	-	0,0488	0,0144	0,0792	0,3380	98,37
KAJ 3-15	25,99	9,9	-	0,0471	0,0153	0,0433	0,3013	85,59
KFB 0-3	2,18	9,5	-	0,0000	0,1548	0,4060	2,9412	7,18
KFB 3-15	1,62	9,8	-	0,0000	0,0441	0,0564	0,6331	5,33
KFJ 0-3	2,43	9,5	-	0,0000	0,0976	0,1138	1,5699	8,00
KFJ 3-15	1,48	9,6	-	0,0000	0,0140	0,1251	0,3571	4,87

9. táblázat: Furatpor és darabos minták szabványos só és nedvességvizsgálatának eredményei (mintavételi helyek és mélységek jelölése 4.2. pont alapján)

Az vizsgálat eredményeit a vonatkozó irányelv szerint sószennyezettségi fokozatba soroltuk. (10.táblázat) A kritikus sók anionjai szerint pedig terhelési osztályt határoztunk meg (11.táblázat)

Sószennyezettségi fokozat	
alig sószennyezett	<0,1 tömeg%
kissé sószennyezett	0,1-0,5 tömeg%
közepesen sószennyezett	0,5-1,5 tömeg%
erősen sószennyezett	1,5-2,5 tömeg%
kiemelkedően sószennyezett	>2,5 tömeg%

10.táblázat: Sószennyezettségi fokozatok (10)

	Értékelés		
	Csekély terhelés	Közepes terhelés	Magas terhelés
Kloridok	<0,20	0,20-0,50	>0,50
Nitrátok	<0,10	0,10-0,30	>0,30
Szulfátok	<0,50	0,50-1,50	>1,50

11.táblázat: Az anionok mennyiségi fokozatai m%-ban (WTA Merkblatt 4-5-99/D alapján) (10)

6.2.1. Sóvizsgálat értékelése – injektálás előtti mintavétel

A falazatok közül az összes sótartalom alapján az pórusbeton (Ytong) és a vázkerámia (Porotherm) falazat messze meghaladja a **kiemelkedően sószennyezett** fokozat alsó küszöbértékét. Legmagasabb értékek piros téglalappal jelölve. (9.táblázat) Kritikus sók anionjai közül a legjellemzőbb a **szulfátion**, amely mértéke messze meghaladja a **magas terhelés** alsó határértékét. Legmagasabb értékek zöld téglalappal jelölve.

A mészhomok (Silka) falazat a **közepesen sószennyezett** kategóriába sorolható. Legmagasabb értékek piros téglalappal jelölve. Anionok közül a **szulfátion** a legjellemzőbb, de a **csekély terhelés** kategóriába sorolható. Legmagasabb értékek zöld téglalappal jelölve. (9.táblázat)

A nagyméretű téglafalazat az összes sótartalom alapján **erősen sószennyezett** kategóriába sorolható. A kritikus sók anionjai közül nitrátion és kloridion nagymértékben jelen van. A nitrátion meghaladja a **magas terhelés** kategóriát, így a szakértői javaslatok alapján ilyen esetben ajánlott magasabb sószennyezettségi fokozatba sorolni és aszerint megválasztani a szükséges beavatkozást.

6.2.2. Sóvizsgálat értékelése – injektálás utáni mintavétel

A száradás elősegítése érdekében a felületet a lehetőségekhez mérten mentesítettük a sókivirágzásoktól, sókristályosodásoktól 2 alkalommal, 2023.08.18-án, valamint 2023.09.21-én.

Az összes sótartalom alapján az Ytong és a Porotherm falazat továbbra is meghaladja a **kiemelkedően sószennyezett fokozat** alsó küszöbértékét, de a legmagasabb értékek kb. **1-1,5 m%**-kal csökkentek. Legmagasabb értékek piros téglalappal jelölve. (9.táblázat) Kritikus sók anionjai közül továbbra is a legjellemzőbb a **szulfátion**, amely mértéke szintén eléri, illetve meghaladja a **magas terhelés** alsó küszöbértékét, de ennek mértéke is csökkent **0,5-1 m%**-kal. Legmagasabb értékek zöld téglalappal jelölve.

A Silka falazat a **kissé sószennyezett** kategóriába sorolható. Legmagasabb értékek piros téglalappal jelölve. (9.) Anionok közül a továbbra is **szulfátion** a legjellemzőbb, de a **csekély terhelés** kategóriába sorolható. Legmagasabb értékek zöld téglalappal jelölve.

A nagyméretű téglafalazat az injektálás után az összes sótartalom alapján **kiemelkedően sószennyezett** kategóriába sorolható. Ennek hátterében a nedvességtartalom növekedése (ezáltal több só kioldása a falazatból) és a sók eredménytelen kihordása állhat (a felületen elenyésző mennyiségű sókristály jelent meg). A kritikus sók anionjai közül **nitrácion és kloridion** továbbra nagymértékben jelen van. A nitrácion csökkent ugyan, de ezentúl is meghaladja a **magas terhelés** kategóriát, így a szakértői javaslatok alapján ilyen esetben ajánlott magasabb sószennyezettségi fokozatba sorolni és aszerint megválasztani a szükséges beavatkozást.

A szabványos só- és nedvességvizsgálaton végzett vizsgálatok alapján a következő észrevételeket tettük:

- azonos vízzel (csapvíz minőség) való feltöltés után a különböző falazóanyagokban lévő vízzel oldható sók kioldódnak, szemmel látható, olykor nagyságrendi különbséget is mutatva **só tartalomban**; ezáltal kijelenthető, hogy a talajban lévő, a talajvízbe kerülő szennyező anyagoktól függetlenül a Porotherm (vázkerámia) és az Ytong (pórusbeton) nedvességfelszívása következtében hatványozottan érvényesül a sók **felületroncsoló** hatása
- a nagyméretű **bontott téglában** nitrácion mellett nitrit nem volt jelen, ami egyértelműen azt jelenti, hogy nem aktív szennyezés áll fenn (nem került a töltővízbe szennyező anyag), hanem a bontott jellegéből adódóan előző felhasználási területéről származhat a szennyezés, és mivel nitrácion mellett kloridion is fellelhető, ez utalhat **szennyvíz** szennyezésre (10)
- A nagyméretű **tégla** falazatban talált nagy mennyiségű (>0,6 m%) nitrácion felhívta a figyelmet arra, hogy a szennyeződés falazóanyagba kerülése után, akár az épület élettartamát meghaladó ideig is benn maradhatnak a **sók**, majd újbóli felhasználás során is **károsíthatják** a falazatot, vagy annak felületképzéseit (nedvességfelvétel, kikristályosodás)
- **pH** értékek kis mértékben **megnövekedtek** a befecskendezett injektálószer hatására

6.3. Száradási folyamat eredményei, értékelései

6.3.1. A száradást befolyásoló tényezők

Az alábbi változók befolyásolják a száradás hatékonyságát:

- a légállapotok, amelyek a száradó falazat körül fennállnak
- a vízutánpótlás megszüntetésének sikeressége (esetünkben az injektált vízzár kivitelezésének, anyagon belüli terjedésének a milyensége)
- a nedvességtől elzárt falszakasz párolgó felületének és térfogatának hányadosa [m^2/m^3]
- a falazat homogenitása

- a falazatban lévő higroszkópos oldott sók kikristályosodása utáni nedvességfelvétel, visszanedvesítés
- a falazatban történő nedvességtranszport sebessége, telítettebb részek felől a kevésbé telített részek felé (23):

$$g_w = -D_w(w) \frac{dw}{dx}$$

ahol,

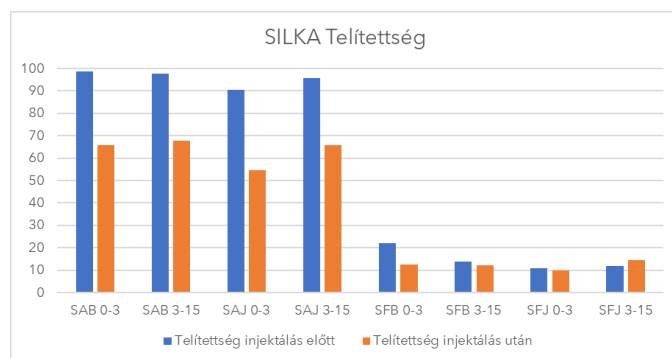
g_w [kg/m ² s]	nedvességtranszport áram sűrűség
$D_w(w)$ [m ² /s]	(továbbvezetési) nedvességtranszport tényező
w [kg/m ³]	abszolút nedvességtartalom

Tehát: A nedvességtranszport áramsűrűség függ a nedvességtranszport tényezőtől (anyagjellemző), amely az abszolút nedvességtartalom függvényében változik. Emellett függ az abszolút nedvességtartalom megváltozásának rohamosságától is.

Megjegyzés: Minden mintafalazatra igaz, hogy fajlagosan nagy felületüket borítja az injektált vízszintes vízzár technológiai vonzataként elkészült cementiszap kéreg, amely páratörlesztő hatása révén gátolhatja a párolgást.

6.3.2. Silka (mészhomok) falazat száradása

Silka (mészhomok) mintafal száradt a leghatékonyabban a falazatok közül. (51. ábra 32. ábra)



32. ábra: Silka (mészhomok tégl) falazatból vett furatpor minták nedvességvizsgálat eredményei (mintavételi helyek és mélységek jelölése 4.2. pont alapján)

A mészhomok tégl falazatból oldott ki a legkevesebb sót a töltővíz az összes fal közül (ezek közül is túlnyomórészt szulfátion, melyek csekély mértékben nedvszívók a fenntartott légállapotokon). (33. ábra) (függelék 20-21. oldal)

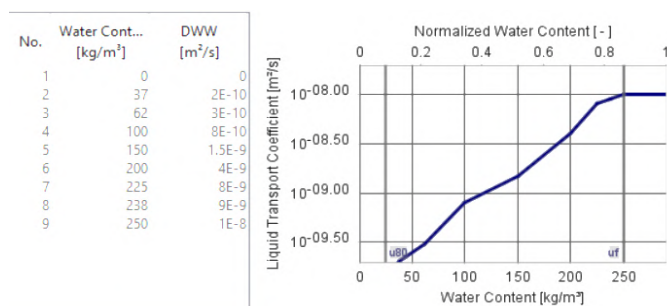
Tájékoztató jelleggel és a falazatok összehasonlítása érdekében kiválasztottuk egy hasonló tulajdonságokkal (Silka testsűrűség: **1668 kg/m³**; porozitás: **0,197**; kiválasztott mészhomok testsűrűség: **1900 kg/m³**; porozitás: **0,29**) rendelkező anyag továbbvezetési nedvességtranszport tényezőjét az abszolút nedvességtartalom függvényében. (34. ábra)

Abszolút nedvességtartalomtól (35. ábra) függően nagyságrendileg **10^{-9,5} m²/s** és **10⁻⁸ m²/s** között mozog, közel lineárisan. Esetünkben a legmagasabb érték kb. **10^{-8,5} m²/s**-ra tehető.

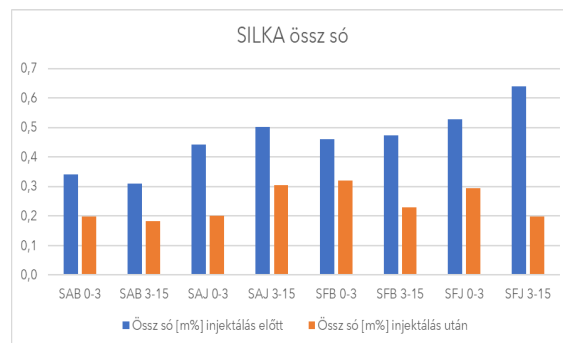
Emellett a furatminták nedvességtartalom eredményei azt mutatják, hogy az alsó szakaszban 3-15 és 0-3 mélységben egyaránt magas az abszolút nedvességtartalom (kb. 190 kg/m³) a nedvességtartalom különbség vertikális irányban nagy mértékben változik 3-15 és 0-3 mélységben egyaránt (kb 25 kg/m³-re esik), a mintavételek egymástól való távolságán (kb. 40 cm), tehát az abszolút nedvességtartalom **változásának rohamossága ($\frac{dw}{dx}$) magasnak** tekinthető függőleges irányban.

LÉGÁLLAPOT	RH = 60±2% és T=16-23°C
VÍZSZINTES VÍZZÁR HATÉKONYSÁGA	sikeres
PÁROLGÓ FELÜLET ARÁNYA [m ² /m ³]	13,1
HOMOGENITÁS	habarcs/falazóelem aránya: 1/24 (0,042) nedvességtranszport szempontjából izotróp
HIGROSZKÓPOS SÓK	max. 0,6 m%
NEDVESSÉGTRANSZPORT TÉNYEZŐ	$D_{w(w)} = \text{kb. } 10^{-8,5} \text{ m}^2/\text{s}$ absz. nedv.tart. változásának rohamossága magas

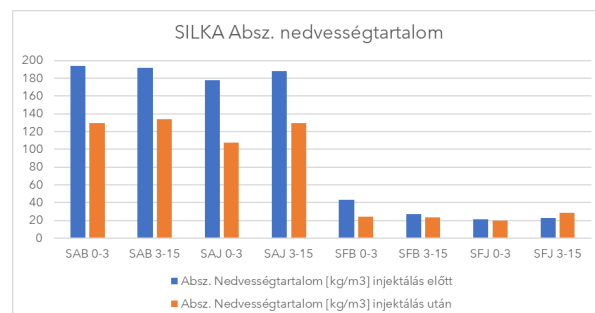
11. táblázat: A mészhomok falazat száradást befolyásoló tényezői



34.. ábra: Mészhomok falazóelem továbbvezetési nedvességtranszport tényező függvénye (33)



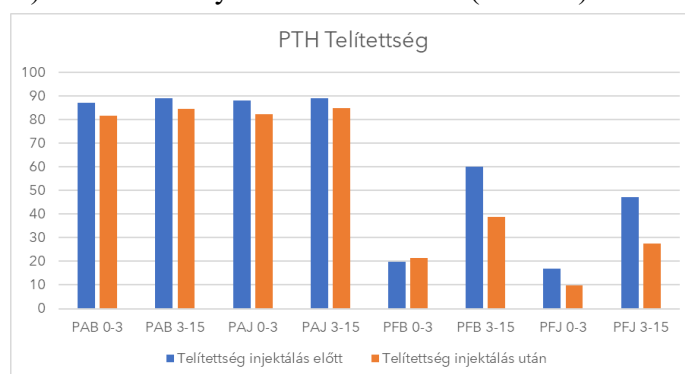
33. ábra: Silka (mészhomok) falazatból vett furatpor minták sóvizsgálat eredményei [összes só] (mintavételi helyek és mélységek jelölése 4.4. alapján)



35. ábra: Silka (mészhomok) falazatból vett furatpor minták nedvességvizsgálat eredményei [abszolút nedvességtartalom] (mintavételi helyek és mélységek jelölése 4.2. alapján)

6.3.3. Porotherm (vázkerámia) száradása

A Porotherm (vázkerámia) falazat csekély mértékben száradt (36. ábra).



36. ábra: Porotherm falazatból vett furatpor minták nedvességvizsgálat eredményei (mintavételi helyek és mélységek jelölése 4.2. pont alapján)

A nedvességvezetés szempontjából **anizotrópnak** tekinthető, mivel a függőlegesen a falazóelem teljes keresztmetszetében vándorolhat a nedvesség, a felület felé (amerre a párolgás során száradna a fal) a cellás felépítésnek köszönhetően viszont csupán a keresztirányú bordákon keresztül.

A vázkerámia falazóblokk anyagából rendkívül magas sótartalmat oldott ki a töltővíz, bár az anionok közül itt is a szulfátionnak van a legnagyobb szerepe. (37. ábra) (függelék 20-21. oldal)

Tájékoztató jelleggel és a falazatok összehasonlítása érdekében kiválasztottuk egy hasonló tulajdonságokkal (Porotherm testsűrűség: **728 kg/m³**; porozitás: **0,77**; kiválasztott vázkerámia testsűrűség: **800 kg/m³**; porozitás: **0,60**) rendelkező anyag továbbvezetési nedvességtranszport tényezőjét

az abszolút nedvességtartalom függvényében. (38. ábra) Ezen felül a gyártó egyéb vázkerámiájának nedvességtranszporttényezőjének található hazai vonatkozású feldolgozása is (12. táblázat).

$D_{w,s,80\%}$ - nedvességvezetési együttható (szívás, 80% páratartalom)	2.26e-9	[m ² /s]
$D_{w,s,99\%}$ - nedvességvezetési együttható (szívás, 99% páratartalom)	2e-6	[m ² /s]
$D_{w,s,100\%}$ - nedvességvezetési együttható (szívás, 100% páratartalom)	2.21e-6	[m ² /s]

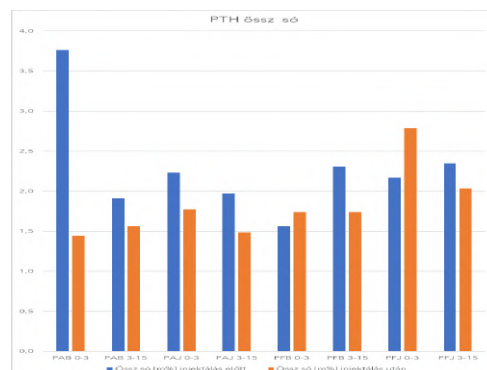
12. táblázat: Vázkerámia nedvességtranszport tényezői adott relatív páratartalmak függvényében (35)

Abszolút nedvességtartalomtól (39. ábra) nagyságrendileg $10^{-9.5}$ m²/s és $10^{-5.5}$ m²/s között mozog. Esetünkben a legmagasabb érték kb. $10^{-6.5}$ m²/s-ra tehető.

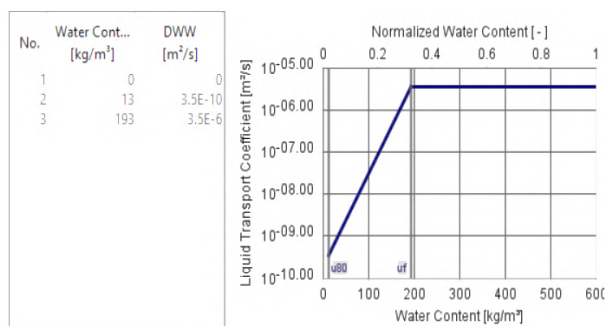
Emellett a darabos minták nedvességtartalom eredményei azt mutatják, hogy ugyan magas az abszolút nedvességtartalom az alsó szakaszban 3-15 és 0-3 mélységben egyaránt (kb. 125 kg/m³), a nedvességtartalom különbség viszont vertikális irányban nem változik nagyot 3-15 mélységben (kb 75 kg/m³ esik), a mintavételek egymástól való távolságán (kb. 40 cm), tehát az abszolút nedvességtartalom változásának rohamossága ($\frac{dw}{dx}$) alacsonynak tekinthető függőleges irányban. A felület felé a felső mintavételek esetén kb. 75 kg/m³-ról kb. 25 kg/m³-ra esik, azonban ebben az irányban a nedvesség nagyon csekély keresztmetszeten keresztül tud csak haladni.

LÉGÁLLAPOT	RH = 60±2% és T=16-23°C
VÍZSZINTES VÍZZÁR HATÉKONYSÁGA	sikeres
PÁROLGÓ FELÜLET ARÁNYA [m ² /m ³]	9,7
HOMOGENITÁS	habarcs/falazóelem aránya: 4/125 (0,032) nedvességtranszport szempontjából anizotróp
HIGROSZKÓPOS SÓK	max. 3,76 m%
NEDVESSÉGTANSPORT	$D_{w(w)} = \text{kb. } 10^{-6.5} \text{ m}^2/\text{s}$ absz. nedv. tart. változásának rohamossága alacsony

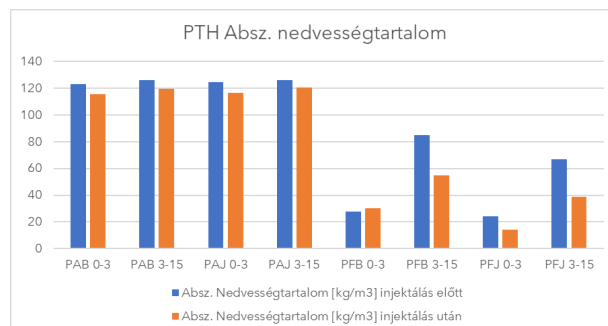
13. táblázat: A Porotherm falazat száradását befolyásoló tényezők



37. ábra: Porotherm (vázkerámia) falazatból vett darabos minták sóvizsgálat eredményei [összes só] (mintavételi helyek és mélységek jelölése 4.2. alapján)



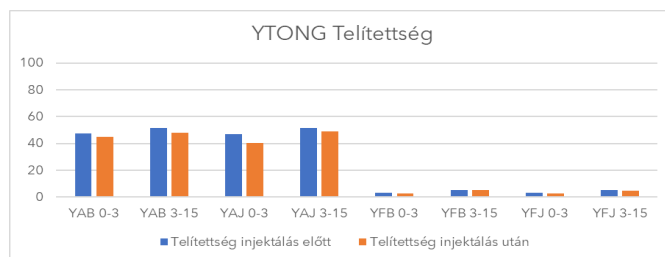
38. ábra: Vázkerámia falazóelem továbbvezetési nedvességtranszport tényező függvénye (33)



39. ábra: Porotherm (vázkerámia) falazatból vett darabos minták nedvességvizsgálat eredményei [abszolút nedvességtartalom] (mintavételi helyek és mélységek jelölése 4.2. alapján)

6.3.4. Ytong (pórusbeton) falazat száradása

Az Ytong (pórusbeton) fal is csak csekély mértékben száradt, ez vette fel a legtöbb vizet, ezzel együtt ez a fal volt a legkevésbé telített is (40. ábra).



40. ábra: Ytong (pórusbeton) falazatból vett darabos minták nedvességvizsgálat eredményei (mintavételi helyek és mélységek jelölése 4.2. alapján)

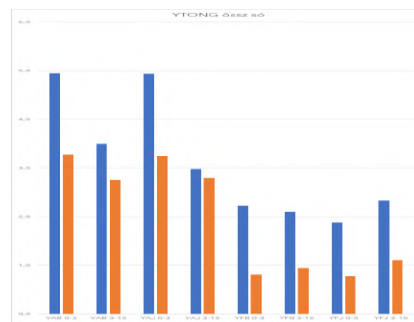
A pórusbeton falazatból oldott ki messze a legtöbb sót a töltővíz az összes fal közül (ezek közül is túlnyomórészt szulfácion, melyek csekély mértékben nedv szívók a fenntartott légállapotokon). (41. ábra) (függelék 20-21. oldal)

Tájékoztató jelleggel és a falazatok összehasonlítása érdekében kiválasztottuk egy hasonló tulajdonságokkal (Ytong testsűrűség: **465 kg/m³**; porozitás: **0,625**; kiválasztott pórusbeton testsűrűség: **500 kg/m³**; porozitás: **0,77**) rendelkező anyag továbbvezetési nedvességtranszport tényezőjét az abszolút nedvességtartalom függvényében (42. ábra).

Abszolút nedvességtartalomtól (43. ábra) függően nagyságrendileg **10^{-9,5} m²/s** és **10^{-7,5} m²/s** között mozog. Esetünkben a legmagasabb érték kb. **10⁻⁹ m²/s**-ra tehető.

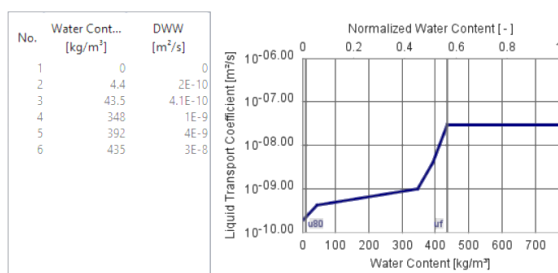
Emellett a furatminták nedvességtartalom eredményei azt mutatják, hogy az alsó szakaszban 3-15 és 0-3 mélységben egyaránt magas az abszolút nedvességtartalom (kb. **310 kg/m³**) a nedvességtartalom különbség vertikális irányban nagy mértékben változik 3-15 és 0-3 mélységben egyaránt (kb. **30 kg/m³**-re esik), a mintavételek egymástól való távolságán (kb. 40 cm), tehát az **abszolút nedvességtartalom változásának rohamossága ($\frac{dw}{dx}$)** magasnak tekinthető függőleges irányban.

LÉGÁLLAPOT	RH = 60±2% és T=16-23°C
VÍZSZINTES VÍZZÁR HATÉKONYSÁGA	sikeres
PÁROLGÓ FELÜLET ARÁNYA [m ² /m ³]	11,1
HOMOGENITÁS	habarcs/falazóelem aránya: 1/24 (0,042) nedvességtranszport szempontjából izotróp
HIGROSZKÓPOS SÓK	max. 4,95 m%
NEDV ESSÉGTANSPORT	D _{w(w)} = kb. 10 ⁻⁹ m ² /s absz. nedv. tart. változásának rohamossága magas

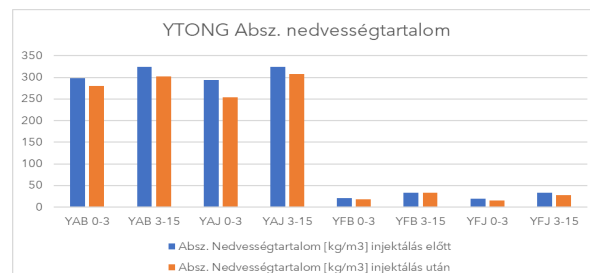


14. táblázat: Az Ytong falazat száradását befolyásoló tényezők

41. ábra: Ytong (pórusbeton) falazatból vett furatpor minták sóvizsgálat eredményei [összes só] (mintavételi helyek és mélységek jelölése 4.2. alapján)



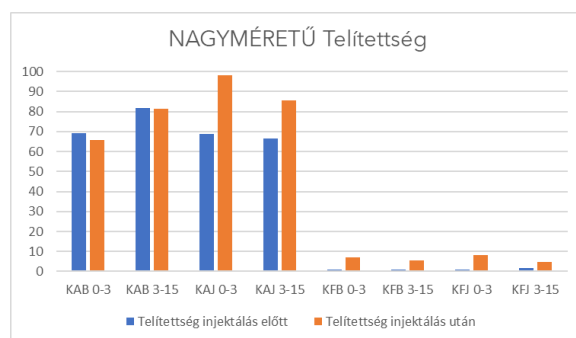
42. ábra: Pórusbeton falazóelem továbbvezetési nedvességtranszport tényező függvénye (33)



43. ábra: Ytong (pórusbeton) falazatból vett furatpor minták nedvességvizsgálat eredményei [abszolút nedvességtartalom] (mintavételi helyek és mélységek jelölése 4.2. alapján)

6.3.5. Nagyméretű (égetett agyag) tömör téglá száradása

A nagyméretű (égetett agyag) tömör téglá nem mutatott száradási jeleket. (44.ábra)



44. ábra: Nagyméretű (égetett agyag) tömör téglá falazatból vett furatpor minták nedvességvizsgálat eredményei (mintavételi helyek és mélységek jelölése 4.2. alapján)

A falazat nedvességvezetés szempontjából **anizotrópnak** tekinthető, mivel függőleges irányban sűrűn szabdalts habarcshezágokkal, oldalirányban viszont minden téglának van a levegővel érintkező felülete, amerre tud párologni a nedvesség.

A nagyméretű téglá falazatban nagy mennyiségű (>0,6 m%) nitrátiont és szintén nagy mennyiségű (>0,3 m%) kloridiont találtunk, amelyek már akár alacsony páratartalom mellett is megköthetik a levegő páratartalmát. (45.ábra) (függelék 20-21. oldal)

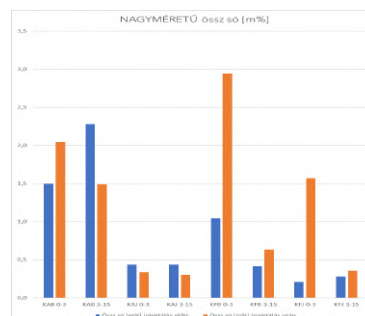
Tájékoztató jelleggel és a falazatok összehasonlítása érdekében kiválasztottuk egy hasonló tulajdonságokkal (Nagyméretű tömör téglá testsűrűség: **1515 kg/m³**; porozitás: **0,46**; kiválasztott tömör, égetett agyag téglá testsűrűség: **1560 kg/m³**; porozitás: **0,38**) rendelkező anyag továbbvezetési nedvességtranszport tényezőjét az abszolút nedvességtartalom függvényében. (46. ábra)

Abszolút nedvességtartalomtól (47. ábra) függően nagyságrendileg **10^{-9,5} m²/s** és **10⁻⁵ m²/s** között mozog. Esetünkben a legmagasabb érték kb. **10⁻⁵ m²/s**-ra tehető.

Emellett a furatpor minták nedvességtartalom eredményei azt mutatják, hogy ugyan magas az abszolút nedvességtartalom az alsó szakaszban 3-15 és 0-3 mélységben egyaránt (kb. **325 kg/m³**), a nedvességtartalom különbség viszont vertikális irányban nem változik nagyot 3-15 mélységben (kb **5 kg/m³** esik), a mintavételek egymástól való távolságán (kb. 40 cm), tehát az abszolút **nedvességtartalom változásának rohamossága** ($\frac{dw}{dx}$) **magasnak** tekinthető függőleges irányban.

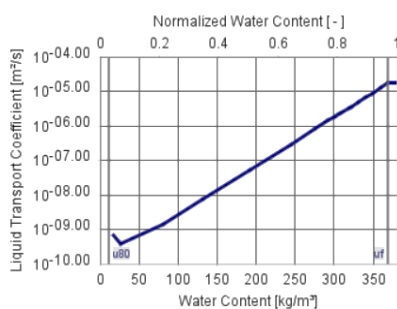
LÉGÁLLAPOT	RH = 60±2% és T=16-23°C
VÍZSZINTES VÍZZÁR HATÉKONYSÁGA	sikertelen
PÁROLGÓ FELÜLET ARÁNYA [m ² /m ³]	9,0
HOMOGENITÁS	habarcs/falazóelem aránya: 1/24 (0,042) nedvességtranszport szempontjából izotróp
HIGROSKÓPOS SÓK	max. 2,28 m%
NEDVESSÉGTANSZPORT	D _{w(w)} = kb.10 ⁻⁵ m ² /s absz. nedv.tart. változásának rohamossága magas

15. táblázat: Nagyméretű téglá száradását befolyásoló tényezők

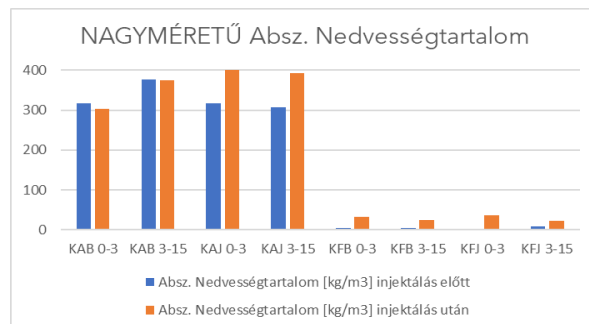


45.ábra: Nagyméretű téglá falazatból vett furatpor minták sóvizsgálat eredményei [összes só] (mintavételi helyek és mélységek jelölése 4.2. alapján)

No.	Water Con... [kg/m³]	DWW [m²/s]
1	17.48923	6.54353E-10
2	26.15638	3.85046E-10
3	80.13052	1.37503E-9
4	131.3905	7.29139E-9
5	192.1188	5.29158E-8
6	244.9159	2.9652E-7
7	275.219	7.97343E-7
8	292.0868	1.38283E-6
9	301.2062	1.86231E-6
10	305.2448	2.12474E-6
11	308.9803	2.40028E-6
12	318.643	3.29037E-6
13	321.4274	3.60344E-6
14	338.8565	4.69843E-6



46. ábra: Pórusbeton falazóelem továbbvezetési nedvességtranszport tényező függvénye (33)



47. ábra: Nagyméretű téglafalazatból vett furatpor minták nedvességvizsgálat eredményei [abszolút nedvességtartalom] (mintavételi helyek és mélységek jelölése 4.2. alapján)

6.3.6. Száradási folyamatok összegzése

A fentebb felvázolt paramétereket összevetve a Silka (mészhomok) falazat és az Ytong (pórusbeton) falazat hasonló paraméterekkel rendelkeznek jelen körülmények között (nedvességtranszport tényezőjük az adott nedvességtartalomhoz tartozóan közel azonos), emiatt abszolút nedvességtartalomban mérve az Ytong csak kb. 10-20 kg/m³ nedvességgel kevesebbet párologtatott el, mint a Silka. Az Ytong falazat „hátrányát” a rendkívül magas sótartalom, annak párologtató gátló hatása, higroszkóposága és fajlagosan [m²/m³] kisebb párologási felülete okozhatta. A PoroTherm (vázkerámia) falazat száradásának eredménytelenségét a cellás szerkezetből adódó lassú nedvességvezetés és a magas sótartalom okozhatta. A magas sótartalom következtében a cellákon belül is sókristályok lehetnek a felületen, ezáltal is gátolva párologtatót a belső párányomás csökkentésével, valamint a nedvesség megkötésével.

A nagyméretű téglafalazatnál a nedvességtartalom diagramról leolvasható, hogy 1 mintavételi pont (2 mélységben) kivételével jelentősen megnőtt a víztartalom az injektálást követő cca. 6 hónapra történő laborvizsgálatok alapján, amikor is a többi falnál már egyértelmű száradás volt tapasztalható. Ez a jelenség visszavezethető az injektált vízzár hibás kialakítására, a WTA Merkblatt 4-10:2015-03 - Injektionsverfahren mit zertifizierten Injektionsstoffen gegen kapillaren Feuchtetransport (Injektálás minősített injektáló anyagokkal a kapilláris felszívódás ellen) leírás kimondja, hogy nem alkalmazható egysoros nyomás alatti injektálás vízszintesen (téglaalapalástba furatolva). Az általános mérnöki ökölszabályok szerint is legalább két vízszintes fugát kell áthatolni ilyenkor. Esetünkben tovább fokozódott a kockázat azzal, hogy a kötősorba furatoltunk, azaz csak a téglafelületébe adtunk meg injektálási pontokat, így még függőleges habarcsréteget sem hatoltunk át.

A hibás technológia megválasztásából és a nedvességtartalom növekedéséből előirányozható az injektálás sikertelensége. Ez önmagában még nem magyarázza a víztartalom jelentős növekményét. Felvetésünk szerint a következő jelenség zajlik a falazatban: elsőként a látszólagosan telített falban lévő (vízzár feletti) nedvességet a 20-25 bar nyomáson bejuttatott injektálószer további magasságra juttatja a kapillárisokon, viszont ez mérhető volt sokáig a többi falon is. Emellett az injektáláshoz tartozó kétoldali, cementiszap technológiai kéreg párologtató hatású, így nehezebben tud ebben zónában száradni a falazat, ezáltal a felmenő rétegeken keresztül történik a párologtató; eközben a hajszálcsövekben visszamarad a só, ami megváltoztatja az anyag, a kapillárisok higroszkópikus tulajdonságait. Ez még nem okozna problémát, hiszen, ha hibátlanul működik a vízzár, akkor nincs nedvességutánpótlás; de esetünkben a szigetelési hibából adódó nyílt zóná(k)nál a kapillárisok további vízellátást kapnak, így a módosult tulajdonságú kapillárisokon magasabbra jut a nedvesség, ami nagyobb kapilláris nyomást indukál, ebből következik a nagyobb vízfelvétel.

6.3.7. Légpórusos vakolatok hatása a száradásra

Az átnedvesedett falak szakszerű leszigetelését követően hosszas (akár több év is) száradási folyamat indul meg, melynek időtartamát befolyásoló tényezőit a fenti 6.3.1 pontban már taglaltuk. Az általános köztudat ilyenkor úgy tartja számon, hogy a szabad falfelület szárad a legjobban, legeredményesebben; ám ez csak ritka esetben, megszabott feltételek mellett érvényesül.

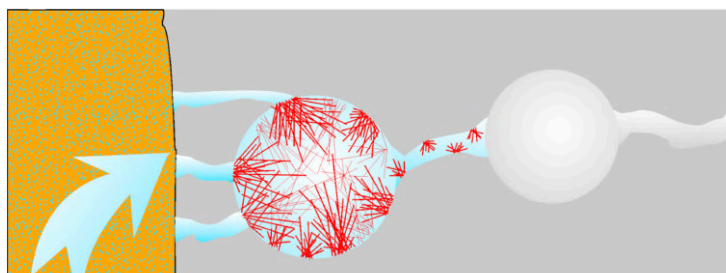
A csupaszon hagyott falfelületeken (megfelelő sótartalom mellett) kivirágozhatnak sók, amik jellemző higroszkópos tulajdonságuk miatt párárt kötnek meg a falfelületen, ezzel további nedvességet adva a rendszerhez; valamint az így megkötött víz oldja a sókat, amik ezáltal hidratációs nyomást fejthetnek ki a falazat szerkezetére, ez a jelenség a felület málláshoz vezethet. Továbbá a lehűlt (még nedves) szerkezet alacsony felületi hőmérséklettel harmpont alá esve kondenzációt okoz, ezen jelenség erősíti az előbb leírt károsodási lehetőségeket. (23)

Beláthatjuk, a szabadon hagyott falfelületeknek igenis lehetnek hátrányos következményei, viszont a légállapotok kontrollálásával (pl. páraelszívók telepítése, kellő fűtés biztosítása), a falfelület folyamatos tisztán tartásával (pl. sószakáll leverése) a száradás akadálytalanul történhet. A leírtak ellenére a hidratációs nyomás továbbra is veszélyt jelent a fal külső kérgére, hiszen a sószakálltól megszabadulva a kapillárisok levegővel érintkező része továbbra is telített sókristályokkal (amit egy egyszerű tisztítási folyamat nem távolít el).

A mintafalaink többnyire kiemelten sószennyezettek ($>2,5$ m%), ilyen mértékű terhelésnél alapvetően javasolt sótelenítési eljárások beiktatása, a vonatkozó irányelvek erre számos megoldási lehetőséget kínálnak (pl. elektroozmotikus beavatkozások, vákuumos nedvesítési eljárás, áldozati vakolatok). (9) (10)

A felújító vakolati rendszerek alkalmazása javallott ilyen helyzetekben, hiszen a fent felsorolt károsodási formák javarészt kiküszöbölhetők. Többféle rétegfelépítésű rendszer létezik a piacon a különféle sóterhelésekre, de a rendszer legjellemzőbb rétege a légpórusos, hidrofíl sótaroló (alap)vakolati réteg, hiszen ebben a rétegben zajlik a falazat nedvességének párologtatása és a sótarolás is. A réteg erős kapilláraktív tulajdonságú, emellett nagy pórustérfogat (>45 V%) jellemzi. A kapillárisok elősegítik a gyors nedvességáramlást a gömbpórusokhoz, ahol a párolgási folyamat a nagyobb térfogat hatására megtud indulni. (15)

A csupasz fal esetén ez a párolgó felület a falazat külső felülettel érintkező kapillárisaira szorítkozott, míg a vakolt opció esetében a légpórusok fajlagos felülete (vakolat nagy pórustérfogatából adódóan) jellemzően meghaladja a nyers falazat párolgási felületét, azaz egy nagyobb párolgási kényszert létrehozva javulhat a száradás hatásfoka. Továbbá a sók így a párolgás helyén (azaz a vakolati réteg gömbpórusaiban) kristályosodnak ki, tehát nem történik sókivirágzás a külső vakolati felületen (illetve a belső határrétegen sem). A majdani pára a további, alacsony páradiffúziós ellenállású ($\mu < 18$) vakolati rétegen távozik a szerkezetből. A megfelelő légállapotok hiányában továbbra is létrejöhet felületi kondenzáció, viszont a vakolt szituációban a habarcsréteg meg tudja kötni külső rétegeiben ezt a nedvességet, úgy, hogy a sókristályokkal nem alakul közvetlen kölcsönhatás, azaz nem jön létre hidratációs nyomás.



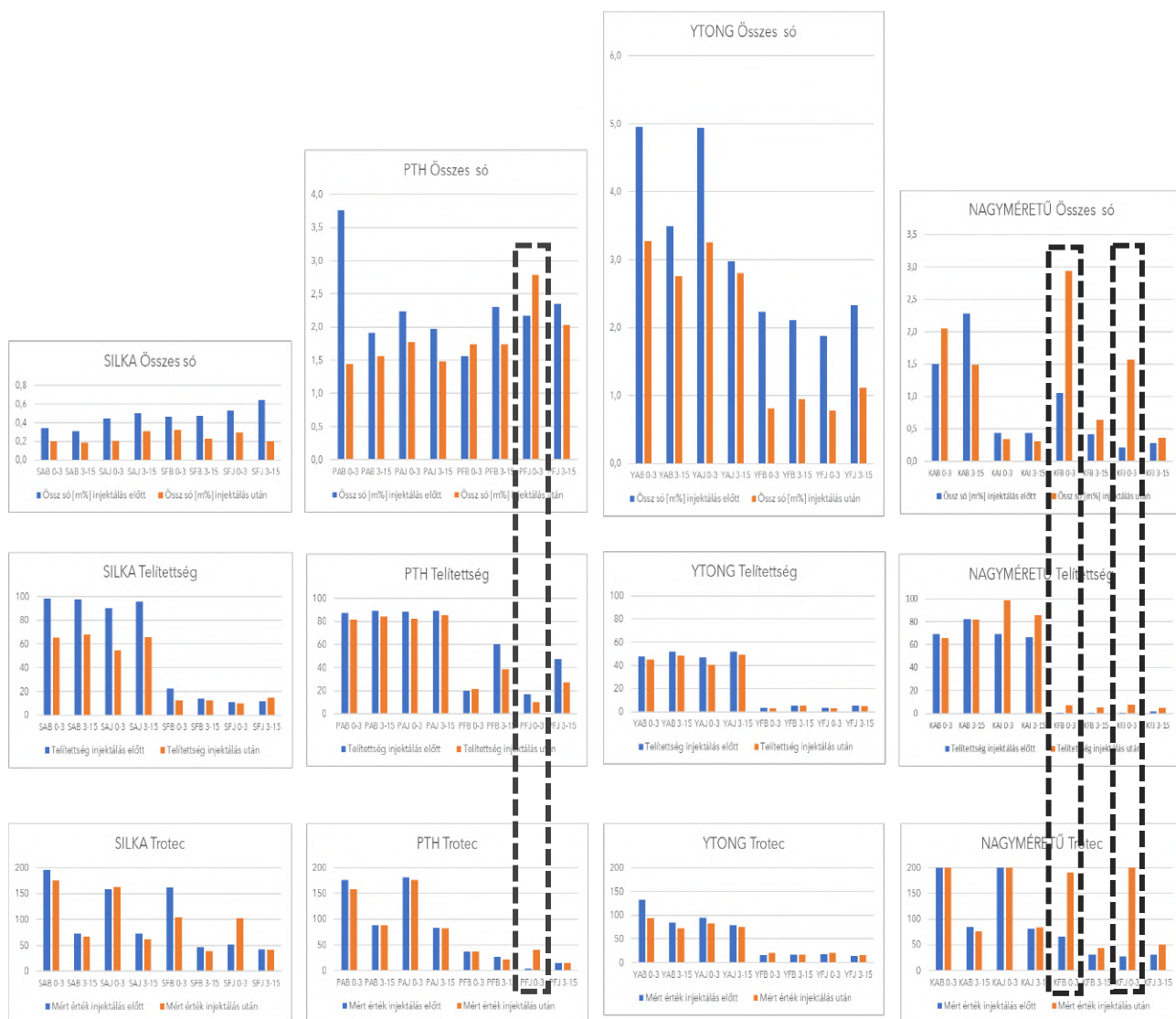
48. ábra: Légpórusos alapvakolat működési elve (34)

Az összevetésből levonható, hogy nem minden esetben a leggyorsabb és leghatékony a csupasz fal helyzete a száradás tekintetében. Előirányozható, hogy az erősen nedves és sószennyezett falak esetén célszerűbb a felújító vakolati rendszereket alkalmazni. A pontos alkalmazási határok deklarálása nem témája a TDK dolgozatnak, ezt kísérletekkel igazolni szükséges.

7. "B"-jelű hipotézis vizsgálata

7.1. Különböző oldatok vezetőképességének mérőműszerekre gyakorolt hatásai

Összevetettük a sóvizsgálat, telítettség és a mérőműszerek eredményeit. (49. ábra)



49. ábra: A falazatokból vett furatpor és darabos minták só- és nedvességvizsgálat eredményei (mintavételi helyek és mélységek jelölése 4.2. alapján), valamint a mérőműszerek által mutatott értékek

Az első sorban ábrázoltuk a furatpor és darabos minták összes só tartalmát m%-ban kifejezve, arányosan (azonos léptékben) ábrázolva az összevethetőség végett. Második sorban a telítettséget, harmadik sorban pedig az adott mintavételi helyen mért értékeket (0-3 mélységben vett minta nedvességtartalmával a Trotec T660 felületi mérést, a 3-15 cm mélységben vett minta nedvességtartalmának a Trotec T610 mélységi mérést lehet összehasonlítani).

Túlnyomórészt azt lehet megállapítani, hogy a mérési eredmények a telítettséget követik le (figyelembe véve, hogy a Trotec T610 műszer alacsonyabb értéknél mér telített víztartalmat), azonban három (piros téglalappal jelölt) mintavételi helyen úgy tűnt, mintha a műszerek értékei inkább függtek a sótartalomtól, mint a nedvességtől.

A fentieket tapasztalva, felmerült a kérdés, hogy torzíthatja-e az eredményeket a falazatban lévő nedvesség (sóoldat), valamint a bejuttatott injektálószer koncentrációja, összetétele, vezetőképesség. Ezáltal kihasználva ezt a torzítást, alkalmas-e arra a módszer, hogy helyszíni szemrevételezés során megtaláljuk a magasabb sótartalmú oldatokat a falban, hogy a mintavételezés a legmagasabb sótartalommal rendelkező falból végezzük.

Ezeknek a felvetéseknek a bizonyítására végeztük a 4.3. pontban ismertetett kísérletet.



50. ábra: Különböző oldatokkal telített mintakockák telítettségei és mérési értékei

Az első sorban ábrázoltuk az adott időtartamok után elért telítettségeket. Látható, hogy a csapvízhez képest adott idő alatt a NaCl oldatból az anyagok többet vesznek fel, ebből levonható, hogy a sók módosíthatják a nedvesítési szögét a folyadéknak. A Kiesol a tömörebb, nagyságrendekkel szívóképesebb nagyméretű tömör téglát hasonló mértékben telíti, azonban a nagy gömbpórusokkal rendelkező pórusbetonba nem tudott olyan mértékben beszívódni, mint a csapvíz, vagy a sóoldat. (50. ábra)

A második sorban a Trotec T660 (felületi) nedvességmérés adatai láthatóak. A csapvíz és a sóoldat közötti különbség a telítettségkülönbséggel arányosnak mondható, azonban a Kiesollal való telítésnél a módszer rendre magasabb értékeket mutatott, mint azt azonos telítettségű, de csapvízzel telített mintakockáktól várnánk. (50. ábra)

A harmadik sorban a Trotec T610 (mélységi) nedvességmérés adatai láthatóak. A csapvíz és a sóoldat közötti különbség itt is a telítettségkülönbséggel arányosnak mondható, azonban a Kiesollal telített mintakockák esetében szintén a telítettséghez képest magasabb értékeket kapunk. (50. ábra)

A különböző oldatok által átitatott mintakockákon végzett vizsgálatok alapján a következő észrevételeket tettük:

- azokon a területeken, ahol a Kiesol be tudott szívódni a falazatba, ott a kezdeti száradás roncsolásmentes mérése nem tekinthető hitelesnek, nem feleltethető meg a valóságnak.

- lábazat tömbinjektálása esetén például a fentiek alapján roncsolásmentes vizsgálattal nem lehet a falazat száradását monitorozni
- a sóoldatok hatását a nedvességmérő műszerekre azonban a fentiek fényében elhanyagolhatónak tekinthetjük, így a sóvizsgálat eredményei és a műszerek által mért értékek közötti párhuzamot elvetettük
- ahhoz, hogy releváns értéket kapjunk, érdemes a sókristályokat a mérési pontról eltávolítani, mivel jelentősen eltérő eredményeket kaphatunk

8. Utólagos nedvességvédelmi beavatkozások ismertetése

Az épület nedvességvédelmi technológiájának megválasztása, tervezése mindig egy komplex feladat. Ez különösen érvényes az utólagos beavatkozásokra. Szigetelési elveink túlnyomó részére igaz a védelem kettőssége, azaz védjük a nedvességhatásoktól a belső teret és magát a határoló tartószerkezetet is. Ezen elv nem minden esetben valósítható meg az utólagos szigeteléseknél, hiszen nem mindig hozzáférhetők, megbonthatók a különböző épületrészek, de előfordul, hogy gazdasági vagy műszaki-mérnöki szempontból nem kivitelezhető a határoló szerkezet védelme. Ekkor csupán a védendő helyiség komfortjára (esztétikai és higiénias tulajdonságok megteremtése mellett) méretezünk, de a beavatkozásinkkal nem oldjuk meg szerkezet védelmét. Mérlegelendő, hogy ebben a konstrukcióban a falak, padozatok állagromlása milyen mértékben következik be és mennyire elfogadható ez. Beavatkozásaink során kijelenthető (bármelyik technológia alkalmazásával), hogy a szerkezet műszaki paraméterei, a rekonstrukciót követően nem lehetnek gyengébbek az eredeténél úgy, hogy az épület élettartamára káros hatással legyenek. Ezalól kivételt jelenthetnek a méréssel, számítással igazolt építési szituációk (pl. részvágásos szigetelés), ha az adott igénybevételek mellett a szerkezetek átalakítást követően továbbra is megfelelnek.

8.1. Utólagos beavatkozások alapjai

8.1.1. Szerkezetek átnedvesedésének következményei

A szerkezetekbe kapilláris felszívódással vagy nyomással bejutott folyadékokból (talajnedvesség, -agresszív- talajvíz, szennyvíz) származó jelenségek roncsolják annak épületfizikai tulajdonságait (pl. növekvő hővezetési tényező, növekvő páradiffúziós ellenállás), állékonyságát (pl. szilárdági értékek csökkenése), valamint csökkentik az esztétikai megjelenést, a higiénias megfelelőség lehetőségét és az ingatlan értékét. Ezen állagromlások nem csupán a nedvesség forrásánál jelentkeznek, hanem kapilláris úton tovább terjedő (akár több méteres magasságig) nedvesség hatására az oldatok fentebb is kifejtik roncsoló hatásukat, viszont ott már kisebb mértékben. A szerkezetben lévő nedvesség fagyhatár felett a kifagyási károkhoz vezethet, ami repedéseket, mállást, anyagleválást okoz.

Az anyagba jutott nedvesség oldott sókat is tartalmaz, melyek a felszínközeli rétegekben dúsulnak fel, majd a nedvesség párolgása (kipárolgási zónában) során kiülő higroszkópikus sók megkötik a párát, ezzel tovább nedvesíti a falazatot, kevésbé engedi száradni. Minél nagyobb a párolgási kényszer, annál nagyobb a sókivirágzás károsító hatása. Azok a sók, amik nem a felületre rakódnak ki, hanem az egyes réteghatárokon (pl. falazat-vakolat) vagy a kapillárisokban kristályosodnak ki, akkor a kristályosodási nyomás az egyes rétegeket (pl. vakolat, glett, festés) lefeszítheti a falazat felületéről, de a nyílt pórusokban ez a nyomóerő többszöröse is lehet a falazóanyag húzószilárdságánál, így ezen repesztőhatás drasztikusan károsíthatja a szerkezeteket.

Az átnedvesedett szerkezetekkel körülhatárolt helyiségek biológiai korróziójának hatására gombásodás, penészesedés, mikroorganizmusok jelenhetnek meg, melyek különféle megbetegedéseknek (pl. asztma,

allergia) okozói lehetnek.

A nedvesség hatására leromló hőtechnikai tulajdonságú falak alacsonyabb belső felületi hőmérséklete rontja a tér komfortérzetét, valamint növeli az esetleges fűtési költségeket, ezáltal csökkenti az ingatlan értékét. (9)

8.1.2. Utólagos beavatkozások célja

Az előző fejezetben leírt, a szerkezetben lévő nedvesség és sók károsító és értékcsökkentő hatásait szeretnénk eliminálni (a megkívánt mértékben), valamint a további nedvesedést és vízbeszivárgást kívánjuk meggátolni az utólagos intézkedésekkel.

Az elérendő célhoz következő fő változókat kell pontosan meghatározni:

- a kivitelezéstől a használatbavételig száradásra és sótelenítésre rendelkezésre bocsátható időtartam
- az adott helyiség funkciójából eredő szárazsági igényszint
- a helyiség funkciójából eredő légállapot-jellemzők
- a helyiség szellőztetési lehetőségei
- a helyiséget körülvevő felületeket, burkolatokat
- a beavatkozás megengedett mértéke
- anyagi, gazdasági keret

Ennek a soktényezős, holisztikus szemléletű tervezési feladatnak az épületdiagnosztikai szakvélemény, a hidrogeológiai viszonyok és a statikai megfelelőség figyelembevételével kell meghatározni az adott igényeknek megfelelő beavatkozási technológiát. Abban az esetben, ha a bemenő paraméterekre nem adható ki műszakilag elfogadható eljárás, akkor az eredményesség érdekében változtatni szükséges a cél egyes tényezőin.

8.1.3. Szárazsági követelmények

A külső nedvességátadásokkal szembeni ellenállás mértéke az egyik fő meghatározója a szárazsági követelményeknek. A másik jellemző tényező a szellőztetés mértéke és minősége. Az igényszint megválasztása a védendő helyiség rendeltetésétől függ.

Viszonylagos szárazsági igényszint:

A határoló szerkezeteken nem juthat át nedvesség a védett oldalra, pára viszont áthatolhat oly mértékben, hogy a belső tér légállapot-jellemzőit ne befolyásolja ártalmasan, azaz az egészséges környezetet, valamint a szerkezeteket ne károsítsa. A tervezett légállapot-jellemzők fenntartása érdekében szükséges a szellőztetés biztosítása. Ezt a követelményt vízzáró szigetelés technológiákkal már teljesíteni lehet. Javasolt helyiségfunkciók pl.: garázs, raktár. (9) (8)

Fokozott szárazsági igényszint:

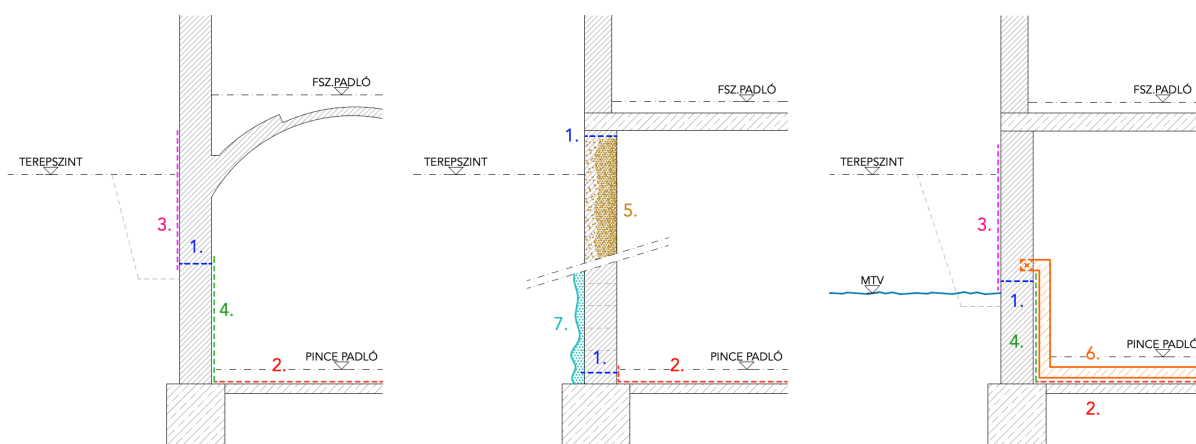
A határoló szerkezeteken nem juthat át nedvesség a védett oldalra, de annyi pára áthatolhat, amennyi az áthatolás időtartamával megegyező idő alatt el tud párologni; ez a mennyiség nem lehet káros hatással a belső légállapot-jellemzőkre és az épületszerkezetekre. Ezt a követelményt fokozottan vízzáró szigetelési technológiákkal lehet elérni (nem kitétel a teljesértékű vízhatlanság). (9)

Teljes szárazsági igényszint (porszárazság):

A határoló szerkezeteken szigorúan nem juthat át semmilyen formájú nedvességhatás, azaz pára sem hatolhat át. Ezt a követelményt kizárólag teljesértékű vízhatlan szigetelésekkel lehet teljesíteni. Javasolt helyiségfunkciók pl.: huzamos tartózkodásra szolgáló terek. (9) (8)

8.2. Utólagos vízszigetelések fő részei

Az utólagos szigetelések felületfolytonosságát biztosítani kell, ami általánosságban egy komplex térbeli feladat, sokszor különböző technológiák összeegyeztetésével.



51. ábra: Utólagos szigetelések fő részei – különböző építési szituációkban

Az 51. ábra fő elemei:

- 1. Vízszintes vízzár:** A vízszintes falszigetelés utólagos pótlását szolgálja.
- 2. Vízszintes padlószigetelés:** Az el nem készült vagy meghibásodott padlószigetelést pótolja.
- 3. Külső oldali, függőleges falszigetelés:** Az el nem készült vagy meghibásodott függőleges falszigetelést pótolja olyan helyzetekben, amikor a külső oldal hozzáférhető.
- 4. Belső oldali, függőleges falszigetelés:** Az el nem készült vagy meghibásodott függőleges falszigetelést pótolja olyan helyzetekben, amikor a külső oldal nem hozzáférhető.
- 5. Tömbinjektálás / injektált mélységi védelem:** A falszigetelés utólagos pótlására szolgáló, felületi védelemért hivatott tömbszigetelési forma. 50 cm-es falvastagság alatt csak mélységi védelemről beszélünk.
- 6. Ellenszerkezet:** Talajvízben a hidrosztatikai nyomás felvételére szolgáló, szigetelésbeszorító tartószerkezeti elem.
- 7. Fátyolinjektálás (hátűrinjektálás):** A falszigetelés utólagos pótlására szolgáló, felületi védelemért injektált gélhártya a talajréteg és a külső falsík között; ha szigeteléstartó fal és a pincefal közé történik az gél bejuttatása, akkor hátűrinjektálásról beszélünk.

Az ábrán nem szereplő elem(ek):

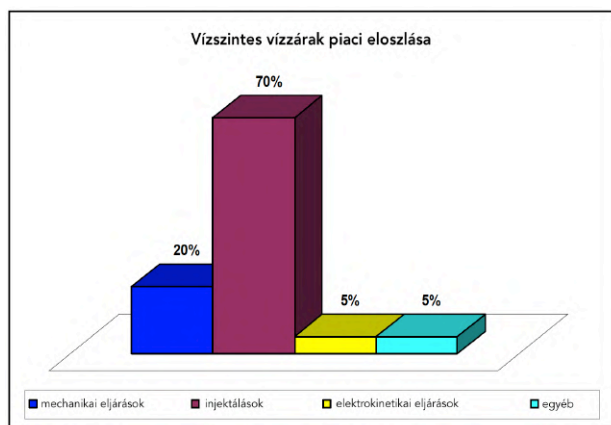
- 8. Függőleges vízzár:** A különböző síkú vízszintes vízzárak függőleges geometriájú összekötéséül szolgáló injektált vízzár.

8.3. Vízszintes vízzárak szigetelési lehetőségei

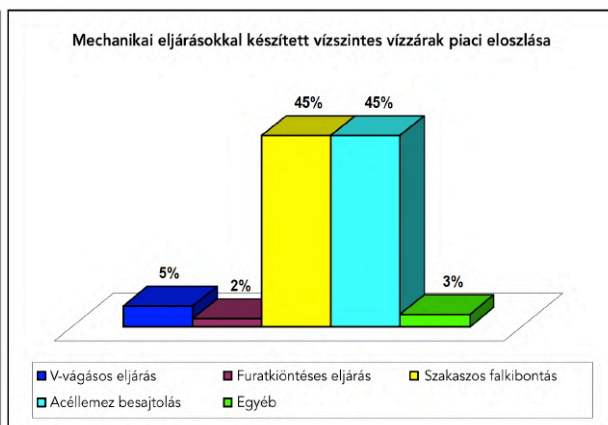
A vízzárak két fő csoportba osztályozhatók technológiájuk szerint:

Mechanikai eljárások	Vegyí szigetelő rendszerek
1. Szakaszos falkibontás	6. Nyomás nélküli (gravitációs) injektálás
2. Furatkiöntéssel eljárás (Massari)	7. Nyomás alatti injektálás
3. V-vágásos eljárás	8. Fagyasztott vegyi technológia
4. Résvágásos eljárás	
5. Acéllemez beverés	

Elődeink már az 1800-as években is alkalmaztak alternatív utólagos beavatkozásokat, 1906-ban (16) már résvágásos szigetelést jegyeztek le, viszont csak az 1960-as évektől kezdték kidolgozni a mai eljárások szakmai szabályait. (24) Napjainkban viszont már a szigeteléstechnikák széles tárháza tárul elénk az anyagtechnológiák fejlődésével. Az alábbi ábrákon (52., 53. oldal) a Németországban történt vízszintes vízzárak kialakításának technológiai eloszlása látható 2000-ig. Napjainkban már az injektált szigetelések alkalmazása a leginkább használatos a vízzárak tekintetében, hiszen mára egy kutatott, megfelelő szakmai háttérrel rendelkező eljárás. Hazai statisztika erről az eloszlásról sajnos nem áll rendelkezésre, de a



52. ábra: Vízzárak statisztikája Németországban 2000-ig (27) (17)



53. ábra: Mechanikai vízzárak statisztikája Németországban 2000-ig (27) (17)

tapasztalt szakmagyakorlók körében hasonló arányszámokkal számolnak be. A különbség, hogy a biztos szakmai háttérrel alkalmazható injektálási beavatkozások később terjedtek el Magyarországon.

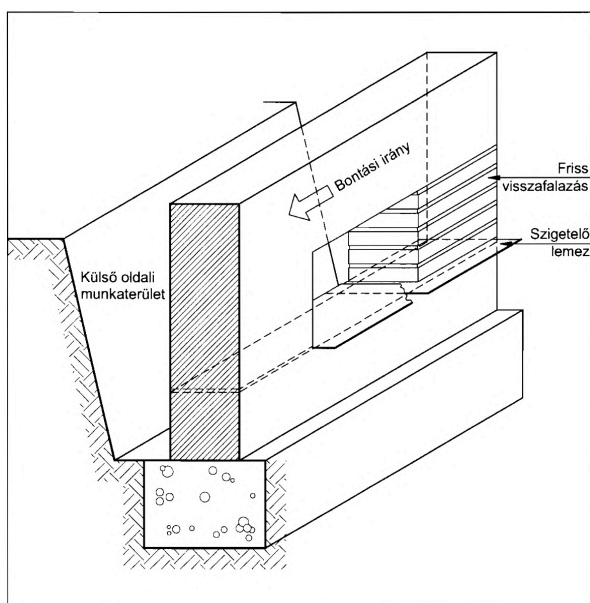
8.3.1. Szakaszos falkibontás

Ezen technológia mára már csak inkább történeti megoldás, legfeljebb egyedi helyzetekben alkalmazzák a hosszas, munkaigényes kivitelezési folyamata miatt. Az eljárás során 60-100 centiméteres szakaszokban (eltolva időben és térben) kibontják a falat teljes keresztmetszetében. Ezt a lehető legkisebb magasságban kell végezni (de még hozzáférhető legyen), a későbbi visszafalazás vagy visszabetonozás zsugorodásának csökkentésének érdekében, valamint a túlzott statikai átrendeződés kizárása okán. (54.ábra) A kibontott szakaszon kapott munkatérben el lehet a vízszintes szabad felület szigetelését, aminek anyaga lehet:

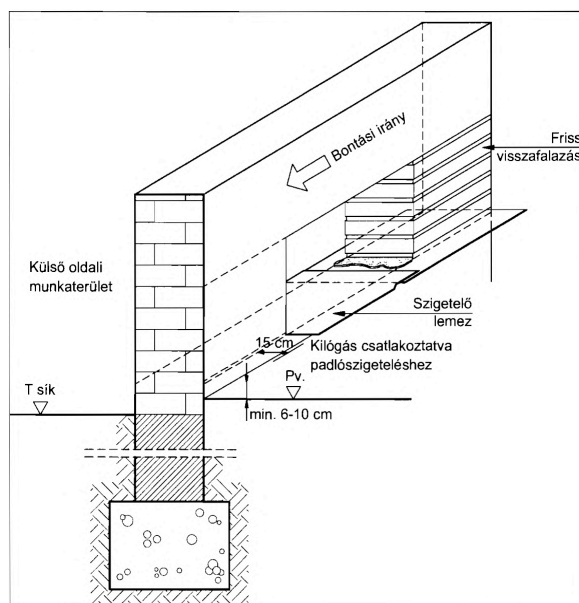
- **félkemény műanyag lemez** (min. 2 mm HDPE-lemez): a csatlakozások nehezebben, nem feltétlenül rendszersaját módon megoldhatók

- **lágyműanyag lemez** (min. 1,5 mm PVC-P lemez), **rendsersaját elválasztó, védőrétegekkel**: a csatlakozások nehezebben, nem feltétlenül rendszersaját módon megoldhatók, sérülékenyebb a szigetelés
- **modifikált bitumenes lemez** (min. 4 mm PV hordozójú SBS bitumenes lemez): csatlakozások rendszersaját módon megoldhatók
- **terhelhető bevonatszigetelés** (min. 2 mm MDS bevonat, min. 3 mm FPD bevonat, min. 2 mm FLK bevonat): a kétrétegű bevonati rendszer kötési ideje hosszabbítja a kivitelezési folyamatot, a hosszoldások kialakítása körülményesebb, de az összes toldás rendszersaját módon kialakítható

A beépített szigeteléseknek a külső falszigeteléssel min. 5 cm, a padlószigeteléssel min. 15 cm és a falban történő hosszoldás min. 15 cm legyen, ezek a rendszernek megfelelően vízhatlan átlapolásokkal készíthetők. (55.ábra) A szigetelés (és annak esetleges védelme) kialakításával megtörténhet a faltömeg visszaállítása. A visszafalazás során nem lehet újra felhasználni a törött, nedves, sószenyezett táglákat.



54. ábra: Terepsík alatti szakaszos falkibontás (18)



55. ábra: Terepsík feletti szakaszos falkibontás (18)

A beépített szigeteléseknek a külső falszigeteléssel min. 5 cm, a padlószigeteléssel min. 15 cm és a falban történő hosszoldás min. 15 cm legyen, ezek a rendszernek megfelelően vízhatlan átlapolásokkal készíthetők. A szigetelés (és annak esetleges védelme) kialakításával megtörténhet a faltömeg visszaállítása. A visszafalazás során nem lehet újra felhasználni a törött, nedves, sószenyezett táglákat. A téglák és a habarcs minősége (pl. nyomószilárdság, fagyállóság) nem lehet rosszabb az eredeténél. A visszaépítés lépcsős vagy fogas csorbázattal kell készüljön. Visszabetonozás esetén szintén kritérium az eredeti szilárdság elérése, valamint, hogy a kötés során történő zsugorodással is tudja fogadni a terheket (ezt célszerűen ékelemmel, vagy erőzáró injekcióval kivitelezhető). Két kibontott szakasz közé eső (bontatlan mező) akkor bontható ki, ha a kétoldali visszaépítés elérte a kellő szilárdságot. (9)

Az eljárás kivitelezhetőségét adott esetben statikailag igazolni szükséges, hiszen a bontás során káros repedések keletkezhetnek, ami komoly állékonyságromlást okozhat. A beavatkozás feltétele, hogy kétoldalt a falazat hozzáférhető legyen.

8.3.2. Furatkiöntéses (Massari-féle) eljárás

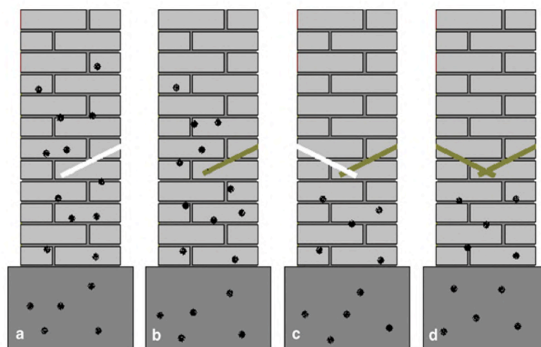
Hazánkban nem terjedt el ezen technológia és mára már külföldön is elavultnak számít. Az eljárás során koronafúróval 30-100 mm átmérőben szakaszosan átfúrták a falat teljes keresztmetszetben, majd szilikongyanta alapú, vízzáró, zsugorodáskompenzált kiöntőhabarccsal a lyukakat feltöltötték. Második szakaszban a két habarcsdugó közötti rést fúrták ki (átfedéssel) és töltötték fel habarccsal (56.ábra), így egy folyamatos vízzáró réteg került közbeiktatásra. (16) (17) A korszaknak megfelelően, nem lett kialakítva rendszersaját toldási megoldás, de nem is voltak olyan magas elvárások az utólagos szigetelésekkel kapcsolatban.



56. ábra: Massari-féle furatkiöntéses szigetelés (17)

8.3.3. V-vágásos (Kunz-féle) eljárás

Ezen beavatkozás sem terjedt el széleskörben Magyarországon, valamint az előző módszerekkel együtt szintén már csak történi megoldásnak tekinthető. Az eljárás a furatkiöntéses beavatkozás



57. ábra: V-vágás kialakítási sémája (24)

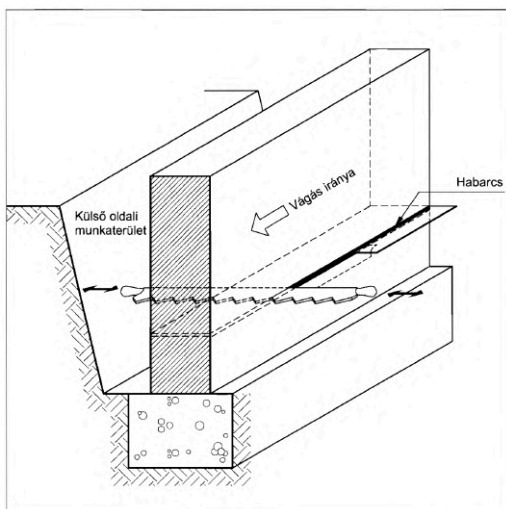
továbbfejlesztéseként él a tudatban. Első lépésben a falazat egyik oldalát 10-30° (messen legalább egy vízszintes fugát) közötti szögben vágókoronggal ki kell alakítani egy cca. 2 cm-es rést, mely a falazat középtengelyén min. 3 cm-rel áthalad, de nem lépi túl a keresztmetszet 60%-át. A teljes falszakasz nem vágható meg, hiszen állékonysági problémák jelentkeznenek, de falkibontáshoz képest jelentősen hosszabb szakaszokon eszközölhető a bevágás. Ezt követően a kialakult rést hidrofóbizáló szerrel kell kezelni (hogy a beöntendő habarcs vizét ne vonja el), majd duzzadó, vízzáró habarccsal ki kell tölteni a kialakult rést. A habarcs kellő szilárdságát elérve, analóg módon kell folytatni a további falszakaszokat. Az adott oldal teljes elkészültével lehet megkezdeni a bevágást a másik oldalon. A túloldali bevágásnak metszeni kell a már elkészült habarcszártr. (57.ábra) Ezen oldali folyamatok továbbra is ismétlődő jelleggel történnek. A munkaiigényes beavatkozásnak nincs rendszersaját szigetelésatlakozási megoldása, viszont nem is nagy igény szint elérésére vonatkozó eljárás. (16) (25)

8.3.4. Résvágásos eljárás

Ezen eljárás elsősorban homogén, egységes fugázatú falazatok esetén alkalmazható jól. Lehetőség van abban az esetben is alkalmazni, ha az előbb írt feltételek nem teljesülnek, de az nagyban nehezítheti a kivitelezést. Az eljáráshoz többnyire szükséges a kétoldali hozzáférhetőség. (58.ábra) A falátvágás történhet kézi láncfűrészszel vagy gördülőállványos kardlapos fűrészszel (akár a falazóelem anyagában is), nagyteljesítményű vágáshoz állványos gyémántbetétes láncfűrész alkalmazandó (akár 3 m vastag falat is). Minden esetben kerülendő a vízhűtéses vágás alkalmazása (inkább nagyobb teljesítményű fűrész kell alkalmazni), hiszen ezzel további, nagy mennyiségű nedvességet juttatnánk a falazatba. (59.ábra)

Az eljárás kivitelezhetőségét statikailag igazolni szükséges, hiszen a vágás során káros repedések keletkezhetnek, valamint egy csúszólapot hozunk létre a szigetelőréteg beiktatásával, amik komoly állékonyságromlást okozhat. Az egy ütemben végezhető vágás cca. 1 m, ezt követően lehet (a rés megtisztítását elvégezve) befűzni a szigetelőlemezt (bevonatok nem alkalmazhatók), a megfelelő külső csatlakozásokhoz túlvezetéssel 8.3.1. fejezet analógiájára. Az alkalmazható szigetelések:

- **félkemény műanyag lemez** (min. 2 mm HDPE v. PP lemez): a csatlakozások nehezebben, nem feltétlenül rendszersaját módon megoldhatók
- **modifikált bitumenes lemez** (min. 3,2 mm PV hordozójú SBS bitumenes lemez), **kiegészítő félkemény védőlemezzel** (min. 1 mm HDPE-lemez): csatlakozások rendszersaját módon megoldhatók, az eltolt egymás feletti átlapolásokkal a nagyobb vízút nagyobb biztonságot jelent
- **nagyszilárdságú keményműanyag sínek** (HIO-technológia): oldalirányú kapcsolat hornyokkal, nem szükséges ékelés, nincs rendszersaját megoldása a csatlakozó szigetelések megoldására



58. ábra: Résvágás elvi sémája (18)

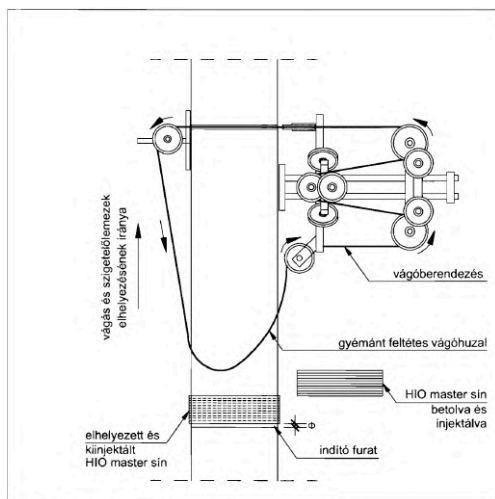


59. ábra: Gyémántbetétes és kézi láncfűrész (26)

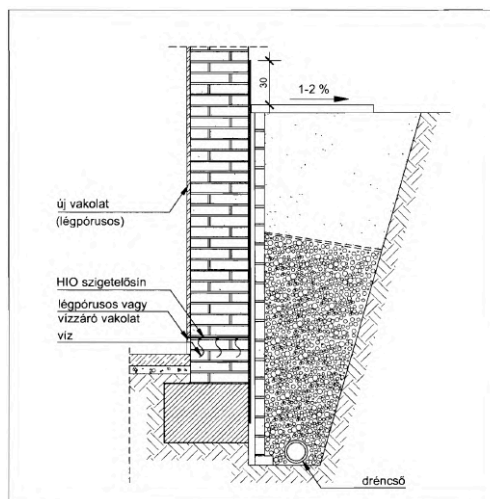
A technológiából adódóan az átlapolások rendszersaját toldása (de a tömítés is nehezen) nem oldható meg, így csak vízzárónak tekinthető ezen megoldás.

A lemezek behelyezését követően nagy nyomószilárdságú ékekkel (min. 50 N/mm²) kell az ideiglenes támaszt kialakítani a két elvágott faltest között. Ezt követően tovább lehet haladni a résvágással, majd az előző szigeteléshez min. 15 cm lapolással csatlakozva analóg módon folytatódnak a munkálatok. Majd a falszakaszt kiöntőhabarcs injektálásával kell véglegesen stabilizálni, melynek összetételére ügyelni kell, hogy (pl. gipszes falazat esetén) megfelelő lúgállósággal rendelkezzen, így nem tudnak a kalcium-szulfát-hidrátok (pl. ettringit, taumazit) kioldódni, amik káros fesztítő hatást indukálnának. A választott habarcs általában zsugorodáskompenzált, cementbázisú szigetelőhabarcs, mely további biztonsági szigetelővastagságot biztosít, valamint erőzáró módon a kellő biztonsággal továbbítja a terheket az alatta lévő faltömegre. (9) (17) (18)

A HIO-technológiájú sínek (13 mm vastag) esetén a falátvágás az eddigiekhez hasonlóan történik, de nem szükséges ékelés az ideiglenes alátámasztásra, hiszen a beütött lemezek befeszülnek a résbe, így a lemezes szigetelésekkel szemben sokkal nagyobb felületen történik az (ideiglenes) teherátadás. (60.ábra) A vágóberendezések minimális helyigényét figyelembe kell venni a tervezés során! A rendszerben a toldások egy árok-eresztékes, "labirinth-elvű" kapcsolattal csatlakoznak oldalirányban, a csatlakozó



60. ábra: HIO-technológia alaprajzi sémája (18)

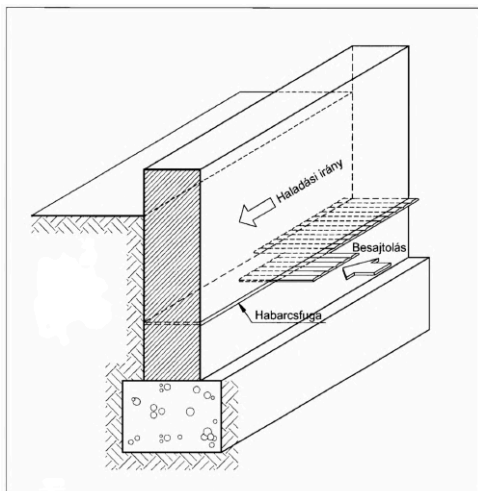


61. ábra: HIO-technológia részletkialakítása (18)

szigetelésekhez legtöbbször csak szigetelőhabarccsal és bütös érintkezéssel lehet folytonosítani. (61.ábra) A sínek bejuttatását követően szintén cementbázisú, zsugorodáskompenzált habarcsot kell befecskendezni a réseken keresztül, így lesz teljes felületű a teherátadás. (18)

8.3.5. Acéllemez beverés

Haböck és Wenzerl német kutatók a szabadalom feltalálói. Az eljárás csak és kizárólag egységes fugaképű, tömör falazatok esetén alkalmazható megfelelően. A tervezett fugasorba a beavatkozás során fém hullámlemezeket vernek be, így egy lépésben megoldható a vízzár elkészítése és az erőzáró kapcsolat kialakítása (nem szükséges ékelés és injektálás), hiszen a fémlemez a percnkénti 1200-1500 ütésszámra a lemezvastagsággal közel megegyező rést alakít ki. (62., 63.ábra) Az célszerű alkalmazás feltétele még továbbá a min. 6 mm vízszintes fugamagasság és a max. 65 cm falvastagság (kiegészítő intézkedésekkel legfeljebb 100 cm). Az egyoldali lemezbeverés javasolt mindenképpen, hiszen a kétoldali bejuttatás esetén min. 3 fémlemez találkozik, amiknek az egymáshoz illeszkedése, átlapolása a falon belül elég bizonytalan.



62. ábra: Egyoldali lemezbeverés sémája (18)



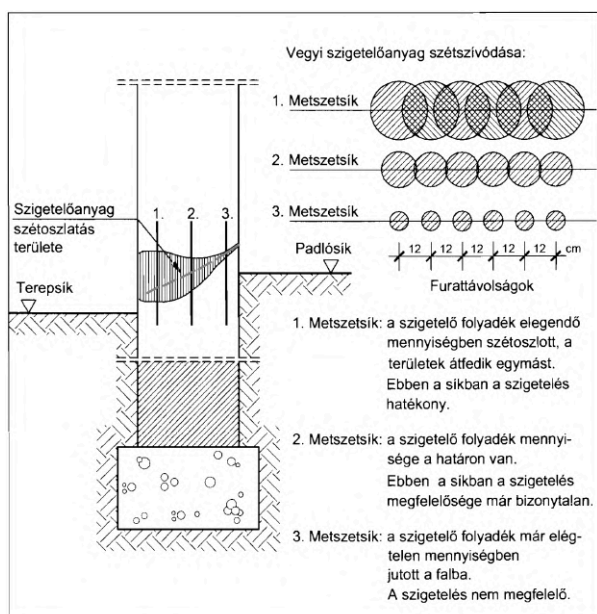
63. ábra: Acéllemez beverésének kivitelezési fotói (26)

Az eljáráshoz alkalmazandó fémlemezek kizárólag rozsdamentes, krómacél anyagúak lehetnek, hullámosított kivitelben (így tudja az oldalirányú vízbiztonságot, valamint kellően merev a beütés energiájának tűréséhez), valamint a frontoldalán élezett kialakítással. A lemezszélesség 20-40 cm, míg a lemezvastagság 1,2-2 mm között alakul a falgeometria függvényében. A lemezeket min. 2 cm-es átfedéssel kell bejuttatni. Nem lehet alkalmazni horganyzott acélt, hiszen a beütéssel sérül a horganyréteg, valamint nem ellenálló a lúgos környezettel szemben sem; így korrodálódhat a szénacél. Alumínium lemez szintén nem alkalmazható, hiszen az ütési energiát nem tudná elviselni, elhajolna.

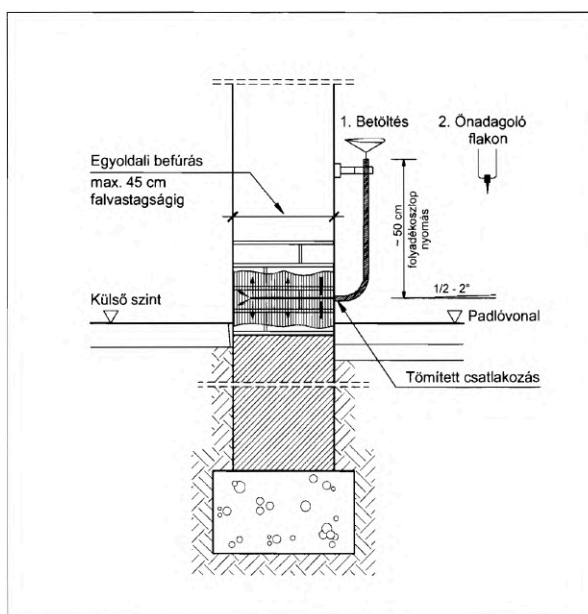
A rendszer hátránya, hogy a fémlemezt a csatlakozó szigetelésekhez legtöbbször csak szigetelőhabarccsal és bütös érintkezéssel lehet folytonosítani, nincs rendszersaját megoldás; valamint a sarkokon, T-csatlakozásoknál, geometriai fordulatoknál nem lehet megoldani a különböző irányú lemezek vízzáró csatlakozását, így ezekben a szituációkban vegyianyag injektálás szükséges. A tervezés során a beverés kivitelezésének helyigényét figyelembe kell venni. Az eljárás kivitelezhetőségét statikailag igazolni szükséges, hiszen az ütések során dinamikus hatás keletkezik, valamint egy csúszólapot hozunk létre a fémlemez beiktatásával, amik komoly állékonyságromlást okozhat. (18) (16) (9)

8.3.6. Nyomás nélküli (gravitációs) injektálások

A hagyományos gravitációs injektálás során túlnyomás nélkül, 50-80 cm-es folyadékoszlop nyomással juttatják a tömör falazatba a nedvesség tova terjedését megakadályozó vegyianyagokat, ezen injektálószerkezetek hatásmechanizmusát a vonatkozó irányelv és minősítési leírások alapján kell megválasztani (9) (14). Az injektáló anyagok ennél a bejuttatási mechanizmusnál csak kapilláris felszívódás alapján terjed és ott fejtik ki hatásukat, így legfeljebb 60%-os átnedvesedési fokozatig alkalmazható ezen beavatkozás. Az eljárás során furatokat kell készíteni, mely az anyag terjedését szolgálja. A furatok távolságát a falazat anyagának nedvszívósságának függvényében kell megválasztani (de nem lehet több, mint 15 cm), átmérőjük cca. 20 mm körül adódik. A furatok behatolását az ellenoldaltól mért max. 5 cm-ig kell kialakítani. A furatok általában egysorosak és vízszintesek, hiszen a ferde furatokon az anyag az alsó rétegekben elfolyik és a felső betöltési ponton nem tud elegendő injektálószer felszívódni. (64.ábra) Az injektálási folyadék elvi szétterülése (hatáshenger) a betöltési pontokra vonatkoztatva egyértelműen látható a 3. Metszetsíkon nem fednek egymásba, azaz a szigetelésben kialakulnak nyitott zónák, szabad kapillárisok. Ezek alapján helyesen a 65. ábra szerint kell eljárni. Mára már visszaszorult ezen eljárás alkalmazása. (18) (16) (9)



64. ábra: Ferde furatos, gravitációs injektálás (18)



65. ábra: Vízszintes furatos, gravitációs injektálás (18)

Manapság hazánkban is elterjedőben van (az üreges téglafalakra kifejlesztett) hidrofóbizáló injektálókrmek alkalmazása. Német nyelvterületen már lényegesen több tapasztalat áll rendelkezésre ennek alkalmazásának vonatkozásában. A technológiát max. 95%-ig átnedvesedett falak esetén lehet használni. Az eljárás során egysoros furatokat készitünk cca. 12 mm átmérővel és max. 12 cm furatkiosztással. A furatmélység az ellenoldaltól számított cca. 2 cm-ig kell hatoljon. A furatok vízszintesen készitendők (az előző bekezdésben leírtak analógiájára), lehetőleg fugákban, de ha bizonyítható a falazóanyag kellő nedvszívó képessége, akkor téglákban is kialakítható. Majd a furatot egy tömlő segítségével maradéktalanul ki kell tölteni a krémmel (66. ábra) majd a furatszájnál le kell zárni szigetelőhabarccsal (67. ábra), hogy a kellő nedves közeg biztosított legyen a vegyianyag számára. Eddigi tapasztalatok alapján legfeljebb 100 cm-es falvastagságig alkalmazható az eljárás.



66. ábra: Injektálókrém alkalmazása



67. ábra: A furatok lezárása cemenhabarccsal

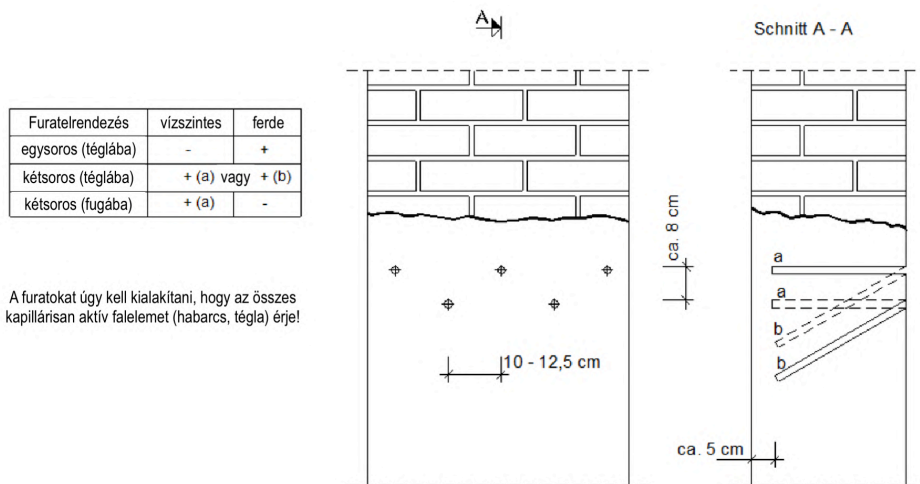
Az injektált megoldások előnye, hogy nincs szükség külön statikai vizsgálatokra. A különleges geometriák is kezelhetők ezzel az eljárással, valamint rendelkeznek rendszersaját szigetelésatlakozási megoldással, illetőleg építésügyi minősítésekkel. A vízzár vonalvezetése tetszőlegesen kialakítható a folytonosság elvét betartva. Hátránya, hogy nem tudjuk biztosra, hogyan telítődött a falban a vegyianyag, valamint sikerült-e egy összefüggő vízzárat kialakítani nyitott zónáktól mentesen.

8.3.7. Nyomás alatti injektálás

Az eljárás előnye az előző injektálási metódusokhoz képest, hogy a különösen átnedvesedett és/ vagy kapillárisan telítődött falazatok esetén is alkalmazható, illetve a nyomással bejuttatott szigetelőanyag nagy hatáshengert hoz létre a gravitációs eljárásokhoz képest.

A furatolás az előző fejezethez hasonlóan történik, viszont jobban szabályozott módon. A téglafalazatok (nagy fajlagos habarcsstérfogat) esetében célszerű min. 2 vízszintes habarcsort átfúrni, hiszen a habarcs jellemzően nedvszívóbb képességű, ezáltal az injektálóanyag is jobban tud terjedni, azaz kitétel a ferde furatolás, erre vonatkozik a, ezalól kivételt képeznek a nagyobb falazóelemből épített falazatok (kis fajlagos habarcsstérfogat) és a monolit, homogén falak, ahol megengedett a vízszintes furatolás (hiszen a ferde fúrás okafogyottá válik). A vastag falaknál (>80 cm) célszerű kétoldali injektálással kialakítani a vízzárat, így biztonságosabb szigetelés alakítható ki, mint az egyoldali beavatkozás esetén. (68. ábra) A furatátmérő 12-18 mm, a furattávolságok 10-12,5 cm között alakulnak eljárástól függően. A furathossz egyoldali beavatkozás esetén min. az ellenoldaltól számított 5 cm-es behatolást érje el, míg a kétoldali furatolás esetén a fal középtengelyét min. 10-10 cm-rel meghaladva kell kialakítani. A kétsoros kialakítás fúrasi pontjai mindig hajózva kitűzendők, de a többsoros injektálás is analóg módon, hajózva (feles eltolással) követik egymást a pontok. A furatokat a furatportól meg kell szabadítani. (16) (9) (14)

A furatolást megelőzően az esetleges vakolatot az injektálási zónában (furatsortól számított cca. 20-20 cm) le kell verni, majd a fugákat ki kell kaparni cca. 2 cm mélyen (ezzel nagymennyiségű sót vonunk el a rendszerből), melyet szulfátálló (szigetelő)habarccsal kell visszajavítani. Majd az injektálási zónában (negatív oldali nyomásnak ellenálló) MDS szigetelőiszappal egy technológiai kérget kell kialakítani, mely megakadályozza az injektálószer felületi elfolyását, illetve a telítés mértékét növeli. A fúrások csak ezután következhetnek.



68. ábra: Injektált vízzár kialakítása WTA kiadása alapján (14)

A furatokba injektáló csomkokat (másnéven packer/pakker) kell helyezni, melyhez az injektáló berendezés tömlőjével lehet csatlakozni, így biztosítható az adott nyomás melletti anyag bejuttatása. A munkálatok során általában alacsony (3-10 bar) vagy közepes (10-30 bar) nyomással dolgoznak, ezzel lefedhetők a falazóanyagok többsége; de előfordulnak olyan alacsony porozitású, kis nedvességfelvételű falak (pl. vasbeton), amikor nagynyomáson (>30 bar) kell a vegyianyagot beinjektálni. (9)

Egy fúrási pontnál (pakkernél) addig kell telíteni a falat, amíg az ún. pakkercapcsolat nem jön létre, azaz a szomszédos injektáló csomknál jelentkezik az injektálószer visszafolyás.

Az eljárás előnyei és hátrányai hasonlóak a 8.3.6. pontban leírtakkal, viszont a nagyobb telítés mellett már egy biztonságosabb eljárásról beszélhetünk, ennek ellenére továbbra sem kézzelfogható a szigetelőréteg felületfolytonosságának létrejötte.

8.3.8. Fagyasztott vegyi eljárás

Ezen technológia még hazánkban csak kísérleti jellegű, nem igazán található referenciamunka ilyen eljárással. A beavatkozás során az injektálási munkálatokhoz hasonlóan (itt nem szükséges pakkercap) a vegyianyag bejuttatásához elengedhetetlen furatok kialakítása szükséges. A furatmélység az ellenoldaltól számított 25 mm-ig terjed; a furatkiosztás a szélektől 55 mm elhagyásával, általánosan pedig 110 mm-ként történik, az alkalmazott furatátmérő: 22 mm; a furatok vízszintesen készíthetők, kizárólag a



69. ábra: Fagyasztott vegyianyag rudak behelyezése furatba (28)

habarcskézagokban. A technológia alkalmazása gyártói utasítás alapján elegendő 1 (habarcs) sorban. A szigetelési folyamat során a gyártó termékét - azaz 250x20 mm-es műanyagfóliába csomagolt hidrofóbizáló vegyi anyag rudak – legalább 48 órán át keresztül fagyasztani kell. A fagyasztott rudakat a műanyag csomagolástól meg kell szabadítani, majd a fagyott vegyi anyagot egyesével a furatokba kell helyezni. (69. ábra) Az anyag felolvadását és a kapillárisokba történő felszívódását követően ezt a folyamatot még háromszor kell megismételni (azaz még további 3 fagyott rudat kell behelyezni a furatokba az olvadási ciklusokat követően) 24 órán belül; ezzel elérhető, hogy az adott furatokhoz rendelt hatáshengerek kapillárisai hidrofób tulajdonságúak legyenek. A kialakult szigetelt zóna csatlakozásai viszont nem oldhatók meg rendszerazonos módon.

8.4. Utólagosan kialakított függőleges fal- és padlószigetelések

Ebben a szakaszban tárgyaljuk a lehetséges belső oldali padló- és falszigeteléseket, illetve a külső oldali falszigetelések anyagi és technológiai lehetőségeit.

8.4.1. Modifikált bitumenes lemezek

Célszerűen felújítások esetén oxidált bitumenes lemezeket ma már (a rekonstrukció terén) nem alkalmazunk, mivel a polimerrel módosított lemezek jobb teljesítőképességgel, nagyobb biztonságot nyújtanak. A felhelyezés technológiáját tekintve lehet beszélni lángolvasztással és öntapadó mechanizmussal kivitelezett lemezekről. A lángolvasztásos technológia csak korlátozottan alkalmazható, szükséges biztosítani a kellő légcsereszámot ilyenkor a helyiségben, hiszen a felgyülemelő PB-gáz tűzveszélyes. Talajvíznyomásban belső felületi alkalmazása csupán ellenszerkezettel (kivétel MDS tapadóhíd) kialakítható, célszerű a lángolvasztásos eljárás ilyenkor, hiszen az anyagfolytonos, molekuláris kapcsolat nagyobb biztonságot nyújt. Ezen esetek analóg módon kivitelezhetők a vonatkozó irányelvek (9) (8), valamint a gyártói alkalmazástechnikák szerint. Az aljzattal szemben támasztott követelmények szigorúan betartandók, ez a rekonstrukciók során számos esetben csak körülményesen biztosítható. Az anyag képes a porszárazsági követelmények teljesítésre.

8.4.2. Műanyag szigetelő lemezek

A műanyag lemezek alkalmazása során (pl. PVC-P, FPO, HDPE, stb.) a rendszer száraz technológiával fektethető rendszersaját védő/elválasztó rétegekkel; a forró levegős hegesztett toldás anyagfolytonos, molekuláris kapcsolatot biztosít. Az utólagos szigetelések során a felhasználási előnye a talajvízhatás esetén használható ki belső oldali szigetelésként (ellenszerkezettel), egyéb esetekben nem célszerű a leplestett (vagy ragasztott) technológia alkalmazása. Az aljzat felületi minőségét különös gonddal kell kezelni. Az anyag képes a porszárazsági követelmények teljesítésre. A rétegvastagság anyagtól és nedvességhatástól függ, ezt a vonatkozó irányelvek szerint kell megválasztani.

Visszatapadó mechanizmusú (pl. FPO, HDPE...) lemezek esetén a toldások jellemzően (van forró levegős hegesztési eljárás is) nem hegesztési folyamattal jönnek létre, hanem rendszersaját ragasztószalagokkal, így a rendszer részeként ajánlott a vízzáró vasbeton hátszerkezet. Ezen kialakítás kizárólag talajvízes viszonyok esetén, az ellenszerkezet ráöntésével tud egy ajánlatos konstrukció lenni.

8.4.3. PMBC bevonatszigetelési rendszerek

A modifikált bitumenes vastagbevonatok (Polymermodifizierte Bitumendickbeschichtungen) talajnedvességben célszerű önálló felhasználási felületei: külső fal-, belső leterhelt padlószigetelés. Talajvízben a külső falszigetelésként alkalmazva a két bevonati réteg közé erősítő szövetbetétet kell ágyazni, önálló belső oldali alkalmazása nem megengedett, csak kellő negatív oldali vízállósággal rendelkező cementiszap tapadóhídra felhordva (egyedi konstrukciónál vízzáró vasbetonra). Az aljzat

felületi síkpontosságára vonatkozó követelmények alacsonyabbak a lemezes szigetelésekhez képest, így helyzettől függően akár egy felületi simítás elegendő lehet, mely alkalmasan rendszersaját szulfátálló habarcsból történhet. A száraz rétegvastagságot az érvényes rendszerleírás tekintetében kell megválasztani, de nem lehet kevesebb, mint 3 mm (két rétegben). A rendszer képes a porszárazsági követelmények teljesítésére. (9) (11)

8.4.4. MDS bevonatszigetelési rendszerek

Az ásványi szigetelőszap bevonatoknak (Mineralische Dichtungsschlämme) az utólagos épületszigetelések kapcsán elvárt minimális 0,2 mm-es (rugalmas) repedésáthidaló képességgel kell rendelkeznie (rideg MDS szigetelések falak, pillérek alatt alkalmazandók), ezek alkalmasak negatív oldali vízterheléssel szemben is (minősítés alapján talajnedvesség: min. 0,05 N/mm², talajvíz: min. 0,75 N/mm² tapadószilárdsági értékek). Két rétegben, min. 2 mm száraz rétegvastagságot elérve kell felhordani. Jellemzően ezen bevonatok alacsony páradiffúziós ellenállási számmal ($\mu < 200$) rendelkeznek, így önmagukban csak viszonylagos szárazságot képesek biztosítani, viszont kiegészítő párazáró bevonatokkal teljesíthető a porszárazsági feltétel is. (9) (12)

8.4.5. FPD bevonatszigetelési rendszerek

A rugalmas, modifikált vastagbevonatok (Flexible Polymermodifizierte Dickbeschichtung) a szakmában is megosztó véleményeket produkálnak páradiffúziós ellenállásukat tekintve, ezen bevonatok túlnyomó része $\mu = 650-2500$ közé sorolható, ami kijelenthetően nem felel meg a porszárazsági követelményeknek, de a fokozott szárazsági igényt teljesíti. Kiegészítő intézkedésként párazáró bevonatokkal lehet megoldani a teljes vízhatlanság elérését

- illetve az európai piacon létezik olyan nagyteljesítményű ($\mu = 14000$) FPD bevonat, mely akár megfeleltethető porszárazságra (jelentősen megközelíti a PVC lemezek ellenállását). Ezáltal belátható az is, hogy a szakmagyakorlók körében elterjedt (általános FPD bevonatok esetén) nagyobb rétegvastagság és növelt rétegszám célszerűen nem tudja kielégíteni a teljes szárazsági igényt. -

Hasonló geometriai helyzetekben alkalmazható, mint a PMBC bevonatok, de a teljes porszárazsági igény biztosítása nélkül. A száraz rétegvastagságot az érvényes rendszerleírás tekintetében kell megválasztani, de nem lehet kevesebb, mint 2 mm (két rétegben). Talajvíznyomásban külső falszigetelésként teljes felületű erősítő szövetbetét alkalmazása szükséges. Belső oldali falszigetelésként alkalmazva kiegészítő intézkedésként negatív oldali minősítetten nedvességátvitellel szemben ellenálló cementiszap tapadóhidat kell alkalmazni. (9) (13)

8.5. Tömbinjektálás – injektált mélységi védelem

Ezen megoldás során egy felületi védelmet hozunk létre injektálási technológiával (hasonló elven, mint az injektált vízzárnál), viszont egy összefüggő vastagsági mérettel rendelkezik. Az eljárás során injektálási furatokat készítünk a felületre merőlegesen cca. 20-30 cm-es rászterben. A furathossz többségében a falszerkezet 2/3-áig hatol be, a furatátmérő 12-18 mm. Az injektálásról 8.3.6. pontban leírtakkal, továbbra is érvényesek, azaz a technológiai szigetelés, furatolás, befecskendezés analóg módon kialakítható. (70., 71. ábra)

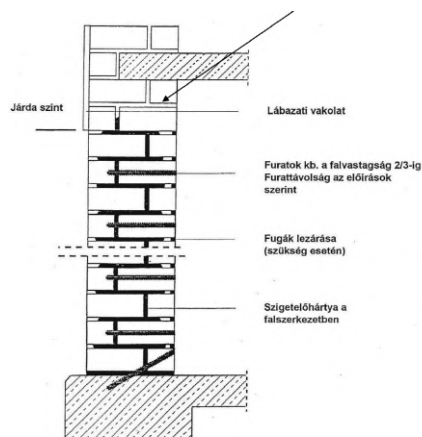
A tömbinjektálás felületéhez nem lehet kapcsolódni a csatlakozó szigetelésekkel, emiatt alsó-felső vízzárt kell kialakítani, mely (a már leírt módon) sűrűbb kiosztásban készül, így teljes keresztmetszetben alakul egy szigetelt védelem. A tömbinjektálás (+ technológiai szigetelés) önmagában nem tud porszárazsági igényszintnek megfelelni és a nagy hibafaktor (a nagy furattáv és az ismeretlen fal belső összetétele miatt), így csak alárendelt helyiségek védelmére javasolható önmagában. Belső oldali bevonatszigetelési

rendszerrel kiegészítve teljes szárazsági követelménynek megfelel és egy kiemelt biztonságú védelmet nyújt. (9)

Mélységi injektált védelemnek nevezzük azokat a falazatokon végzett tömbinjektálást, melyek vastagsága nem haladja meg az 50 cm-t, így arányaiban minimális függőleges habarcszézag található el, mellyel a hatékonyság csökken.



70. ábra: Tömbinjektálás sémája (30)



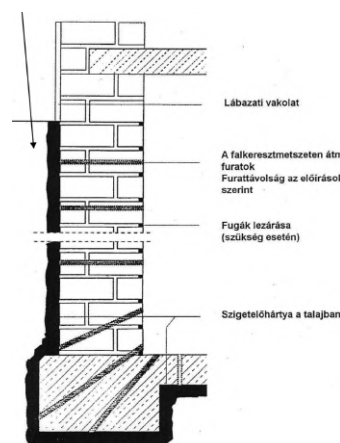
71. ábra: Tömbinjektálás metszete (16)

8.6. Fátyol- és hátűrinjektálás

Ezen megoldás során egy felületi védelmet hozunk létre injektálási technológiával (eltérő elven, mint az injektált vízzárnál), viszont egy összefüggő vastagsági mérettel rendelkeznek. Az eljárás során átmenő furatokat készítünk a felületre merőlegesen cca. 30-50 cm-es raszterben. Majd a talaj és a pincefal közötti részbe injektálnak gélanyagot, ez egy külső felületi hártát alakít ki, melynek a (hidrosztatikai nyomás függvényében) min. vastagsága 10 cm kell legyen. A injektáláshoz alkalmazható vegyi anyagok: akrilátgélek, poliuretángélek. Az injektálási folyamat többlépcsős (egy csonkon többszöri fecskendezés) a megfelelő gélterülés érdekében. Fátyolinjektálással meg lehet oldani technószerűen az egész pince külső védelmét, viszont ez az alapozási szerkezetek alatti talajrétegeket érinti, ami statika jóváhagyás alapján történhet csak. A külső terepsíktól legalább 50 cm mélységből lehet indítani a furatolást (kellő földnyomás), valamint csak a lábazati szigetelés elkészülte után történhet. Ezen megoldás hátránya, hogy talaj összetételének függvényében nem határozható meg pontosan a kívánt anyagmennyiség, az esetleges elfolyások miatt; valamint az elfolyások miatt a gélhártán maradhatnak ellenőrizhetetlen nyitott zónák. (72., 73. ábra)



72. ábra: Fátyolinjektálás sémája (30)



73. ábra: Fátyolinjektálás metszete (16)

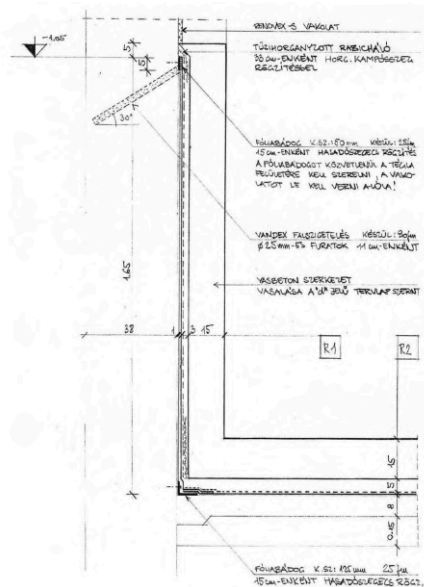
Hátűrinjektálásnak nevezik azt a speciális gélinjektálási módszert, amikor a pincefal és a meglévő szigetelésvédő/-tartó fal közé juttatják be az injektálóanyagot, a fentebb ismertetett technológiai leírás szerint.

8.7. Ellenszerkezetek hidrosztatikai nyomásra

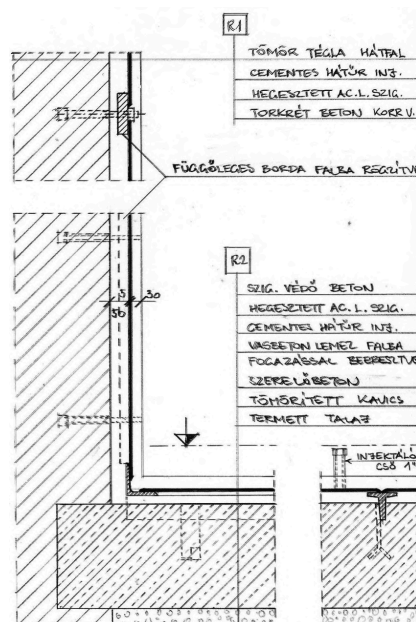
Talajvíznyomásban védeni kell a szerkezeteinket a felúszástól, bedőléstől; ez statikus kompetenciát is igényel, valamint az adott bemelegítési mélységhez mérten a vízszigetelések beszorítását is meg kell oldani. Ezen két fő megoldási irányról beszélünk: víznyomás ellenszerkezetekének visszakötése a meglévő szerkezetekhez, másik esetben a víznyomás szinten tartása (eliminálása).

8.7.1. Statikus víznyomásra méretezett vasbeton ellenszerkezet

Ezen megoldás során a meglévő szerkezetre hordjuk fel a vízszigetelést (a megfelelő megerősítéssel, kiegyenlítéssel és védő/elválasztó rétegekkel), mely a talajvíznyomásnak minősítetten ellenáll. Majd ebbe a teknőszigetelésbe öntik meg a nyomatékbró, monolit vasbeton szerkezetet. Az ellenszerkezet visszakötése a meglévő falakba történhet pontszerű hornyokba való befogazással vagy végigmenő horonnyal is, statikai állásfoglalás szerint. (74. ábra) A bekötések mindig az MTV (mértékadó talajvíz) szintje felett kell megtörténnjen, hogy a szigetelésváltás vízszintes vízzárja nem kapjon talajvíznyomást. A beavatkozás során számolni kell azzal is, hogy a helyiség alapterülete jelentősen csökken. (26)



74. ábra: Vasbeton ellenszerkezet terve (26)



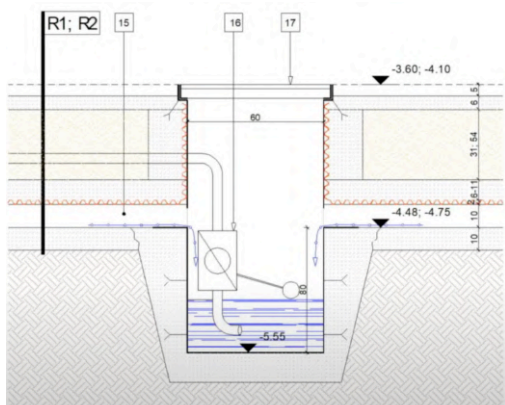
75. ábra: Acéllemezes ellenszerkezet terve (26)

8.7.2. Statikus víznyomásra méretezett acél ellenszerkezet

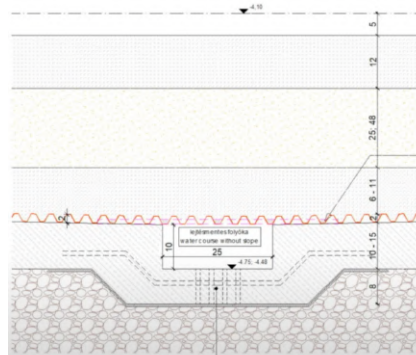
A beavatkozás költségesebb, mint az előző pontban ismertetett megoldás, de kisebb helyigényű és nagyobb biztonságú kialakítás. A kialakítás előnye, hogy az ellenszerkezet és a vízszigetelés egy szerkezetként kialakítható. Az acéllemez teknőt a meglévő szerkezetekhez vissza kell kötni betonozókarmokkal, melyekre acél szelvények csatlakoznak, ezek fogadják (max. 100 cm széles) acéllemezeket. Az acéllemez vastagsága kialakítástól és geometriai viszonyoktól függ, de min. 3 mm, melyet statikus méretezés alapján kell meghatározni. (75. ábra) Az acéllemez hegeszthető (vízhatlan varratok) kell legyen és a külső oldali korrózióvédelmet (szulfátálló) habarcs injektálással kell kialakítani. A belső oldali korrózióvédelmet erre alkalmas festéssel, mázolóssal vagy löttbetonnal kell megoldani. (26)

8.7.3. Nyílt vízszint-tartásos védelem – szerkezet felett

Alacsony bemező mélységek esetén (de van jól működő példa 1,4 m-re is) jön szóba ezen megoldás alkalmazása talajvíznyomásban. Tervezése csak mérnöki felelősségvállalással történhet, hiszen nem a mértékadó talajvízszinthez igazítjuk a méretezésünket, hanem biztonsági tényező nélküli (százéves gyakorisággal egyszer előforduló) becsült maximális talajvízszinthez. Tervezésekor célszerű a becsült max. talajvíz vonalát az aljzatlemez síkja alá előíranyozni, így elkerülhető a folyamatos szivattyúzás. Alkalmazása célszerű, ha az ellenszerkezet nem bevéhető a környező falakba, valamint a helyiségek nagyon szegmentáltak. A beavatkozás lényege, hogy készül egy aljzatlemez (felső síkján lejtésben) egy kirekesztett, nyitott folyásfenekű folyókarendszerrel (77. ábra), mely a megemelkedő talajvíz estén beengedi a rendszerbe a vizet és a gyűjtőaknába vezeti, ahol szivattyúzással távolítják el a felgyülemlett folyadékot. (76. ábra) Ennek folyamán a mért maximális talajvíz nem okoz hidrosztatikai nyomást az aljzatlemezre. A padló rétegrendben egy szivárgó réteggént beépített dombornyomott lemez alkalmazása szükséges, erre kerülhet a további padlófelépítmény. A rendszer működik vízszigetelés nélkül is, viszont ekkor csak viszonylagos szárazsági követelménynek feleltethető meg. A padozat aljzatbetonján kialakított vízszigeteléssel porszárazságú terek is létrehozhatók. (1)



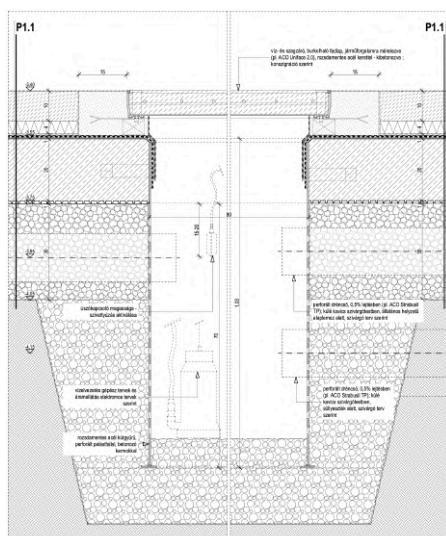
76. ábra: Nyílt vízszint-tartás gyűjtőaknája (1)



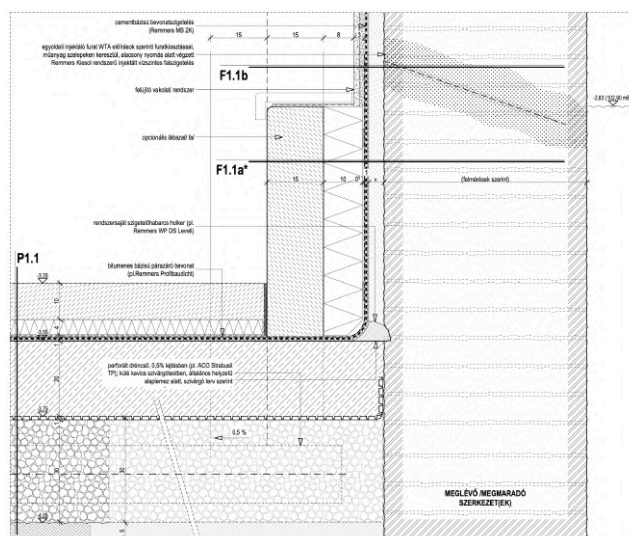
77. ábra: Nyílt vízszint-tartás folyókája (1)

8.7.4. Nyílt vízszint-tartásos védelem – szerkezet alatt

A kialakítás lényege megegyezik az előző pontban leírtakkal, azaz a cél, a talajvíz hidrosztatikai nyomásától tehermentesítjük a szerkezet. Ebben a kialakításban nem engedjük be a padló rétegrendbe a vizet, hanem egy paplanszivárgóban (homokoskavics/zúzalék + dréncsőhálózat) vezetjük el a felgyülemelő



78. ábra: Nyílt vízszint-tartás gyűjtőaknája (29)



79. ábra: Nyílt vízszint-tartás szélső kialakítása (29)

nedvességet a gyűjtőaknába, ahol a szivattyúzás megtörténik. Célszerű esetben is a becsült max. talajvíz vonalát az aljzatlemez síkja alá előirányozni, így elkerülhető a folyamatos szivattyúzás. A rendszert mindenképp vízszigeteléssel kell kialakítani, de azokban a helyiségekben, ahol a szivattyúkat találhatók a porszárzság így sem biztosítható, ezért azok helyét a tervezésnél célszerű mérlegelni. (78., 79. ábra)

8.8. Függőleges vízzárak

Függőleges vízzárak a vízszintes vízzárak síkeltolásainak találkozásainál, illetve geometriai összemetsződésekénél adódnak. Ezek a legtöbb mechanikai eljárással nem kivitelezhetők, kivételt képez a falkibontás, ilyenkor a lemezes szigetelést (körülmenyesen) függőleges felületen is lehet vezetni. A vegyi injektált szigetelések (mindhárom csoportjával) lekövethetők ezen geometriai problémák; akár ferde kialakításban is. A mechanikai vízszintes vízzárak eljárásai kombinálhatók ezekkel a megoldásokkal, de célszerű előre olyan beavatkozást választani, ami rendszersaját módon megoldható. (80., 81. ábra)



80. ábra: HIO-lemez hibás függőleges vízzárja



81. ábra: Résvágás hibás függőleges vízzárja

9. Utólagos szigetelések tervezési mátrixa

Az utólagos nedvességvédelmi beavatkozások tervezése komplex folyamat. A pontos eljárás megválasztása relatív, számos változó függvénye, nehéz (talán nem is lehet) egy általános, minden helyzetre kiterjedő megoldási lexikont készíteni. A szakterület alapvetően nem igazán támogatott szakirodalmi háttérrel, kutatásokkal, átfogó gyártói alkalmazástechnikákkal. Ennek következtében a célunk egy olyan hiánypótló "szigetelési-mátrix" létrehozása, mely az általános morfológiákhoz utólagos vízszigetelési eljárásokat rendel, azok értékelésével. Az előző fejezetben ismertetett (elterjedt) utólagos nedvességvédelmi intézkedéseket értékeltük a különféle geometriai helyzetekben való beépítésük esetén. Az adott geometriák a legjellemzőbb építési szituációkat írják le, melyek az esetek nagy részére választ jelenthetnek. Az esetek során csak a szigeteléssel ellátott megoldások kerültek kidolgozásra; nem téma az egyensúlyi nedvességállapoton alapuló alternatív megoldások (pl. légakna, szellőzőcsatornák), valamint az elektrokinetikus sótalánító és falszárító eljárások vizsgálata. Nem volt célunk az újonnan készülő külső-belső burkolatok, felületképzések hatását vizsgálni az értékelés során (pl. belső oldali szigetelések védelme). Az értékelés során figyelembe vett szempontok az alábbiak:

- a kivitelezés gyorsasága, egyszerűsége, szaktudási követelménye
- az eredeti szerkezetekre gyakorolt esetleges negatív hatása
- az anyagok összeférhetősége, rendszersaját toldási lehetőségei
- geometriai problémák kezelhetősége
- rétegfelépítési rendszerhez mért alkalmazhatóság
- kiegészítő intézkedések szükségessége
- sérülékenységi, megbízhatósági, kockázatvállalás
- szárazsági igény szintbe való besorolhatóság

A besorolás során a geometriákat 3 alapvető csoportba soroltuk, a nedvesség hatások figyelembevételével:

- talajnedvességnek és csapóesőnek kitett földszintes épületeket lábazati zónája (49. oldal)
- talajnedvességnek (lábazaton csapóesőnek is) kitett pincék (50. oldal)
- talajvíz hatásoknak kitett pincék (51. oldal)

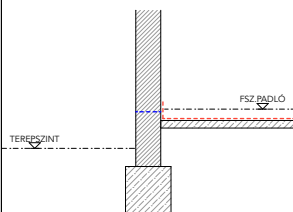
A szigetelési-mátrix (52. oldal) táblázat együtt kezelendő a geometriai sémákkal, valamint a vonatkozó irányelvekkel. A rajzokon színnel/számmal megjelölt vízszigetelési elemet a mátrixban anyagok és technológiák, valamint annak helyzete alapján osztályoztuk 5 csoportba javasolhatóságuk alapján:

- kifejezetten javasolt (++): legbiztonságosabb/-célszerűbb/-egyszerűbb megoldás
- javasolt (+): kialakítása tapasztalatok alapján már bevált rendszert képez
- fenntartásokkal javasolt (0): csak, ha helyzeti feltételek adottak (pl. síkpontos felület) javasolt
- alkalmazható, de nem célszerű javaslat (-): körülményes, számos kiegészítő intézkedéssel megoldható, de alkalmazása nem javaslandó
- nem alkalmazható: a megoldást nem tudja ellátni az adott szigetelési funkciót

UTÓLAGOS VÍZSZIGETELESSÉL ELLÁTOTT ÉPÍTÉSI VÁLTOZATOK

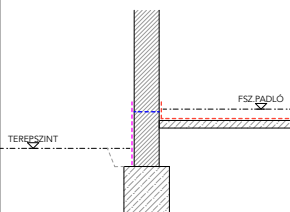
Alápincézetlen építési situációk - talajnedvesség terheléssel

I.A.



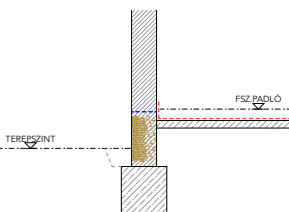
szigetetlen, fagyálló lábazat, kiemelt padozattal, alárendelt esetben

I.B.



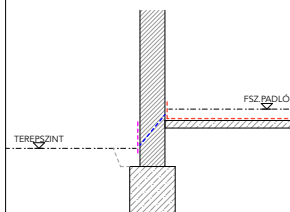
szigetelt, fagyálló lábazat, kiemelt padozattal

I.C.



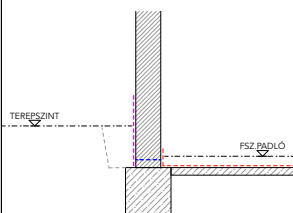
tömbszigetelt, nem fagyálló lábazat, kiemelt padozattal, látszó lábazati burkolattal

I.D.



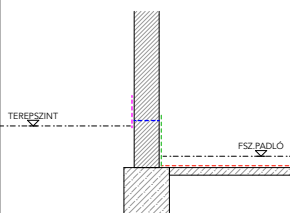
szigetelt, nem fagyálló lábazat, kiemelt padozattal

I.E.



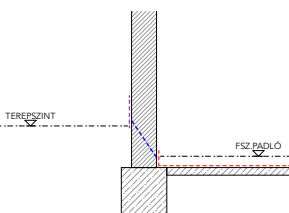
szigetelt lábazat, süllyesztett padozattal, takart lábazati szigeteléssel

I.F.



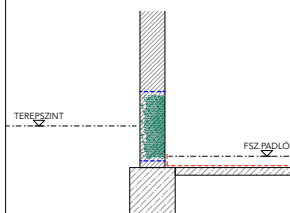
szigetelt, fagyálló lábazat, süllyesztett padozattal, külső hozzáférés nem járható

I.G.



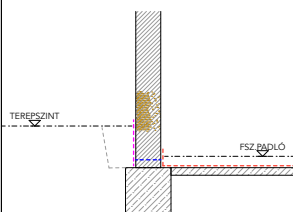
szigetelt, fagyálló lábazat, süllyesztett padozattal, külső hozzáférés nem járható

I.H.



tömbszigetelt, látszó lábazati burkolattal, külső hozzáférés nem járható, sülly. padozattal

I.I.



tömbszigetelt, nem fagyálló lábazat, süllyesztett padozattal, látszó lábazati burkolattal

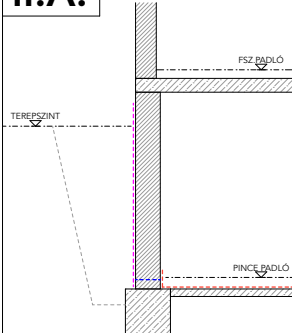
- 1. - "vízszintes" vízzár
- 2. - vízszintes padlószigetelés
- 3. - külső oldali függőleges falszigetelés
- 4. - belső oldali függőleges falszigetelés
- 5. - belső oldali függőleges falszigetelés - negatív oldali víznyomásra
- 6. - drénrendszer
- 7. - tömbinjektálás teljes falszélességig
- 8. - tömbinjektálás 2/3 falszélességig
- 9. - fátol-/hátürinjektálás
- 10. - új kialakítandó szerkezet

AZ ÁBRÁK NEM VÁZOLJÁK AZ ÖSSZES LEHETSÉGES SZITUÁCIÓT, DE A VALÓS HELYZETEK TÚLNYOMÓ RÉSZÉT LEFEDIKI NINCS MINDEN SZIGETELÉSI VARIÁCIÓ FELTÜNTETVE, AZ EGYES SZIGETELÉSI ELEMÉK A SZABÁLYOK BETARTÁSÁVAL KOMBINÁLHATÓK.

UTÓLAGOS VÍZSZIGETELESSEL ELLÁTOTT ÉPÍTÉSI VÁLTOZATOK

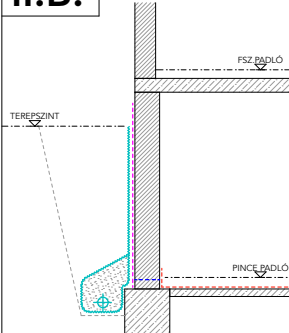
Alápincézett építési situációk - talajnedvesség terheléssel

II.A.



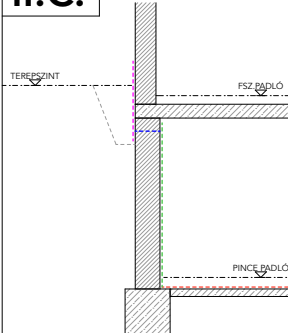
feltárható külső fal, takart
lábazati szigeteléssel

II.B.



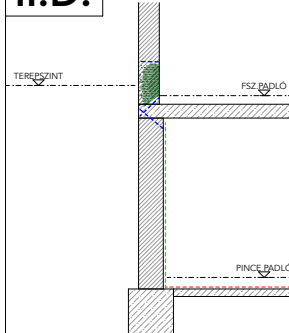
feltárható külső fal, takart
lábazati szigeteléssel -
szivárgóvíz jelenléte esetén

II.C.



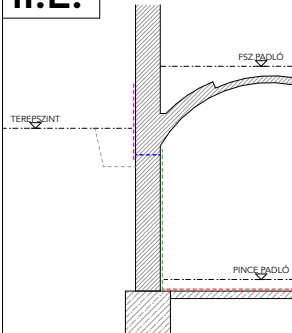
nem feltárható külső fal, takart
lábazati szigeteléssel

II.D.



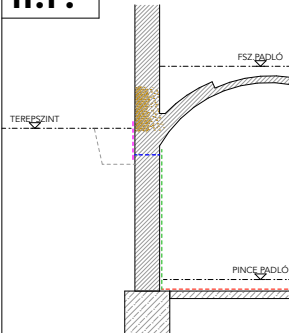
egyáltalán nem feltárható külső
fal, látszó lábazati burkolattal

II.E.



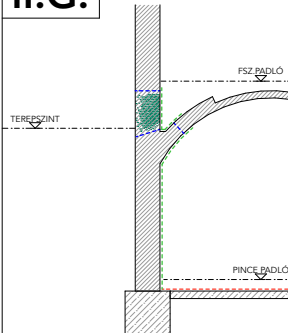
nem feltárható pincefal, takart
lábazati szigeteléssel, nem
bontható padozattal

II.F.



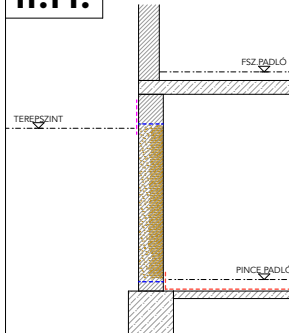
nem feltárható pincefal, látszó
lábazati burkolattal, nem
bontható padozattal

II.G.



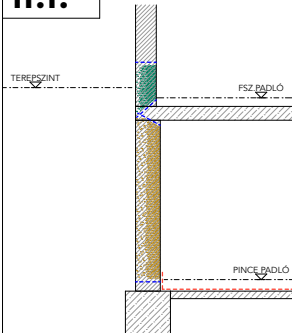
egyáltalán nem feltárható pince
fal, látszó lábazati burkolattal,
bontható padozattal

II.H.



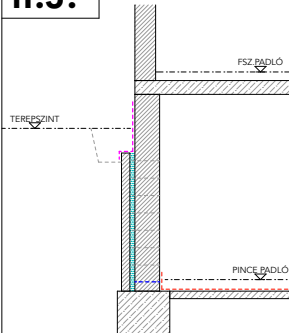
nem feltárható pincefal, takart
lábazati szigeteléssel

II.I.



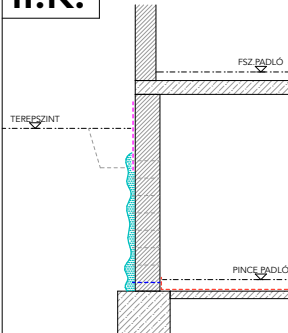
egyáltalán nem feltárható pince
fal, látszó lábazati burkolattal

II.J.



meglévő szigeteléstartófallal
rendelkező pince
hátúrinjektálással

II.K.



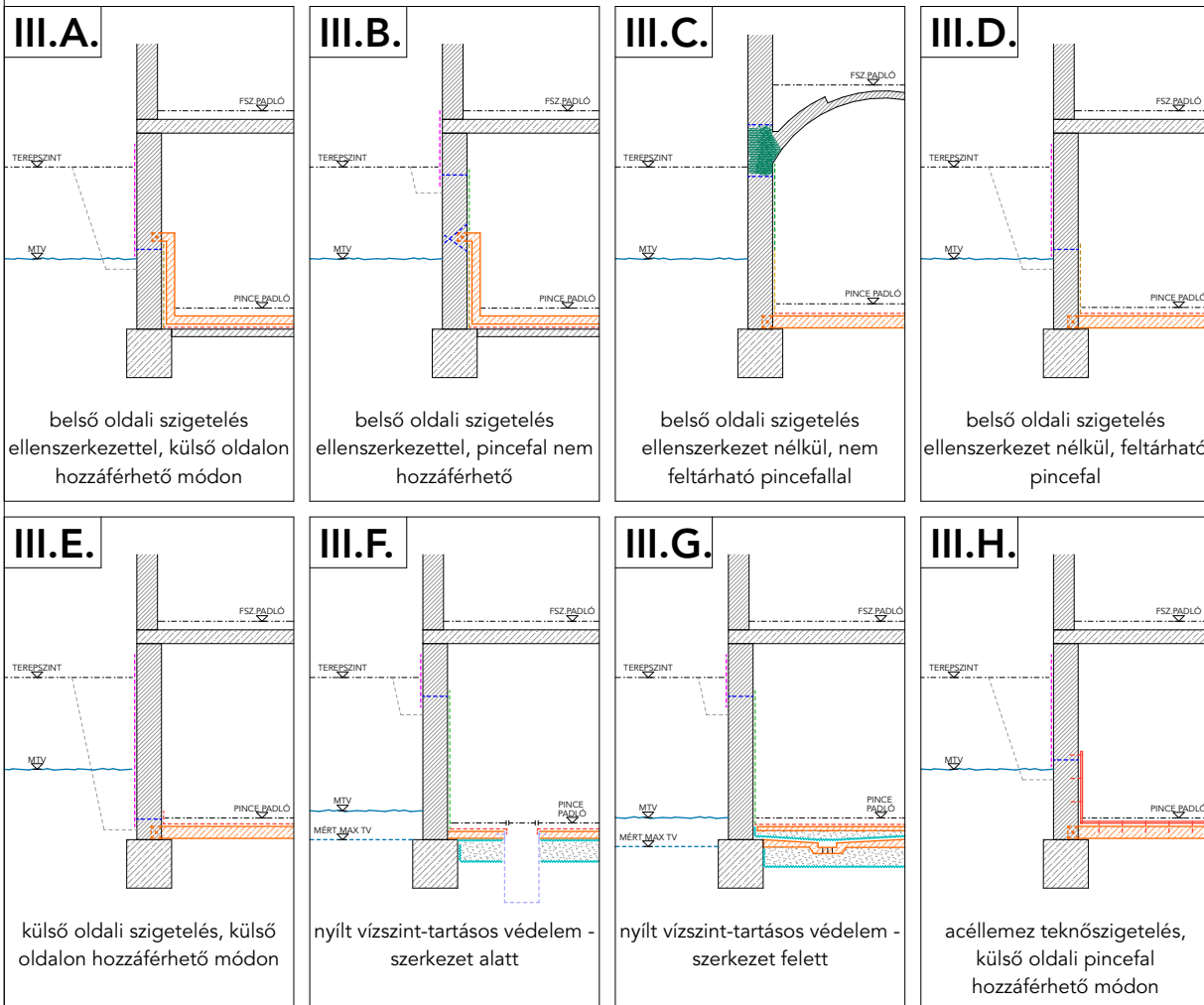
nem feltárható külső fal, takart
lábazati szigeteléssel,
fátýolinjektálással

- 1. - "vízszintes" vízzár
- 2. - vízszintes padlószigetelés
- 3. - külső oldali függőleges falszigetelés
- 4. - belső oldali függőleges falszigetelés
- 5. - belső oldali függőleges falszigetelés
- 6. - negatív oldali víznyomásra
- 7. - drénrendszer
- 8. - tömbeinjektálás teljes falszélességig
- 9. - tömbeinjektálás 2/3 falszélességig
- 10. - fátýol-/hátúrinjektálás
- 11. - új kialakítandó szerkezet

AZ ÁBRÁK NEM VÁZOLJÁK AZ ÖSSZES LEHETÉSES SZITUÁCIÓT, DE A VALÓS HELYZETEK TÚLYOMÓRÉSÉT LEFEDIKI NINCS MINDEN SZIGETELÉSI VARIÁCIÓ FELTÜNTETVE, AZ EGYES SZIGETELÉSI ELEMÉK A SZABÁLYOK BETARTÁSÁVAL KOMBINÁLHATÓK.

UTÓLAGOS VÍZSZIGETELÉssel ELLÁTOTT ÉPÍTÉSI VÁLTOZATOK

Alápincézett építési szituációk - talajvíz terheléssel



- 1. - "vízszintes" vízzár
- 2. - vízszintes padlószigetelés
- 3. - külső oldali függőleges falszigetelés
- 4. - belső oldali függőleges falszigetelés
- 5. - belső oldali függőleges falszigetelés
- 6. - negatív oldali víznyomásra
- 7. - drénrendszer
- 8. - tömbinjektálás teljes falszélességig
- 9. - tömbinjektálás 2/3 falszélességig
- 10. - fátöl-/hátürinjektálás
- 11. - új kialakítandó szerkezet

AZ ÁBRÁK NEM VÁZOLJÁK AZ ÖSSZES LEHETSÉGES SZITUÁCIÓT, DE A VALÓS HELYZETEK TÚLNYOMÓ RÉSZÉT LEFEDIK! NINCSEN MINDEN SZIGETELÉSI VARIÁCIÓ FELTÜNTETVE, AZ EGYES SZIGETELÉSI ELEMÉK A SZABÁLYOK BETARTÁSÁVAL KOMBINÁLHATÓK.

UTÓLAGOS VÍZSZIGETELÉSI BEAVATKOZÁSOK ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI - ÉPÍTÉSI SZITUÁCIÓK ALAPJÁN

[illegible]

JELMAGYARÁZAT

- | JELMAGYARÁZAT | |
|---------------|--|
| + | kifejezetten javasolt |
| + | javasolt |
| 0 | fontantásokkal javasolt |
| - | alkalmazható, de nem elsősrű javaslat |
| x | nem alkalmazható |
| 1 | negatív oldali kúveltségátással szemben minősítettten porszárazsági kúveltség |
| 2 | szembenálló MDS tapadóhiddal együtt kialakíttva kúveltségű, belsű oldali szigetelés bevonatrendszerrel kúveltségű |
| 3 | kezelve biztosítható a teljes porszárazság |
| 4 | csak a szigetelt zónazárásra vonatkozó értékelés, az átlátszó felületi kúveltségek betráásával csak pigment nélküli injektálólszerek és hidroforizáló krémek alkalmazhatók |
| 5 | negatív oldali kúveltségátással szemben minősítettten porszárazsági kúveltség |
| 6 | szembenálló MDS tapadóhiddal együtt kialakíttva kúveltségű, belsű oldali szigetelés bevonatrendszerrel kúveltségű |
| 7 | csak a szigetelt zónazárásra vonatkozó értékelés, az átlátszó felületi kúveltségek betráásával csak pigment nélküli injektálólszerek és hidroforizáló krémek alkalmazhatók |
| 8 | negatív oldali kúveltségátással szemben minősítettten porszárazsági kúveltség |
| 9 | szembenálló MDS tapadóhiddal együtt kialakíttva kúveltségű, belsű oldali szigetelés bevonatrendszerrel kúveltségű |

10. Összefoglalás, fő megállapítások

Kutatásunk során **4 mintafalnak** (4 falazóanyag és 1 habarcskeverék) só- és nedvességtechnikai jellemzőjét vizsgáltuk falanként 27 ponton monitorozva közel másfél éven át falanként, hiszen a nedvességtranszport és a száradás hosszas folyamat. A vizsgálatok 3 nedvességmérő műszerrel történtek, valamint mintavételes labormérésekkel. Megállapítottuk az adatok kiértékelése során, hogy a **műszerek** nagy szórással mérnek, de az általános nedvességeloszlási, telítési tendenciákat jól követik, az átszámítási táblázat alapján többnyire a **biztonság javára tévednek** (ha tévednek).

Létrehoztuk az említett 5 anyag szorpciós izotermáját, amelynek segítségével kifejlesztettük az adott **műszer** mérési értékeinek **átszámítási táblázatát** (a vonatkozó anyagra), mely konkrét vízfelvételi m%-ot rendel a műszer értéke mellé.

Laborméréseinkkel igazoltuk, hogy ezen **falazóanyagok** nedvességhatástól függetlenül jelentős mértékben, már gyárilag, valamint az előző beépítésből **sószenyvezettek**; a mért anionok összetételéből bizonyítható, hogy nem a töltővízből származnak azok a sók. Belátható, hogy a bontott falazóelemek ilyen formában való beépítése egyes anionok jelenlétében károsodáshoz vezethet.

Méréseinkkel igazoltuk, hogy az elektromos nedvességmérő **műszerek** eredményeit a túltelített **sóoldat** nem, de a befecskendezett **injektálószer** már torzíthatja. Ezáltal a tömbinjektálások utólagos nedvességmérésére nem javallott ezen műszerek alkalmazása!

Vizsgálataink során beláttuk, hogy az **injektálással** kialakított vízzárak a falazat száradásának **kezdeti** szakaszában - az átrendezett nedvességháztartás és a többlet anyagbevétel - **növekednek** a mért nedvességértékek.

Méréseinkkel alátámasztottuk, hogy a hidrofóbizáló **injektálókrém**mel eredményesen kialakítható a vízszintes vízzár **üreges** falazóelemekből (pl. vázkerámia) épített fal esetén.

Kijelenthetjük, hogy a sikertelenül kialakított **injektált** vízzárral **hátrányosabb** helyzetet állíthatunk elő, mint a kezdeti átnedvesedett (telített) állapot; nagyobb nedvességi értékeket mértünk és nagyobb magasságba szívódott fel kapillárisan víz ebben a helyzetben.

Megerősítettük a légpórusos **felújító vakolati** rendszerek alkalmazásának száradásban tett hatékonyságát, összevetve a **csupasz** falfelületek (száradási) hátrányaival.

Kifejlesztettünk egy **szigetelési-mátrixot**, mely a három osztályba sorolt építési geometriákhoz rendel utólagos vízszigetelési eljárásokat, azok helyzetfüggő értékelésével.

11. A kutatás további céljai, lehetőségei

A továbbiakban még az alábbi területekkel, vizsgálatokkal érdemes foglalkozni:

- további építőanyagok szorpciós izotermáját (sűrűbb mérési pontokkal) összevetni a különféle műszerek mérés technikájával, az anyagok deszorpcióját is figyelembe véve
- további oldatok (pl. agresszív talajvíz) hatásainak tanulmányozása a műszerek tekintetében
- a nagyméretű téglá utóinjektálásának hatása a száradásra
- szigetelési- mátrix bővítése az alternatív, egyensúlyi nedvességállapoton alapuló megoldásokkal, az elektroosmotikus eljárásokkal
- különféle vakolatok száradásra tett hatásának kísérleti vizsgálata

Köszönetnyilvánítás

Szeretnénk hálás köszönetünket kifejezni mindazok felé, akik bármilyen módon elősegítették a Tudományos Diákkör Konferenciára készített tanulmányunk létrejöttét.

Elsősorban kedves konzulenseinknek: **Kapovits Gézának**, **Dr. Nagy Balázsnak** és **Dr. Nemes Ritának** szeretnénk megköszönni hosszás, fáradhatatlan munkájukat; kitartó támogatásukkal, motivációjukkal segítették elő munkánkat.

Köszönjük **Kürtös Zoltánnak** a segítő munkáját, tapasztalatainak, tanácsainak megosztását, elméleti oktatását.

Köszönet illeti a **Remmers Ungarn Kft.**-t a mintaanyagok felajánlásáért vizsgálatainkhoz.

Szeretnénk köszönetünket kifejezni **Benkő Attilának** és **munkatársainak**, akik segítettek a mintafalak létrejöttét és az injektálás kialakítását, valamint tapasztalatokkal láttak el minket; támogatásuk nélkülözhetetlen volt a kutatásunk létrejöttéhez.

Hálás köszönet a **Hydroticum Kft.** anyagi és szakmai hozzájárulásáért a vizsgálatainkhoz, valamint a kivitelezésben való támogatásért.

Külön köszönet **Orbán Tamásnak**, a BME Hőfizika Laboratórium munkatársának, aki fontos szerepet vállalt a klímakamrával történő méréseink során.

Továbbá köszönjük **Dr. Bakonyi Dániel**, egyetemi oktatónak mintafalak monitorozási rendszerének kiépítésében tett segítségét.

Végül, de nem utolsó sorban köszönet a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék Anyagvizsgáló Laboratórium **munkatársainak** a kísérletek során nyújtott segítségükért.

Függelékek

1. **Függelék** – mérési jegyzőkönyvek, összes diagramm elérési útja

https://drive.google.com/file/d/1lxFwR6h95gyqF79QXHpK9VIQUD7JDd-Q/view?usp=drive_link

2. **Függelék** – kutatás során készült fotódokumentáció elérési útja:

<https://photos.app.goo.gl/x5ohS1jeAqbyp4xp7>

Irodalomjegyzék

1. **Horváth, Sándor.** Alternatív megoldás a atlajból származó nedvességátadások ellen A nyílt vízszint-tartásos védelem. *A szigetelő.* 2023., 1.
2. **MSZ EN ISO 12571.** Építési anyagok és termékek hő- és nedvességtechnikai viselkedése. A higroszkópikus szorpció tulajdonságok meghatározása (ISO 12571:2013). 2013.
3. **MI-04-320:1992.** Átmedvesedett falak vizsgálata. 1992.
4. **MI-04-88-5-82.** Agresszív közegek vizsgálata szilárd anyagok, talajok. 1982.
5. **MSZ 21470-2:1981.** Környezetvédelmi talajvizsgálatok. 1981.
6. **MSZ 448-13-82.** Ivóvízvizsgálat. 1982.
7. **MSZ EN 772-4.** Falazóelemek vizsgálati módszerei. 2000.
8. **ÉMSZ.** Talajnedvesség és talajvíz elleni szigetelések tervezési és kivitelezési irányelvei. 2008.

9. **ÉMI.** 3_2022. *ÉPMI* (v1_2022. I. 18.) Falazott szerkezetű épületek talajból származó nedvességátadások és sók elleni utólagos védelmének tervezése. 2022.
10. —. 2/2019. (VII.1) *ÉPMI Falazott szerkezetek nedvesség- és sóvizsgálata.* 2019.
11. **Deutsche Bauchemie e.V.** *Richtlinie für die Planung und Ausführung von Abdichtungen mit polymermodifizierten Bitumendickbeschichtungen (PMBC).* 2018.
12. —. *Richtlinie für die Planung und Ausführung von Abdichtungen mit mineralischen Dichtungsschlämmen (MDS).* 2020.
13. —. *Richtlinie für die Planung und Ausführung von Abdichtungen mit flexiblen polymermodifizierten Dickbeschichtungen (FPD).* 2020.
14. **WTA.** *Merkblatt 4-10:2015-03 - Injektionsverfahren mit zertifizierten Injektionsstoffen gegen kapillaren Feuchtetransport.* 2015.
15. —. *Merkblatt 2-9:2020-03 - Sanierputzsysteme.* 2020.
16. **Frössel, Frank.** *Falak utólagos víztelenítése és szigetelése.* Budapest : TERC Kft., 2006.
17. —. *Mauerwerkstroekenlegung und Kellersanierung: Wenn das Haus nasse Füße hat.* Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2001.
18. **Dr. Kakasy, László és Fülöp, Zsuzsanna.** Falazatok nedvesség elleni utólagos szigetelés. *Épületszigetelési kézikönyv.* Budapest : VERLAG DASHÖFER, 2006.
19. **Engerst, Y., és mtsai.** New test methods to determine water absorption by capillarity. Experimental study in masonry mortars. *Elsevier Ltd.* 2021.
20. **Jitka, H., és mtsai.** Laboratory testing of developed thermal insulation plasters on pillars built from masonry bricks. *Elsevier Ltd.* 2017., 10. kötet.
21. **Alessandro, S., Barbara, L. és Alessandra, B.** Effectiveness of a dehumidifying render system in tackling rising damp: Laboratory, small scale and field tests. *Elsevier Ltd.* 2021., 11. kötet.
22. **Radoslaw, M., Piotr, L. és Lukasz, C.** In Situ Monitoring of Drying Process of Masonry Walls. *Energies.* 2020., 13. kötet.
23. **Dér, István.** Épületfizikai kérdések. *Magyar Építéstechnika.* 2008., 11. kötet.
24. **Young, David.** *Salt attack and rising damp. A guide to salt damp in historic and older buildings.* Melbourne : Red Rover, 2008.
25. **Weber, Jürgen.** Nachträgliche mechanische Horizontalsperre. *Bauwerksabdichtung in der Altbausanierung.* Leipzig : Springer Vieweg, 2018.
26. **dr. Kakasy, László.** *Épületek utólagos szigetelése talajnedvesség és talajvíz ellen.* Budapest : BME, 2022.
27. **Seibt, Christian.** *Diplomarbeit: Nachträgliches Abdichten erdberührter Bauteile.* 2005.
28. **FREEZTEQ.** [Online] [Hivatkozva: 2023. Október 22.] <https://freezteqinternational.com>.
29. **Kapovits, Géza és Heincz, Dániel.** *MANOOI HEADQUARTERS I. ütem épületszerkezeti tervdokumentáció.* Budapest : Artheseus Kft., 2022.
30. **Desoi.** Schleier- und Flächeninjektion Katalog. 2020.
31. **Krus, Martin.** *Moisture Transport and Storage Coefficients of Porous Mineral Building Materials.* Nobelstraße 12, D-70569 Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1996. ISBN 3-8167-4535-0.
32. **Trotec.** [Online] [Hivatkozva: 2023. október 30.] <https://de.trotec.com/produkte-services/messgeraete/feuchte/feuchtemessgeraete/>.
33. **Fraunhofer IBP.** WUFI adatbázis. 2023.
34. **Baumit GmbH.** Grundlagen Ausführung und Wirkung von Putzen in der Mauerwerkssanierung. *Bauhandwerk.* 2008., 11. kötet.
35. **Dr. Bakonyi, D., Dr. Dobszay, G. és Dr. Nagy, B.** *Porotherm falszerkezetek nedvességtechnikai szimulációja.* Budapest : ismeretlen szerző, 2019.