

Peter Schießl, Karl-Heinz Wiegink
Müncheni Műszaki Egyetem/Németország

Kalciumszulfát öntőesztrichek viselkedése kiszáradáskor

Összefoglalás: Kísérletek és matematikai modellezés kimutatta, hogy a kalciumszulfát öntőesztrichekben a nedvesség kétféle módon közlekedik, a kapillárisokon keresztül és páradiffúzió formájában, amelyeket valóságosan le lehet írni. A kapillárisokon át történő kiszáradás első napjai döntő jelentőségűek az átmeneti időben. A kiszáradás gyorsaságát ezért alapvetően befolyásolja a kezdeti szellőzés. Az izotermikus viszonyok közül a további folyamatban a környezet levegőjének relatív nedvességtartalma döntő jelentőségű.

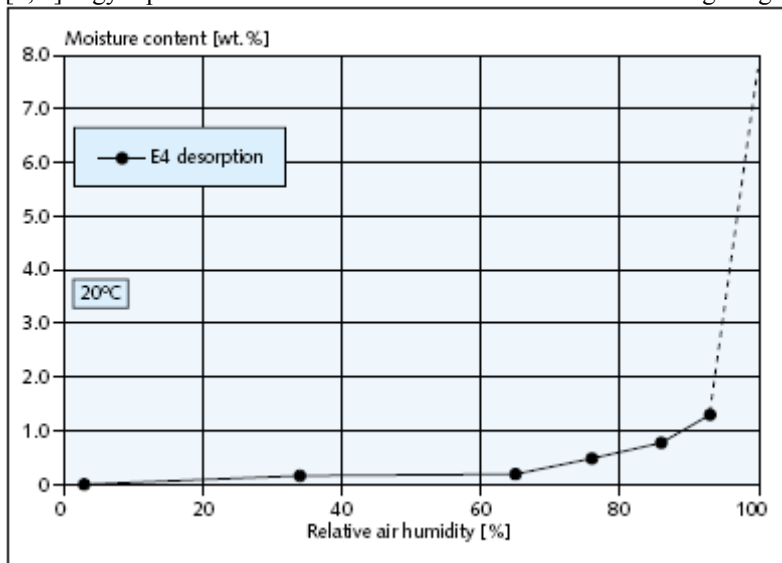
1. Bevezetés

A kalciumszulfát öntőesztrichekben félhidrátokat vagy anhidriteket használnak kötőanyagként. A vízzel történő összekeverés után a kikeményedési folyamat során a kötőanyag a víz egy részét felveszi és reakcióba lép vele a szilárdságképző fázisban.

A munkahelyen, az öntőesztrichként történő bedolgozhatóság eléréseért azonban a kikeményedéshez szükségesnél több víz hozzáadása szükséges. A keletkező többlet vízmennyiség, ami mérhető nedvesség az esztrichben, kb. 7-8 tömeg %, amelyet az esztrichnek a száradási fázisban a környező levegőnek át kell adnia. Különösen párazáró burkolat fektetése esetén játszik az esztrich maradék nedvességtartalma nagy szerepet, mivel a túl magas nedvességtartalom az esztrich és a burkolat károsodásához vezethet.

A szilárdsági tulajdonságok mellett az esztrich kiszáradási viselkedése gyakran az építkezés egész ütemére van döntő befolyással.

Egy kutatási tervben a Gipszipari Szövetségi Szövetség kalciumszulfát alapú esztricheket gyártó Ipari Csoportja bejegyzett egyesület és a Gyári Habarcs Ipari egyesület bejegyzett egyesület számos öntőesztrichet megvizsgált [1, 2]. Egy reprezentatív öntőesztrich viselkedését részletesen megvizsgálták és matematikailag modellezték.



1 Kalciumszulfát öntőesztrich vízfelvétele állandó hőmérsékleten [4]

2 Nedvességtechnikai alapfogalmak

2.1 Nedvességtárolási képesség

A porózus építőanyagokat teljesen száraznak tekintjük, ha nem tartalmaznak elpárologtatható, csak kémiaiilag megkötött vizet. Ezt az állapotot a DIN 52620 [3]-nak megfelelően, a tömegállandóságig történő száradással érik el.

Vízzel, vagy nedvesebb levegővel történő érintkezéskor a porózus építőanyagok, mint a kalciumszulfát öntőesztrichek, nem maradnak szárazak, hanem vizet vesznek fel a pórusrendszerükbe. A felvett víz mennyisége

a környezeti körülményektől függ. Minél nedvesebb a környező levegő és minél magasabb a hőmérséklet, annál több vizet vesz fel az építőanyag. A felvett víz és a relatív légnedvességtartalom állandó hőmérséklet melletti összefüggését mutatja a be az 1 sz. ábra.

A kalciumsulfát öntőesztrichek állandó hőmérsékleten történő vízfelvétele tipikus S-formát mutat. A szokásos lakótéri klíma tartományában csak kb. 0,2 tömeg % a nedvességtartalma. Magasabb légpáratartalom esetén a nedvességfelvétel hirtelen felugrik. Kb. 95 %-os relatív légnedvességig az állandó hőmérsékleten történő nedvességfelvétel képessége kísérletekkel igazolható. Ezután kezdődik a szabad, kapillárisaktív vízfelvétel, amely a porózus építőanyagok sajátosságánál fogva, a vizet a teljes telítettség állapotáig felszívja. [4]

A kalciumsulfát öntőesztrichek rendes körülmények között nem nedvesednek vissza, ezáltal a készítéskori teljes víztelítettségtől a kiegyenlítő nedvesség irányába haladva kiszáradnak.

2.2 Nedvességszállítás

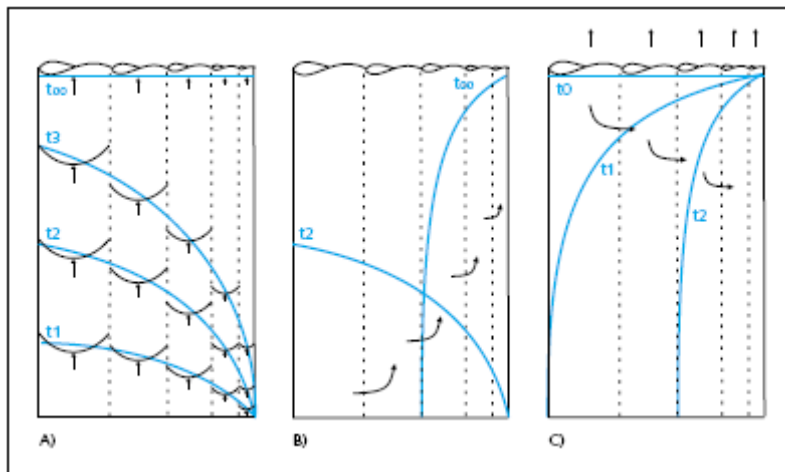
2.2.1 Általánosságban

Ahogy a környezet légnedvesség viszonyai változnak, úgy fog az építőanyag nedvességháztartása reagálni, vagyis a környezetből nedvességet vesz fel, illetve ad le annak. Ezen kívül a szakirodalomban még számos szállítási mechanizmust megneveznek, hogy leírják ezeket.

2.2.2 Gázformájú nedvességszállítás

Különböző parciális nyomású szomszédos és összekötött gázterek (pl. helyiség légtére és az ásványi építőanyag pórusterei) között a vízpáramolekulák igyekeznek egyenletesen eloszlani. Ez páradiffúzióknak nevezett nedvességszállítást eredményez, a magasabb maradék nedvességtartalmú területről az alacsonyabb felé.

A DIN 52615 [6] szerint ez a szállítási mechanizmus kísérleti úton megállapítható és egy anyagréteg és egy ugyanolyan vastag levegőréteg diffúziós együtthatójának μ viszonyozásával leírható.



2 Egymással összekötött kapillárisok vízszállításának vázlatos ábrája; A.) normál szívás; B.) további szétosztás megszakítás után; C.) további szétosztás teljes víztelítettség utáni kiszáradás esetén, [8] után

2.2.3 Folyékony nedvességszállítás

Magas nedvességtartalomnál a kapilláris vezeték alakítja mérvadóan a nedvességszállítást. A szállítás kapilláris szívásként az egyes kapillárisokon keresztül, a pórustér átlagos átmérőjén át jön létre. A hajtóerő a víz felületi feszültsége és a víz és a pórusfelületek közötti felületi határfeszültség. Minél csekélyebb a kapilláris átmérője, annál erősebb a szívóerő, de annál alacsonyabb a szívási sebesség is, mert a szállítást fékezi az áramlási ellenállás. Az áramlási ellenállás kiszámításával és az idő függvényében megállapítható a vízfelvétel. Ezzel a modellezéssel megállapítható a DIN 52617 szerinti vízfelvételi együttható [7]. Nagy hátránya ennek a matematikai modellnek, hogy az építőanyag nedvességi gradiensét nem lehet vele értelmezni. Egy bizonyos építményrész mélységében csak „nem töltött” vagy „teljesen töltött” állapot meghatározása lehetséges.

A valóságos pórusrendszer azonban különböző méretű pórusok sokasága, amelyek térben rendeződtek és egymás alatti hálózatokat alkotnak. A **2-es ábra** a pórusrendszert leegyszerűsítve, mint párhuzamos, különböző átmérőjű csőkapillárisokat ábrázolja, amelyek egymás alatt össze vannak kötve. A nagyobb átmérőjű kapillárisok a kisebb áramlási ellenállás miatt gyorsabban szívnak, mint a kisebbek. Emiatt matematikailag

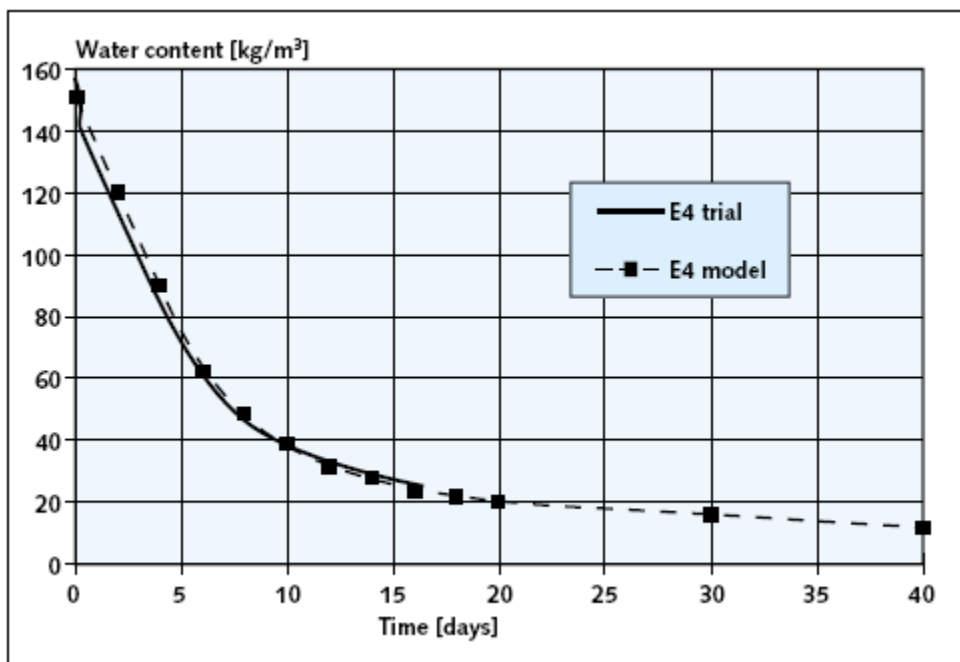
megosztott nedvesség mutatkozik az esztrich vastagságában. Megfelelő hosszúságú szívóidő elteltével azonban a végeredmény az, hogy valamennyi kapillaris tele lesz.

Ha a szívási folyamat megszakad, a nedvesség eloszlása megy végbe. Ez a még fel nem töltődött kisebb kapillarisok nagyobb szívóereje miatt következik be, amelyek a keresztirányú összeköttetéseken keresztül elszívják a vizet a nagyobb kapillarisokból. A kis kapillarisokon keresztül bekövetkezik az eloszlás, de mivel a szívási sebesség jelentősen alacsonyabb, az eloszlás 1-2 nagyságrenddel lassabban megy végbe, mint a kapillaris szívás [4].

A kalciumszulfát öntőesztrichek rendes körülmények között nem nedvesednek vissza, ezáltal a készítés kori teljes víztelítettségtől a kiegyenlítő nedvesség irányába haladva kiszáradnak (2C ábra). Tulajdonképpen ez a folyamat analóg a 2B ábrán látható eloszlással. A víz elpárolog minden kapillarisból az esztrich felületén. A kisebb kapillarisok mégis elszívják a vizet nagyobb szívóerejükkel a nagyobbakból. Ezáltal a kisebb kapillarisok a párolgás ellenére mindaddig telítettek lesznek, amíg a nedvességeloszlás nagyobb a párolgási veszteségnél.

2.2.4 Átmeneti réteg

Az építőanyag és a környező légtér közötti határrétegben képződik egy átmeneti réteg, amelyben a levegő alig kering. Emiatt a nedvességszállítás az átmeneti rétegben csak páradiffúzió formájában jöhet létre. Vastagságától függően az átmeneti réteg az építőanyagból a környező levegőbe történő páraszállításra képes lehet megállni. Az átmeneti réteg vastagsága függ az építőanyag felületén bekövetkező légmozgástól. Minél csekélyebb a légmozgás, annál vastagabb az átmeneti réteg.



3 Kis esztrichfelületek tömegvesztése a laborklímai kiszáradás miatt és az FEM számítások eredményei.

3 Kísérletek

3.1 Általánosságban

A száradási viselkedés meghatározásához próbatestek készültek, amelyekkel a száradási idő alatti összes nedvességvesztés és az esztrichvastagságon át a nedvességi gradiáns meghatározható. Minden próbatest laborklímban, 20°C, 65 % relatív páratartalom mellett volt tárolva. A laborhelyiségben klimatizált munkatérben szokásos mértékű légmozgás volt.

3.2 Tömegvesztés a száradási idő alatt

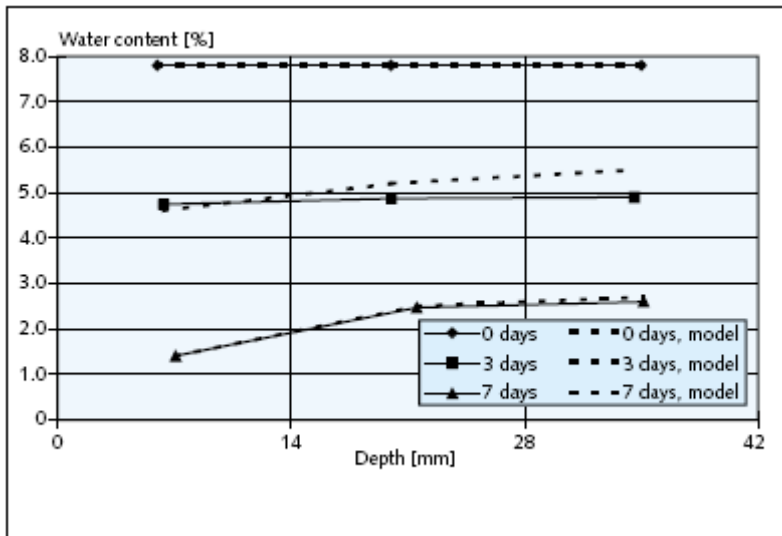
Az esztrichek nedvességvesztésének meghatározásához 300-300-40 mm³ méretű kis esztrichfelületek kerültek kialakításra, amelyeket a gyakorlatban használt esztrichek kiszáradási viselkedésének szimulálásához az aljukon és négy oldalukon PVC héjazat tömítéssel lettek ellátva, hogy csak a felső felületükön át tudtak száradni [2, 9, 10].

A száradás miatti tömegvesztés folyamatos, automatikus méréssel lett megállapítva és a **3-as ábra** mutatja be. A kiszáradás két különböző területet mutat. Az első 7 nap folyamán gyorsan, közelítőleg az idővel lineárisan 150-től kb 50 kg/m³-ig adták le a nedvességet. Kb. 7 nap után változik meg hirtelen a folyamat. A kiszáradás lelassul és a továbbiakban jelentősen csökken a száradás mértéke.

3.3 Nedvességgradiensek

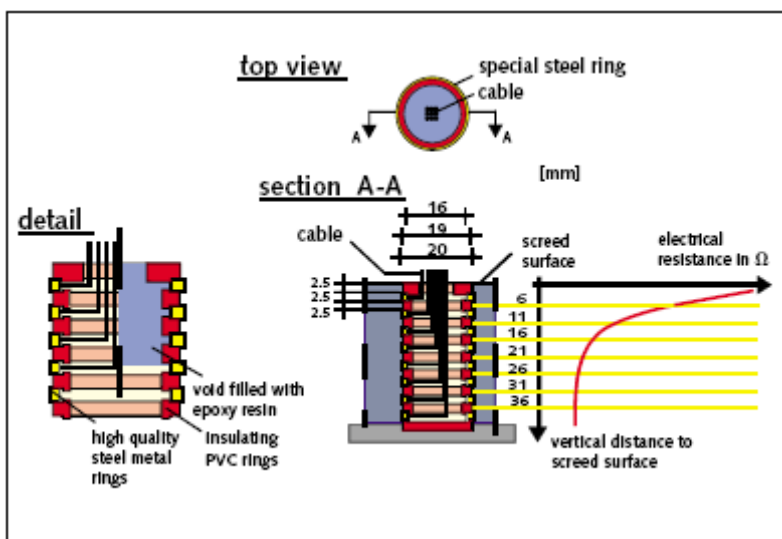
A nedvességgradiensek meghatározásához további 100·100·40 mm³ méretű próbatestek készültek, amelyek alja és négy oldala vízzáró anyaggal lett ellátva, így csak a felső 100·100 mm-es felületen keresztül tudtak száradni, hogy szimulálni lehessen a gyakorlati körülményeket.

A próbatestek az elkészítés után kb. 42 mm vastagok voltak. 3 illetve 7 nap után lettek megbontva és az egyes rétegek átlagos nedvességtartalma 40°C-os silicagél szárítással gravimetrikan lett meghatározva. Az eredményeket, mint teljes szimbólumokat a **4-es ábra** mutatja be.



4 42 mm vastag próbatestek gravimetrikan megállapított továbbá számított nedvességgradiensei

A nedvességtartalom az első 3 napban kb. 90 kg/m³-re csökken. Ekkor csak csekély mértékű nedvességgradiens képződik az esztrichben. A 7-ik napig kb. 50 kg/m³-ig csökken a nedvességtartalom, amelynél még mindig csak csekély mértékű nedvességgradiens képződik a mélység fölött.



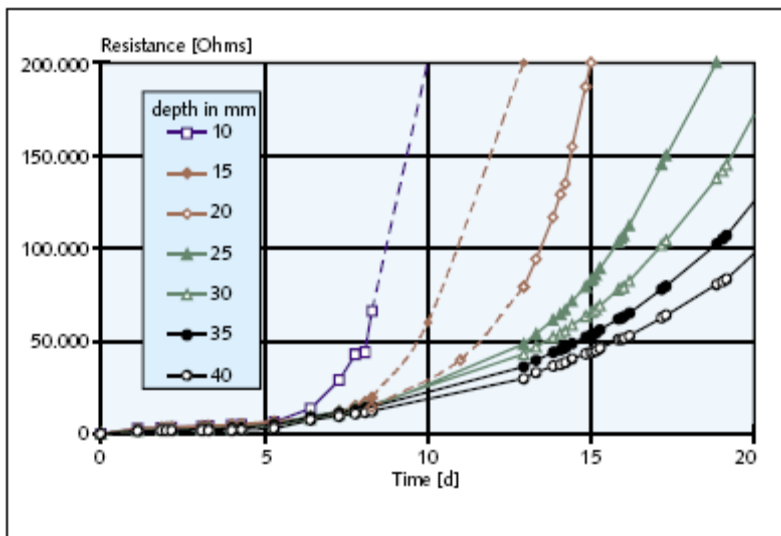
5 A multi-gyűrűs elektródák felépítése és mérési elve

3.4 A nedvességeloszlás idő és mélységfüggő meghatározása multi-gyűrűs elektródákkal

Az esztrichben bekövetkező idő-és mélységfüggő nedvességeloszlás kiderítésére multi-gyűrűs elektródák (MRE – Multi-Ring-Elektrode) lettek elhelyezve az előbbieken leírt kis felületű esztrich testekbe. Az MRE szenzor több nemesacél gyűrűből áll, amelyek a közepük helyezett műanyag távtartó gyűrűkkel egymástól pontosan meghatározott távolságra vannak (**5-ös ábra**). A nemesacél és műanyag gyűrűk vastagsága 2,5 mm, 20 mm-es átmérő mellett. A gyűrűkhöz forrasztott és a belsején keresztül kivezett kábelek lehetővé teszik az esztrich két acélgyűrű közötti ellenállásának folyamatos mérését. Ezzel a módszerrel 5 mm-enkénti mérési értékeket lehet megállapítani az esztrich felső és alsó síkja között. Az ellenállás értékei váltoáramméréssel, 2 mega-Ohm –ig terjedő mérési tartományban lettek megállapítva. A mért ellenállási értékek fordítottan arányosak az esztrich nedvességtartalmával.

A **6-os ábra** az ellenállás időbeni alakulását mutatja a készítés időpontjától a felülettől mért különböző mélységekben. A 6-ik napig a mélységtől függetlenül valamennyi ellenállás egyöntetűen növekszik. Csak a 7-ik naptól nő meg hirtelen az első 10 mm-ben jelentősen az ellenállás. Nagyonb mélységekben az ellenállás később növekszik.

Ez azt jelenti, hogy az első 7 napban a kalciumsulfát öntöesztrichek a felszín közeli rétegekben éppúgy, mint a mélyebb rétegekben egyformán száradnak, annak ellenére, hogy a száradás csak a felületen következik be.



6 Az MRE mérés eredményei kis esztrichfelületek laborklímán történő kiszáradásáról

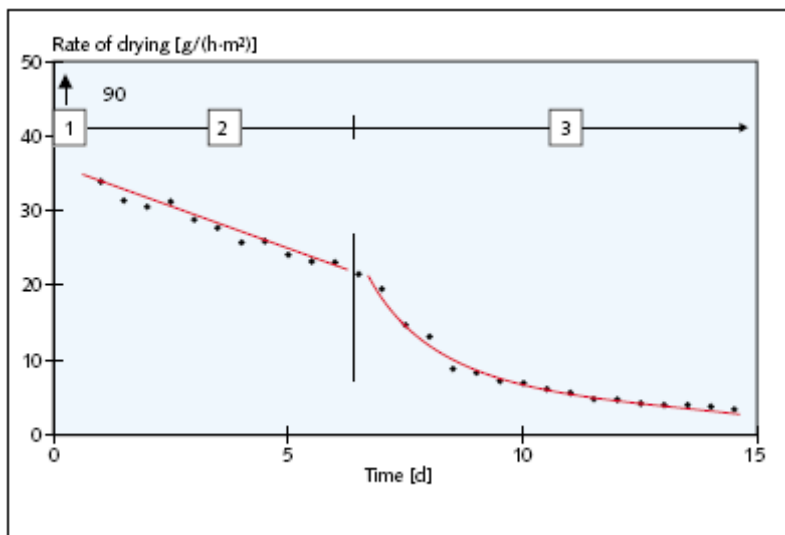
4 Számítás

A kalciumsulfát öntöesztrichek száradási viselkedése a WUFI és az FEM-Tömeg FEM programokkal matematikailag is szimulálva lett [11]. A szükséges paraméterek a pórusradiens eloszlási vizsgálatok –részben, a páradiffúziós-és vízfelvételi koeficiens vizsgálatok alapján lettek megállapítva [1, 2, 12].

Az eltelt idő arányában számított nedvességvesztéséget a **3-as ábra** mutatja be. A laborkísérlet és a számítás eredményei jól alátámasztják egymást. Mind az időbeli lefolyást, mind a feltűnő megoszlást két kiszáradási területre ki lehet mutatni matematikai módszerrel.

A 4-es ábrán szaggatott vonal mutatja a számított gradienseket. A laborkísérletek és a számítások ebben az esetben is fedik egymást és alátámasztják, hogy a kalciumsulfát öntöesztrichek az első 7 napban jelentős gradiensek nélkül az esztrich teljes vastagságában kiszáradnak, annak ellenére, hogy a száradás csak a felső felületen következik be.

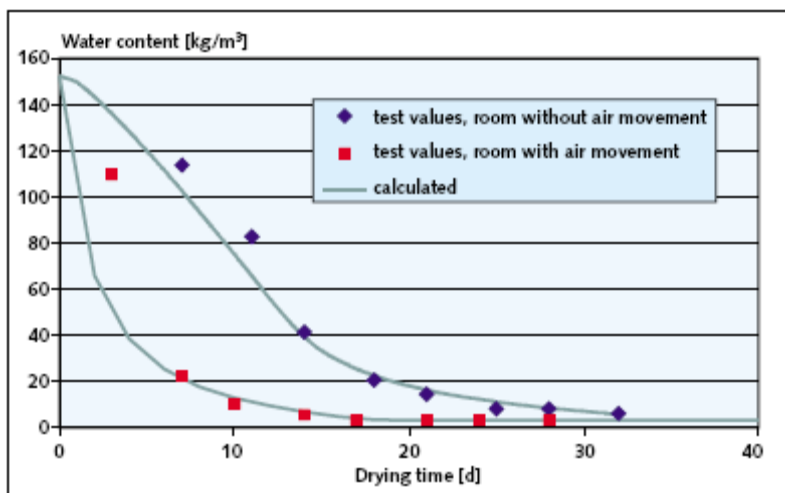
Ezt a kalciumsulfát öntöesztrichek pórusrendszerének nagyon jó kapilláris továbbvezető képessége magyarázza.



7 Kis esztrichfelületek kiszáradási sebessége laborklímában

A **7-es ábrán** a korábban a 3-as ábrán bemutatott időtartamhoz kötött tömegvesztés [kg] mint időtartamhoz kötött kiszáradási sebességet mutatja be ($\text{g}/[\text{h}\cdot\text{m}^2]$). Közvetlenül az elkészítés után nagyon gyors a kiszáradás (kb. $90 \text{ g}/[\text{h}\cdot\text{m}^2]$), mert az esztrich még folyékony és a szabad vízfelület párolgása a próbatest egész felületén egyszerre indul meg (1-es fázis, 7-es ábra).

Miután a felületi folyadék elpárolgott, a felszín megszárad, és a pórusüregekben a vízzállításhoz csak jelentősen kisebb keresztmetszet áll rendelkezésre, mint párolgási felület. Ettől az időponttól a vizet a kapillárisok szívóereje szállítja az anyag belsejéből a felszínre. Az átmeneti réteg gátolja a nedvességszállítást a felszínen keresztül a környező levegőbe. Amíg az átmeneti réteg szállítási teljesítménye alacsonyabb, mint a belülről a felszín felé irányuló kapilláris szállítás, a száradási sebesség csak lassan csökken és relatív magas szinten marad, mivel a növekvő kiszáradással mindig kisebb pórusok határozzák meg a belső részekből a felszín felé irányuló vízzállítást kisebb továbbelosztó képességgel. A továbbelosztás teljesítőképessége döntő abban a tekintetben, hogy milyen erős nedvességgradiens képződik az esztrich belsejében (2-es fázis, 7-es ábra).



8 Az esztrichfelületek tömegvesztése szellőzéssel befolyásolt kiszáradáskor, gyakorlati kísérlet és FEM számítás módszerével

Kb. 7 nap elteltével az esztrich belsejének kiszáradása olyan szintre jut, hogy a kapilláris vízzállítás egyenesen tovább már nem tartható fenn. A párolgási front az esztrich felületéről a belsejébe vándorol (3-as fázis, 7-es ábra). Az esztrich felületközeli rétegében a szállítás most páradiffúzió formájában, a pórustérben kell, hogy bekövetkezzen. A szállítási mechanizmus megváltozása következtében jelentősen csökken a nedvességvesztés. Mivel a pórustér diffúziós ellenállása jelentősen nagyobb, mint az átmeneti rétegé, az átmeneti réteg vastagsága a további kiszáradást, már csak jelentéktelen mértékben befolyásolja. A nedvességvesztés a folyamat további ideje alatt állandóan csökken. Egyrészt a kiszáradási folyamat előrehaladtával a felületközeli

rétegek szállítási távolsága, amelyet a páradiffúzióknak le kell győznie, növekszik. Másrészt a hajtóerő, a parciális nyomáskülönbség a próbatest belseje és felszíne között csökken. A próbatest addig szárad, amíg az esztrich belsejében a relatív nedvességtartalom ugyanakkora lesz, mint a környező levegőé.

A kalciumszulfát öntőesztrichek kiszáradási viselkedését az első napokban, amelyekben a kapillaris szállítás aktív, mérvadóan az átmeneti réteg befolyásolja.

5 Gyakorlati kísérletek

A gyakorlatközeleki kísérletekben [13] az átmeneti réteg befolyása beigazolódott. Ehez két $3,00 \cdot 4,00 \text{ m}^2$ felületű, átlagosan 35 mm vastag kalciumszulfát öntőesztrich felület készült. Az esztricheket kb. 2,5 m magas fóliasátor borította, a szokásos körülményeket szimulálva. Ezáltal a környező levegővel történő légcseréje lehetősége ki volt zárva. Egy nap elteltével mindkét helyiségben kondenzszárító lett beállítva. Az A helyiség minden további szellőzés nélkül száradt. A B helyiségben a kondenzszárító mellett egy levegőforgató is beállításra került.

Ennek a gyakorlati kísérletnek az eredményét mint mérési pontokat mutatja be a **8-as ábra**. Az esztrich középső nedvességtartalma a kísérlet folyamán a CM módszerrel lett meghatározva.

A 8-as ábra folyamatos vonallal mutatja be a számított eredményeket. A számításnál a nem szellőztetett helyiségben az átmeneti réteg 50 mm, a szellőztetett helyiségben 5 mm vastagsággal lett figyelembe véve.

A kísérleti eredmények és a számított értékek jól egybecsengenek és igazolják, hogy a kalciumszulfát öntőesztrichek kiszáradási tulajdonságaira és az átmeneti rétegre befolyással van a szellőztetés.

Irodalomjegyzék

- [1] Építéskutatási Intézet Aachen, ibac: kalciumszulfát esztrichek nedvességtechnikai jellemzőinek megállapítása, E2, E3-2, E4, E5 és E6 esztrichek vizsgálata; A 3058/1 vizsgálati jelentés
- [2] Építéskutatási Intézet Aachen, ibac: Kalciumszulfát bázisú öntőesztrichek nedvességtechnikai, deformálódási és kiszáradásviselkedési jellemzői; A 3228/1 vizsgálati jelentés, még nem nyilvános.
- [3] DIN 52620, 1991-04-es kiadás; Hőtechnikai vizsgálatok; Kiegyenlítő nedvességtartalom 23°C és 80 % relatív páratartalom mellett.
- [4] Künzel, H.M.: Építőelemek kapcsolt hő-és nedvességszállításának egy-és kétdimenziós számítási módszere egyszerű jellemzőkkel. Disszertáció, Stuttgart, 1994.
- [5] Oberback, N.: Nmem állandó hő-nedvesség-és károsanyag szállítás a betonban, elmélet és számítás, disszertáció, Braunschweig, 1995
- [6] DIN 52615, 1987-11 kiadás; Hőtechnikai vizsgálatok; Építőelemek és szigetelőanyagok vízpára áteresztőképesség megállapítása.
- [7] DIN 52617, 1987-5 kiadás; Építőanyagok vízfelvételi koeficiensének megállapítása.
- [8] Krus, M.: Porózus ásványi építőanyagok nedvességszállítási-és megtartási koeficiens. Elvi alapok és új mérés technikák. Egyetemi disszertáció, Stuttgart, 1995, Konstruktív Építésfizikai Tanszék.
- [9] Szövetségi gipsz-és gipsz építőlemezipari Szövetség, bejegyzett szövetség Esztrichanyag Ipari Csoport, Birkenweg 13, 64295 Darmstadt.
- [10] Előregyártot Szárazhabarcsipari Szövetség, bejegyzett szövetség, Düsseldorf Str. 50, 47051 Duisburg
- [11] Kiebl, K.: Többrétegű építőelemek kapillaris és páraformájú nedvességszállítás – Számítási összefoglalás és építésfizikai alkalmazás. Disszertáció, Essen, 1983
- [12] Schiebl, P.; Wiegink, K-H.: A kalciumszulfát öntőesztrichek kiszáradási-és deformációs viselkedése – anyagtulajdonságok és matematikai modellezés, B 2210 szakvéleményi állásfoglalás.
- [13] Knauf testvérek, Nyugatnémet Gisművek, még nem nyilvános laborjelentés.

Hirdetői jegyzék

| | |
|--|---|
| Hirdető E-mail: | Kontaktszemély telefonszám: |
| BRAUER Maschienentechnik AG info@brauer-getriebe.de | N. Brauer úr +49/2871/7033 |
| CEMAG Anlagenbau GmbH cemag@cemag.de | Ulrich Meloch úr +49/5151/989991 |
| Cemtec GmbH info@cemtec.at | Franz Plochberger úr +43/7223/83620 |
| Claudius Peters Technologies reiner.fruehling@claudiuspeters.com | Reiner Frühling úr +49/4161/706319 |
| Doubrava Ges.mbH & Co. KG rudolf.muigg@doubrava.at | Rudi Muigg úr +43/7674/601467 |
| Teruzzi Fercalx SPA info@teruzzi.fercalx.com | Dr. Danele Teruzzi úr +39/0363/41233 |
| Ferro Duo GmbH info@ferroduo.de | Ute Kehrmann asszony +49/203/600030 |
| Hedfeld GmbH, Paul hedfeld@hedfeld.com | Burkhard Hedfeld +49/2332/6371 |

| | |
|--|--|
| Herding GmbH Filtertechnik info@herding.com | Irmgard Nießl asszony +49/9621/630131 |
| Klüber Lubrication München KG petra.scheede@klüber.com | Petra Scheede asszony +49/89/7876504 |
| KREISEL GmbH & Co. KG Wolfram.Kreisel@kreisel.biz | W. Kreisel úr +49/35771/980 |
| Mondi Packaging AB robert.pachler@mondipackaging.com | Robert Pachler úr +43/1795234032 |
| OneStone Consulting Group GmbH harder@onestone.de | Dr J. Harder úr +49/4161/556817 |
| Polysius AG veitn@tkt-pol.thyssenkrupp.com | Norbert Veit úr +49/2525/992505 |
| RUSSIG Fördertechnik GmbH & Co. KG info@russig.de | Carsten Russig úr +49/2521/14091 |
| Ventilatorenfabrik Oelde GmbH Inge.teich@venti-oelder.de | Inge Teich +49/2522/75124 |