

## **Makro- és mikropórusok, szigetelőanyagok, nedvességtartalom**

**Tóth Attila – Libant Vladimír – Čaplovič Ľubomír**  
**Nyitrai Konstantin Filozófus Egyetem, Nyitra – Styrcón Jelenec, Gímes –**  
**Szlovák Műszaki Egyetem, Nagyszombat**

### **Bevezetés**

A túlzott elszigetelésnél az épületek hermetikusan lezáródnak, így a nedvesség bennreked, gombásodás, penész és páralecsapódás is kialakulhat. Kutatásunk során egy újfajta szigetelőanyag fizikai tulajdonságait vizsgáltuk meg. Ebben a nem éghető, A2-s1-h0 tűzveszélyességi osztályba tartozó hőszigetelő anyagban makro- és mikropórusok találhatóak, ennek köszönhetően az ezzel az anyaggal hőszigetelt épület „lélegzik”. Nedvességfelvevő képessége a benne található makro- és mikropórusok arányától függ. Magas relatív nedvességtartalom esetén képes nedvességet felvenni és pórusaiban megtartani, alacsony relatív nedvességtartalom esetén pedig nedvességet leadni. A makropórusokat digitális mikroszkóp, a mikro- és nanoméretű pórusokat pedig elektronmikroszkóp segítségével készült felvételekkel szemléltettük. Az általunk tervezett segédeszközök segítségével egy vízbemerítéses vizsgálattal megmértük a pórusok nagyságát és az áramlási sebességet. Azt vártuk, hogy a mérések inflexiót adnak, ahol elválnak a makro/mikropórusokból történő súlycsökkenés, és így megállapíthatóvá válik a makro- és mikropórusok aránya. Az elméletek alapján pedig a víz áramlási sebességére fizikai-matematikai modellt kerestünk a különböző vastagságú mintákon végzett kísérletekkel.

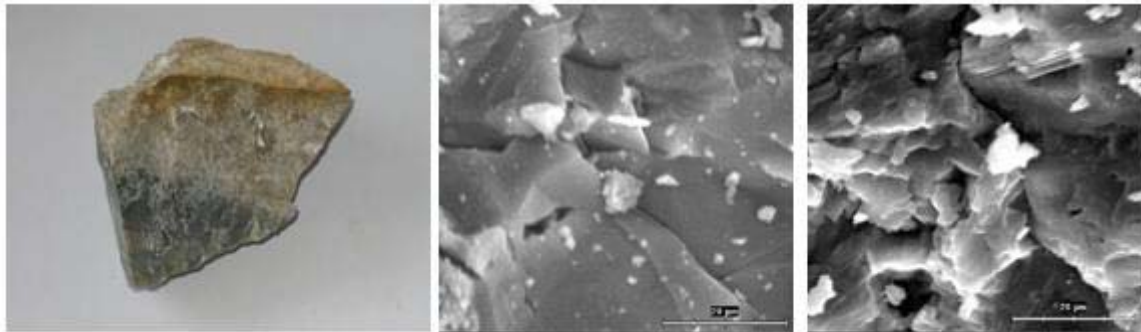
A munkában leírtuk és áttanulmányoztuk az olyan klasszikus építőanyagokkal való tapasztalatokat, mint a vályog. Sok a pro és kontra vélemény az ilyenfajta építőanyag alkalmazásával. Itt felsoroltuk azokat a tapasztalatokat, amelyeket a méréseink folyamán mi is megfigyeltünk. Az eredményeinket összehasonlítottuk egy doktori értekezés eredményeivel. A két anyag (a természetes összetevőkből alkotott vályog és a mesterséges eredetű polisztirol adalékanyagú könnyűbeton) a feltételezésünk alapján hasonlóknak tűnik. A nyomószilárdságot a vályogminta és a STYRCÓN esetében is az EN 197-1 szabvány szerint mértük, ahol a próbatestek előírt nagyságúak. A vályogra vonatkozó szabványok viszont csak 1974-ig voltak érvényben Németországban. A DIN 189512 a vályog kötési erejét írja le, és a 18954 szabvány a testsűrűség és nyomószilárdság méréseit taglalja, a 18955 szabvány pedig a nedvesség elleni védelmet. A víz eltávozásának a mértékére nincs erre vonatkozó külön szabvány.

A kutatás célja a szigetelőanyag pórustartamának meghatározása volt. A STYRCÓN szigetelőanyagot egyaránt használják külső és belső oldali hőszigetelésére. Tulajdonképpen egy polisztirolgyöngy adalékanyagú könnyűbeton, neve a polystyrene+concrete (concrete=beton) szóösszetételből ered, így kapta a STYRCÓN nevet ez a „lélegző” szigetelőanyag. A nagyobb pórusméreteket UMO 19 digitális optikai mikroszkóppal mértük, a parányi kapilláris pórusokat pedig a nagyszombati műszaki főiskolán JEOL elektronmikroszkóppal. A súlycsökkenés mérését Sencor mérlegeken végeztük. A kapott számarányok segítségével megpróbáltuk felvázolni az áramlási sebesség matematikai modelljét. A tanulmány valamennyi ábrája saját szerkesztésű.

### 1. Az építőanyagok mikroporozusának mérési módszerei

A porozitás nedvszívó képességgel történő meghatározását az építőanyagokban, így a mészkőben, dolomitban és egyéb építési kötőanyagokban is a leggyakrabban folyadékokba merítéssel mérik, illetve gőz felett (EN 1097-6). A módszer abból áll, hogy az egyes frakciókat alaposan átmoszuk az összes por- és agyagszennyeződés eltávolítása érdekében. A mintákat szárítás és temperálás, majd szobahőmérsékletre történő hűtés után 1 órán át forraljuk. Lehűlés után a mintát kivesszük és kiszárítjuk, hogy a minta nedves maradjon vízcseppek nélkül. A nedves és száraz minta tömegeinek az arányából számítandó ki az abszorpciós képesség (EN 1097-6).

Több tucat abszorpciós tesztet hajtottunk végre vízbe merítő módszerrel a csehországi vitošovi és a zserei mészkövekben. A nedvességtartalom azért volt fontos a számunkra, mert a mérés megmutatta a pórusok nagyságát és a mészégetési folyamat energetikai igényességét. Ezáltal a tömörebb mészkövek nagyobb energiaigényességét támasztottuk alá. A mészkőminták pórustartalma és az energiafogyasztás összefüggései az 1. ábrán követhetők: minél jobban felszívódik, porózusabb az anyag, annál alacsonyabb a hőfogyasztás a kívánt mészégetési hőmérséklet eléréséhez (Tóth 2007). Ajánlatos lenne már a robbantással kinyert nyersanyagot is megmérni energiafogyasztási szempontból, majd a leggyorsabban kiegészíthető mészkövet tovább feldolgozni, a többit pedig mészkőlisztnek ledarálni, hiszen az utóbbiból is óriási mennyiségekre van szükség (Kubátová–Těhnik 2007).

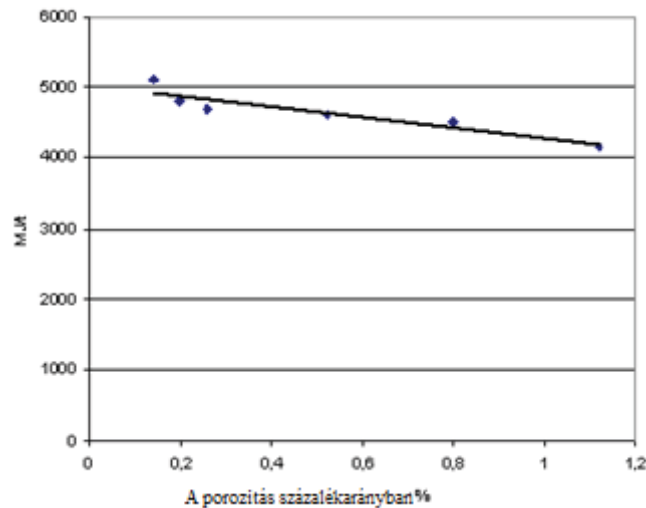


1. ábra: Balra és középen tömör, zserei mészkő, jobboldalon tiszóci mészkő  
Forrás: saját szerkesztés (2020)

Az 1. ábrán a nagyított, elektronmikroszkópos felvételeken látható, hogy a tiszóci mészkő lemezes szerkezetű, pórusosabb a zsereivel szemben. Ezért nagyobb a hő- és légáteresztő képessége. Itt jelezném, hogy a tanulmányban szereplő ábrák saját optikai és elektronmikroszkópos felvételek.

A porozitás meghatározásának másik módszere a Blaine gázáteresztő képesség mérése.

Ez a módszer az őrlés finomságának meghatározására szolgál. Mérjük, hogy a sűrített szemcséken keresztül mennyi ideig áramlik át a levegő, és így megkapjuk a porozitás mértékét, ami arányos a szemcsék nagyságával. Ez a módszer összehasonlító módszer, ezért referenciaanyagra van szükség a műszer kalibrálásához. Ebben az esetben ismert fajlagos felületű mintákat használunk. Ezzel a jól kidolgozott módszerrel kitűnően mérhető az őrlés minősége, hiszen a mészkő a golyósmalomban történő őrlés során lemezcsekkre és lisztfinomságú porszemcsékre zúzódik szét (Kubátová–Těhnik 2007). A 2. ábrán látható, hogy a porozitás értékének növekedésével az égetéshez szükséges energia mennyisége csökken.



2. ábra: Az égetés energiaintenzitásának értéke (MJ / t) a pórusosságtól függő energiafogyasztási érték  
Forrás: saját szerkesztés (2020)

## 2. A vályog mint építőanyag tulajdonságainak mérése és az építészeti tapasztalatok

A vályogépítésre alkalmas anyagok esetében is foglalkoznak a szemeloszlási tartományokkal és azok optimalizálásával. Egy doktori értekezésben (Molnár 2004) pontosan leírják, hogyan kell az anyagot tömöríteni, és milyen összetétel (adalékanyag, kötőanyag) szükséges a megfelelő keverék előállításához. Töltőanyaggal szabályozzák a testsűrűséget, amivel javítható a térfogattartósság és vízerzékenység (DIN 18954). A fent említett doktori kutatómunka fő célja a szilárdság és a hőszigetelő-képesség egyensúlyának elérése. Foglalkozik a légpórusok és a kapilláris pórusok arányával is a teljes pórusmennyiség viszonyában. Ezen kívül vizsgálja a belső körülmények (víztartalom, agyagtartalom, tömörség) és a külső befolyásoló tényezők (napsugárzás, hőmérséklet, szélsébség és relatív páratartalom) hatását azokban az esetekben, mikor a víz különféleképpen hagyja el a pórusokat a kiszáradási folyamat során. Az első szakaszban nagyobb a pórusvíz, és a víz egy része különböző sebességgel távozik az atmoszférába, a második fázisban a közepméretű pórusokból távozik el a nedvesség. A harmadik szakaszban a víz a kapilláris pórusokból vízgőz formájában távozik. Ekkor jut a szerzők szerint a vályog a nedvességi egyensúly állapotába. A vályog higroszkopikus, az egyensúlyi állapot mindig a környezet relatív nedvességtartalmának elérése esetén áll be.

A vályogházépítők tapasztalatai szerint, ha a száradási folyamat túl gyors, akkor a felületen zsugorodási repedések lépnek fel, ezért kell a friss vályogot óvni a szél és a napsütés gyors kiszárító hatásától. Annak érdekében, hogy a nedvesség ne tudjon hirtelen távozni a szerkezetből, napjában háromszor lepermetezik a vakolatot, nem tocsogósra, csak nedvesre. A vízzel való lepermetezés a karbonátosodási folyamatot gyorsítja meg, mert ugyan az magától is lezajlana a levegő páratartalmából kinyert nedvesség segítségével, de a folyamat így sokkal gyorsabb. Nem tudományos módszerekkel jöttek rá, hanem tapasztalati úton, hogy ha egy bizonyos sebességgel halad a vályogba a pára, nedvesség, és eléri az anyaghatárt, ahol egy másik anyagba kell átjutnia, a sebessége megváltozik a különböző anyagok eltérő páradiffúziós tényezője miatt. A vályogfal kötőanyagába gyakran keverték főtt rizst vagy csontőrleményt is. Ha a pára a vályogfalból valamilyen nagyobb páradiffúziós ellenállású anyagba ütközik, akkor lelassul az áramlása, lásd a cementvakolatot, polisztirolt, gipszkartont, diszperzites festést, kőporos vakolatot, lambériát. A lelassult páradiffúziós folyamat következtében a nedvesség feldúsul a szerkezetben, a fal nedvesedni kezd. Ezért ajánlatos a vályogra természetes alapanyagú és áteresztő vakolatot vinni.

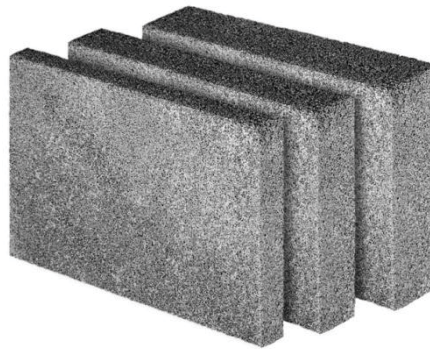
A szerkezet kiszáradásának folyamata függ az anyag típusától, az ásványi összetételtől, az agyagtartalomtól, a fajlagos felülettől, a kapillárisban lévő áramlás sebességétől és a töltőanyagok minőségétől és mennyiségétől.

A vályogot minősítő tulajdonságok első számú befolyásolójának a doktori értekezés szerzője a szemeloszlást jelölte meg (Molnár 2004). A földutak építésére szánt optimális szemeloszlás a Fuller-parabola százalékarányos keverésével javasolja, valamint megvizsgálja a szilárdság és a maximális szemnagyság kapcsolatát is. A pórustartalom optimalizálásával is foglalkozik és annak hatásával a nyomószilárdságra (DIN 18954).

### 3. A makro- és mikroporozitás meghatározása a STYRCON szigetelőnél

A szigetelőanyag felvételein jól láthatóak a golyók közötti pórusok, valamint a golyók kötőanyaga is. A golyók nagysága meghatározza a köztük levő nagy pórusok térfogatát, illetve kisebb polisztirol golyókkal ki lehetne tölteni ezt a teret. Ezt a kitöltési optimalizálást viszont a jelenlegi előállítási technológia nem teszi lehetővé.

A felületek cementes habarccsal való összekapcsolása növeli a kötési erőt, ami a szemcsenagyságtól és polisztirolgyöngy nagyságtól függ. A hőszigetelő anyag esetében fontos szempont a gyárthatóság, főleg a polisztirol/levegő arány optimalizálása miatt. A cél egy olyan optimális hőszigetelő-anyag létrehozása, melynek mechanikai tulajdonságai kedvezőbbek a normál polisztirolhabénál (expandált vagy extrahált). A kérdéses hőszigetelő-anyagot úgy terveztük, hogy páraáteresztő és tűzálló legyen. A polisztirol pórustartalmának és fajlagos felületének meghatározásához a mészkő esetén használt módszerhez hasonló vizsgálati eljárást alkalmaztunk. Feltételeztük, hogy a minták vízbe merítése 2 napra elegendő ahhoz, hogy az összes makro- és mikropórus megteljen vízzel. Ez a feltételezés az előző mérések alapján megmutatkozott szárítási folyamatokból ered; a kiszáradási folyamatban egy nap alatt csak néhány gramm súlycsökkenés következett be. A szilárdsági méréseknél viszont a mintákat 28 napra rakjuk laboratóriumi (20°C) hőmérsékleten vízbe pontosan előírt és tömörített próbatestekkel.



3. ábra: STYRCON márka nevű, polisztirolgyöngy adalékanyagú könnyűbetonból készült, 5,6 és 7 cm vastag hőszigetelő táblák (Felvétel: katalógus)

Forrás: saját szerkesztés (2020)

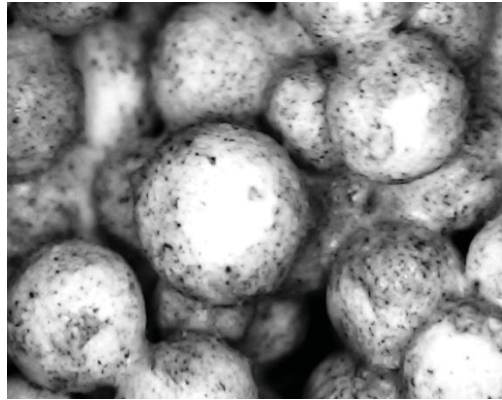
A kifejlesztett szigetelőanyag különböző falvastagságokkal készül. A polisztirolgyöngyök között makropórusok vannak, a mikropórusok általában a polisztirol felületén találhatóak. A 4–11. ábrákon ennek az építőanyagoknak a légpórusait mutatjuk be különböző nagyításokban. Ezek az üregek a gyártástechnológiától függően különböző méretűek lehetnek. A pórusok mérete néhány millimétertől 4–5 cm-ig terjed. A póruselrendezés szabálytalan. A nedvességtartalom-csökkenés következtében fellépő súlycsökkenés pedig az alábbi képlet segítségével számítható ki ( $\rho$  a víz sűrűsége, az  $S$  a felület, a  $v$  az áramló víz sebessége):



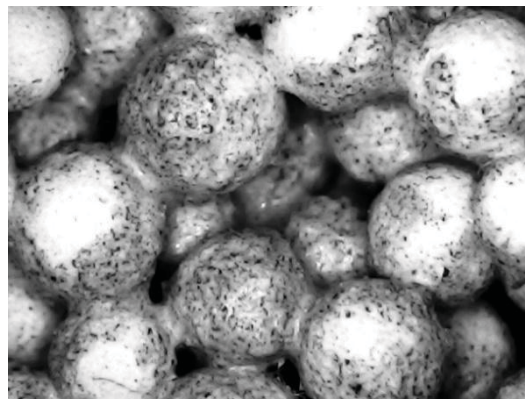
„Kizökkent világ” – Szokatlan és különleges élethelyzetek: a nem-konvencionális, nem “normális”, nem kiszámítható jelenségek korszaka?

XXIV. Apáczai-napok Tudományos Konferencia tanulmánykötete

$Q_m = \rho S v = \rho Q_v$ , a térfogati sebesség pedig  $Q_v = S v = \frac{S l}{t} = \frac{V}{t}$ , ami függ az  $S$  felülettől és a  $v$  kiáramlási sebességtől. A kutatás során  $22 * 22 \text{ cm}^2$  minták pórusméretét és vízáramlási sebességét mértük 5 és 7 centiméter vastagságú mintákban. Az 5. és 13. ábrán látható a legjobban, hogy a cementpép miként vonta be a polisztirolgyöngyöket, illetve hogyan töltötte ki a köztük lévő hézagokat.



4. ábra: STYRCON: UMO 19 optikai mikroszkópban 12x-es nagyítás  
Forrás: saját szerkesztés (2020)



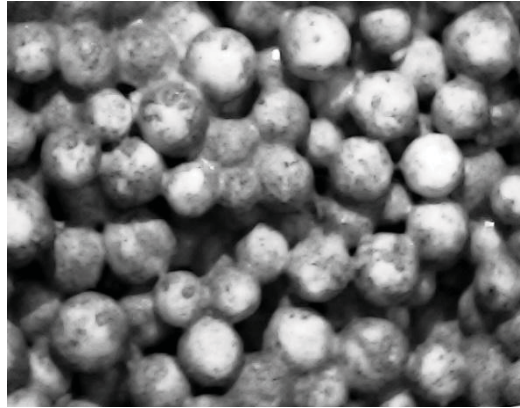
5. ábra: STYRCON: UMO 19 optikai mikroszkópban 11x-es nagyítás  
Forrás: saját szerkesztés (2020)



6. ábra: STYRCON: UMO 19 optikai mikroszkópban 7x-es nagyítás  
Forrás: saját szerkesztés (2020)

„Kizökkent világ” – Szokatlan és különleges élethelyzetek: a nem-konvencionális, nem “normális”, nem kiszámítható jelenségek korszaka?

XXIV. Apáczai-napok Tudományos Konferencia tanulmánykötete



7. ábra: STYRCON: UMO 19 optikai mikroszkópban 5x-ös nagyítás  
Forrás: saját szerkesztés (2020)

Két párhuzamos mérést hajtottunk végre a 8–9. ábrán látható szerkezeti elrendezés szerint. Két különböző vastagságú lapot mértünk (50 és 70 mm). A mérés előtt lenulláztuk a mérleget, hogy csak a súlycsökkenést mérjük. A nedves lapokat az erre a célra készített állványra helyeztük, így mértük a súlycsökkenést.



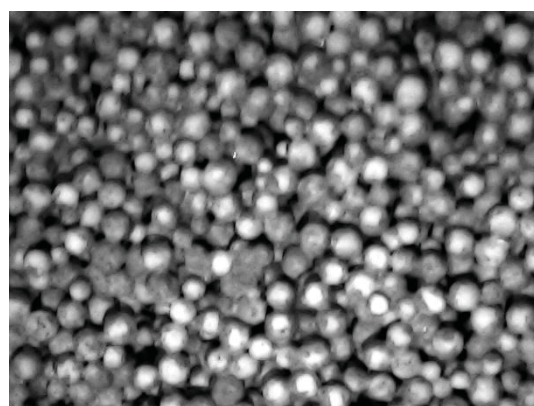
8. ábra: A vizsgálati berendezés és a mérlegek előlről  
Forrás: saját szerkesztés (2020)



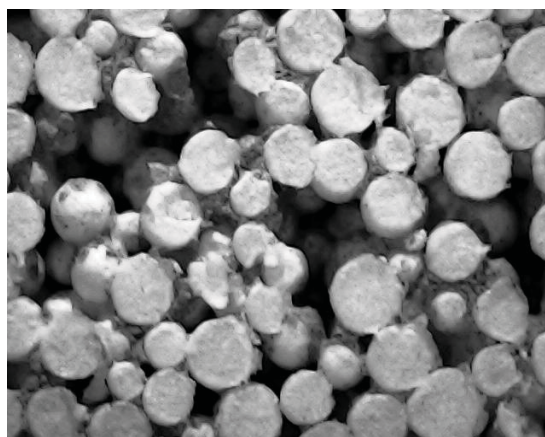
9. ábra: A vizsgálati berendezések oldalnézetben  
Forrás: saját szerkesztés (2020)



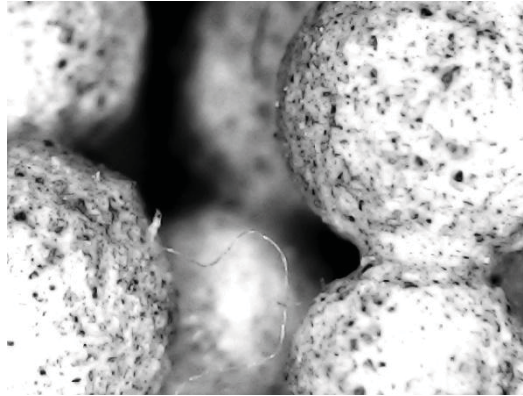
10. ábra: STYRCON metszet: UMO 19 optikai mikroszkópban 3x-os nagyítás  
Forrás: saját szerkesztés (2020)



11. ábra: STYRCON: UMO 19 optikai mikroszkópban 2x-es nagyítás  
Forrás: saját szerkesztés (2020)



12. ábra: STYRCON: UMO 19 optikai mikroszkópban 4x-es nagyítás  
Forrás: saját szerkesztés (2020)



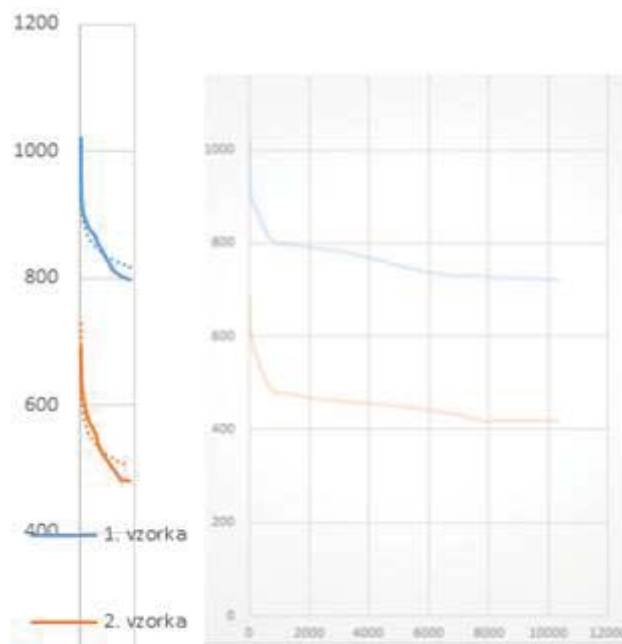
13. ábra: STYRCON: UMO 19 optikai mikroszkópban 25x-ös nagyítás  
Forrás: saját szerkesztés (2020)

A tömegvesztésüket a mérési eredményeink alapján a következő empirikus képlet segítségével számítottuk ki  $Q = Q_0 e^{-0,035t} = 210 e^{-0,035t}$ . A  $Q_0$  az a súlyvesztés, amit az inflexiós pontig mértünk, tehát az első fázisban a gyorsabb vízleadásnál. Az exponensben található együttható pedig bizonyos „áramlási” tényező. Ez a matematikai modell illeszkedik legjobban a méréshez.

A 11. ábra homogénebb eloszlású, gömb alakú pórusokat mutat be; a 12. képen nyilvánvalók a pórusméret-különbségek. A mikroszkópos felvételeken ellenőrizhető a gömbök nagysága és a köztük levő pórusok elrendezése. Mennyiségileg azonban ezt képanalízis segítségével számíthatnánk ki a hézagok területi nagyságát a tömör anyaghoz viszonyítva. 0,035-ös kitevővel a súlycsökkenés értékének mértéke is megállapítható, amely a pillanatnyi sebességet képviseli. Az átlagos sebességet a következőképpen számítjuk ki:

$$v = \frac{\text{az össztömegvesztés (a vízvesztés után)}}{\text{a nedvességleadási idő}} = 0,24 \text{ g/min.}$$

A mérési pontatlanságok onnan adódnak, hogy a kapillárisok és a víz kapillárisokhoz való tapadása (adhézió) befolyásolhatja a víz áramlási sebességét.

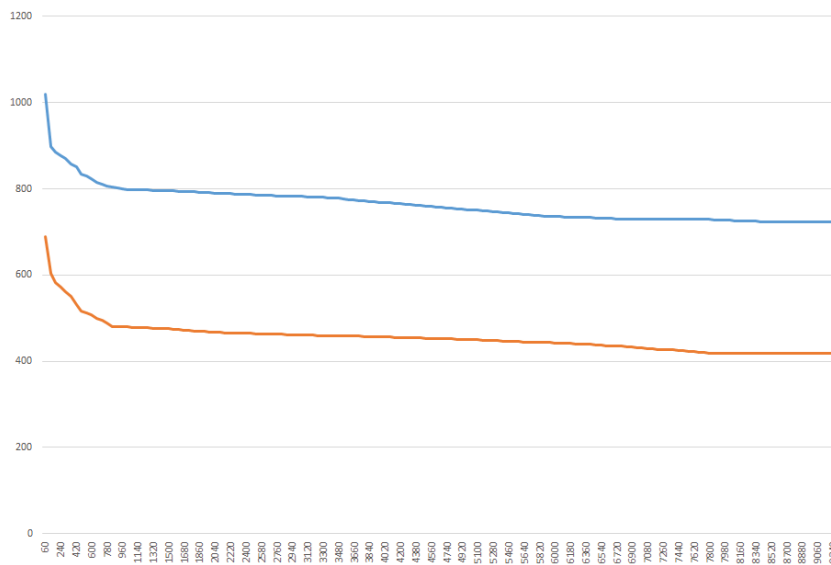


14. ábra: Súlycsökkenés  
Forrás: saját szerkesztés (2020)



A 14. ábrán látható a súlycsökkenés, ami mutatja a nedvességleadást a két különböző vastagságú minta esetében. A homályosabb felvételen jól látható az az inflexiós pont, ahol a nedvességleadás lelassul és megváltozik (kapillárkondenzációs zóna határa). Feltételezzük, hogy a gyors nedvességleadás a makropórusoknak köszönhető.

A grafikus ábrázolás alapján megállapítható, hogy a víz makropórusokból történő távozása után az anyag nedvességleadása megváltozik, a vízmolekulák kapilláris falához való tapadása (adhéziója) révén lelassul. Méréseink alapján a pórusok az eredeti száraz minta térfogatának 8,8–11,2 százalékát teszik ki. Ezen belül a makropórusok 6,4–8,6 százalékban vannak jelen. Az üregek térfogata tehát változó, ezen belül pedig a makro és mikropórus aránya körülbelül 3:1. A következőkben pedig nézzük a mikropórusokat.



15. ábra: Teljes nedvesség leadási folyamat

Forrás: saját szerkesztés (2020)

A teljes nedvességleadási folyamatot a különböző típusú mintákra (kék a vastagabb minta, a narancssárga a vékonyabb minta) a 15. ábra mutatja. A jobboldali rész a töréspont után szemlélteti, hogy a kapilláris erők jelentősen lelassítják a mikropórusokból történő nedvességleadást. A mikropórusokról készült felvételeket a nagyszombati egyetem elektronmikroszkópján készítettük (típusa: JEOL X-MAX) (16. ábra). A mintákat a felvételek készítése előtt fémréteggel kell bevonni.

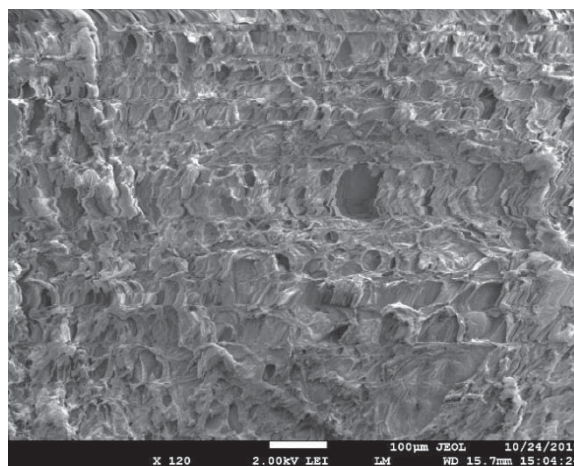


16. ábra: JEOL X-MAX elektronmikroszkóp  
Forrás: saját szerkesztés (2020)

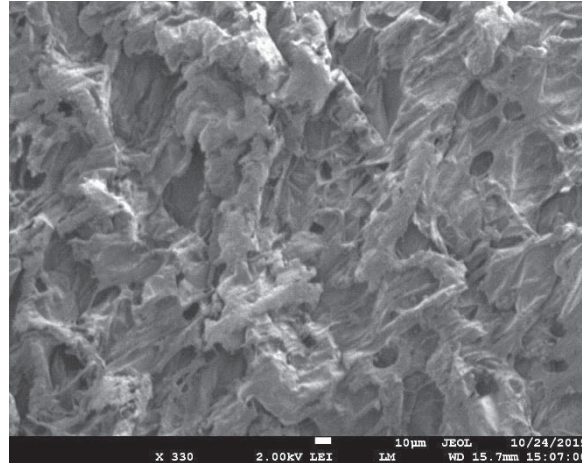
A 16. ábrán A JEOL X-MAX elektronmikroszkóp egyrésze látható: a képernyőn a mikropórusok, a zöld mezőben pedig a nagyítás mértéke és a mérési adatok. Amint az a 17–20. ábrákon jól látható, a pórusméretek különböző nagyságúak, méreteik 1–2 és 80 mikrométer között mozognak. A pásztázás különböző felületeken történik, 25-szörös és 220-szoros nagyításnál mértük a mikropórusok nagyságát. A mikropórusok súlycsökkenésének jellegét az alábbi egyenlet segítségével kapjuk meg:

$Q = Q_0 e^{-0,005t} = 70 e^{-0,005t}$ , ahol  $Q_0$  az a súlyvesztés, amit az inflexió pont után mértünk, ahol a második fázisban lassul a vízleadás.

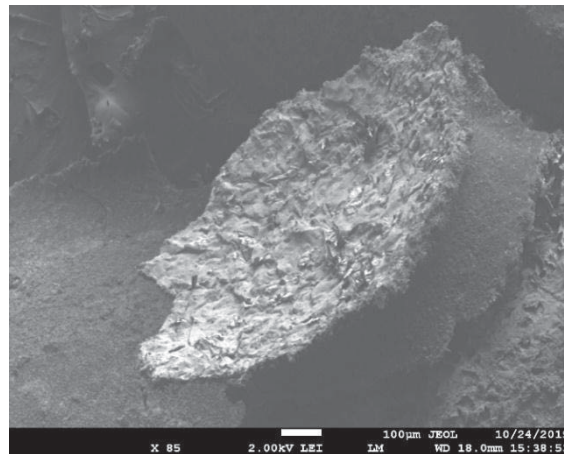
A 17. és 18. ábrákon nagyságrendbeli különbséget figyelhetünk meg a mikropórusok méretében. A 19. ábrán egy polisztirolgöngyöt véltünk felfedezni, hiszen az elektronsugár a mintát szétbombázta. A 20. ábrán pontosan megmértük egy mikropórus nagyságát (szélessége 20,9 és hossza 25,8  $\mu\text{m}$ ). A súlycsökkenés átlagos üteme  $v = 0,00747$  g/perc, ami 30-szor kisebb, mint a makropórusok esetében.



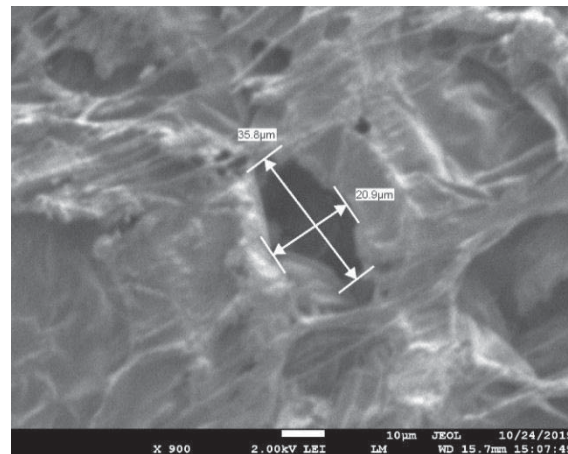
17. ábra: STYRCON: JEOL X-MAX elektronmikroszkópos felvétel (220x-os nagyítás)  
Forrás: saját szerkesztés (2020)



18. ábra: STYRCON, JEOL X-MAX elektronmikroszkópos felvétel (220x-os nagyítás)  
Forrás: saját szerkesztés (2020)



19. ábra: STYRCON: EM felvétel (5x-ös nagyítás)  
Forrás: saját szerkesztés (2020)

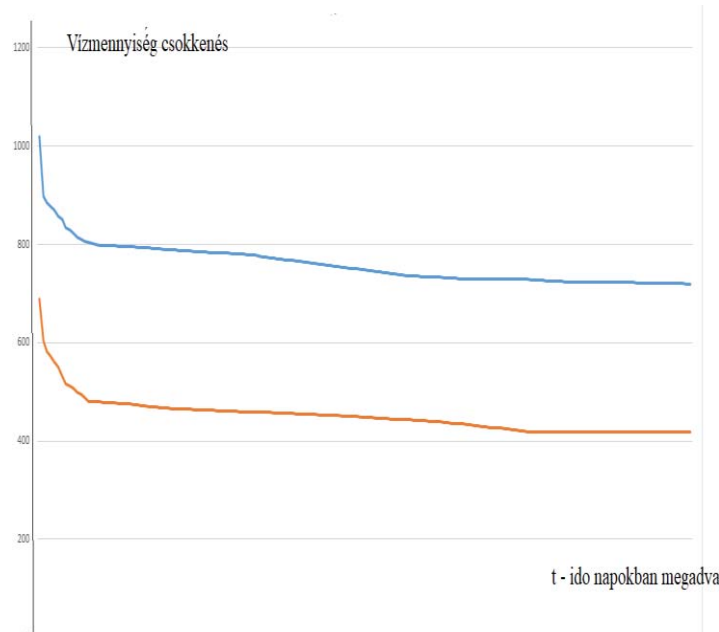


20. ábra: STYRCON: JEOL X-MAX elektronmikroszkópos felvétel (900x-os nagyítás) a mikropórus méreteivel  
Forrás: saját szerkesztés (2020)

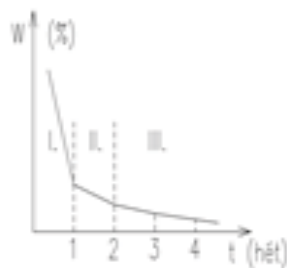
A mikropórusok aránya a súlycsökkenés mérése alapján a száraz minta térfogatához viszonyítva 2,4–2,55% között mozog. Feltételezzük, hogy a víz mikropórusokból való távozását akadályozza a víz kísérletileg is bizonyított tapadása (adhéziója), ill. a kapilláris jelenség is.

#### 4. A vályog és a mesterséges anyagokból előállított építőanyagok tulajdonságainak összehasonlítása

A 21. ábrán látható a STYRCON nedvességtartamának csökkenése a gimesi mérések szerint, különböző vastagságú minták esetén (kék és narancssárga görbe). A 22. ábrán a vályog kiszáradási folyamatát szemléltetjük a Nyugat-Magyarországi Egyetemen végzett mérések alapján, ahol a három zónát két töréspont választja el.



21. ábra: Nedvességtartalom csökkenése  
Forrás: saját szerkesztés (2020)



22. ábra: A vályog kiszáradása  
Forrás: saját szerkesztés (2020)

A mérési eredmények alapján elmondható, hogy a víz kiáramlásának a kinetikája nagyon hasonló, míg a mesterségesen előállított építőanyagnál egy határozott inflexiós pontot találtunk. A makropórusokból gyorsan távozik a víz, majd a töréspont után a folyamat lelassul. A vályog esetében valamilyen közepes nagyságú pórusokra is bukkantak, tehát két inflexiós pont is van. A vastagabb és vékonyabb minta esetében a vastagabb (kék) mintánál érzékelhető egy törés, ami a víz akadálymentes távozására utal, ahol a gravitáció hatására a víz viszonylag gyorsan képes távozni.

#### Összegzés

A történelmi idők kezdetén az asszírok, a babiloniak, az egyiptomiak, perzsák, valamint az inkák, mayák és aztékok mind alkalmazták a vályogot mint építőanyagot. A Kínai Nagyfal részben vályog, részben kőfalak közé döngölt vályogszerkezetből áll. A szemcseeloszlásról a



még ma is álló épületeket megvizsgálva megállapítható, hogy a vályogszerkezetekhez használt agyag szemnagysága nagyságrendi eltéréseket mutat: 0,1 mm/0,002 mm. A Magyarországon mért kiszáradási folyamat háromféle nagyságrendű szemcseméret-különbségből eredhet. A víz vályogszerkezetből való eltávozásának folyamata itt 3 részre osztódik a két inflexiós pont alapján. A mesterségesen előállított szigetelőanyagnál kettő, szemmel látható részt észlelhetünk egyetlen átmeneti ponttal, ahol a makropórusokból már minden víz távozott. Ezután a természeteshez hasonló, nagyon lassú nedvességleadás figyelhető meg (21. ábra).

A mesterségesen előállított szigetelőanyaggal még más terveink is vannak. Ha például utánozni szeretnénk a vályog természetes nedvességleadási folyamatát, akkor ugyanúgy köztes nagyságú (makro és mikro közötti) szemcséket tartalmazó agyagra van szükség, mint például 5–6 milliméteres szemcsenagyságú kitöltő anyagra. Egy erre tett kísérletet mutat be egy előző tanulmányunk (Tóth et al. 2019). A polisztirologolyók által bezárt nagy pórusokba megfelelő nagyságú műanyagreszeléket juttatnánk, ill. bebetonoznánk a műanyag hulladékot a pórusokba. Ez egyfajta újrafelhasználása lenne a műanyag (hulladék) reszeléknek. Tehát pontosan elérhető a vályog nedvességleadási görbéje, szorpciós izotermája. Molnár (2004) munkája nem tartalmazza a nedvességleadás sebességének mérését, és nem közöl matematikai modellt sem, ami alapján a két anyag pórusnagysága és nedvességleadás sebessége összehasonlítható lenne. Annyit tudunk, hogy szemmel láthatóan hasonlítanak, így a modell sem különbözhet egymástól annyira. Egy másik tanulmány keretében azonban sort keríthetnénk a vályog pórusainak optikai mérésére is. A doktori munkában (Molnár 2004) alkalmazott mérési eszközök és szabványok megegyeznek (európai szabvány), így a mechanikai tulajdonságok is, ha a mérésekre sort kerítünk, összehasonlíthatók lesznek.

A mesterségesen előállított szigetelőanyag, a STYRCON esetében a nedvességtartalom-csökkenés okozta tömegvesztés ismeretében meghatároztuk a makropórusok és mikropórusok térfogatát az eredeti száraz minta térfogatszázalékában. Megállapítottuk, hogy meglepően nagy a mikropórusok térfogata is. A 25 mikrométeres kapillárisokban lévő víz tapadása a kapillárisok oldalfalához olyan nagy, hogy 8,6 m magasságba is feljuthat. Valószínűleg ez az egyik oka annak, hogy a nedvességleadás jellege megváltozik, a töréspont a folyamatot két részre osztja. A kapilláris erők (vízmolekulás adhéziója) befolyására a tapadás nem engedi a vizet gyorsan eltávozni. Az elektronmikroszkópos felvételek alapján megállapítható, hogy a kapillárisok mérete 2–80 mikrométer között mozog, az optikai mikroszkóp segítségével mért makropórusok mérete pedig 1–50 mm közt mozog. A nedvességleadás sebessége a makro-, ill. a mikropórusok esetében  $210e^{-0,035t} / 70e^{-0,005t}$  arányt mutat. A nedvességleadás sebessége átlagosan  $v = 0,024$  g / perc sebességről változik (14. számú ábra közepén)  $v = 0,00747$  g / perc sebességre. A nedvességleadás sebessége változó, ezért az átlagot az alapján számolják, hogy a teljes mennyiségből mennyi távozik az inflexiós pont eléréséig (ehhez szükséges tudni az inflexiós pont eléréséhez szükséges időt). Az inflexiós pont után a nedvességleadás sebessége lelassul, ugyanis a folyamatot a víz mikropórusokhoz való tapadása lefékezi. Elméleti szempontból az exponenciális függvények kitévőjében található sebességek képviselik a pillanatnyi sebességet.

A pórusok százalékaránya parallel vastag (7 cm vastag) mintákon mérve 8,8% a száraz mintához képest, amelynek 6,4 százaléka makro-, 2,4 százaléka mikropórus. A vékony (5 cm vastag) mintákon végzett pórustartalom pedig 11,2%-ot mutat, a makro/mikro arány itt 8,64/2,55 százalék. A mesterségesen előállított szigetelőanyag nem konkurálni szeretne a természetes építőanyaggal, a vályoggal. A STYRCON legnagyobb előnye, hogy nem éghető. Tűz esetén a beton megakadályozza a tűz terjedését, ezt a hivatalos mérések is megerősítették. Nem tudni, él-e még olyasvalaki, aki élőben látott vályogházat „porig” égni. Remélhetőleg csak filmekben, illetve regényekben láthattunk ilyet vagy olvashattunk ilyenekről.

Mind a mesterséges, mind a természetes anyagokból készített építőanyagok esetében figyelni kell arra, hogy a külső és belső vakolat páraáteresztő legyen, a pórusain keresztül lélegezzen. Mindez a nyugat-magyarországi és felvidéki építőmesterek tapasztalatai alapján mondható el. Ha lezárjuk a víz útját, bezárjuk a nedvességet. Elmondható továbbá, hogy a természetes és mesterséges anyagokból készített anyagokban optimalizálható a szemcsék nagysága. Ez annak a függvénye, hogy gyors vagy lassú kiszáradási folyamatot szeretnénk-e elérni. Mindkettőnek van előnye és hátránya is. Általános elvárás, hogy a külső éghajlati viszonyok kevésbé befolyásolják a belső tér klímáját, ill. a belső térben keletkező pára minél gyorsabban távozhasson. A STYRCON esetében a mikro- és makropórusok arányának optimális beállításával lehet ezt elérni. Vályog esetében a tömörítés mértékével lehet befolyásolni ezeket a tulajdonságokat, valamint az agyagosabb minták más arányú keverésével.

### Irodalom

- Kubátová, D.–Těhník, V. 2007. *Metody posouzení vlastností vápencu*. Brno: VUSTAH, 33–60.
- Molnár V. 2004. *A vályog és a favázás vályogépítészet*. Doktori értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Faipari Mérnöki Kar, 2004.
- Tóth A. 2007. Build a House, Plant a Tree: Environmental Analysis from the Point of View of a Producer of Building Materials and Energy. In: Svoboda, M. (ed.) *XI. International Conference of Research Institute of Building Materials: Ecology and New Building Materials and Products 5.6.–7.6. 2007. Telč, Czech Republic*. Brno: Research Institute of Building Materials, 15–20.
- Tóth A.–Csáky A.–Libant V. 2019. Optimális (együttal hasznos) környezetkímélő műanyag hulladék likvidálás. In: Baranyiné Kóczi J.–Fehér Á. (szerk.) 2019. *Pedagógusképzés, oktatás a Kárpát-medencében, társadalmi kontextusok*. XXII. Apáczai-napok Tudományos Konferencia tanulmánykötet. Győr, Apáczai Napok, 139–145.