

## KÖNNYŰ ADALÉKANYAG FELHASZNÁLÁSÁVAL KÉSZÍTETT TÉGLAIPARI TERMÉKEK VIZSGÁLATA

**Hamza Alexandra**

tanszéki mérnök, Korszerű Anyagok és Intelligens Technológiák  
Felsőoktatási és Ipari Együttműködési Központ  
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [femhamza@uni-miskolc.hu](mailto:femhamza@uni-miskolc.hu)

**Kocserha István**

egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Kerámia- és Polimermérnöki Intézet  
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [istvan.kocserha@uni-miskolc.hu](mailto:istvan.kocserha@uni-miskolc.hu)

### **Absztrakt**

*Ebben a tanulmányban duzzasztott perlit téglaiipari alkalmazhatóságát és a késztermék tulajdonságaira gyakorolt hatását vizsgáltuk. Ez az adalékanyag az építőipar más területén, mint például a könnyűbeton gyártás széles körben elterjedt kiváló hőszigetelő tulajdonsága miatt. A kísérletekhez agyagmasszákat készítettünk laboratóriumi kollerjárat alkalmazásával, a masszák nedvességtartalma 25 m/m% volt minden esetben. A perlit bekeverésének arányát 2,5-6,5 m/m% között változtattuk. A masszából hengeres próbatesteket készítettünk vákuum extruderrel, majd 880 °C-on 140 °C felfűtési sebességgel kiégettük. A kiégett próbatestek testsűrűsége 1855-1695 kg/m<sup>3</sup> között változott a perlit bekeverési arányának emelésével. Az adalékanyag nélkül készített minták átlag nyomószilárdsága 32 MPa volt, a perlit bekeverésével ez az érték 27 MPa körüli értékekre csökkent. A perlit bekeverési mennyiségének növelése nem eredményezett jelentős nyomószilárdság csökkenést. Ezzel szemben a szerves pórusképző adalékanyagok esetében ez egy általános probléma, amely korlátot szab ezen adalékanyagok bekeverési mennyiségének.*

**Kulcsszavak:** agyag, duzzasztott perlit, nyomószilárdság, téglagyártás

### **Abstract**

*In this study, the effect of expanded perlite on performance of fired clay bricks was investigated. This additive material is in other areas of the construction industry such as lightweight concrete production in use. The reason for its popularity is based on the excellent thermal insulation properties of expanded perlite. During the experiments different clay masses were prepared by pan mill. Moisture content of the clay masses was set to 25 wt% in each case. The amount of expanded perlite was varied between 2.5-6.5wt%. Cylindrical samples were prepared by a laboratory vacuum extruder and then the dried samples were sintered in a laboratory furnace at 880 °C. Results showed that density of fired samples decreased from 1855 to 1695 kg/m<sup>3</sup> by increasing the amount of the perlite. Samples without perlite had an average compressive strength of 32 MPa which decreased down to 27 MPa with the mixing of perlite. Amount of perlite had no relevant effects on compressive strength. This in contrast the organic pore-forming additives cause significantly lower the compressive strength.*

**Keywords:** brick production, clay, compressive streng, expanded perlite

## 1. Bevezetés

Az égetett téglá az egyik legrégebb építőanyag, amely agyagból, vízből és egyéb adalékanyagokból készül. A kiégetett téglák testsűrűsége, porozitása, mechanikai szilárdsága és színe függ az alkalmazott alapanyagok ásványtani összetételétől és az égetési hőmérséklettől [1,2]. A téglá alapvetően egy tömörre égő, nagy mechanikai szilárdságú, rossz szigetelő tulajdonságokkal rendelkező kerámia. A hőszigetelő képesség javítása érdekében pórusképző adalékanyagokat kevernek az agyagmasszához, amelyek a hőkezelés következtében kiégnek, ezzel növelve a porozitást az égetett agyagmátrixban [3]. A leggyakrabban alkalmazott szerves adalékanyag a fűrészpor, mindemellett kutatásokat folytatnak egyéb adalékok alkalmazásával kapcsolatban is, mint például a napraforgó maghéj, rizshéj illetve a borászattól keletkezett melléktermékek [4,5,6]. Számos szakirodalomban foglalkoztak a szerves pórusképző adalékanyagok azon mennyiségének meghatározásával, amely nem okoz jelentős nyomószilárdság csökkenést. A tanulmányokban arra a következtetésre jutottak, hogy a szerves adalékanyagok 10 m/m%-tól nagyobb mértékű hozzáadása nem ajánlott, hiszen ettől nagyobb mennyiség bekeverése jelentős nyomószilárdság csökkenéshez vezet [7,8,9,10].

A duzzasztott perlit azonban a téglagyártás hőmérsékletén stabil marad, nem távozik a termékből, így a nyomószilárdságot kevésbé rontja, mint az általánosságban alkalmazott szerves adalékanyagok [11,12].

A perlit nem más, mint egy hidratált vulkáni üveg, amely obszidiánok másodlagos alternatívájaként képződik, melynek során vizet épít be üvegszilika szerkezetébe. A perlit magas SiO<sub>2</sub> tartalmú, alacsony lágyulási ponttal rendelkezik, ezt kihasználva készítene az építőipar számára is alkalmazható könnyűadalékanyagot [13,14,15]. A kibányászott perlit kőzetet hirtelen hevítéssel 900-1200°C-ra melegítik, ennek hatására a perlit piropasztikus állapotba kerül. A magas hőmérséklet hatására keletkezett gázok az eredeti térfogatához képest 5-20-szorosára növelik [16,17]. A térfogat növekedés következtében a perlit egy alacsony testsűrűségű (32-200 kg/m<sup>3</sup>), nagy porozitású anyaggá alakul, amelyet duzzasztott perlitnek nevezünk [18]. A kialakult szerkezet kiváló hőszigetelési tulajdonságokat (0,040-0,055 W/m·K) és magas porozitást biztosít, mindemellett nyitott cellás szerkezetének köszönhetően jó hangszigetelő tulajdonságokkal rendelkezik [18,19,20]. A duzzasztott perlitet alkalmazzák könnyűbetonok, hőszigetelő vakolatok, valamint égetett kerámiatermékek üregeinek kitöltéséhez, ezzel javítva az építőanyagok energetikai tulajdonságait [21].

Ebben a tanulmányban azt vizsgáltuk, hogy a duzzasztott perlit bekeverése milyen hatást gyakorol a téglatermékek egyes tulajdonságaira, mint például a száradási és égetési zsugorodásra, vízfelvétele valamint a nyomószilárdságra. A vizsgálatok elvégzéséhez a duzzasztott perlit bekeverési mennyiségének módosításával 6 különböző masszát készítettünk, melyekben a perlit mennyiségét a száraz agyagkeverék tömegéhez viszonyítva 2,5-6,5 m/m%-ban adagoltuk.

## 2. Alapanyag vizsgálat, próbatestek elkészítésének menete

### 2.1. Agyakok röntgen pordiffrakciós analízise

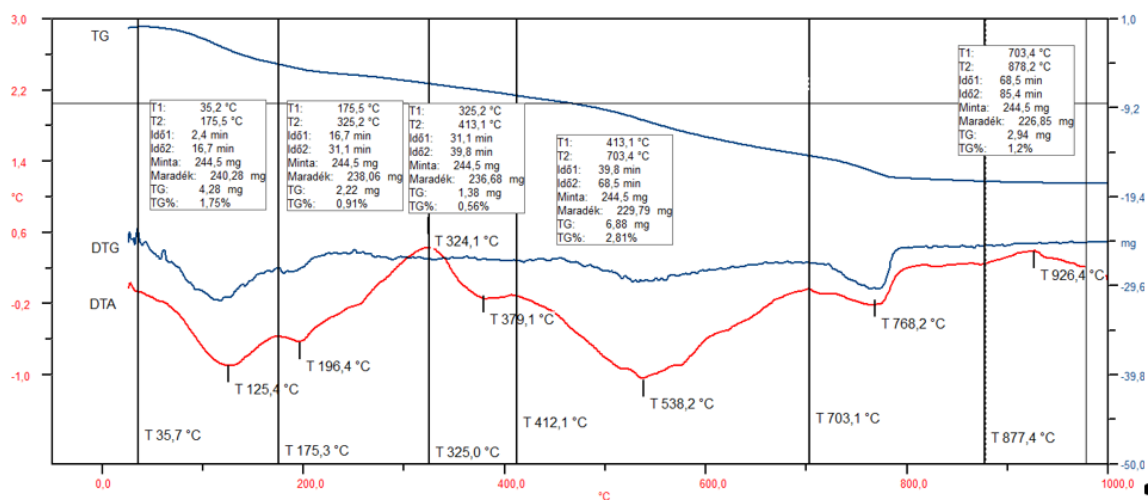
A kísérletünkhöz agyagmassza elkészítéséhez szürke és sárga agyag együttes keverékét használtuk. Mindkét agyag esetében megvizsgáltuk az ásványi összetételt röntgen pordiffrakcióval (Rigaku Miniflex II, Cu K $\alpha$ , 2 $\theta$  tartományban 3-90°). A mérés alapján azonosított ásványok százalékos mennyiségét az 1. táblázatban foglaltuk össze. Az eredményként kapott ásványi összetétel alapján megállapítható, hogy a szürke agyag zsírosabb a sárga agyaghoz viszonyítva, ami azt jelenti, hogy nagyobb mennyiségben találhatóak meg benne az agyagásványok. A szürke agyag ásványanyag tartalma 45 m/m%, míg ez a szám a sárga agyag esetében 35 m/m%.

1. táblázat. Agyagok ásványanyag összetétele

| Ásvány                | Ásványtípus              | Szürke agyag                                | Sárga agyag |
|-----------------------|--------------------------|---|-------------|
|                       |                          | Mennyiség a kristályos fázison belül (m/m%) |             |
| <b>Kvarc</b>          | Kvarc                    | 33,13                                       | 36,85       |
| <b>Illit</b>          | Agyagásvány              | 21,88                                       | 18,44       |
| <b>Muszkovit</b>      | Csillám                  | 9,18  | 4,83        |
| <b>Albit</b>          | Földpát                  | 8,96  | 12,22       |
| <b>Szmektit</b>       | Agyagásvány              | 5,69  | 2,12        |
| <b>Götít</b>          | Vas-hidroxid             | 0,00  | 0,66        |
| <b>Kaolin</b>         | Agyagásvány              | 4,48  | 3,42        |
| <b>Illit szmektit</b> | Agyagásvány kevert fázis | 0,89  | 0,83        |
| <b>Rutil</b>          | Titánoxid                | 0,79  | 0,74        |
| <b>Klorit</b>         | Agyagásvány              | 3,94  | 6,72        |
| <b>Mikroklin</b>      | Káliföldpát              | 2,08  | 0,58        |
| <b>Kalcit</b>         | Karbonát                 | 1,00  | 5,35        |
| <b>Ortoklász</b>      | Káliföldpát              | 0,00  | 1,47        |
| <b>Dolomit</b>        | Karbonát                 | 0,00  | 2,78        |
| <b>Amorf</b>          | Amorf                    | 8,00  | 3,00        |

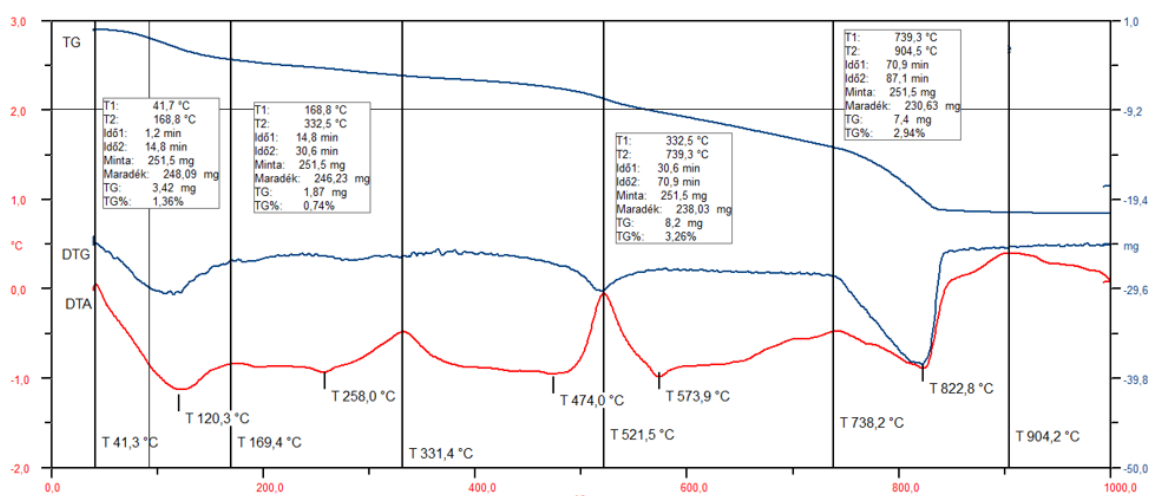
## 2.2. Agyagok termoanalitikai vizsgálata

Az alkalmazott szürke és sárga agyagon termoanalitikai vizsgálatot végeztünk, ezzel további információkat kaptunk az agyagokat alkotó ásványokról, illetve azok módosulatairól. A vizsgálathoz bemért minta mennyisége mind két agyag esetében 250 g volt. A vizsgálat hőmérséklet tartománya 35-1000 °C volt, melyhez 10 °C/perc felfűtési sebességet alkalmaztunk. Az elemzés során a TG görbe mutatja a hevítés hatására bekövetkező tömegváltozást, a DTG ennek intenzitását, illetve a DTA arra utal, hogy a lejátszódó folyamat exoterm, vagy endoterm jellegű.



1. ábra. Szürke agyag derivatogramja

Az 1. ábrán látható diagram első endoterm csúcsa 125,4 °C körül volt megfigyelhető, amely az ásványok felületén, illetve a montmorillonit által megkötött higroszkópikus víz különböző rétegeiből történő távozását mutatta. A következő endoterm csúcs 196,4 °C körül volt, ami a Ca-montmorillonitra és a vermikulitra is egyaránt jellemző. A 196,4 °C-nál látható endoterm csúcs az amorf tartalomban lévő alumínium és vas-oxid-hidrátok bomlására is utalhat. 324,1 °C-nál egy exoterm csúcs látható, ami a wüstitre jellemző, amely viszonylag alacsony hőmérsékleten oxidáció következtében hematittá alakul. 412 °C hőmérsékleten ismét megindult egy endoterm folyamat, melynek oka a hidratvizek, illit rétegvizeinek távozásának és a kaolin dehidratációjának kezdete. A kaolin esetében 538 °C körül lezárult ez a folyamat melynek következtében metakaolin keletkezett. A következő endoterm csúcs 770 °C-nál megfigyelhető, ezen a hőmérsékleten megkezdődött a muszkovit dehidratációja [22].



2. ábra. Sárga agyag derivatogramja

Az XRD analízis alapján jól látható, hogy a két agyag ásványi összetétele hasonló, nagyrészt mennyiségi eltérések figyelhetők meg, ebből adódik, hogy a termoanalitikai vizsgálatban sem voltak nagyobb eltérések. Az első különbség a sárga agyagban a 521,5 °C-nál volt megfigyelhető. Ezen a hőmérsékleten egy exoterm csúcs látható, amely a lepidokrokit  $\gamma$ -FeO(OH) jelenlétét mutatta. A lepidokrokit és a goetit kémiai összetétele megegyezik. A különbség, hogy a lepidokrokit bomlása alacsonyabb hőmérsékleten 360-370 °C-on kezdődik. A lepidokrokit hevítés hatására elveszti, OH gyökeit, melynek következtében  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> lesz belőle, ami egy 521 °C-nál lévő exoterm folyamat következtében  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-á alakul. A jelentős tömegcsökkenés a dolomit lépcsőzetes bomlásával magyarázható, mert jellemzően ebben a hőmérséklet tartományban a CaMg(CO<sub>3</sub>) dekarbonizációja megindult, melynek következtében MgO keletkezett egy intenzív tömegcsökkenés kíséretében. 823 °C-nál újra endoterm csúcs figyelhető meg, amely szintén jelentős tömegcsökkenést eredményezett, ezen a hőmérsékleten megindult a dolomit másik alkotójának a kalcitnak a bomlása [22].

### 2.3. Próbatetek elkészítése

A próbatetek elkészítéséhez használt agyagmasszához, a szürke és sárga agyagokat 1:1 arányban alkalmaztuk, az adalékanyagként hozzáadott duzzasztott perlit mennyiségét 2,5-6,5 m/m%-ban adagoltuk a masszákhoz. Az agyagkeverékek elkészítését megelőzően az agyagokat 50 °C-on tömegállandóságig szárítottuk a pontos nedvességtartalom beállításának megkönnyítése érdekében. A száraz alapanyagokat laboratóriumi kollerjárat segítségével homogenizáltuk, ezt követően fokozatos adagolás mellett hozzáadtuk a formázáshoz

szükséges víz mennyiségét, amely minden massa esetében a száraz anyagra vonatkoztatva 25 m/m% volt. A megfelelően homogenizált agyagmasszákat légmentesen elzártuk, majd 24 órás pihentetést követően, laboratóriumi vákuum extrudérral (KEMA PVP 5/s) 24 mm átmérőjű 50 mm magasságú hengeres próbatesteket készítettünk. A masszák jelölésrendszerét a 2.táblázatban ismertettük.

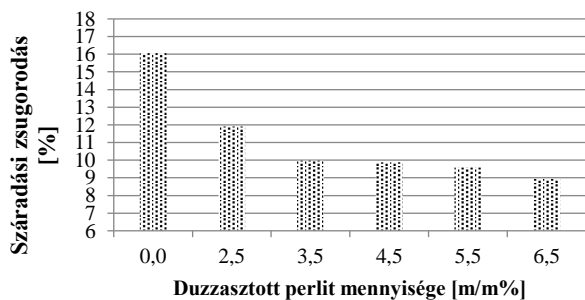
2. táblázat. Masszák összetétele

| Massza | Duzzasztott perlit mennyisége |     | Szürke agyag<br>[g] | Sárga agyag<br>[g] | Víz<br>[g] |
|--------|-------------------------------|-----|---------------------|--------------------|------------|
|        | [m/m%]                        | [g] |                     |                    |            |
| R      | 0                             | 0   | 1500,0              | 1500,0             | 750        |
| DP1    | 2,5                           | 75  | 1462,5              | 1462,5             | 750        |
| DP2    | 3,5                           | 105 | 1447,5              | 1447,5             | 750        |
| DP3    | 4,5                           | 135 | 1432,5              | 1432,5             | 750        |
| DP4    | 5,5                           | 165 | 1417,5              | 1417,5             | 750        |
| DP5    | 6,5                           | 195 | 1402,5              | 1402,5             | 750        |

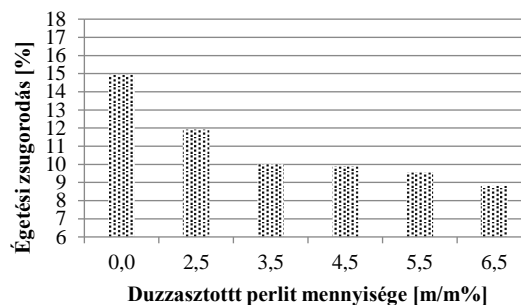
### 3. Laboratóriumi vizsgálatok és eredmények

#### 3.1. Száradási és égetési zsugorodás

A próbatesteket az extrudálás után 24 órán keresztül szabad levegőn, majd laboratóriumi szárítószekrényben 105 °C-on 48 órán keresztül tömegállandóságig szárítottuk. Ezt követően 140 °C/h felfűtési sebességgel 880 °C-on 30 perces hőntartással kiégettük. A száradás és égetés hatására bekövetkező méretváltozás meghatározása érdekében a minden próbatest átmérőjét és magasságát megmértük nyers, szárított és égetett állapotban is. A mért adatok ismeretében kiszámítottuk a száradási (3. ábra) és égetési térfogatszugorodást (4. ábra).



3. ábra. Száradási zsugorodás



4. ábra. Égetési zsugorodás

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a száradási és égetési zsugorodás esetében csökkentő tendencia volt megfigyelhető a duzzasztott perlit mennyiségének növelésével. A száradási és égetési zsugorodás értékeit összevetve az eredmények azt mutatták, hogy a minták a szárítást követően a kiégetés során csak kis mértékben zsugorodtak.

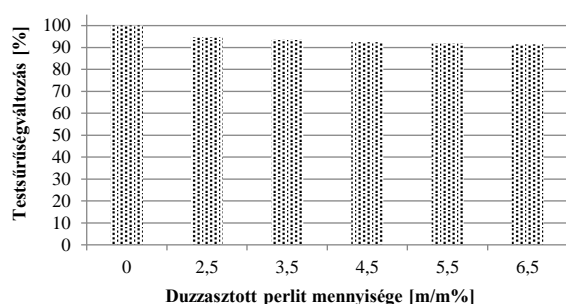
#### 3.2. Testsűrűség meghatározása

A minták testsűrűségének méréséhez hidrosztatikai módszert használtunk, ami Archimédész törvényén alapszik. A mérést ebben az esetben beállításonként 5 db kiégetett mintán végeztük el, melyeket 105

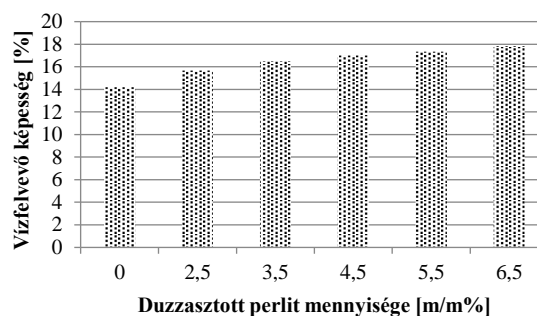
°C-on tömegállandóságig szárítottunk. A mérési eredményeket százalékosan hasonlítottuk össze, referenciának a duzzasztott perlit nélkül készített minták értékeit tekintettük. A mért testsűrűségek pontos értékeit a 3. táblázatban foglaltuk össze.

3. táblázat. Próbatetek testsűrűsége

| Massza azonosítója                          | R    | DP1   | DP2   | DP3   | DP4   | DP5   |
|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Testsűrűség [kg/m <sup>3</sup> ]            | 1855 | 1755  | 1734  | 1715  | 1705  | 1696  |
| Testsűrűség a referenciához viszonyítva [%] | 100  | 94,61 | 93,49 | 92,49 | 91,94 | 91,45 |



5. ábra. Testsűrűség változása a perlit tartalom függvényében



6. ábra. Vízfelvő képesség

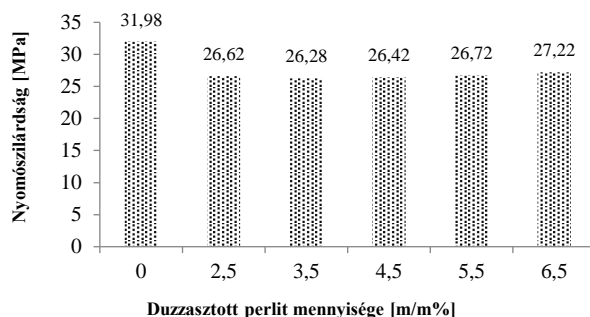
Az 5. ábra grafikusán ábrázolja a minták testsűrűségének változását, az ábrázoláshoz a referencia (duzzasztott perlit mentes) próbatetek átlagértékét tekintettük, majd ehhez képest ábrázoltuk a testsűrűségek csökkenését a duzzasztott perlit mennyiségének függvényében. Az adalékanyag bekeverésével a testsűrűség értéke csökkenést mutatott, amely a hozzáadott mennyiség növelésével további csökkenést eredményezett.

### 3.3. Vízfelvő képesség vizsgálata

A vízfelvő képességet 10 db próbatesten mért eredmények átlagolásával számítottuk ki. A kiégetett mintákat egy vízzel teli edénybe helyeztük, majd a vizet forralásig hevítettük, ezt követően 4 órán keresztül forraltuk. A próbatetek száraz és vízzel telített tömegéből kiszámoltuk a nyitott pórusokban jelenlévő víz mennyiségét. A 6. ábra alapján elmondható, hogy a duzzasztott perlit bekeverésével a próbatetek vízfelvétele növekvő tendenciát mutatott. A perlitben a duzzasztás hatására apró pórusok keletkeznek, amely nagyrészt nyitott cellás szerkezetet eredményez, ezáltal magas vízfelvő képességgel rendelkezik. Ennek eredményeként a perlit mennyiségének emelésével nőtt a minták vízfelvétele.

### 3.4. Nyomószilárdság vizsgálat

A nyomószilárdság vizsgálatokat masszánként 10 db kiégetett mintán végeztük el egy mechanikus 10 t mérés-határral rendelkező mechanikus törőberendezéssel. A vizsgálatot 24 mm átmérővel és 50 mm magassággal rendelkező próbatesteken vizsgáltuk. A mérést megelőzően a minták felületeit párhuzamosítottuk, a pontosabb mérési eredmények érdekében. Az eredményeket a 7. ábrán szemléltettük. A diagram alapján megállapítható, hogy a duzzasztott perlit nélkül készített referencia minták átlag nyomószilárdsága 31,98 MPa volt, 2,5 m/m% perlit bekeverésével ez 26,62 MPa-ra csökkent. A perlit mennyiségének további emelése nem mutatott jelentős eltérést, mindemellett 3,5m/m% perlit mennyiségtől minimális növekedés figyelhető meg a 2,5 m/m%-hoz képest.



7. ábra. Nyomószilárdság változása a duzzasztott perlit mennyiségének függvényében

#### 4. Összegzés

Az általunk elvégzett vizsgálatok alapján elmondható, hogy a duzzasztott perlit összeségében pozitív hatást gyakorol egyes tulajdonságokra, mint például a száradási zsugorodásra és a nyomószilárdságra. A száradási zsugorodás a perlit nélkül készített minták esetében 16 % volt, ez az érték 6,5 m/m% duzzasztott perlit bekeverésével 9 %-ra csökkent, ez technológiai szempontból kedvező, hiszen méretpontosabb termékek készíthetők. A testsűrűség esetében a duzzasztott perlit mennyiségének emelésével fokozatos csökkenés volt megfigyelhető, ezzel szemben a nyomószilárdság a testsűrűség csökkenésével nem csökkent jelentősen. A nyomószilárdság a referencia mintához képest 32 MPa-ról 2,5 m/m% bekeverésével 26,7 MPa-ra csökkent, amely a perlit bekeverési arányának emelésével nem mutatott további jelentős csökkenést. A próbatestek vízfelvevő képessége az adalékanyag mennyiségének növelésével emelkedést mutatott, ez a duzzasztott perlit nyitott cellás szerkezetével magyarázható.

#### 5. Köszönetnyilvánítás

A tanulmányban ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

#### Irodalom

- [1] Gömze, L. A., Gömze, L. N., Kurovics, E., Benedek, Gy.: *Conventional brick clays as a challenge of materials science - New explanation of drying sensitivities*, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 613 (2019) 012005 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/613/1/012005>
- [2] Jamal Eldin, F. M., Ibrahim, D., Shushkov, E., Kurovics, M., Tihtih, O., Kotova, B., Pala, P. K., Gömze, L. A.: *Effect of composition and sintering temperature on thermal properties of Zeolite-Alumina Composite Materials*, Epitoanyag Journal of Silicate Based and Composite Materials 72(4):131 <https://doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2020.21>
- [3] Kocserha, I., Gömze, L. A., Kristály, F., Géber, R., Györffy, B.: *Effect of organic additives on friction properties of clay based compounds*, Materials Science Forum Vol. 729 (2013) pp. 403-408. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.729.403>

- [4] Kizinieviča, O., Kizinievič, V., Pundiene, I., Molotokas, D.: *Eco-friendly fired clay brick manufactured with agricultural solid waste*, Archives of Civil and Mechanical Engineering V. 18, Issue 4, September (2018) pp. 1156-1165. <https://doi.org/10.1016/j.acme.2018.03.003>
- [5] Muñoz, P., Mendivil, M. A., Letelier, V., Morales, M. P.: *Thermal and mechanical properties of fired clay bricks made by using grapevine shoots as pore forming agent. Influence of particle size and percentage of replacement*, Construction and Building Materials 224 (2019) pp. 639-658. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.066>
- [6] Cultrone, G., Aurrekoetxea, I., Casado, C., Arizzi, A.: *Sawdust recycling in the production of lightweight bricks: How the amount of additive and the firing temperature influence the physical properties of the bricks*, Construction and Building Materials Vol. 235, 28 February 2020, 117436 <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117436>
- [7] La Rubia-García, M. D., Yerbe-Rodríguez, Á., Eliche-Quesada, D., Francisco, A., Corpas-Iglesias, López-Galindo, A.: *Assessment of olive mill solid residue (pomace) as an additive in lightweight brick production*, Construction and Building Materials 36 (2012) pp. 495-500. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.06.009>
- [8] Taurino, R., Ferretti, D., Cattani, L., Bozzoli, F., Bondioli, F.: *Lightweight clay bricks manufactured by using locally available wine industry waste*, Journal of Building Engineering V. 26, Nov. (2019) 100892 <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100892>
- [9] Neves Monteiro, S., FontesVieira, C. M.: *On the production of fired clay bricks from waste materials: A critical update*, Construction and Building Materials Vol. 68, 15 October (2014) pp. 599-610. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.006>
- [10] Sutcu, M., Akkurt, S., Bayram, A., Uluca, U.: *Production of anorthite refractory insulating firebrick from mixtures of clay and recycled paper waste with sawdust addition*, Ceramics International Vol. 38, (2012) pp. 1003-1041. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2011.08.027>
- [11] Sadik, C., Albizane, A., Amrani, I. E.: *Production of porous firebrick from mixtures of clay and recycled refractory waste with expanded perlite addition*, J. Mater. Environ. Sci. 4 (6) (2013) pp. 981-986.
- [12] Hamza, A., Kocserha, I.: *The effect of expanded perlite on fired clay bricks*, Journal of Physics: Conference Series 1527, (2020) 012032 <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1527/1/012032>
- [13] Alaa M. Rashad: *A synopsis about perlite as building material*, A best practice guide for Civil Engineer, Construction and Building Materials Vol. 121, 15 September (2016) pp. 338-353. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.001>
- [14] Tapan, M., Engin, C.: *Effect of Expanded Perlite Aggregate Size on Physical and Mechanical Properties of Ultra Lightweight Concrete Produced with Expanded Perlite Aggregate*, Periodica Polytechnica Civil Engineering 63 (3), (2019) pp. 845-855. <https://doi.org/10.3311/PPci.12680>
- [15] Jamei, M., Guiras, H., Chtourou, Y., Kallel, A., Romero, E., Georgopoulos, I.: *Water retention properties of perlite as a material with crushable soft particles*, Engineering Geology 122 (3), (2011) pp. 261-271. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2011.06.005>
- [16] Donald, F., Gunning, P. Eng.: *Perlite market study report*, Gunning and McNeal Associates Ltd., Crown Publications Inc.; 1994. p. 2-8.
- [17] Abdelfattah, M., Kocserha, I., Géber, R., Tihtih, M., Móricz, F.: *Evaluating the properties and mineral phases of the expanded clay aggregates with the bentonite additive material*, Journal of Physics: Conference Series 1527 (2020) 012030 <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1527/1/012030>
- [18] Öztürk, M.: *Examining physical and mechanical properties of lightweight concrete with pumice and perlite*, Master of Science Thesis, Tekirdağ Namık Kemal University, 2012. (Turkish)



- [19] Singh, M., Garg, M.: *Perlite-based building materials - a review of current applications*, Construction and Building Materials Volume 5, Issue 2, June (1991) pp. 75-81.  
[https://doi.org/10.1016/0950-0618\(91\)90004-5](https://doi.org/10.1016/0950-0618(91)90004-5)
- [20] Pichor, W., Janiec, A. J.: *Thermal stability of expanded perlite modified by mullite*, Ceramics International Volume 35, Issue 1, January (2009) pp. 527-530.  
<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2007.10.008>
- [21] Zukowski, M., Haese, G.: *Experimental and numerical investigation of a hollow brick filled with perlite insulation*, Energy and Buildings Volume 42, Issue 9, September (2010) pp. 1402-1408.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.03.009>
- [22] Todor, D. N.: *Thermal analysis of minerals*, Abacus Press, 1976.