

**DOKTORI (Ph.D.) ÉRTEKEZÉS**

**A VÁLYOG ÉS A FAVÁZAS  
VÁLYOGÉPÍTÉSZET**

Molnár Viktor

Nyugat-Magyarországi Egyetem  
Faipari Mérnöki Kar

2004.

Molnár Viktor

# **A VÁLYOG ÉS A FAVÁZAS VÁLYOGÉPÍTÉSZET**

Doktori (Ph.D.) értekezés

Témavezető:  
Dr.habil Winkler Gábor C.Sc  
tanszékvezető egyetemi tanár

Nyugat-Magyarországi Egyetem  
Sopron

2004.

# A VÁLYOG ÉS A FAVÁZAS VÁLYOGÉPÍTÉSZET ANYAGAI

Értekezés doktori (Ph.D.) fokozat elnyerése érdekében

Írta:  
Molnár Viktor

Készült a Nyugat-Magyarországi Egyetem  
Cziráki József Faanyagtudomány és  
Technológiák Doktori Iskola  
Faszerkezetek Ph.D. Programja keretében

Témavezető: Dr. habil. Winkler Gábor C.Sc egyetemi tanár

Elfogadásra javaslom (igen/nem)

(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton .....%-ot ért el,

Sopron,

.....  
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom

(igen/nem)

Első bíráló (Dr. ....)

(igen/nem)

(aláírás)

Második bíráló (Dr. ....)

(igen/nem)

(aláírás)

/Esetleg harmadik bíráló (Dr. ....) (igen/nem)

(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján .....%-ot ért el

Sopron,

.....  
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (Ph.D.) oklevél minősítése .....

.....  
az EDT elnöke

## TARTALOMJEGYZÉK

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1.     | BEVEZETÉS   | 1  |
| 2.     | A VÁLYOGÉPÍTÉS TÖRTÉNELMI ÁTTEKINTÉSE                                 | 2  |
| 3.     | A KUTATÁS AKTUALITÁSA, CÉLJA  | 6  |
| 3.1.   | Az ökonomikus és az ökológikus házépítés                              | 8  |
| 3.2.   | A vályog definiálása  | 10 |
| 4.     | A TALAJOK   | 11 |
| 4.1.   | A talajok eredete és keletkezése                                      | 11 |
| 4.1.1. | Geológiaiilag természetes vályogtalaj típusok                         | 12 |
| 4.2.   | Talajfizikai jellemzők  | 16 |
| 4.3.   | A talajok alkotórészei  | 16 |
| 4.3.1. | A szilárd alkotórészek vizsgálata                                     | 17 |
| 4.3.2. | A talajban levő víz és levegő   | 19 |
| 4.3.3. | A talaj alkotórészek arányainak kifejezése                            | 20 |
| 4.4.   | Konzisztencia   | 21 |
| 4.5.   | A talajok szerkezete  | 22 |
| 4.5.1. | Különálló szemcsés szerkezet (homok, kavics)                          | 22 |
| 4.5.2. | Finom talajszemcsés szerkezetek                                       | 23 |
| 4.5.3. | A vályog szerkezete   | 23 |
| 4.6.   | Az agyagásványok  | 24 |
| 4.6.1. | Az agyagásványok keletkezése, kémiai összetétele                      | 24 |
| 4.6.2. | Az agyagok kristályszerkezeti felépítése                              | 24 |
| 4.6.3. | Az agyagszemcsék felületén ható jelenségek                            | 25 |
| 4.7.   | Az agyaghalmazok szerkezete   | 28 |
| 4.7.1. | Tiszta agyag  | 28 |
| 4.7.2. | Agyagos (vályog) talajszerkezetek                                     | 29 |
| 4.8.   | A talajban levő víz megjelenési formái és szerepe a talajszerkezetben | 31 |
| 4.8.1. | A talajok vízfellevő képessége  | 32 |
| 4.8.2. | A talajok szétesése víz alatt   | 32 |
| 4.9.   | Kötött talajok  | 34 |
| 4.10.  | A talajok osztályozása  | 34 |
| 4.11.  | Szilárdság és alakváltozás  | 34 |

|  |    |
|--|----|
| 4.11.1. Az egyirányú nyomószilárdság   | 34 |
| 4.11.2. A talajok húzószilárdságának vizsgálata                                    | 36 |
| 4.11.3. Alakváltozások   | 37 |
| 4.12. Vízmozgás talajban   | 37 |
| 5. A VÁLYOGHABARCSOK JELLEMZŐ TULAJDONSÁGAI  | 39 |
| 5.1. A friss vályoghabarcs jellemzői   | 39 |
| 5.2. A megszilárdult habarcs jellemzői   | 40 |
| 6. A VÁLYOGKÉSZÍTÉS TECHNOLÓGIAI ALAPKÉRDÉSEI                                      | 43 |
| 6.1. A vályogépítési technológiák hazai elterjedése                                | 44 |
| 6.2. A talaj feldolgozása vályoggá   | 45 |
| 6.2.1. A kitermelés  | 45 |
| 6.2.2. A vályogtalaj előkészítése  | 46 |
| 6.2.3. Vízadagolás, konzisztencia  | 47 |
| 6.2.4. Töltőanyagok adagolása  | 47 |
| 6.2.5. Stabilizálószeres adagolása   | 48 |
| 6.2.6. Keverés   | 48 |
| 6.2.7. Bedolgozás (tömörítés)  | 48 |
| 6.2.8. Az utókezelés (a kiszáradás folyamatának szabályozása)                      | 49 |
| 7. A VÁLYOG MINŐSÍTŐ VIZSGÁLATAI   | 53 |
| 7.1. A próbatestek előállításának menete   | 55 |
| 7.1.1. A mintavétel módja  | 55 |
| 7.1.2. A vályogépítési technológia hatása a próbatestek készítésére                | 55 |
| 7.1.3. A szabványos folyósságú vályog fogalma és meghatározása                     | 56 |
| 7.1.4. A próbatestek alakja, méretei és előállítása                                | 57 |
| 7.2. A vályog minősítő tulajdonságait befolyásoló tényezők                         | 59 |
| 7.2.1. A szemeloszlás  | 60 |
| 7.2.2. A kövérség, kötöttség (az agyagtartalom)                                    | 60 |
| 7.2.3. Víztartalom (keverővíz)   | 61 |
| 7.2.4. Konzisztencia, konzisztencia határok és –vizsgálatok                        | 62 |
| 7.2.5. Töltőanyag  | 63 |
| 7.2.6. Kémiai összetétel, ill. káros vegyületek                                    | 63 |
| 7.2.7. Építési technológia   | 64 |
| 7.2.7.1. Tömörség a száraz technológiák esetén                                     | 64 |
| 7.2.7.2. Tömörség a nedves technológiák esetén                                     | 64 |
| 7.3. A vályog minősítő vizsgálatai   | 65 |
| 7.3.1. A vályog térfogatállandóság (térfogattartóság) vizsgálata                   | 65 |
| 7.3.2. A vályog szilárdsági vizsgálata   | 65 |
| 7.3.2.1. Szilárdságvizsgálat hengeres próbatesteken (száraz technológia esetén)    | 65 |
| 7.3.2.2. Szilárdságvizsgálat hasáb alakú próbatesteken (nedves technológia esetén) | 66 |

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| 7.3.3.   | A vályog vízerzékenységének vizsgálata   | 66  |
| 8.       | A VÁLYOG MINŐSÍTŐ TULAJDONSÁGAINAK OPTIMALIZÁLÁSA                                    | 68  |
| 8.1.     | A vályog optimális szemeloszlási tartományának meghatározása                         | 68  |
| 8.1.1.   | A szemcseméret maximalizálása  | 71  |
| 8.1.2.   | Egyedi durva szemcsék vizsgálata   | 72  |
| 8.1.3.   | A graduáltság, egyenletesség és frakcióhiány hatása                                  | 73  |
| 8.2.     | Az agyagfrakció hatása a vályog minősítő tulajdonságaira                             | 74  |
| 8.2.1.   | Az agyagtartalom hatása a szilárdságra   | 74  |
| 8.2.2.   | Az agyagtartalom hatása a térfogattartóságra   | 75  |
| 8.2.3.   | Az agyagtartalom hatása a vízerzékenységre   | 75  |
| 8.3.     | A keverővíz hatása a vályog minősítő tulajdonságaira                                 | 77  |
| 8.3.1.   | A keverővíz hatása a szilárdságra  | 77  |
| 8.3.2.   | A keverővíz hatása a térfogattartóságra  | 79  |
| 8.3.3.   | A keverővíz hatása a vízerzékenységre  | 79  |
| 8.4.     | A töltőanyagok hatása a vályog minősítő tulajdonságaira                              | 80  |
| 8.4.1.   | A töltőanyagok hatása a szilárdságra   | 80  |
| 8.4.2.   | A töltőanyagok hatása a térfogattartóságra   | 82  |
| 8.4.3.   | A töltőanyagok hatása a vízerzékenységre   | 82  |
| 8.5.     | Az építéstechnológia hatása a vályog minősítő tulajdonságaira                        | 82  |
| 8.5.1.   | A bevitt keverővíz hatása a vályog minősítő tulajdonságaira                          | 83  |
| 8.5.2.   | A feldolgozás (keverés), ill. a bedolgozás (tömörítés) hatása a vályog szilárdságára | 83  |
| 8.5.2.1. | A feldolgozás (keverés) hatása a szilárdságra  | 83  |
| 8.5.2.2. | A bedolgozás (tömörítés) hatása a vályog szilárdságára                               | 84  |
| 8.5.2.3. | A fel-, ill. bedolgozás hatása a vályog térfogattartóságára                          | 87  |
| 8.5.2.4. | A fel-, ill. bedolgozás hatása a vályog vízerzékenységére                            | 87  |
| 8.5.3.   | Az utókezelés hatása a vályog minősítő tulajdonságaira                               | 88  |
| 9.       | A VÁLYOG STABILIZÁLÁSA   | 89  |
| 9.1.     | Az ideális szemeloszlás előállítása  | 90  |
| 9.2.     | Az agyagtartalom megváltoztatásának korlátai   | 91  |
| 9.3.     | A vályog stabilizálása kötőanyagokkal  | 91  |
| 9.3.1.   | Száraz technológiával előállított próbatestek vizsgálata                             | 92  |
| 9.3.2.   | Nedves technológiával előállított próbatestek vizsgálata                             | 96  |
| 9.3.2.1. | Cementes stabilizáció  | 99  |
| 9.3.2.2. | Meszes stabilizáció  | 100 |
| 9.3.2.3. | Gipszes stabilizáció   | 101 |
| 9.3.2.4. | A különböző stabilizációk összehasonlítása   | 103 |
| 9.4.     | A próbatesteken nyert szilárdsági eredmények megbízhatóságának vizsgálata            | 105 |
| 9.4.1.   | A száraz technológiával készült vályog vizsgálata                                    | 105 |
| 9.4.2.   | A nedves technológiával készült vályog vizsgálata                                    | 107 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 10.   | A KUTATÁS EREDMÉNYEINEK ÖSSZEFOGLALÁSA | 108 |
| 10.1. | A kutatás aktualitása és célja         | 108 |
| 10.2. | A kutatás területei                    | 108 |
| 10.3. | A kutatás tézisei                      | 109 |
| 10.4. | A kutatás várható eredményei           | 113 |
|       | <br>                                   |     |
|       | MELLÉKLETEK                            | 113 |
| I.    | Ábrajegyzék                            | 114 |
| II.   | Táblázatjegyzék                        | 117 |
| III.  | Képjegyzék                             | 118 |
| IV.   | Irodalomjegyzék                        | 119 |
| V.    | Szakirodalmi összefoglaló              | 122 |
| VI.   | Kivonat/Summari                        | 124 |
| VII.  | Saját publikációk                      | 126 |

## 1. BEVEZETÉS

2000 tavaszán az ország egy jelentős részét, a Tisza-völgyét elöntötte a folyó, a víz több falut elsodort. A házak egy jelentős hányada vályogépület volt. Akkor sokan – én is – azt gondolták, hogy a vályoggal, mint építőanyaggal nem érdemes foglalkozni. De eszembe jutott Klatsmányi Tibor, néhai tanszékvezetőm kis monológja:

- egy hiba becsúszhat, attól még nem dől össze semmi,
- kettőből már baj lehet, de!
- három esetén már szinte biztos, hogy baj lesz,
- négyenél: térdre imára, ennyit már nem lehet megúszni.

Valóban, nem szabad négy hibát elkövetni:

- tilos ártérre építkezni,
- tilos alapok nélkül – csupán a döngölt terepszintre – építkezni,
- tilos szigetelés nélkül házat építeni.,
- tilos vizes helyen vízérzékeny építőanyagból építkezni!

Ez esetben négy olyan alaphiba történt, amit elvileg mindenki tud, mégis elkövették. Nem a vályog tehet arról, hogy rossz helyen és szakszerűtlenül alkalmazták, mert megfelelő körülmények között egyenértékű lehet bármely más építőanyaggal. Igen szép példa erre Kovács Zsolt építészmérnök sárréti háza (1.1. kép).

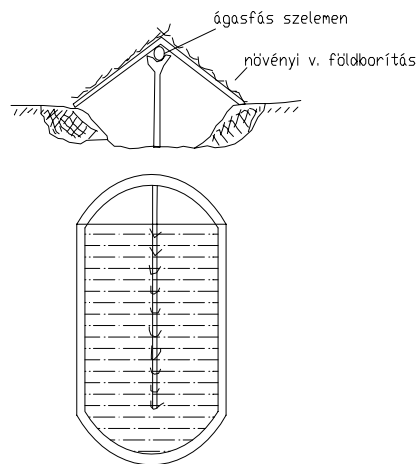


1.1. kép: Földfalú családi ház [1]



## 2. A VÁLYOGÉPÍTÉS TÖRTÉNELMI ÁTTEKINTÉSE

A vályog- és földépítés egyidejű az emberiséggel, valószínűleg megelőzte még a követ-, ill. fával való építést is. Tehát a legősibb természetes építőanyag és az építési technológiái a legrégebb tudatos építési módok. Az első jelentős emlékek a délorszországi Kosztyonszki mellett feltárt földtakarású lakóhelyek kora 10 000 évesre tehető. A földbe mélyített házak fölé ágasfás, szelemenes fedélszéket emeltek, amelyet földdel borítottak, felismerve és kihasználva a föld hőszigetelő és hőtároló képességét. A fa fedélszék a takarás (föld, növény) terhének viselésére szolgált (2.1. ábra) [2].



2.1. ábra: Kosztyonszki földbe mélyített ház [2]

A történelmi idők kezdetén élt nagykulturájú népek: asszírok, babilonaiak, egyiptomiak, perzsák, Amerikában az inkák, mayák és aztékok, mind alkalmazták a vályogot. Lakóházakat, kultikus istentiszteleti helyeket és fejedelmi palotákat készítettek vályogból. Különösen a száraz éghajlatú vidékeken fejlődött igen magas színvonalra a vályogépítés technikája. Afrika és Arábia egyes vidékein még ma is túlnyomórészt a vályog a fő építőanyag, s emeletes vályogépületeket is nagyszámban találhatunk a városokban. A közel-keleti új kőkori – Kr.e. 6500-5650 – vályogépítészet egyik emléke a törökországi Catal Hüyükben található. Az itt feltárt házak egyben a favázas épületek ősei, ugyanis a falban faoszlopokat helyeztek el, s a közöket töltötték ki hosszúkás agyagtömbökkel.

Egyiptomban például csaknem hatezer éven át a vályogtéglá volt a fő építőanyag. Faragott terméskövet csak ceremonális jellegű építkezéseknél használtak. A vályogtéglá készítményekről az építményekben fennmaradt feliratok, képek és domborművek tanúskodnak.

A Középbírodalomban, a 12. dinasztia alatt II. Senwosret halotti templomának építésekor alapvető változások történtek a kultikus építészetben is. A piramisoknál a sírgúlát sokszor csak napon szárított téglából emelték és kőlapokkal burkolták.

A feljegyzések szerint a vályogépítkezés nyersanyaga csaknem kivétel nélkül a nílusi, alluviális szürke agyagos iszap volt, amelyet árpapelyvával, vagy homokkal soványítottak [3].

A világ legnagyobb – egyetlen, az űrből is látható – emberi alkotását a Kínai Nagyfalat is részben vályog, részben kőgyámos vályogszerkezetként alakították ki i.e. kb. 2000 évvel (2.1. kép).

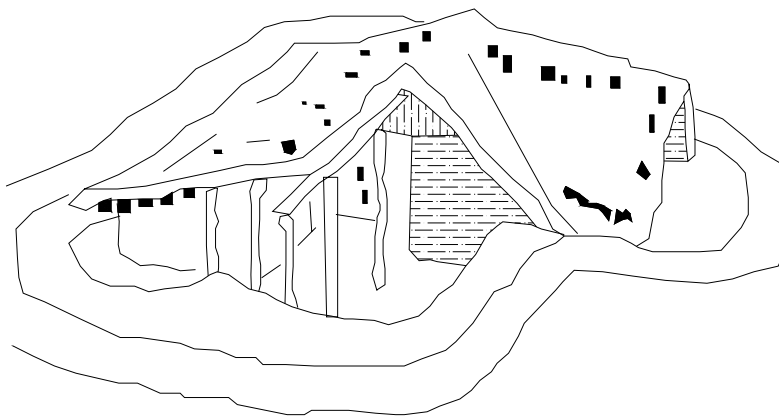


**2.1. kép:** A Kínai Nagy Fal

Az első írásos emlékek is még közvetlenül az időszámítás előtti, ill. utáni időkből datálódnak, tehát több, mint 2000 évesek.

Marcus Vitruvius (i.e. 80-10) a „De architectura libri decem” c. 10 kötetes művében, mint teljes értékű építőanyaggal foglalkozik a vályoggal és egy teljes kötetet szentel a vályogépítéssel kapcsolatos ismereteknek [4]. Pilnius G.S. (i.sz. 23-79) írásaiból tudjuk, hogy a rómaiak a csömöszölt vályogépítési módot már Krisztus előtti első században erődítmények építésére használták Dél-Európában [5].

A honfoglalás (letelepedés) után a magyarság is alkalmazta a föld- és vályogépítést. Hazánkban is találtak a Kosztyonszki házakhoz hasonló veremházakat az Árpád-korból Hódmezővásárhely környékén (2.2. ábra).



**2.2. ábra:** Árpádkori veremház rekonstrukciója [6]

Európában a középkorban Palladió Andrea (1508-1580) itáliai építész 1570-ben megjelent négy kötetes építészeti szakkönyvében foglalkozik a vályoggal, mint építőanyaggal [7].

A vályogépítészet Európában éppen hazánkban élte reneszánszát, először a tatárjárás, később az ozmán hadak ellen épített magyarországi várrendszer létrehozásában [8]. A vár- és erődépítészet során jöttek később létre a kívülről kővel vagy téglával burkolt erődítményfalak. Bár ez sem volt új találmány, hiszen a Kínai Nagyfalnál is alkalmazták ezt a módszert az időben később épített szakaszokon.

Európa népi építészetére a sokszínűség jellemző. Vályog lakóházak a gazdagabb országokban is előfordultak Svédországtól Angliáig, Németországtól Franciaországig. A vályogépítés a kevés erdő miatt Magyarországon elsősorban az Alföldön terjedt el, és az építési módok gazdag tárházát fejlesztette ki.

A vályog használata a magyar népi építészetben is megtalálható. Virágkorát a XIX. sz. végére tehetjük. Nemzetközileg is ismert és elismert, az UNESCO által a világörökség részének nyilvánított Hollókő-ófalú faluegyüttese, mely ugyancsak vályogszerkezetű épületekből áll (2.2. kép).



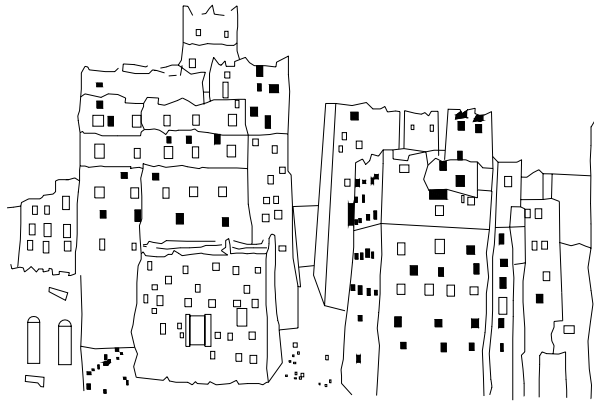
**2.2. kép:** Hollókői falurészlet

Magyarországon 1930-ban a lakóházak kétharmada, a KSH adatai szerint ma is még több, mint egynegyede föld- és vályogfalú [9].

Elmondható, hogy a vályogot több ezer éves történelme során nemcsak egyszerű lakóházak, hanem monumentális építészeti alkotások – kultikus piramisok, földvárak és védőfalak – építésénél is alkalmazták.

A földépítészet – a két világháborút követő, rövid ideig tartó átmeneti fellendüléstől eltekintve – a gazdaságilag fejlettebb országokban igen erősen lecsökkent, míg a fejlődő országokban a szerepe ma is megmaradt, sőt esetenként növekedett. Aszályos, száraz területeken még ma is, akár több emelet magas épületek épülnek vályogból (2.3. ábra).

Az 1970-es évek olajválsága ismét világszerte ráirányította a figyelmet a kis energiafelhasználással előállítható, környezetbarát építőanyagokra és az energiatakarékos, ún. „köztes technológiákra”. Így sok példát találhatunk, a legegyszerűbbtől a legigényesebbig terjedő, korszerű építészeti kialakítású föld- és vályogépületekre.



**2.3. ábra:** Azzan (Dél-Jemen) utcakép több emeletes vályogházakkal [6]

A mai magyar modern vályogépítészet is nagyon változatos, a sokféleség jellemzi mind anyag, mind a forma, ill. a szerkezet tekintetében. Mégis azt lehet mondani, hogy alkalmazása nagyon szűk területre korlátozódik. Vannak ugyan az ország egyes részein helyi kezdeményezések, de a köztudatban a vályog, mint a szegények építőanyaga szerepel. Negatív megítéléséhez természetesen az is hozzájárul, hogy az árvíz sújtotta területeken nagy számban mentek tönkre ilyen szerkezetű épületek. Azonban meg kell jegyezni, hogy a tönkrement épületeknél három súlyos vétség után már csak az i-re tette fel a pontot a vályog vízérzékenysége. A tönkrement épületek legtöbbször nem tartották be a bevezetőben már említett igen fontos négy szabályt:

- ártéren nem szabad építkezni,
- az épületeket le kell alapozni,
- az épületeket le kell szigetelni,
- árvízveszélyes területen nem szabad vízérzékeny építőanyagból (pl. vályogból) építkezni.

Ma a vályogépítés sokadik reneszánszát éljük. A legsikeresebb vállalkozások a:

- BIOECO cementstabilizációs földtégla építés, Hegedűs Zsolt építészmérnök (ZELE-BAU Kft. Hatvan),
- NATURBAU Kft. (Zalaegerszeg).

Ezen felül egyéni vállalkozók is szép számban foglalkoznak vályogtégla előállítással (Újkígyós, Debrecen, Székesfehérvár stb).

### 3. A KUTATÁS AKTUALITÁSA, CÉLJA

(visszatérni az egészséges és gazdaságos természetes helyi anyagokkal való építéshez a szállítás megtakarításával)

Korunkban hallatlanul felgyorsult az ipar és azon belül az építészet, azaz az építőipar, az építőanyagok, az építési- és szerelési technológiák, szerkezeti kialakítások, valamint az épületgépészet fejlődése. Azonban az építészet fejlődésével egyidejűleg igen sok probléma merült fel. Ilyenek a nyersanyag, az energia, az üzemeltetés, a fenntartás és az újrafelhasználás gazdasági és környezetszennyezési problémái. Kérdés, hogy mindezt miért vállaljuk fel, ugyanis a mai modern és korszerű épületek igen sok esetben még csak nem is biztosítanak megfelelő életkörülményeket.

A modern épületekben a klasszikus építési formákkal összehasonlítva jelentősen nagyobb ráfordításokra van szükség a kényelemérzet biztosításához, és mégis ezekkel kapcsolatosan hangzanak el feltűnően gyakran komfortérzeti, sőt egészségi panaszok. Annak ellenére, hogy az ember képes alkalmazkodni különböző állapotokhoz (hőmérséklet, huzat, bizonyos páratartalom, zaj stb.) létezik egy tartomány, a komforttartomány, amelyen belül a legjobban érzi magát. Ennek a tartománynak nem lehet szigorú határvonalat szabni, mivel igen sok tényező befolyásolja – pl. hőmérséklet, testalkat, egészségi állapot, világítás, zaj, illat, légnedvesség, légmozgás, napsugárzás –, ezért ez a tartomány mindenkinél más és más. .

Azonban azok az épületek, amelyekben a többség – bár alig tudja megfogalmazni, hogy miért, de – rosszul érzi magát azok az épületek „betegek”. A „beteg épület” problémát az irodalomban – Sick Building Syndrome – röviden SBS szindrómaként említik. Az SBS panaszok és ezek lehetséges okai a 3.1. táblázatban, a megelőzésükre tett javaslatok a 3.2. táblázatban láthatók.

| SBS panaszok   | Lehetséges okok   |
|--|---|
| „kellemetlenül száraz”<br>a légutak és a szem nyálkahártyái kiszáradnak                | légkezelő berendezésekből származó mikrobás allergének:<br>csírával telített nedvesítő víz<br>szennyezett szűrő<br>szennyezett légbevezető rendszer<br>áramlási sebesség > 0,15 m/s<br>magnövekedett légturbulencia és lebegő porrészecskék |
| „áporodott levegő”<br>a levegőminőséggel kapcsolatos panaszok                          | csírával telített légtechnikai komponensekből származó szagok<br>szagforrások a szellőző levegőben (pl. füstgázok)<br>hiányos levegőkeringető rendszer<br>belső hőmérséklet > 23 °C<br>hiányzó ablakszellőztetés                            |
| „kimerültség”<br>fáradtság<br>a koncentráció képesség zavarai<br>kábultság<br>fejfájás | hőszabályozási zavarok<br>mikrobás allergének/antigének/toxinok<br>allergiás reakciók kísérő tünetei<br>kis frekvenciájú hangok (<100 Hz; >50 dB-C)   |
| „huzat érzet”<br>hidegérzet<br>megfázásra való hajlam<br>reumás fájdalmak              | áramlási sebesség > 0,15 m/s<br>légturbulencia<br>hiányos légvezetés<br>hideg oldalsó felületek/ablakok   |

3.1. táblázat: Az SBS panaszok [10]

| <b>SBS panaszok megelőzése</b>  |   |
|---------------------------------|---|
| épület                          | a légtechnikai berendezések nélküli használhatóságot is lehetővé kell tenni:<br>- nyitható ablakok (legalább egy ablak/helyiség)<br>- nagy belmagasság<br>- ablakfelület/homlokzat >50 %<br>külső napvédelem/parapetek, párkányok<br>nagy hőraktározó tömegek<br>az égtáj figyelembevétele<br>a toxikus anyagok kerülése<br>allergén porforrások elkerülése   |
| légtechnikai berendezések       | a hőmérséklet állandósága ( $22 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ )<br>légssebesség < 0,15 m/sec<br>turbulenciaszegénység<br>elektrofilterek előtérbe helyezése<br>táskás-/textilszűrők esetében: rövid karbantartási időközök<br>„ivóvíz”-minőségű víz legyen a nedvesítőben:<br>a víz és a nedves területek fizikai csírátlanítása UVC-sugárzással<br>kis frekvenciájú hangok: (10-100 Hz) < 50 dB (C)<br>légtechnikai berendezéseket kívül vagy a pincében kell elhelyezni<br>kis frekvenciájú hangszigetelés figyelembevétele<br>tisztítási hozzáférhetőség minden szellőztető, levegőztető berendezéshez |
| légtechnikai berendezések üzeme | alaphőmérséklet $22 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$<br>egyéni hőmérséklet-szabályozási lehetőség<br>mindenféle huzatjelenség elkerülése<br>nedvesítés csak műszakilag szükséges esetben   |
| karbantartás, ellenőrzés        | rendszeres ellenőrzés és tisztítás minden szellőztető levegőztető berendezés esetében szabályos időközönként<br>gyanú esetén: a közösség panaszainak feltárása (kérdőív)<br>karbantartási szerződés, lehetőleg a gyártóval  |

### 3.2. táblázat: Az SBS-panaszok megelőzése [10]

Fenti problémák megoldásához az egész építőipari termelés folyamatát pontosan kell elemezni, és akkor néhány – egyébként magától értetődő – dolgot pontosítva, négy axiómát lehet felállítani, amelyek birtokában lehet, ill. kell továbbgondolni feladatainkat:

- a.) Az ipar a termelés során a földünkből nyert nyersanyagot a földünkből nyert energiával dolgozza fel számunkra „hasznos” terméké.
- b.) Minden termék – csak idő kérdése – hulladékká válik.
- c.) Földünk akár, mint nyersanyag vagy, mint energiahordozó – méreteiből adódóan – véges!
- d.) Ha az ipari technológiák nagyobb sebességgel állítják elő a „hasznos terméket” azaz a „hulladékot”, mint a föld ún. feldolgozó vagy regenerálódó képessége, akkor előbb vagy utóbb egy hulladékhegyen fogunk ülni.

*Ha mindezt el akarjuk kerülni, akkor az ipari technológiákat és a velük előállított termékeinket „környezetbaráttá” kell tenni. Ehhez azon felül, hogy takarékosan bánunk a nyersanyaggal és az energiával, gazdaságossá kell tenni az épületek üzemeltetését, valamint a végtermék egyszerű és olcsó szanálhatóságát, ill. újrafelhasználhatóságát biztosítani kell.*

Az építési kutatások nemzetközi fő irányvonalainak figyelembevétele [11] és az ENSZ „Környezet és fejlődés” világkonferencia [12] ajánlásai alapján a jövő építési szemléletmódjának a múlt és a jelen tapasztalataira támaszkodva az

- ökonómiára (ésszerű takarékosságra) és az
- ökológiára (az élő szervezet és a környezet kölcsönhatására) kell épülnie.

Ezért szükséges, hogy olyan épületek szülessenek, amelyek:

- egészséges életmódot nyújtanak,
- nagyrészt természetes helyi anyagokból épülnek,
- a környezetükbe harmonikusan illeszkednek,
- hasznosítják a megújuló energiaforrásokat,
- a lehető legkevesebb hulladékot és égéstermékot bocsátják ki előállításuk, üzemeltetésük és szanálásuk során,
- a lehető legnagyobb mértékben újrahasznosíthatók,
- a legnagyobb „saját munka” befektetést teszik lehetővé.

**Ezen célok eléréséhez környezetkímélő anyagokat és technológiákat kell alkalmazni.**

### 3.1. Az ökonomikus és az ökológikus házépítés

Egy épület teljes életciklusra vetített energiafelhasználása akkor takarékos, ha az építéshez, üzemeltetéshez, fenntartáshoz, valamint a bontáshoz szükséges energiát összegezve állapítható meg a takarékosság. A beépített energia fogalma a 70-es évek elején az olajválság következményeként fogalmazódott meg.

„A beépített energia azon energiakomponensek összege, amelyet a nyersanyag kitermeléséhez, az építőanyagok előállításához, bármely állapotában (nyersanyag, félkész- vagy késztermék, ill. építési törmelék) szállításához, beépítéséhez, ill. bontásához felhasználnak”.

Svéd tapasztalatok azt mutatják, hogy a fentiekén kívül az életciklusra vetített energiamennyiséget igen nagymértékben befolyásolja az újra felhasználhatóság. Ebben legfontosabb szerepe a szétszerelhetőségnek, épségben való bonthatóságnak van. Az újrahasznosíthatóság lehetséges módja már tervezéskor a szerkezet megválasztásával eldől. Jó tervezéssel, előrelátással a relatív magas létesítési energia az életciklusra vetítve igen gazdaságos lehet, ha a szerkezet újrafelhasználható [13].

Ezt a szellemet tükrözi a 2000. évi XLIII. törvény felhatalmazása alapján benyújtott és 2002. november 26-án elfogadott Országos Hulladékgazdálkodási Terv (OHT) is [14]. Ez előírja, hogy 2008-ig a jelenlegi mintegy 30 %-os újrahasznosítási hányadot legalább 50 %-ra kell emelni. Ezen szabályokat az építési-bontási engedélyekben érvényesíteni kell.

Hosszútávon a legfontosabb gazdasági kérdés az épületek energetikailag jó megtervezése. Mindezt a magyar statisztikai adatok is igazolják. Kimutatták, hogy míg az új építményekbe beépített energia aránya az össz nemzeti energiafelhasználás 5-8 %-a, addig az építmények fenntartása, üzemeltetése 50 %-ot tesz ki. Ez is bizonyítja, hogy a tervezés, ill. a kivitelezés során esetleg nyerhető 10-20 %-os energia-megtakarítás az összenergiának csak 0,5-1,5 %-át teszi ki, míg egy gazdaságosan üzemeltethető épületen hosszútávon 5-10 % energiafelhasználás csökkentés érhető el [6].

A környezetszennyezés szempontjából igen fontos fogalom a beépített CO<sub>2</sub> mennyiség. Ez alatt egy építménybe beépített anyagok előállításához szükséges CO<sub>2</sub> mennyiségének összességét értjük. A magyar statisztikai adatok a nemzeti CO<sub>2</sub> kibocsátás kb. 9 %-át tulajdonítják az építőiparnak.

**Mindezt végiggondolva jutottam el a vályoghoz, mint olyan építőanyaghoz, amely a fenti körülmények között a mai előírásoknak a leginkább megfelel.** Ez egy igen ősi, mégis újra felfedezendő természetes, helyi építőanyag, melyhez a mesterségesen előállított építőanyagok időről-időre felbukkanó hátrányai miatt kell visszatérni. A természetes és a mesterséges építőanyagok egymással szembeni előnyeit és hátrányait már sokan és sokszor felsorakoztatták részben tudományos-műszaki, gazdasági, részben érzelmi alapon. Azonban, hogy melyik a jobb erre a kérdésre ma is csak feltételes módban lehet válaszolni. Mindig a körülmények döntenek el, hogy az adott esetben melyik a legjobb, ill. a legmegfelelőbb anyag. Ezt tudomásul véve összefoglalhatók a vályog, mint építőanyag előnyei és hátrányai (3.3. táblázat).

|   |
|---|
| <p><b>A vályog előnyei</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- alacsony árfekvésű</li> <li>- egészséges életmódot nyújtó, környezetbarát</li> <li>- a környezetünkbe harmonikusan illeszkedik</li> <li>- szállítási költsége nincs</li> <li>- mind az építési, mind az üzemeltetési energia szükséglete kicsiny</li> <li>- előállítása során a lehető legkevesebb hulladék és égéstermék keletkezik</li> <li>- a legnagyobb „saját munka” befektetését, tehát pénzmegtakarítást tesz lehetővé</li> <li>- megmunkálhatósága jó, alakíthatósága szinte korlátlan</li> <li>- tűzálló és hőtechnikai tulajdonságai kiválóak</li> <li>- bontható, olcsó és környezetkímélő</li> <li>- újrafelhasználása egyszerű, környezetbarát, gazdaságos</li> <li>- az épületgépészeti vezetékek, szerelvények beépítése egyszerű</li> <li>- Magyarország területén igen nagy mennyiségben található vályogépítésre alkalmas földkeverék</li> </ul> |
| <p><b>A vályog hátrányai</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- vízérzékenysége</li> <li>- alacsony szilárdsága, különösen a húzószilárdsága</li> <li>- zsugorodás- és duzzadás-érzékenysége</li> <li>- kivitelezés időjárás (csapadék) érzékenysége</li> <li>- felületi erózió veszélyessége</li> <li>- a vályog (talajok) sokfélesége, igen különböző mechanikai tulajdonságai</li> <li>- a vályogra vonatkozó tervezési és kivitelezési szabályozás hiánya</li> <li>- az irodalom szegénysége</li> </ul>   |

### 3.3 táblázat: A vályog előnyei és hátrányai [15, 16]

A vályogszerkezetek hátrányos tulajdonságainak csökkentését szolgáló ősi technológia a különböző vázerősítésű vályogszerkezetek kialakítása. Anyaga szerint megkülönböztetünk kő-, téglá-, ill. favázás vályogépületeket. Ezen szerkezetek alkalmazása kissé átrendezi az előnyöket és a hátrányokat (3.4. táblázat).

|  |
|--|
| <p><b>Vázás vályogszerkezetek előnyei</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- a vázszerkezet segítségével előre megépíthető tetőszerkezet védi a vályogot az időjárás viszontagságaitól</li> <li>- teherhordó vázszerkezet esetén a térelhatároló vályogfalak épülhetnek kisebb szilárdságú, de igen jó hőtechnikai jellemzőkkel bíró könnyűvályogból</li> <li>- olcsó, esztétikailag hibás, ill. alacsonyabb megmunkáltságú, de egészséges faanyagok felhasználhatósága</li> <li>- a száraz vályogfal fatartósító hatása</li> <li>- a vályog/sár takarás vastagságának növelésével csökkenthető a faszervezet tűzveszélyessége</li> <li>- a vázszerkezet segítségével a külső-belső esztétikai változatosság hozható létre</li> <li>- a vázszerkezet csökkenti a vályog zsugorodását mind a kisebb részekre való tagolással, mind a „húzott betétek” segítségével</li> </ul> |
|--|



| Vázás vályogszerkezetek hátrányai   |
|---|
| - relatív magas fajlagos fa/kő stb. felhasználása                                     |
| - a vázszerkezethez való alkalmazkodás nehezíti a vályogos munkák elvégzését          |
| - a vázszerkezet rasztere az alaprajz esetleges utólagos megváltoztatását megnehezíti |



### 3.4. táblázat: A vázas vályogszerkezetek előnyei és hátrányai [17]

*Fenti táblázatokból látszik, hogy az előnyök túlsúlyban vannak. Ha a mai technika és technológia segítségével kicsit javítani tudjuk a vályog előnyös és egyidejűleg csökkenteni annak hátrányos tulajdonságait, valamint pótoljuk a szabályozás hiányát mind a tervezésben, mind a kivitelezésben, akkor igen magas komfortérzetet biztosító, könnyen újrafelhasználható, környezetbarát, gazdaságos építőanyaghoz juthatunk.*

**Tehát a dolgozat célja a vályog minősítő vizsgálati rendszerének kidolgozása, valamint a vályog hátrányos tulajdonságainak csökkentése a mai korszerűbb technológiák segítségével.**

Fenti célok eléréséhez a vályogot definiálni kell.

### 3.2. A vályog definiálása

Azt a talajt, amelyet építőanyagként fel lehet használni, **vályogtalajnak** nevezzük. Ahhoz, hogy egy talaj vályogépítésre alkalmas legyen, formázhatónak kell lennie. A formázhatóságot a finom talajszerkezetből adódó felületi jelenségek által létrehozott belső összetartó erő, a kohézió biztosítja. Megállapítható, hogy a kohézióval rendelkező, ún. kötött talajok használhatók fel **vályogtalajként**.

Ha egy vályogtalajhoz **töltőanyagokat**, különböző növényi rostokat (szalmatörek, faforgács, fenyőtüske, sás vagy nádtörek, stb.) keverünk, akkor **vályogkeveréket** kapunk. Ha a vályog szilárdságát és vízállóságát tartósan növelő, ill. zsugorodását csökkentő úgynevezett stabilizáló szereket (mész, gipsz, cement, műgyanta stb.) is adagolunk, akkor **stabilizált vályogkeveréket** nyerünk. A vályogtalaj, a vályogkeverék, ill. a stabilizált vályogkeverék is mindig tartalmaz több-kevesebb **víz**et. A vályogkeveréket az építési technológia függvényében a természetes víztartalmán felül több-kevesebb víz, un. **keverővíz** segítségével állítjuk elő. Az így nyert *friss keverék* a **vályoghabarcs**, amelyben a homokfrakció az adalékanyag, az agyagiszaptartalom a kötőanyag szerepét tölti be. A vályoghabarcs **megszilárdulása** révén nyerjük a **vályogot**, mint építőanyagot. A megszilárdulás fizikai folyamat (kiszáradás) útján jön létre, miközben a kiszáradás **zsugorodással** jár. A folyamat keverővíz hozzáadásával visszafordítható, a vályog először duzzad, majd újfent képlékeny habarccsá válik.

*Fentiekből következik, hogy a talajmechanika és az építőanyag tudományok eddigi eredményeire támaszkodva célszerű kidolgozni a vályog minősítő rendszerét, ill. stabilizálását. Ezért kell röviden áttekinteni a tudomány ezen két területének a vályogépítéssel kapcsolatba hozható részterületeit, amelyek segítségével kialakítható a vályog minősítő vizsgálati rendszere.*

## 4. A TALAJOK

Mivel a vályogépítés alapanyaga a talaj, ezért a vályog építési kérdéseinek tárgyalása előtt meg kell ismerkedni az alapanyaggal, azaz a talajjal, annak eredetével, keletkezésével, alkotóival, valamint a talajok szerkezetével és osztályozásával. Meg kell ismerni a talajban terhelés hatására létrejövő vízmozgás, valamint a talaj szilárdságának és alakváltozásának meghatározását, mivel – a vályogra vonatkozó szabvány hiányában – ezen ismeretek birtokában, ill. ezek célszerű módosításával és célirányos továbbfejlesztésével tárgyalható a legegyszerűbben a vályog, mint építőanyag.

### 4.1. A talajok eredete és keletkezése

A föld felszínén található talaj a szilárd kőzetek mállása révén jött és jön létre ma is. A mállást fizikai és kémiai hatások okozzák. A légkör és a víz napsugárzásból származó kinetikai- és helyzeti energiája, valamint a víz kiváló oldóképessége, a hőmérsékletváltozás, a fagy, a hó és a jég, kristályosodási folyamatok, a szilárd részecskék súrlódása, valamint kémiai bomlás, egyesülés (oxidáció), a növényzet kialakulása és egyéb folyamatok hozzájárulnak a különböző talajokhoz. Az így módon létrejött talajok helyben maradhatnak, vagy a természeti erők - szél, víz és a gleccserek - elszállíthatják azokat. A szállítás során a fizikai változás (mállás, aprózódás), ill. a kémiai átalakulás (oxidáció, karbonatizáció stb.) folytatódhat.

A lerakódási helyeken újabb változások léphetnek fel terhelés, nyomás, hőmérsékletváltozás, fagy, stb. hatására. A mélyebbre kerülő rétegekben ez a mállástermék újra – a helyben maradó úgynevezett rezudiális, ill. a keletkezési helyétől messze szállított ún. üledékes - közzé válhat.

A felaprózódott rész – azaz a talajok – kialakulását, szerkezetét és azok tulajdonságait kémiai összetételük mellett **elsősorban** a szállítás – vízi (aQUIKUS),szél (eolikus) vagy gleccser általi – módja határozza meg.

A **vízi szállítás** majd lerakódás az eredetnél megmozgatott sziklagörgetegektől a torkolatig elhordott kollodiális részecskékig osztályozza a talajokat szemmagyságuk szerint. A talajból a vízzel oldható részek – pl. mész – természetesen kioldódnak.

Az **eolikus szállítás** majd lerakódás során a durvább szemcsék, melyek a súrlódás révén tovább aprózódnak, - dűnehalmok formájában – közelebb-távolabb rakódnak le. A finomabb szemcséket a szél igen nagy távolságokra hordhatja el. Az így keletkezett talajlerakódás a lösz. A szél által szállított talajból a vízzel oldható vegyületek nem oldódnak ki, ezért a lösz mésztartalma magas.

A talajok keletkezésének harmadik módja a **jégkorszaki gleccserek** hatása, amikor a jég az alatta levő talajt erősen összenyomta, s lassú csúszása közben nagy talajtömegeket szállított a völgy felé. Így alakult ki az ún. fenék moréna, amely nagyon vegyes szemmegoszlású tömör közettörmelék. Kimosódás, kioldódás nincs, ezek a talajok rendszerint ugyancsak mésztartalmú anyagok.

Ezen három fő folyamaton felül a szedimentáció utáni **másodlagos hatások** is befolyásolják a talaj keletkezését, pl. további lerakódások, tektonikai hatások, hőhatások (felmelegedés, lehűlés), kilúgozódás, kimosódás, a levegő és a növényzet szerves anyagai stb. De hatással van-

nak a talaj alakulására a nagy esőzésekkel járó átázások, ill. aszályos időszakok okozta kiszáradások, a hőmérsékletváltozás, valamint a talaj előterhelt vagy előterheletlen volta.

Fenti okok következtében, az örökös változás során a szerves anyagban, az olvadékokból keletkezett ásványok felszíni rétegeinek elbomlása révén – szemcseméretét és kémiai összetételét tekintve – folyton változó diszperz rendszerek keletkeznek és jönnek ma is létre. *Ez a kisebb-nagyobb szemcsékből álló, térben és időben folytonosan változó anyag, a földfelszínt képző talaj [18], ami megfelelően megválasztva a föld- és vályogépítészet alapanyaga.*

#### 4.1.1. Geológiai természetes vályogtalaj típusok

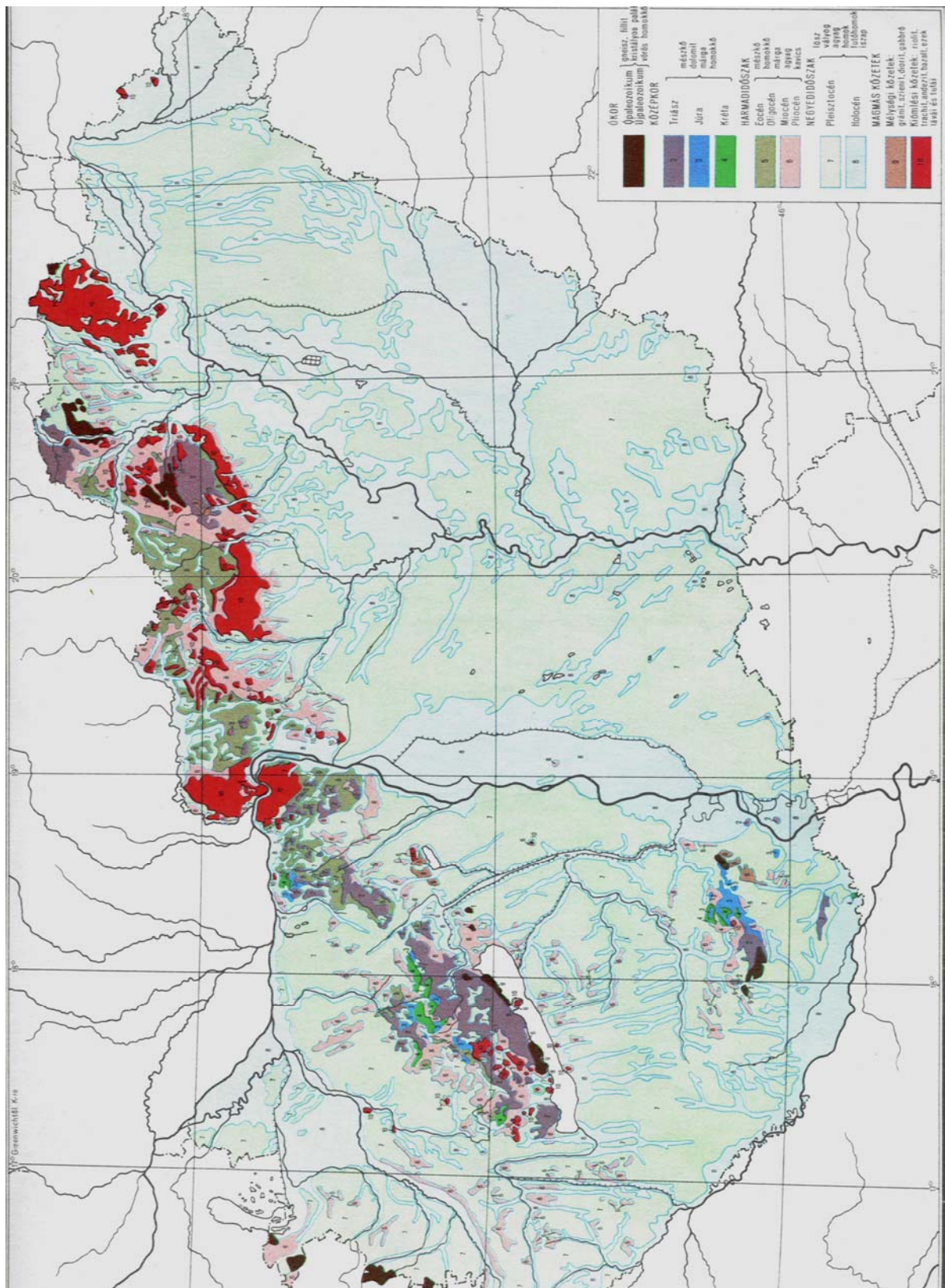
A formázható vályogtalaj, a vályogépítés alapanyaga. Ez egy ősi építőanyag, amelyet a természetből nyerünk hasonlóan mint pl. a fát, a nádat, a követ, s a többi természetes építőanyagot, s ugyan úgy igen nagy választékban, igen sok fajtát és különböző struktúrákat a lelőhely és a kőzetfajta függvényében. Ezek a kialakulásuk, ill. lelőhelyük szerint elnevezve – a hegyi-, lejtő-, moréna-, hordalék-, stb. vályogtalajok. Magyarországi előfordulásuk a 4.1. ábrán látható [19].

**Az ún. hegyi vályog** alapanyaga a geológiai nem túl öreg, rezidualis, kristályos ősközetekből (gránit, gneisz, szienit), ill. üledékes kőzetekből (agyagpala, homokkő) keletkezett mállással. A hegyi vályog finom kőzettörmelék keverék. Ezek a primer vályogok az időjárás „termékei”, a felszínen, ill. csekély mélységben található. Dombos, hegyes vidékeken fordulnak elő a keletkezési helyük közelében. A keményebb ősközetekből (gránit, bazalt, andezit) álló vályog túlnyomó részt éles, érdes szemcsékből áll. A puhább kőzetekből (mint pl. a homokkő- és az agyagpala) keletkezett vályog többnyire kerekre csiszolt szemcsékből áll, gyakran alig lehet az iszapos vályogtól megkülönböztetni. A szemcseméret a mélységgel együtt növekszik. Gyakran ezeknek a vályogoknak a legjobb a természetes szemeloszlása a nyomószilárdság szempontjából. A hegyi vályog különösen csömöszölt vályog építésére alkalmas. Kisebb területeken az Alpok alján, a Balaton-felvidéken, a Mecsek D-NY-i oldalán, a Bükkben és a Cserháti hegységben található meg ez a vályogtípus Magyarországon.

Szienit: alkáli földpátokból álló mélységi magmás kőzet.  
Gneisz: földpátot, kvarcot és színes szilikátot tartalmazó átalakult kőzet.

**A lejtők vályoga**, a hegyi vályogból valamely szállítási mód (aquikus, eolikus vagy gleccser) és a gravitáció hatására a völgy irányába elmozduló, s keletkezési helyétől távolabb kerülő üledékes kőzet további aprózódásából (átázás vagy fagy) származik. Első pillantásra ez a vályog alig különböztethető meg a hegyi vályogtól (megcsúszott hegyi vályog), azonban víz hatására mozgás közben a lejtőn részleges szemcsenagyság szerinti osztályozódás megy végbe. A durva szemcséket a finom agyagszemcsék kötik össze. Közben a lejtőn lassan lejjebb csúsznak. Így jutnak le magaslatokról a különböző kőzetek. Az elmozdulás következtében az eredeti szemeloszlás megváltozik, így a lejtővályog szemeloszlása igen eltérő lehet, így a köttöreje is nagyon különböző. Ezért minden egyes típusnak gondosan meg kell vizsgálni az alkalmasságát. Kisebb területeken az Alpok alján, a Balaton-felvidéken és a Mecsekben, nagyobb területeken a Dunántúli- és az Északi-középhegységben található meg ez a vályogtípus Magyarországon.

A **morénavályog** Európában a hegyi vályogból keletkezett a jégkorszakban a gleccserek alatt, amelyek nyomására az ősközet széttöredezett, elaprózódott, görgeteggé, kavicsá, homokká és iszappá vált. A nagy nyomástól, tömörödéstől és mésztartalomtól némileg vízálló. Folyó



**4.1. ábra:** Magyarországi vályogtalajok a Világatlasz szerint [19]

medrek szélén esetenként magas függőleges falakat képeznek. Kimosódása csekély, mésztartalma nagy. Réteges szerkezetű nem homogén anyag. Többnyire csekély agyagtartalma miatt éppen csak, hogy vályognak nevezhető. Önmagában az alkalmazhatóság határán van, építési célra csak keverékként alkalmazható. Eredeti formájában morénavályog Magyarországon jelentős mennyiségben nem található, mivel a jégkorszak utáni moréna talajokat a nagy folyók (Duna, Tisza, Dráva, Száva, Szamos, Kőrös, stb.) elszállították. Ezek a talajok a szállítás során további aprózódással hordalékvályoggá alakultak.

**Hordalékvályog** a morénavályog elszállításából származó további mállás révén jött létre mélyebb rétegekben, igen szűk helyen. Igen sokféle, különböző tulajdonságú talaj van benne jelen. A málló fenékhordalék – különösen a felszín közeli rétegekben – kimosódik, s elveszíti mésztartalmát. Az agyagtartalma is jelentős mértékben lecsökken. A szemcsék felszíne lecsiszolódik. A mésztartalom csökkenése előnyös mert a 4 % feletti  $\text{CaCO}_3$  tartalom rontja a vályog kötőképességét, azaz csökkenti a szilárdságát. Az agyagtartalom csökkenése és a lecsiszolódott szemcseszerkezet szintén csökkenti a szilárdságát. A folyómedrekben, ill. közvetlen mellettük vályogépítésre nem alkalmas a talaj. Ez a talaj építési célból csak adalékanyagként alkalmazható (kicsit iszapos homokos-kavics). Azonban a folyóktól kicsit távolabb, ahol magasabb az agyagtartalma, – bár kicsit kisebb a szilárdsága, mint a hegyi vályognak - vályogépítésre jól alkalmazható. Magyarországon – az igen sok folyónknak köszönhetően - szinte az ország teljes területén megtalálható.

**Köves vályogkeverék** akkor alakul ki, amikor a fenékhordalékba (hordalékvályog) az anyag vagy esetleg idegen- kőzetből durvább kőzetszemcse – kavics – kerül. Ez többnyire agyagban szegény, sovány köves vályogkeveréket eredményez, amely az alkalmazhatóság határán van, de közepes agyagtartalommal építőanyagként még jól alkalmazható. Ilyen vályogtalaj Magyarországon a folyók hegyvidéki szakaszai mentén (Zagyva, Sajó, Bodrog) található.

**Márga**, ill. a fehérmárga mészben és agyagban gazdag hordalékvályog. Azonban nem minden fehérmárga magas mésztartalmú, a magnéziumtartalmú vályog is egészen fehér. Ha egyidejűleg magas az agyagtartalma is, akkor „agyagosmárgá”-nak hívjuk, amely 5 % mésztartalom alatt építőanyagként jól használható. Ha a mésztartalma magas, (kb. 30%-ig) akkor „meszesmárga”. Ekkor már a szilárdsági tulajdonságai jelentős mértékben romlanak, bár még alkalmazhatók, de a kötőerejük a mésztartalom növekedésével rohamosan csökken. Nagy mésztartalom esetén (kb. 30% fölött) már nem alkalmas vályogépítésre. Magyarországon a Dunántúli- és az Északi -középhegységben fordul elő.

**Elárasztott vályog** az állóvízben leülepedett hordalékvályog. Az elárasztás legtöbbször mésztelenítéssel és egy természetes ülepitéses osztályozódásból származó átrendeződéssel jár. Szakszerű előkészítéssel igen jó építőanyaggá tehető, de ez többnyire igen költséges. Hazánkban a Balatonban található igen nagy mennyiségben.

**Folyóvízben ülepedett vályog** víz szállította vályog, amit az Alföldön a lelassult folyó lerak. A fiatalabb lerakódás a folyóvölgyekben keveredik az őshonos helyi vályoggal. A sötétebb színű réteg gyakran tartalmaz humuszt, homokot, kavicsot, követ, tőzeget. Ha a humuszanyag finom egyenletes eloszlású, akkor a vályog építési céllal jól használható. Az igen finom szemcseszerkezet miatt önállóan nem, csak durvább szemcséjű vályoghoz keverve alkalmazható építőanyagként. Magyarországon közvetlen a nagy folyómedrek mentén található.

**A löszvályog** egy sárga homokpor homokviharak utáni leülepedésből keletkezett eolikus talaj. A szemcséi éles, sarkos felületűek. Anyaguk kvarc, glimmer, földpátok és agyag, amit egy finom mészváz fog össze. Minél régebbi keletkezésű a lösz, annál kisebb a mésztartalma és annál nagyobb az agyagtartalma.

Építőanyagként alkalmazni csak nagy elővigyázatossággal lehet, mivel a lösz kötőereje általában csekély, vízerzékenysége miatt pedig építés alatt fokozott védelmet igényel minden féle víztől. Hazánkban a Balaton keleti végében és a Duna alföldi szakaszának közepe táján, Dunaföldvár és Dunaújváros térségében fordul elő.

**Leülepedett vályog** állóvízben, több különböző vékony vályogréteg leülepedése során jön létre nagy összréteg vastagságban régi vízgyűjtő medencékben. Bevágásban rétegesen, különböző színben és struktúrában jelennek meg. Magyarországon nem fordul elő. Ezt a típust építőanyagként való felhasználás előtt jól át kell keverni. Ez alkalmazását gazdaságtalanná teheti.

**Iszapos-agyag keverék** egy igen régen keletkezett, magas agyagtartalmú vályogtípus. Legtöbbször nagyon kövér agyag, ún. „fazekas” vályog. Természetes előfordulásban nem bír elég homoktartalommal, építőanyagként nem hasznosítható. Javítása elvileg soványítással történhet, azonban így már többnyire gazdaságtalan mert a soványító anyag (homok) egyenletes hozzákeverése igen energiaigényes. Nálunk a Somogyi- és a Zalai dombvidéken igen gyakori az előfordulása.

**A terciér agyag** már szinte tiszta agyag. Különböző – ásványi összetételtől függő – színben fordul elő. Feldolgozása igen nehéz és költséges. Vályogépítéshez csak kötőanyagként jó. Kiegyenesítéshez kiváló, így ez az égetett téglák és kerámiaipar alapanyaga, a téglagyárakat erre a talajra telepítik.

**Szikés vályog** egykori – ma már kiszáradt – tengerfenekéken fordul elő. Agyagos sósórétegek keveredéséből áll. Igen erősen vízzáró, terméketlen. Közvetlenül építőanyagként csak mint szigetelőréteg alkalmazható. Soványítva vályogépítésre is felhasználható. Ilyen talaj hazánkban a Hortobágyon található.

A fentiekben felsorolt vályogtalajok többségét, természetes összetételükben több száz éve alkalmazzuk a vályogépítésben Magyarországon.

## 4.2. Talajfizikai jellemzők

A talajok fizikai tulajdonságaik alapján három csoportba oszthatók. Az első csoportba a talaj állapotától független ún. azonosító tulajdonságok, a másodikba a talaj állapotára vonatkozó minősítő tulajdonságok, míg a harmadik csoportba a talajt változása közben vizsgáló, ún. dinamikus talajfizikai jellemzők tartoznak, *4.1. táblázat*.

| A csoport jele | Talajfizikai jellemzők   | Felhasználás   |
|----------------|--|--|
| I.             | Szemcsék nagysága és eloszlása; szilárd szemcsék fajsúlya, szerves alkotórészek mennyisége, kémiai tulajdonságok   | Talajok osztályozása, azonosítása; közvetlen gyakorlati felhasználás, tapasztalati összefüggések gyakorlati szabályok útján    |
| II.            | A talajban levő víz és levegő mennyiségének számszerű, viszonyított kifejezése. (víztartalom, hézagtérfogat, telítettség, rel. tömörség, konzisztencia stb.) | A talaj állapotának jellemzése, számszerű minősítése   |
| III/a          | Szilárdsági jellemzők (nyomó- és nyírószilárdság)  | Stabilitási problémák.   |
| III/b          | Alakváltozási jellemzők (összenyomhatóság, zsugorodás, duzzadás)   | Alakváltozási problémák, összenyomódás számítás  |
| III/c          | Hidraulikus jellemzők. (Vízmozgás a gravitációs erő, a kapillaritás, a hőhatás és az elektromos áram hatására. Áteresztőképesség, kapilláris emelkedés stb.) | Az összenyomódás időbeli lefolyása; átszivárgó vízmennyiség, szivárgási erők meghatározása, víztelenítési kérdések, fagyhatás. |

**4.1. táblázat:** A talajfizikai jellemzők csoportosítása [21]

*Fenti csoportosítás a vályog esetén is alkalmazható általánosságban, de az egyes pontoknál a jelentéstartalma kissé módosul. A talajfizikai jellemzők csoportjában a III/a pontban említett szilárdsági jellemzők közül a vályogépítményekben csak az egytengelyű nyomószilárdság értelmezhető.*

*A felhasználás csoportjában a III/c pontban említett átszivárgó vízmennyiség, a szivárgási erők és a víztelenítés kérdései a végtelen fél térben, ill. egy vályogházban mennyiségileg oly nagy mértékben térnek el, amelynél már minőségi különbség áll be a probléma kezelésében.*

## 4.3. A talajok alkotórészei

A talajok általában három különböző halmazállapotú alkotórész keverékei: **szilárd szemcsék**, **víz és levegő**. Ezek mennyisége, eloszlása, valamint a közöttük fellépő kölcsönhatás határozza meg egy-egy talaj tulajdonságait.

*Ezen megállapítások a vályogok esetén is helytállóak. A különbség az, hogy a vályognál a természetes víztartalom helyett a keverővíz mennyisége a meghatározó. A pórustartalom pedig a keverővíz mennyiségének és a bedolgozásnak a függvénye*

A **szilárd szemcsék** nagysága a kolloidális szemcsemérettől a görgetegig változik. A szemcsék nagysága és ezen szemcsenagyságok aránya erősebben befolyásolja a talajok tulajdonsá-



gait, mint az ásványi összetételük. Példa erre – tulajdonságait tekintve - a két, egymástól legtávolabb eső talajfajta a homok és az agyag. Ásványi szempontból szinte ugyanaz, míg viselkedésük teljesen eltérő, esetenként ellentétes.

*Vályog esetében a maximális szemmagyság a habarcstechnológiában elfogadott  $d_{max}=4\text{mm}$ -ben határozható meg. Ez a talajoknál a kavics frakció alsó határán áll, az építőanyagoknál a maximális homokszemcse méretét jelöli.*

A **víz** a talajok tulajdonságait leghatékonyabban befolyásoló másik összetevő. A talajban levő víz mennyisége – főként kötött talajok esetében – messzemenően kihat a talaj belső ellenállásának nagyságára, ettől függ a talaj teherbírása és összenyomhatósága.

*Vályogok esetében két különböző jellemző víztartalmat kell megkülönböztetni:*

- az építéshez szükséges, azaz technológiai okokból adagolt ún. keverővíz-tartalmat, ill
- a beépítés után megszilárdult habarcs egyensúlyi nedvességtartalmát.

*Mindkét víztartalom – bár egymástól eltérő módon – jelentősen befolyásolja a vályog szilárdságát és alakváltozását.*

A harmadik fázis a szilárd szemcsék hézagait többé-kevésbé kitöltő **levegő**. Két legfontosabb tulajdonsága:

- összenyomhatóság szempontjából gáz, amely követi Boyle-Mariotte törvényét,
- vízben – hőmérséklet függvényében – oldható.

*A habarcs, s így a vályogtechnológiákban a levegőtartalom különösen fontos kérdés. A vályog szilárdsága döntő mértékben függ a friss habarcs pórus-, azaz levegőtartalmától, ami nagyban függ a keverővíz mennyiségétől.*

#### 4.3.1. A szilárd alkotórészek vizsgálata

A szilárd alkotóelem változó nagyságú szemcsékből áll a kolloidális mérettől a görgetegig, amelyeket hézagok és pórusok hálóznak be. Egy szemcsehalmaz fizikai és mechanikai tulajdonságait – amelyek igen tág határok között változhatnak – elsősorban a:

- szemcsék nagysága,
- szemeloszlása, valamint
- szemcsék alakja (szemalak),
- szerves alkotórészeinek aránya és
- mésztartalma

befolyásolja, ill. határozza meg.

*Vályog esetében a szilárd szemcsék vizsgálatát négy fő csoportba osztjuk:*

- talajalkotók-,
- töltőanyagok-,
- stabilizálószer- és
- szennyezők vizsgálatára,

A talajalkotó **szemcséket** nagyság szerint három fő csoportba soroljuk:

- durva frakció:  $125\text{ mm} > d > 0,1\text{ mm}$
- finom frakció:  $0,1\text{ mm} > d > 0,002\text{ mm}$
- nagyon finom frakció:  $d < 0,002\text{ mm}$

A talajokban előforduló – roppant tág határok között – változó nagyságú szemcsék nagyság szerinti csoportosítására számos javaslat található az irodalomban (4.2. táblázat). Az MSZ az Atterberg-Terzagi javaslatot fogadta el. (A szemeloszlás elsősorban a szemcsés talajok minő-



sítésére szolgál. Minél kötöttebb egy talaj, annál kevésbé alkalmas a szemeloszlás az adott talaj jellemzésére.)

|                   |        |        |            |            |                |
|-------------------|--------|--------|------------|------------|----------------|
| d (mm)            | 20     | 2,0    | 0,2        | 0,02       | 0,002          |
| Atterberg         | kő     | kavics | homok      | homokliszt | iszap<br>agyag |
| Terzaghi          | 2,0    |        | 0,1        | 0,02       | 0,002          |
|                   | kavics | homok  | homokliszt | iszap      | agyag          |
| DIN               | 63     | 2,0    | 0,05       | 0,002      |                |
|                   | kő     | kavics | homok      | iszap      | agyag          |
| USA SOIL<br>SURVE | 2,0    |        | 0,05       | 0,002      |                |
|                   | kavics | homok  | por        | agyag      |                |
| MSz               | 2,0    |        | 0,1        | 0,02       | 0,002          |
|                   | kavics | homok  | homokliszt | iszap      | agyag          |

#### 4.2. táblázat: Talajok szemcsenagyság szerinti elnevezése

A talajok-, ill. a habarcs adalékanyagok szemeloszlásában az alapvető különbség a finom talajszemcse frakció tartalmában van. Az adalékanyagokból a finom szemcse frakció csaknem teljesen hiányzik. A durva szemcsék halmazát a habarcsban kötőanyag ragasztja össze. A kötött talajban az egyes durva szemcséket finom-, ill. nagyon finom talajszemcsék veszik körül. Ezek biztosítják a vályogban – a kötőanyagok kémiai kötésénél sokkal gyengébb – fizikai kötőerőt.

A nagyon finom szemcséket tartalmazó talajok ( $d < 0,002$  mm) tulajdonságait túlnyomó részben már nem a gravitációs erő és az ásványi összetétel határozza meg, hanem a felületi erők, amelyek a szemcsenagyság csökkenésével, azaz a fajlagos felület növekedésével egyre jelentősebbé válnak (4.3. táblázat). Ez a szemeloszlás meghatározásában is megnyilvánul, hiszen éppen a felületi erők miatt nem lehet az agyag-iszap frakció szemeloszlását szitavizsgálattal végezni.

| Talaj elnevezés | Szemcse<br>Ø (mm) | Fajlagos felület<br>cm <sup>2</sup> /g |
|-----------------|-------------------|--|
| Kavics          | 2-20              | 20                                     |
| Homok           | 0,06-2            | 200                                    |
| Iszap           | 0,002-0,06        | 2000                                   |
| Agyag           | < 0,002           | > 20 000                               |

#### 4.3. táblázat: A szemcseméret és a fajlagos felület kapcsolata [22]

A **szemeloszlási görbe** nagyobb szemcsék esetén szítalással, finomabb szemcsék esetén ( $d < 0,05$  mm) hidrometrálással – a Stokes-törvény alapján – határozható meg.

Vályog esetén, habarcs technológiai okokból  $d_{max} < 4$  mm lehet. A finomabb szemcsék vizsgálatát célszerűbb az építőanyag vizsgálatok során meghonosodott  $d < 0,063$  mm alatti szemcsék halmazára bevezetni. A habarcs technológiában az agyag-iszap rész szemeloszlásának meghatározása helyett legtöbbször elegendő az agyag-iszaptartalom mennyiségi meghatározása. A vályoghabarcsok esetén azonban a teljes szemeloszlást kell figyelembe venni.

A vályognak – éppúgy, mint a földutaknak – kellően tömörnek, szilárdnak és vízállóknak kell lennie. Ebből következik, hogy a földutak szemeloszlása – a  $d_{max}$  csökkentésével – vályogépítésre is alkalmassá tehető. A vályog szemeloszlási görbéje sima, egyenletes lefutású, jól graduált, nagy egyenlőtlenségi együtthatójú kell legyen.

Egy **szemcse alakja** szerint lehet gömbölyű, gömbölyded, lapos és lemezes, ill. **felszíne** szerint koptatott vagy éles szélű.

*Ez a megkülönböztetés a vályog estében is elfogadható. A jellemzés számszerűsítésére az adalékanyagok vizsgálatánál alkalmazott kifolyási érték meghatározása javasolható. A szemcsealak a szilárdságot – kis mértékben – befolyásolja. A zömök szemcsés szerkezetek a nyomó-, míg a lemezes, ill. hosszúkás szemszerkezetek a „húzószilárdságot” növelik.*

A **szerves anyagok** jelenléte a talajban – építőmérnöki szempontból – általában kedvezőtlen magas víztartalmuk és erős összenyomhatóságuk miatt. Mennyiségét az izzítási veszteségből határozzuk meg.

*Ez vályogra csak azzal a kitételrel igaz, hogy a rothadó szerves anyagok ártalmasak, hiszen ép, egészséges növényi eredetű alkotókat szándékosan hozzákeverünk a vályoghoz. Bebizonyosodott, hogy a jól bedolgozott vályog a benne levő szerves anyagokat – törek, vesszőfonat, faváz, stb. - megvédi a korhadástól, ill. a rothadástól.*

A talajok **mésztartalma** bizonyos fizikai és mechanikai tulajdonságokat befolyásol. Mennyiségére, a talajra cseppentett 20 %-os sósav hatására létrejövő pezsgés hevedességéből következtetünk.

*Kövérébb vályogtalajok esetében a mész tartalom a talaj típusától függően kb. néhány %-ig kedvező lehet. Ezzel a kérdéssel a vályog stabilizálás keretében (1.9. fejezet) részletesen foglalkozom.*

#### 4.3.2. A talajban levő víz és levegő

A talajban levő **víz** hatása igen nagy jelentőségű. Önmagában a **víz** legfontosabb tulajdonságai:

- normális hőmérsékleten és nyomáson elvileg gáznak kellene lennie,
- mint folyadék – esetenként – a szilárd anyagokra jellemző kristályos állapothoz hasonló rendezettséget mutat,
- olvadás után egy nagyobb sűrűségű kristályelrendeződése is ismert,
- a vízmolekulák aszimmetrikus erőterük következtében dipólusként viselkednek, így az ionok körül vízburok alakulhat ki,
- a víz – igen csekély mértékben – ( $H^+$ ) és ( $OH^-$ ) – ionokra disszociál, melyek szorzata állandó (pH érték),
- a víz és a levegő határfelületén felületi feszültség lép fel,
- a felületi feszültség következtében kapillaritás alakul ki,
- a viszkozitás, mely a rá ható nyomás és hőmérséklet függvénye.

*A víz háromféle módon jelenik meg a vályogban, úgy mint a:*

- vályogtalaj alkotója,
- mint keverővíz és
- mint a megszilárdult vályog egyensúlyi víztartalma.

*Az első esetben, mint talajalkotó befolyásolja jelentős mértékben a talaj állapotát és ebből fakadó mechanikai tulajdonságait. A másodikban, mint keverővíz, amelynek a habarcstechnológiai jelentősége meghatározó. A harmadikban a kiszáradt vályog víztartalma, ami a környezet nedvességtartalmától függő, azzal együtt változó egyensúlyi víztartalom. Mivel ekkor a víztartalom már a zsugorodási határ alatt, van a levegővel kitöltött pórusok száma nő. A víztartalom a porozitáson keresztül fejti ki mechanikai hatását. Nagy pórustartalomhoz mindig alacsony szilárdság tartozik.*

A levegő legfontosabb tulajdonságai:

- összenyomhatóság szempontjából gáz, amely követi a Boyle-Mariotte törvényt ( $p_1V_1 = p_2V_2$ ),
- vízben – hőmérséklet függvényében – oldható.

A talajok esetében a levegőtartalom adottság, amely terhelés esetén a konszolidációval együtt lassan változik. Földművek esetében tömörítéssel csökkenthető a talaj levegőtartalma.

*Habarcsok, így vályoghabarcsok esetén is a levegőtartalom minimalizálása alapvető követelmény. A légtartalom is a vályog porozitásán keresztül hat annak mechanikai tulajdonságaira. Mennyiségét elsősorban a keverővíz mennyisége határozza meg. Csökkentésének módja habarcs technológiai kérdés (5. fejezet).*

#### 4.3.3. A talaj alkotórészek arányainak kifejezése

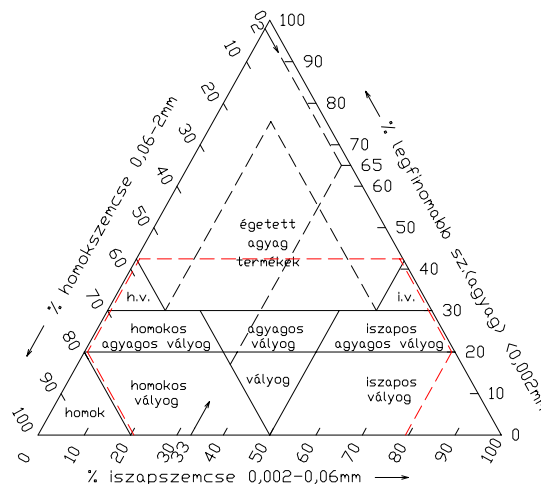
A talajok fázisok szerinti összetételét (szilárd, víz, levegő) az egyes résztérfogatok teljes térfogathoz viszonyított értékével jellemezzük:

$$s = \frac{V_s}{V}; w = \frac{V_w}{V}; l = \frac{V_l}{V}; \text{ ahol } s = \text{szilárd}, w = \text{víz}, l = \text{levegő}$$

$$s\% + w\% + l\% = 100\%$$

Ábrázolása legegyszerűbben – Voth 1978. szerint - háromszög diagram segítségével történik (4.2. ábra).

*Az ábrát kiegészítve az égetett kerámiákhoz használatos alapanyagok tartományának bejelölésével nyerhető a vályogépítéshez alkalmas anyagok elvi tartománya.*



4.2. ábra: A talajtípus ábrázolása háromszögdiagrammal [23]

A talajok összetételének jellemzésére szolgáló talajfizikai jellemzők: természetes víztartalom ( $w\%$ ), hézagterefogat ( $n\%$ ), hézagtérfogató ( $e$ ), telítettség ( $s$ ), halmazsűrűség ( $\rho$ ), relatív tömörség ( $T_{re}$ ), tömörségi fok ( $T_{ry}$ ).

*Fenti tulajdonságok értelemszerűen a vályogtalajok jellemzésére is felhasználhatók. A vályogépítés céljaira a 4.2. ábrán bejelölt úgynevezett vályogtalajok alkalmasak. Ezek a gyengén- és a közepesen kötött talajok. A tapasztalatok szerint a vályogépítésre alkalmas talajok agyagtartalma 5-30 % között változik. A vályog legfontosabb tulajdonságai – szilárdság, zsugorodás és a vízerzékenység – a tömörség függvénye. A tömöríthetőség a vályog agyag- és víztartalmának függvénye.*

#### 4.4. Konzisztencia

A konzisztencia alatt az anyagi összefüggés mértékét, az anyag alakváltozással vagy folyással szembeni ellenállóképességét értjük. A konzisztencia a talajtípus és a víztartalom függvénye. A talajok legfontosabb tulajdonságai - szilárdsága és alakváltozása - a víztartalom, ill. a konzisztencia függvénye. A különböző talajok konzisztenciája más és más víztartalomérték mellett változik meg jellegzetesen. Ezen határ víztartalmak alapján ún. konzisztenciahatárokat fogadtak el, ezek:

- a folyási határ ( $w_f$ )
- a sodrási vagy plasztikus határ ( $w_p$ )
- a zsugorodási határ ( $w_{zs}$ ).

A konzisztencia határok a kötött talajok viselkedésére nagyon jellemzőek, amit a plasztikus index ( $I_p$ ) fejez ki. A plasztikus index alapján a kötött talajokat a 4.4. táblázat szerint osztályozzuk.

| <b>A kötött talajok</b>                   |  |                              |
|---|--|------------------------------|
| $(I_p) = w_f - w_p$<br>plasztikus index % | gyűjtőneve                                 | neve                         |
| 5-ig                                      | Szemcsés talaj                             | Homokliszt                   |
| 5 felett 10-ig<br>10 felett 15-ig         | Gyengén kötött talaj                       | Iszapos homokliszt<br>Iszap  |
| 15 felett 20-ig                           | Közepesen kötött talaj                     | Sovány agyag                 |
| 20 felett 30-ig<br>30 felett              | Erősen kötött talaj<br>Erősen kötött talaj | Közepes agyag<br>Kövér agyag |

**4.4. táblázat:** Kötött talajok osztályozása a plasztikus index alapján [21]

A konzisztencia határok víztartalma és a természetes víztartalom viszonyát a relatív konzisztencia index ( $K_i$ ) jellemzi. Ez megmutatja, hogy egy talaj természetes víztartalma hol helyezkedik el a konzisztencia-határokhöz képest.

$$K_i = \frac{w_f - w}{w_f - w_p} = \frac{w_f - w}{I_p}$$

A konzisztencia index alapján lehet minősíteni a talajállapotot. A talajállapot megjelölésére az alábbi elnevezések honosodtak meg (4.5 táblázat).

| <b>A kötött talajok</b>           |                 |   |
|-----------------------------------|-----------------|---|
| konzisztencia indexe<br>( $K_i$ ) | gyűjtőneve      | egyirányú nyomószilárdsága<br>N/mm <sup>2</sup> |
| 0,00-0,25-ig                      | nagyon lágy     | 0,00-0,025                                      |
| 0,25-0,50-ig                      | lágý            | 0,025-0,050                                     |
| 0,50-0,75-ig                      | közepes         | 0,050-0,100                                     |
| 0,75-1,00-ig                      | merev           | 0,001-0,200                                     |
| 1,00-1,50-ig                      | nagyon merev    | 0,200-0,400                                     |
| 1,50-                             | rendkívül merev | > 0,400   |

**4.5. táblázat:** A kötött talajok osztályozása a konzisztencia index alapján [21]

*A víztartalom, a konzisztencia és a nyomószilárdság kapcsolata a vályog esetében is hasonlóan értelmezhető. Vályoghabarcsoknál a konzisztencia határok és a konzisztencia meghatározási módok a vályogépítési technológiák függvényében kissé eltérnek a talajmechanikában alkalmazottaktól. Azokat habarcs technológiai okokból nem célszerű egy az egyben átvenni. A vályog vizsgálata során a talajmechanikában alkalmazott konzisztenciahatárok összehasonlíthatási alapul szolgálhatnak.*

#### 4.5. A talajok szerkezete

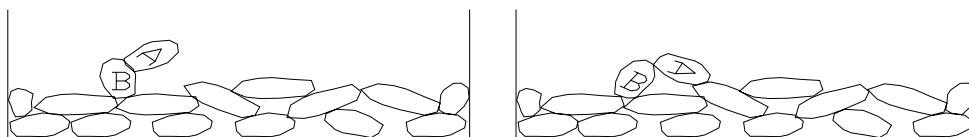
A talajszemcsék alakja és nagysága igen tág határok között változhat. A lehetséges kombinációk száma végtelen, ha ezeknek a szemcséknek az egymáshoz való kapcsolódási módját is figyelembe vesszük. Ezért nincs is módszer arra, hogy matematikailag leírjuk a különböző szerkezeteket. Megkülönböztetünk ún. elsődleges és másodlagos talajszerkezeteket. Igen leegyszerűsítve három alapvetően különböző elsődleges talajszerkezetet különböztetünk meg:

- különálló szemcsés szerkezet (kohézió nélküli),
- sejszerkezet (kohéziós),
- pehelyszerkezet (kohéziós).

A másodlagos talajszerkezetet külső hatások – pl. kiszáradás, telítődés, külső terhelés – hozhat létre a kötött talajokban hajszálrepedések segítségével.

##### 4.5.1. Különálló szemcsés szerkezet (homok, kavics)

*A különálló szemcsés szerkezetben minden szemcse önállóan áll, a szemcsék nem tapadnak egymáshoz, csupán több ponton érintkeznek egymással, az egyes szomszédos szemcsék között jelentős vonzás vagy tapadás nem lép fel. Az egyetlen erő, amely a szerkezet kialakulását megszabja a nehézségi erő. A szemcsék mindegyike több szomszédos szemcsével érintkezik, csak a belső súrlódásnak van szerepe. A halmazra jutó erő szemcseről szemcsére adódik át, így ezen talajok összenyomhatósága csekély (4.3. ábra).*



**4.3. ábra:** Egyszemcsés szerkezet [24]

Vibrálás vagy dinamikus hatás a szemcsék közötti súrlódást csökkenti, ezért ez a talajszerkezet rázás hatására tömörödik. A háromfázisú talajokban a víz úgynevezett „látszólagos kohéziót” eredményez. Kiszáradás esetén – amikor csak kétfázisú a talaj – ez a kohézió megszűnik.

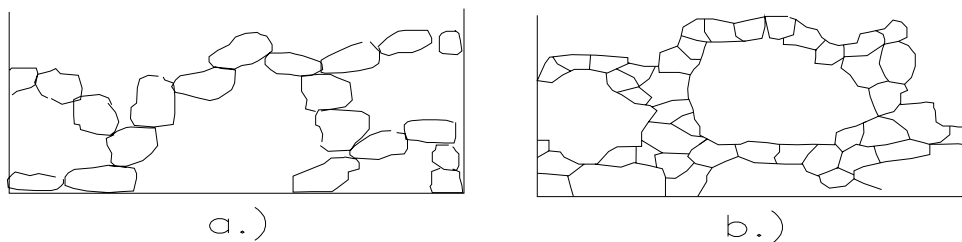
*A különálló szemcsés szerkezetű – homok, kavics – talajok a habarcs technológiában önállóan nem, csak mint a habarcs adalékanyaga alkalmazhatók. Minősítése a  $d = 0,063 - 4,00$  mm-es tartományban szabványos szemeloszlási görbékkel történik.*

#### 4.5.2. Finom talajszemcsés szerkezetek

Kétféle finom talajszerkezetet különböztetünk meg, ezek a sejt- és a pehelyszerkezet.

*Sejtszerkezet* kialakulásához már olyan finom szemcsék szükségesek, amelyek kohéziót képesek létrehozni. Ez a szilárd test molekulái között fellépő vonzásból ered. Ezen erők kicsinyek és mindaddig elhanyagolhatók, amíg a szemcsék nagyságrendje nagyobb, mint a molekuláké. Így csak a finomabb szemcsék esetén jöhet létre az úgynevezett intermolekuláris vonzás, amely legyőzheti a külső erők (gravitáció, terhelés, stb.) hatását és ekkor a szemcsék összetapadhatnak. Ezen összetartó erő, amely a talajban nyírószilárdságot eredményez a kohézió.

*Pehelyszerkezet*, amely csak nagyon finom szemcsék vízben való igen lassú leülepedése révén jöhet létre. A  $< 10^{-5}$  cm átmérőjű szemcsék leülepedési sebessége gyakorlatilag zérus. A talaj és a víz kolloid oldatot alkot, amelyben a molekuláris ütközési erők hatása lesz a mértékadó. A mikroszkópikus részecskék rendszertelen (Brown-féle) rezgő mozgása alakul ki. A kolloid szuszpenzióban a szilárd részecskék nem tapadnak össze, mert azonos előjelű elektromos töltéssel rendelkeznek, a folyadék töltése pedig ellentétes előjelű. Azonban ez az egyensúlyi helyzet kémiai hatásra megváltozhat, s a mozgás során ütközéskor a szilárd szemcsék koagulálnak és kialakul a pehelyszerkezet (4.4. ábra).



**4.4. ábra:** Finom talajszervezetek  
a.) sejt-,  
b.) pehelyszerkezet [24]

*A sejt- és a pehelyszerkezetet alkotó igen finom szemcsék az agyagszemcsék ( $d < 2 \mu$ ).  
A tiszta sejt-, ill. pehelyszerkezetű agyag az a habarcstechnológiában önállóan nem, csak, mint a vályoghabarcs kötőanyaga fordul elő.*

#### 4.5.3. A vályog szerkezete

A természetben nemcsak – tiszta szemcsés-, sejt- vagy pehelyszerkezetű talajok fordulnak elő. Igen gyakori a vegyes talajszervezetek kialakulása is. Ezek a kohéziós vagy vályogtalajok. Ezekben külső hatásokra – külső terhelés, átázás, kiszáradás, stb. – keverednek a különböző szerkezetű talajok.

*Ha átvesszük a habarcstechnológia terminus technikusait, akkor a vályoghabarcs vegyes szerkezetét különböző frakciók keverékének tekinthetjük. Ebben a természetes habarcskeve-*

rékben az egyszemcsés frakció az adalékanyag, a finom frakció a kötőanyag szerepét tölti be. Ezt a finom frakció az agyag.

#### 4.6. Az agyagásványok

Az agyag a talaj legkisebb ( $d < 0,002$  mm-es) része. Kristályos szerkezetű lemezekből áll. Fajlagos felülete és felületi aktivitása igen nagy. Az agyag tulajdonságai az agyag fajtájától, ásványi összetételétől, fajlagos felületétől és ezek kölcsönös egymásra hatásától függenek. Az agyag kötőereje csekély. A kötőképesége az agyag nagy fajlagos felületéből adódik ( $\sim 20000 \div 120000$  cm<sup>2</sup>/g). A legkisebb – csak a közelmúltban meghatározott – kb. 10Å nagyságú agyagszemcsék felülete elérheti a 800 000 cm<sup>2</sup>/g értéket (finomságot) is [16] [17] [18] [19].

##### 4.6.1. Az agyagásványok keletkezése, kémiai összetétele

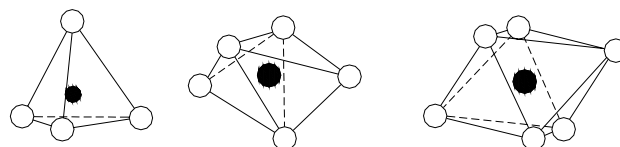
Az agyagot a légkör és a víz napsugárzásból származó kinetikai és helyzeti energiája, valamint a víz kiváló oldóképessége hozta és hozza létre a mai napig a szilárd földkéreg felső rétegeiben. Ez állandó fizikai és kémiai változásokkal jár együtt. Ezen változások a szervesetlen anyagban, az olvadékokból képződött ásványok felszíni rétegeinek elbomlása révén – szemcseméretét és kémiai összetételét tekintve – folyton változó diszperz rendszerek, azaz agyagásványok keletkezéséhez vezetnek.

Az agyagásványok kémiai összetétele: - 75-80 %-ban O, Si és Al  
- 15-20 %-ban Fe, Ca, Na, K és Mg  
- 5 % mészkő, márgásmészkő, márgásagyag.

##### 4.6.2. Az agyagok kristályszerkezeti felépítése

Az agyagásványok többségükben ún. rétegszilikátok, amelyek egymáson fekvő szilícium és még valamilyen fénoxid – igen gyakran alumínium-oxid – atomok alkotta kristályok hálója. Az egyes kristályok a rácspontokon elhelyezkedő közös oxigénatommal kapcsolódnak szilárdan egymáshoz.

A kristályszerkezet alapeleme a tetraéder formájú szilícium-oxid kristály. Ez az egycellás, négyszeresen negatív töltésű SiO<sub>2</sub>-ion sokféle különböző más ionnal kapcsolódva igen változatos megjelenésre képes a legkülönbözőbb agyagkristályokat képezve. A szilikátkristályok a rácspontokon levő oxigénatommal nagyon hosszú láncokat alkotva nagyfelületű kétdimenziós szerkezeteket hoznak létre. A legtöbb rétegszilikátban hexagonális kristálystruktúra alakul ki. A szélső szabad oldalon a szabad tetraéder csúcsok a réteget instabillá teszik. Ezek úgy stabilizálódnak, hogy a hexagonális struktúrához egy oktaéder csatlakozik. (4.5. ábra).



#### 4.5. ábra: A tetraéderes, a hexagonális és az oktaéderes kristály [25]

A kristályok kapcsolódási módja szerint megkülönböztetünk 1; 2, ill. 3. rétegű kristályrendszert. A Si atom helyére Al atom is kerülhet. Ezenfelül a rétegek lehetnek zártak, ill. nyitottak. A második esetben a rétegek közé víz vagy víz-, ill. egyéb ionok is kerülhetnek. Minden egyes kis változás, ill. eltérés egy új agyagásványt jelent. Az Európában előforduló három legfontosabb agyagásvány a *Kaolinit*, a *Montmorillonit* és a *Chlorit*. Ezen felül még nagy mennyiségben található a világban *Holloysit*, *Vermiculit* és *Illit*. Ezen agyagásványok az alapstruktúrájukban különböznek egymástól és ezen fő típusoknak még rengeteg változata, módosulata ismert. Különbség adódik:

- az egymáson fekvő rétegek (1, 2, vagy 3 rétegű), ill.
- a rétegek között található: vízmolekulák, ionok és más elemek számában is.

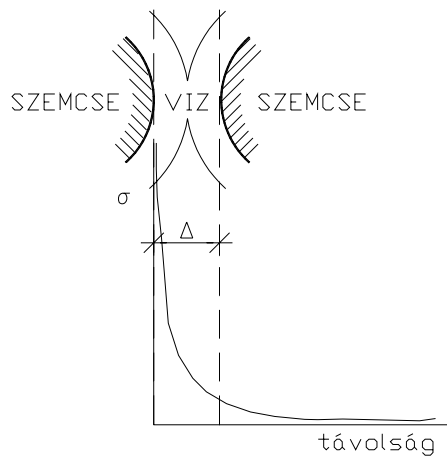
#### 4.6.3. Az agyagszemcsék felületén ható jelenségek

A  $2\mu$ -nál kisebb szemcsék felületén fellépő mikroerők eredője összességében nagyobb a makroerők (gravitációs) eredőjénél. Ennek oka:

- a talajszemcsék felszínének negatív töltése és a talajszemcsét körülvevő víz poláris molekuláinak pozitív sarka közötti vonzerő, amely létrehozza az adszorpciós vízréteget ( $0,1\ \mu$ ),
- az adszorbeált vízrétegben elektrolitokból származó disszociálódott ionok (kation, anion) előfordulása,
- a víz maga is elektrolit, mivel néhány molekulája  $H^+$  és  $OH^-$  ionra disszociál,
- a savak  $H^+$  kationokra és  $Cl$ ,  $SO_4$  anionokra, a bázisok fémes (Na, Ca) kationokra és nem fémes anionokra bomlanak,
- a negatív töltésű talajszemcséhez vándorolnak a pozitív töltésű vízben oldott kationok
- ha a talajszemcse affinitása egy idegen kationnal szemben nagyobb mint a saját kationjával szemben, akkor ezek a kationok bejutnak az adszorbeált rétegbe és azzal együtt adszorpciós komplexumot alkotnak, miközben bázis kicserélődés megy végbe.

Ha a kristályrácsban a pozitív és a negatív töltésű helyek egyenletesen oszlanak meg, akkor az adszorpciós ionréteg eloszlása is homogén. Ha a kristályrácsban a pozitív és a negatív töltésű helyek eloszlása nem homogén, akkor az oldatban lévő ionok sem adszorbeálódnak egyenlő mértékben. Ebben az esetben a felületen elektromos potenciálkülönbség lép fel. (Az összes ionok közül a  $H^+$  és a  $OH^-$  ionok adszorpciója a legjelentősebb.) Az ion adszorpció mellett dipólus molekulák is megkötődhetnek, mind a kristályrács felületén, mind azok belsejében. Az ionrácsú agyagásványok poláros felületén a vízmolekulák is rendezetten helyezkednek el, polarizációjuk a felülettől távolodva csökken. Közvetlenül a felületen fellépő feszültség Winterkorn és Baver szerint  $20.000\ \text{kp/cm}^2 = 2000\ \text{N/mm}^2$  is lehet. A víz a felülettől távolodva kb.  $0,5\ \mu$  távolság után válik normális tulajdonságúvá. Telített talajban a vízburokkal körülvett szilárd ásványszemcsék körül a burookban a nyomás, az összetétel, s egyéb fizikai jellemzők a szilárd szemcséktől mért távolság függvényében változnak (4.6. ábra).





**4.6. ábra:** A feszültség változása a szilárd szemcsék közötti vízfilm vastagsága függvényében

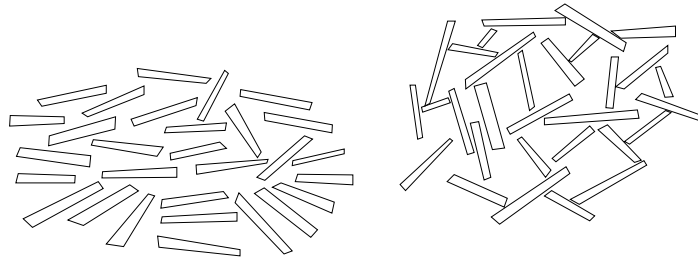
A talajszemcsék negatív töltésű felületén pozitív kationok is leköthetnek, s ezek fennmaradó töltése további vízmolekulákat köthet meg a felszínén (pl. a  $\text{Ca}^{++}$ -ion több vízmolekulát, az  $\text{Na}^+$  kation kevesebb vízmolekulát köt le). Az agyagásványok körül leköthött adszorpciós vízrétegben (vízmolekulák és kationok) játszódik le a kationok cseréje, ha az idegen kationokkal szemben nagyobb a kristályrészecskék affinitása. Az agyag fizikai tulajdonságait az ásványok felületén leköthött kationok erősen befolyásolják. Járay 1955-ben a talaj folyási határára, Sullivan 1939-ben a talaj nyírószilárdságára gyakorolt hatását mutatta ki. A különböző kationok mellett növekvő nyírószilárdsághoz csökkenő képlékenység, ill. csökkenő nyírószilárdsághoz növekvő képlékenység tartozott [27].

Salmang kimutatta, hogy különböző ionok különbözőképpen hatnak a száraz (megszilárdult) agyag hajlítósilárdságára és zsugorodására. Kaolinból készített próbatesteken végzett vizsgálatokon azt tapasztalta, hogy a különböző ionadagolás különböző hajlítósilárdságot és különböző zsugorodást eredményezett (4.6. táblázat). Jelentős szilárdulást relatív kicsiny zsugorodást mellett csak az  $\text{Na}^+$  kationok eredményeztek.

| Kation           | Hajlítósilárdság<br>$\text{N/mm}^2$ | Zsugorodás<br>% |
|------------------|-------------------------------------|-----------------|
| $\text{Na}^+$    | 4,42                                | 4,4             |
| $\text{K}^+$     | 2,24                                | 5,8             |
| $\text{Mg}^{2+}$ | 1,64                                | 6,2             |
| $\text{Ca}^{2+}$ | 1,63                                | 6,2             |
| $\text{Ba}^{2+}$ | 1,02                                | 5,8             |

**4.6. táblázat:** Különböző kationok hatása az agyag szilárdságára és zsugorodására [26]

Kimondható, hogy a töltéssel bíró részecskék között kialakuló erők és a körülöttük levő víz valamint az (adszorbeált) ionok döntő befolyással vannak a finomszemcsés (agyag) talajok tulajdonságaira. Az elektromos potenciál jelenléte következtében a részecskék egymáshoz való közelítése, ill. távolítása munkavégzést igényel. A felületek közötti eredő erő a vonzás és a taszítás algebrai összegével egyenlő (ha a szemcsék olyan közel kerülnek egymáshoz, hogy ezek a hatások érvényesülnek). Ha az eredő taszítás, akkor a részecskék diszpergálódnak, mely után, ha ülepedés következik be, akkor az ún. diszpergált agyag-, ha az eredő erő vonzás, akkor a részecskék összetapadnak és az ún. koagulált agyagszerkezet jön létre, s nyugalmi helyzetben a szuszpenzió megszilárdul (4.7. ábra).



a) diszpergált

b) koagulált szerkezet

**4.7. ábra:** Az agyagszerkezet kialakulása az erőhatások eredőjének függvényében [21]

A szabálytalan szemcsék között létrejövő elmozdulások irreverzibilisek, így a normálfeszültségek megszűntével az agyag nem nyeri vissza eredeti hézagtényezőjét, maradó alakváltozások is keletkeznek, azaz a kompressziót követő expanzió során az agyag nem viselkedik tökéletesen rugalmasan.

*Ez a megállapítás a vályogra is igaz. A vályog sem tökéletesen rugalmas. A terhelés hatására létrejövő alakváltozás egy része mindig maradó alakváltozás. Az idealizált feszültség-alakváltozás ( $\sigma - \varepsilon$ ) anyagmodellek közül a habarcs viselkedését leíró rugalmas-viszkózus anyagmodellel lehet a vályog valóságos viselkedését a legpontosabban megközelíteni.*

## 4.7. Az agyaghalmazok szerkezete

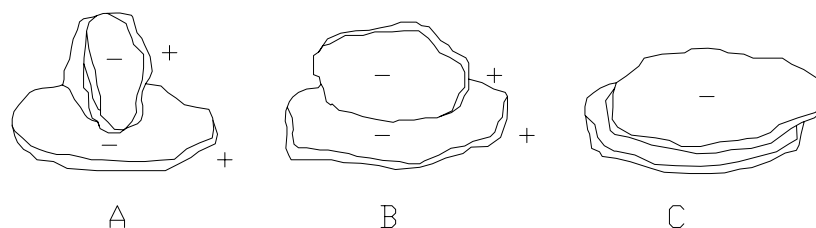
### 4.7.1. Tiszta agyag

Az egyes agyagásványok által alkotott kicsiny szemcsék – a vízburok sajátosságainak megfelelően – a felszínükön fellépő erők által megszabott módon halmazokká egyesülnek. Ezek a halmazok vízből való leülepedés után alakulnak ki a vízfenéken: így képződik az ún. sejtszerkezet. Ha a szemcsék felületén működő elektromos erők a leülepedés során változnak meg, a vonzóerők hatására az aggregálódás – pelyhesedés, csomósodás – már a vízben lebegő szemcsék között is megindulhat, s a továbbiakban már nem egyes szemcsék, hanem szemcsehalmazok ülepednek le. Így alakul ki az ún. pehelyszerkezet (4.4. ábra).

Tan Tjong Kie (1957.) az agyagok szerkezetére a következő elképzelést dolgozta ki.

Az agyagmicella – egyedi részecskéből álló agyagsejt – lapjain negatív töltés, az éleken és a sarkokon pedig pozitív töltés van. Ezért az egyes szemcsék között vonzóerő lép fel, ha élek és sarkok lapokkal jutnak érintkezésbe. Az érintkezés lehet pontszerű és vonalas. A kötést Coulomb-féle vonzás, a van der Waals-erők, kationok és adszorbeált vízmolekulák kötőereje hozza létre. Ha két részecske lap mentén jut érintkezésbe, akkor Coulomb-féle taszítóerő lép fel, de ennek hatását felülmúlhatja a külső erő, a van der Waals-erő, a kation kötés és az adszorbeált vízmolekulákból származó hidrogénkötés együttes hatása. Ilyen módon a vékony, borotvapengéhez hasonlítható agyagrészecskékből kártyavárszerű szerkezet alakulhat ki. E vázszerkezet az érintkezési pontokban mereven kötött agyaglemezek merevsége miatt elég stabil és merev. Ezt Tan Tjong Kie a 4.8. ábrán közölt sémával érzékelteti. A merevség a kapcsolatok szilárdságától függ, amit viszont a kapcsolat jellege és a kötőerők nagysága határoz meg. A kapcsolat jellegét az agyagrészecske geometriai alakja dönti el. Montmorilonit részecskék például csak A típusú kapcsolatot alkothatnak; Kaolinit és Illit esetében gyakoribb lehet a sokkal erősebb B típusú kapcsolat.

*Tehát vályogépítés során a Kaolinit és az Illit tartalmú vályogtalajok alkalmazása előnyösebb.*



A – csúcs menti

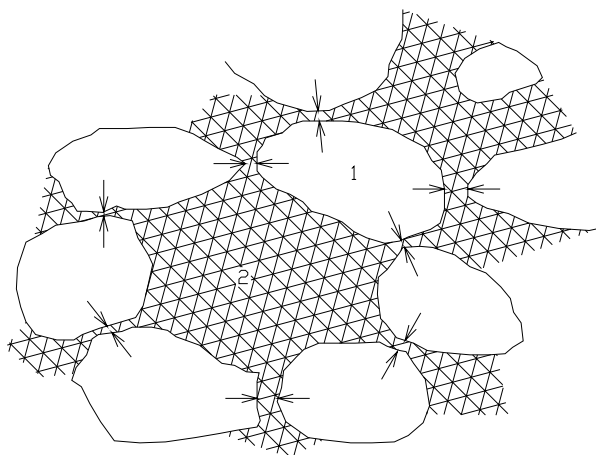
B – él menti

C – lap menti érintkezés

**4.8. ábra:** Lemezes agyagrészecskék közötti kötések lehetséges típusai [21]

#### 4.7.2. Agyagos vályog talajszerkezetek

A tiszta agyag igen ritka, legtöbbször csak, mint a talaj egyik alkotórésze jelenik meg. Így a talajban az agyagrészecskéken kívül durvább homok- és iszapszemcsék is vannak, a kapcsolatok ezek felületén is létrejöhetnek. Kialakul egy nagy pórusú, homok- és iszapszemcsékből álló vázszerkezet, melynek hézagait a fenti agyagváz tölti ki; az agyagváz mikropórusaiban viszont víz foglal helyet (4.9. ábra). Ha egy ilyen talaj terhelés alá kerül, a feszültség hatására konszolidációs folyamat indul meg, s a réteg lassan összenyomódik. Ettől a talajszemcsék irányítottága egyre rendezettebb lesz, s a részecskék egyre inkább az erőhatásra merőlegesen helyezkednek el. Végül összeérnek, a teher szemcséről szemcsére adódik. Ekkor még a durva szemcsék közti agyagmátrix még szinte feszültségmentes.

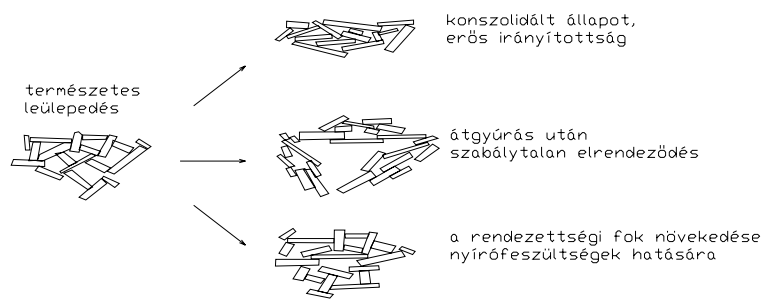


1. homokszemcse; 2. agyagváz

4.9. ábra: A durva szemcséket is tartalmazó agyagos talajszerkezet [21]

**Bizonyos terhelés hatására a vázszerkezet merevsége megszűnik, deformáció lép fel, és a terhelés az eredetileg feszültségmentes agyagmátrixra adódik át. Ekkor a talaj összenyomódása rohamosan nő. Ezzel magyarázható az is, hogy agyagok szilárdsága átgyúrás hatására csökken. Idővel a vázszerkezet újabb kialakulásával és a kötési formák átalakulásával, továbbá a van der Waals-erők működésének hatására a szilárdság ismét megnő.** Terhelés hatására a talajszerkezetben szilárdulás jön létre, mert a pórusvíz kinyomódik és a kötési formák megváltoznak, pl. az A típusból a sokkal erősebb B típusú kapcsolat jön létre azaz a lemez, ill. túszerű agyagrészecskék orientációja erősen kihat az agyag viselkedésére, fizikai, ill. mechanikai tulajdonságaira. Így az agyagrészecskék rendeződése, ill. rendezettsége szerint lehet: konszolidált, átgyúrt, ill. tartós terhelés hatására újrendeződő, ún. köztes állapot (4.10. ábra).

*A vályog – készítése során – ugyanezen fázisokon megy keresztül. A termelt vályogtalajban meglévő talajszerkezet a kitermelés során a konszolidált állapotból átgyúrás utáni szabálytalan elrendeződésűvé válik. A vályogkészítés során ebből a rendezetlen állapotból – valamely technológia segítségével – az eredeti állapothoz közelítő rendezettséget állítunk ismét elő.*



a) konszolidált

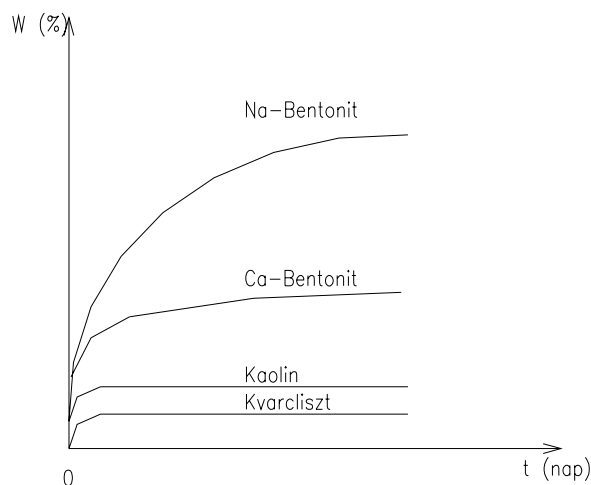
b) átgyúrt

c) tartós terhelés hatása alatt álló

**4.10. ábra:** Az agyag szerkezeti típusai a részecskék rendezettségi foka szerint [21]

*A rendezettség foka a vályog számos tulajdonságában - tömörség, nyomószilárdság, zsugorodás, ill. a duzzadás – igen fontos szerepet játszik. A vályogtalajok szilárdsága, képlékenysége, ill. alakváltozása szinte kizárólag a víz és az agyagfrakció kölcsönhatásából származik.*

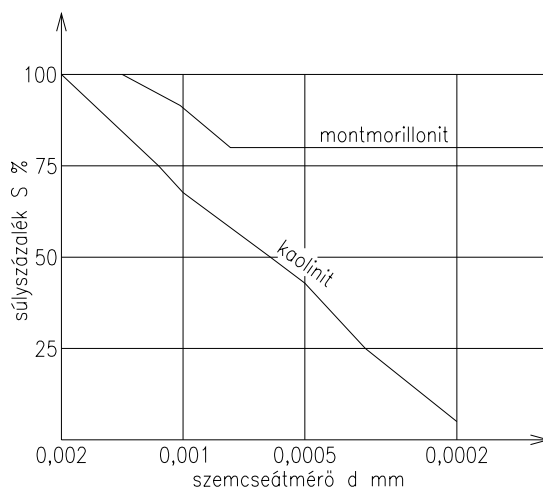
*A különböző vályogtalajok vízfelvétele – az agyagfrakciójának fajtájától és mennyiségétől függően – igen nagymértékben különbözik egymástól. Ezt példázza a 4.11. ábra, amely a különböző típusú agyagok vízfelvételét mutatja be.*



**4.11. ábra:** Különböző típusú agyagok vízfelvétele az agyagtípus függvényében [24]

A különböző agyagfajták vízfelvételemű képességét jórészt azok szemeloszlása (4.12. ábra) határozza meg.

Míg a jól graduált kaolin vízfelvétele egész kicsiny, addig a majdnem tiszta egyszemcsés montmorillonit igen jelentős (4.12. és 4.11. ábrák).



4.12. ábra: Az agyagok jellemző szemeloszlása [24]

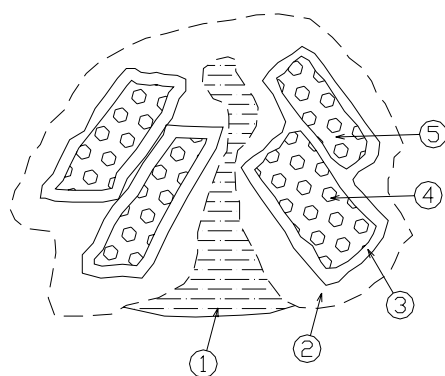
#### 4.8. A talajban levő víz megjelenési formái és szerepe a talajszerkezetben

A 4.3.2. pontban áttekintettük a magában álló víz jellemző tulajdonságait, ill. a 4.3.3. pontban a talajban levő alkotórészek (szilárd, víz, levegő) arányainak kifejezését.

A talajban levő vizet vizsgálva azonban azt tapasztaljuk, hogy a víz különböző formában van jelen a talajszemcsék között és tulajdonságai ezen megjelenési formáktól függően igen különbözők.

Stabil egyensúly estén a víz úgy helyezkedik el a szemcsék között, hogy a lehető legnagyobb felületen burkolja a közetet. A levegő viszont olyan helyzet elérésére törekszik, hogy a szilárd részecskék határán a lehető legkisebb felületen érintkezzen a nedvesítő folyadékkal. Így a víz mindig a kisebb, a levegő a nagyobb hézagokat tölti ki. A víz különböző megjelenési formái a pórusvíz, a szolvátvíz, az adszorbeált víz és a szerkezeti víz (4.13. ábra). Az első két esetben a víz még hidrodinamikai erőkkel megmozdítható. A pórusvíz külső terhelés, gravitáció és kapillaritás hatására mozog. A szolvátvíz – amely max. 200 molekula vastag vízréteg – már csak a termóozmózis képes megmozdítani (a víz a hideg hely felől a meleg hely felé, míg a pára a meleg hely felől a hideg hely felé mozdul el).

Az adszorbeált víz max 10 molekula vastagságú vízréteg. Molekuláris erők kötik, ez már nem mozdítható. A szerkezeti víz csak olyan magas hőmérsékleten távolítható el, amelynél már tönkremegy a kristályszerkezet.



2. ábra: A talajban levő víz osztályozása:

1. pórusvíz
2. szolvátvíz
3. adszorbeált víz
4. szerkezeti víz
5. talajrészecske

4.13. ábra: A talajban levő víz különböző megjelenési formái [24]

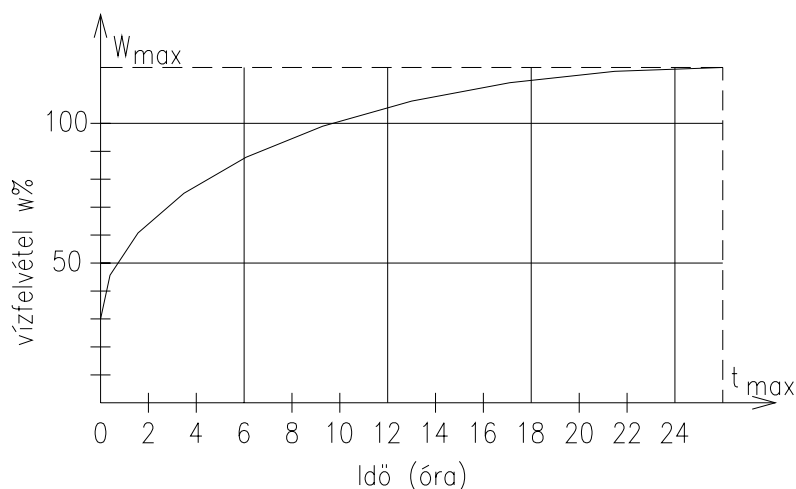
A vályogtalajban levő víz, ill. a vályoghabarcsban levő ún. keverővíz megjelenési formái hasonlóak a fentiekben ismertetetthez. Az alapvető eltérés az, hogy a vályogépítés során két különböző állapotot kell megkülönböztetni:

-Az első az építési állapot, amelyben a természetes víztartalmú vályogtalajhoz keverővizet adagolunk. Ekkor a vályog vízzel telített. A víztartalom változás a kiszáradás során csak a pórusvíztartalmat érinti.

-A második a kiszáradás utáni állapot, amelyben a vályog víztartalma a zsugorodási határ alá kerülhet. Végül termo-oszmózis hatására megmozdulhat a vályogfalakban a szolvátvíz egy része is. Télen a fűtött épületekben befelé áramlik a víz és kifelé a pára. Nyáron a folyamat megfordul. A fagy jégképződés, ill. a napsugárzás párologtatás útján csökkentheti kismértékben a vályog szolvátvíz tartalmát.

#### 4.8.1. A talajok vízfelvevő képessége

Kérdés az, hogy a talaj mekkora vízmennyiséget képes felvenni és azt a szemcséi között tárolni. Tapasztalatok szerint ez a kapillaritáson kívül az agyagtartalom és az agyagásvány kémiai összetételének a függvénye. Közel azonos szemeloszlási görbével bíró talajok e tekintetben erősen eltérő tulajdonságúak lehetnek. A vízfelvevő képesség Enslin-féle kísérlettel határozható meg a minta mindenkori víztartalma segítségével. A víztartalmat az idő függvényében felrakva megkapjuk a vízfelvételi görbét, amelynek vízszintes érintője adja egy adott talaj maximális vízfelvevő képességét (4.14. ábra).



4.14. ábra: A talajok vízfelvevő képessége [24]

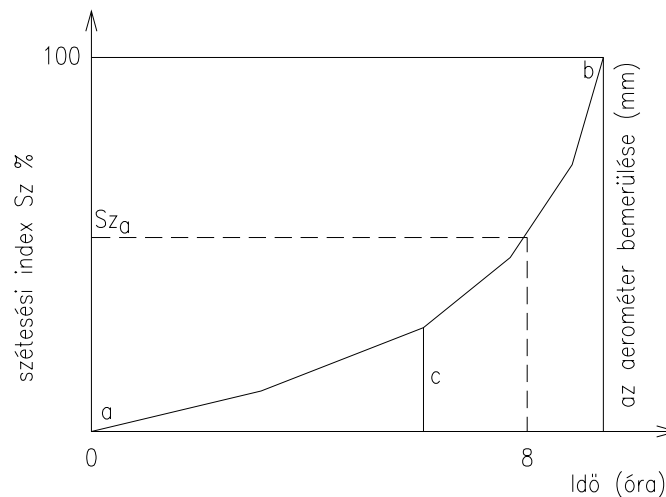
A vizsgálatból kapott  $w_{\max}$ -ból következtetni lehet a talaj duzzadóképeségére. Minél nagyobb egy talaj vízfelvevő képessége, annál érzékenyebb a duzzadásra.

Ez vályogtalajok, ill. habarcsok esetén is fontos kérdés. A vizsgálat segítségével ki lehet szűrni a vályogépítésre alkalmatlan, nagy duzzadóképeségű vályogtalajokat.

#### 4.8.2. A talajok szétesése víz alatt

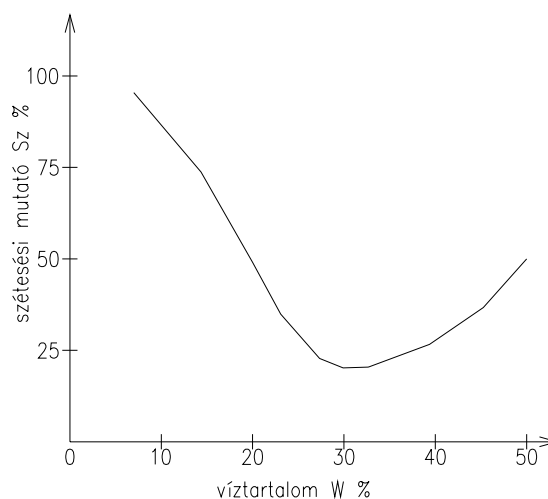
Ha egy száraz talajrögöt víz alá merítünk, a külső felülete gyorsan telítődik vízzel, a minta belsejében a pórusokba beszorul a levegő, amely így kapilláris nyomás alá kerül. A nyomás

alatt álló levegő a talaj vázszerkezetét húzásra veszi igénybe, amitől a talajrög szétesik. A szétesés mértékének számszerű meghatározását Endell dolgozta ki, mértékének számszerűsítésére bevezette a szétesési számot ( $Sz = 100 \cdot (a-c)/(a-b)$ , ahol az „a” az aerométeren tett leolvásás az áztatási kísérlet kezdetén „b” a kísérlet végén és „c” egy közbelső időben). A szétesési görbéről a szétesés gyorsaságára következtethetünk. Minél nagyobb egy talaj Sz értéke, annál gyorsabban esik szét víz alatt (4.15. ábra). A 4.14. és a 4.15. ábrákból következik, hogy a maximális vízfelvevő képesség – talajtípustól függő – határértékhez tart.



**4.15. ábra:** A talajok szétesési görbéje [24]

Különböző kezdeti víztartalom mellett elvégezve az Endell féle kísérletet látható, hogy a szétesési számnak a víztartalom függvényében szélső értéke van. Ebből megállapítható, hogy mekkora kezdeti víztartalom mellett lesz minimális a talaj szétesési hajlama (4.16. ábra). A szétesési szám a vályogtalajok esetén is meghatározható.



**4.16. ábra:** A szétesési szám változása a kezdeti víztartalom függvényében [24]

A szétesési szám minimumához tartozó kezdeti víztartalom meghatározása a vályogtalajok esetén különösen fontos. Segítségével kiválasztható a legvizállóbb vályoghabarcs készítéséhez szükséges vízmennyiség.



## 4.9. Kötött talajok

A kötött talajok jelentős mennyiségben tartalmaznak sejt-, ill. pehelyszerkezetű finom frakciót. A kötött talajok elmozdulás elleni belső ellenállását, azaz nyírószilárdságát a belső súrlódás és a kohézió biztosítja. Coulomb szerint  $\tau = \tau_1 + \tau_2 = \sigma \cdot \operatorname{tg}\varphi + C$ . A súrlódás  $\tau_1 = \sigma \cdot \operatorname{tg}\varphi$  a csúszólapon a normálfeszültséggel arányos.

*A mi vizsgálataink szerint a vályog, de különösen a stabilizált vályog már nem a Mohr-Coulomb-féle törési feltételnek ( $\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg}\varphi + C$ ) megfelelően viselkedik. Helyette idealizált rugalmas - viszkozus feszültség - alakváltozás ( $\sigma$ - $\varepsilon$ ) diagramot célszerű alkalmazni, mint a habarcsoknál. Ezen anyagok alakváltozó képessége nagymértékben függ a terhelés sebességétől. A valóságban tisztán rugalmas terhelési szakaszuk nincs is, de alacsonyabb feszültségi szinten a rugalmas viselkedés közelítésként elfogadható.*

## 4.10. A talajok osztályozása

A talajok osztályozása a talajok végtelen számú változata miatt csak néhány, a számunkra fontos tulajdonság alapján lehetséges, ezek pl. a:

- szemcsenagyság (4.2. táblázat),
- konzisztencia határok (4.4. pont),
- plasztikus index (4.4. pont).

*Ugyan ezen osztályozási módok a vályogtalajok és vályoghabarcsok esetén tájékoztató jelleggel elfogadhatók, de technológiai okokból kis mértékben el kell ezektől térni.*

## 4.11. Szilárdság és alakváltozás

### 4.11.1. Az egyirányú nyomószilárdság

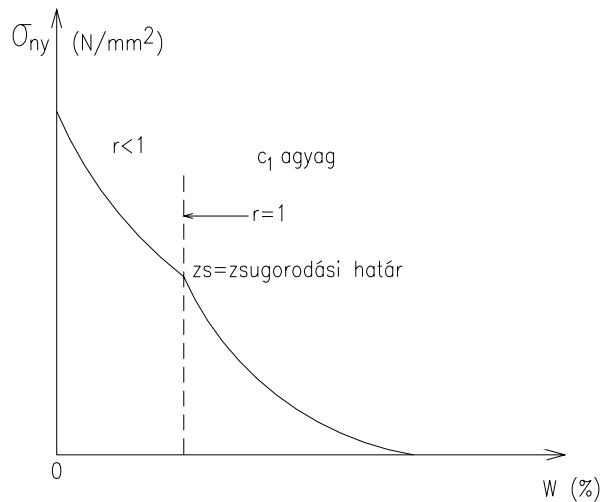
Az egyirányú nyomószilárdság vizsgálat a talajok belső ellenállásának meghatározására szolgáló legegyszerűbb és leggyorsabb eljárás. Ezt a vizsgálatot 1:2 arányú 40 mm átmérőjű, 80 mm magas hengereken végzik ( $\sigma = \frac{F}{A}$ ). A nyomóvizsgálat során mérhető az  $\varepsilon$  alakváltozás

(összenyomódás) értékét is.

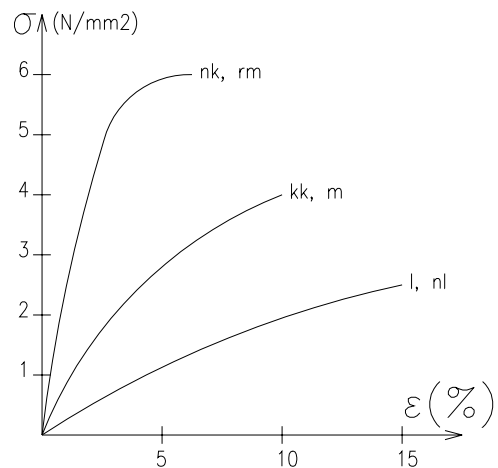
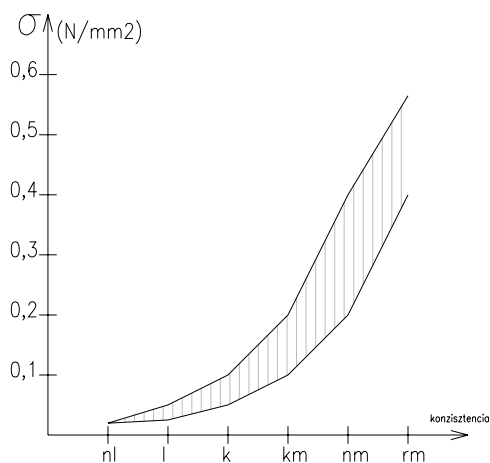
Kimutatták, hogy a nyomószilárdság többek között a víztartalomnak (4.17. ábra), a konzisztenciának (4.18. ábra) és a hézagtényezőnek (4.19. ábra) is a függvénye, de merőben eltér a homok és az agyag szilárdsága egymástól.

Az agyagtalaj kiszáradása során a pórusvízben húzófeszültség lép fel. Ez a húzófeszültség a víztartalom csökkenésével nő, ami azzal jár, hogy a tényleges nyomószilárdság a talajban ugyanolyan mértékben növekszik.

*Mindaz vályogtalajok esetében is fennáll. A vályoghabarcsok esetében pedig két okból is számít a víztartalom. A friss vályoghabarcsban levő keverővíz mennyisége is és a szerkezet végleges víztartalma is erősen befolyásolja a vályogszerkezet szilárdságát és alakváltozását. A keverővíz mennyiségének a szilárdság és az alakváltozás szempontjából optimuma van, míg a végleges szerkezet víztartalma – higroszkópus anyag lévén – a környezetének víztartalmára áll be. A beépített vályogot ezért igen gondosan óvni kell bármely típusú víztől (csapadék, háztartási víz, csőtörés, áradás, belvíz stb.).*



**4.17. ábra:** A víztartalom hatása az egyirányú nyomószilárdságra [24]



nl= nagyon lágy <0,025 N/mm<sup>2</sup>  
 l= lágy 0,025÷0,050 N/mm<sup>2</sup>  
 k= közepes 0,050÷0,100 N/mm<sup>2</sup>  
 km= kemény, merev 0,10÷0,20 N/mm<sup>2</sup>  
 nm= nagyon merev 0,20÷0,40 N/mm<sup>2</sup>  
 rm= rendkívül merev >0,40 N/mm<sup>2</sup>

nk, rm= nagyon kemény, rendkívül merev  
 kk, m= közepesen kemény, merev  
 l, nl= lágy, nagyon lágy

a.)

b.)

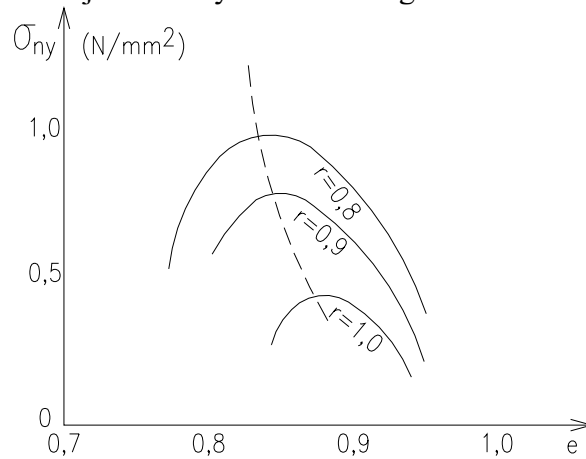
**4.18. ábra:** A konzisztencia hatása:

a.) az egyirányú nyomószilárdságra (4.5. táblázat alapján)

b.) az alakváltozásra [21]

A **konzisztencia** és az egyirányú nyomószilárdság közötti kapcsolat vizsgálata során az a tapasztalat, hogy a szárazabb anyagkeveréknek megszilárdulás után nagyobb a nyomószilárdsága (4.18. ábra).

Kísérletekkel igazolható, hogy a **hézagtényező** ( $e$ ) és a relatív nedvességtartalom ( $r$ ) alakulása is befolyásolja a szilárdságot. A zsugorodási határon túl szárítva a talajokat, a hézagokba már levegő is jut. A talajban maradó vízben uralkodó húzófeszültség a szemcsék között nyomófeszültséget okoz, ami a nyírófeszültség növelését eredményezi. Kísérletileg igazolták, hogy egy bizonyos telítettségi foknál a meniszkuszban fellépő kapilláris feszültség a lehető legnagyobb mértékben képes hozzájárulni a nyomószilárdság növekedéséhez (4.19. ábra).



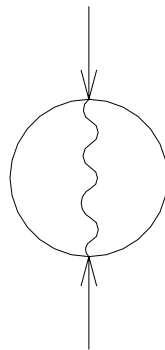
4.19. ábra: A hézagtényező hatása a nyomófeszültségre [24]

*A hézagtényező hatása a vályogtalajok esetében is hasonlóan értelmezhető. Vályoghabarcsok esetében a talajmechanikában alkalmazott hézagtényező helyett a habarcs technológiában szokásos pórustartalom meghatározás a szokásos. A habarcsok nyomószilárdsága és pórustartalma között is sztohasztikus függvénykapcsolat áll fenn.*

#### 4.11.2. A talajok húzószilárdságának vizsgálata

A tiszta húzószilárdság vizsgálat elvégzése talajok esetén igen nehézkes, ezért azt legtöbbször talajhenger hasítószilárdság vizsgálatával, azaz alkotó menti törésével helyettesítjük (4.20. ábra).

*Ezt az eljárást célszerű a vályogok vizsgálatához is átvenni.*



4.20. ábra: Hengeres talajminta alkotó menti törése

Számottevő mértékben a vályog is csak a nyomásnak áll ellen. Ezért a henger próbatest tönkremenetele gyakorlatilag a nyírószilárdság kimerülésétől következik be. Ez a vizsgálat „kvázi” húzószilárdság vizsgálatként elfogadható. „Kvázi” húzószilárdság vizsgálatként a habarcstechnológiában meghonosodott hasáb hajlítószilárdság vizsgálata is elfogadható (7.1.4. pont).

Fenti okfejtés a vályogtalajokra és a vályoghabarcsokra egyaránt fennáll.

### 4.11.3. Alakváltozások

A konzisztencia és a víztartalom erőteljesen kihat a talajok rugalmassági modulusára és ezen keresztül az alakváltozó képességére (4.18. ábra).

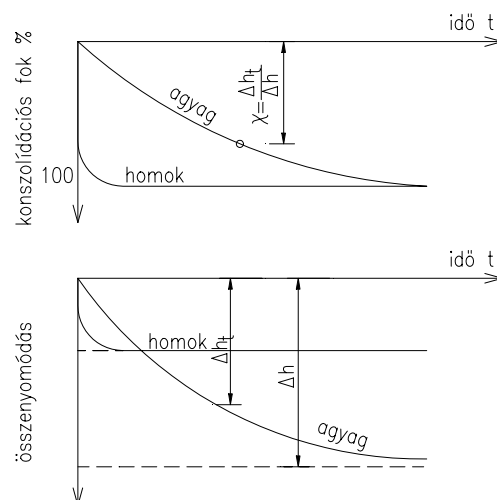
Az izotrópnak képzelt talajok összenyomhatósága, egyirányú nyomóterhelés hatására, rugalmasságtani alapon, a Hooke törvény szerint  $\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E}$  formában írható fel. A függőleges irányú alakváltozás oldalirányú alakváltozásokat is okoz így:

$$\varepsilon_y = -\mu \frac{\sigma_x}{E}; \quad \varepsilon_z = -\mu \frac{\sigma_x}{E} \quad \text{ahol } \mu = \frac{1}{m} \quad (\text{Poisson})$$

A talajoknál a végtelen féltérben az összenyomódás gátolt oldalkitérés mellett jön létre. A vályog esetében az egyirányú terhelés során az oldalkitérést nem korlátozza semmi. A rugalmas - viszkózus anyagmodell – amely alacsonyabb feszültségértékek mellett lineárisnak tekinthető – elfogadható.

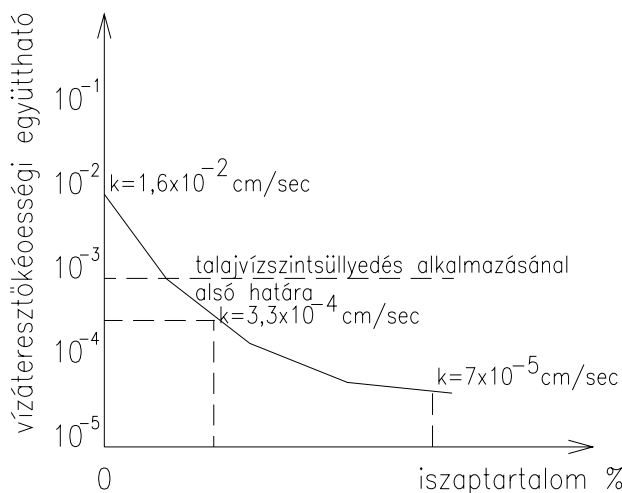
### 4.12. Vízmozgás talajban

Mind a telített, mind a telítetlen talajban külső terhelésből pórusvíznyomás jön létre (semleges feszültség). Ebből vízmozgás keletkezik. Egyidejűleg a talaj összenyomódik. Az összenyomhatóság a talaj vízáteresztő képességének függvénye. A homokos-kavics és az agyag viselkedése ebben is igen jelentősen eltér egymástól (4.21. ábra). Míg az első igen gyorsan, addig a második csak igen lassan konszolidálódik.



4.21. ábra: Homok és agyag konszolidációs görbéje [21]

Az erőhatások, amelyek miatt a víz a talajban megmozdulhat: a gravitáció, a külső terhek és a kapilláris erő. Az, hogy milyen sebességgel tud mozogni a víz a talajban, az az adott talaj víz-áteresztő képességétől függ. A vízáteresztőképesség a finom és a durva frakció arányaitól függ. Minél nagyobb egy talaj finomfrakció tartalma (iszap-agyag), annál kisebb az áteresztőképessége, ill. fordítva (4.22. ábra).



4.22. ábra: Az agyag-iszap tartalom hatása a vízáteresztőképességi együttható értékére [24]

A vízmozgás típusa a pórusok nagyságától is függ (4.7. táblázat).

| Pórusnagyság<br>d (mm) | Vízmozgás   |
|------------------------|---|
| d > 0,01               | Pórusvíz, gravitáció hatására mozog                                 |
| 0,01 – 0,000001        | Kapilláris víz, gravitáció ellenében mozog                          |
| 0,000001 – 0,0000001   | Szolvát víz, kb. 200 molekulányi, még mozog                         |
| d < 10 <sup>-6</sup>   | A víz 1-10 molekulányi réteg, hidrodinamikai erőkkel nem mozdítható |

4.7. táblázat: Vízmozgás a pórusok nagyságának függvényében [27]

Vályog szerkezetekben a konszolidációt a végtelen feltérhez mérve igen kicsiny méretek gyorsítják, de a konszolidáció sebességét alapvetően itt is a vízáteresztő képesség határozza meg.

A vízáteresztő képesség a vályogtalajokban ugyancsak a finom és a durva frakció arányaitól függ. Minél nagyobb egy vályogtalaj finom frakció tartalma (iszap-agyag), annál kisebb az áteresztőképessége, ill. fordítva. A vályog esetében azonban a vízáteresztő képesség függ még a bedolgozástól is, azaz a vályogépítési technológia függvénye.

A kiszáradás, ill. az átázás is vízmozgást okoz a talajokban. Kiszáradáskor repedések keletkezhetnek, elázáskor duzzadás léphet fel. A repedések zárulhatnak, de az egyszer már megnyílt felületek között nem alakul ki többet az eredetivel egyenértékű szilárdság.

Fenti megállapítások vályog esetén is érvényesek. Túl gyors kiszáradás vagy nagyobb mértékű átázás esetén a vályog elvesztheti szilárdsága jelentős részét, ami összeomláshoz is vezethet.

## 5. A VÁLYOGHABARCSOK JELLEMZŐ TULAJDONSÁGAI

Ebben a fejezetben azokat az általános habarcsismereteket gyűjtöttem össze, amelyek kis módosítással a vályoghabarcsok tárgyalásához átvehetők.

A habarcsok vizsgálata két fő részre osztható: friss és megszilárdult habarcsok vizsgálatára. Ezek terminus technikusai a vályogra specializálva az alábbiak.

### 5.1. A friss vályoghabarcs jellemzői

A *habarcskeverék* a habarcs alkotóinak (vályogtalaj, töltőanyag, keverővíz, esetleg stabilizálószer) olyan, építési célból készített keveréke, amelyen még kötés nem észlelhető, zsaluzatba még nem dolgozták be. A habarcskeverék csak tömegével, ill. alkotóinak tömegével, vagy azok arányával jellemezhető.

A *bedolgozott friss habarcs* olyan habarcskeverék, amelyet már zsaluzatba bedolgoztak vagy formába öntöttek. Ez már a tömegén kívül a térfogatával, így testsűrűségével is jellemezhető.

A *keverési arány* a habarcskeverék alkotóinak tömeg szerinti aránya. Tiszta vályoghabarcsok esetén, amikor csak az agyagfrakció a habarcs kötőanyaga a vályogtalaj-keverővíz arányát jelenti, amit konzisztenciában szokás kifejezni. Stabilizált vályoghabarcsok esetén a stabilizálószer tömegét a vályogtalaj tömegére vetítve kell megadni.

A vályog *konzisztenciájának* meghatározása történhet a habarcs technológiában használatos módszerek átvételével (terülés-, ill. kúpsüllyedés vizsgálatával), ill. a talajmechanikában alkalmazott módszerekkel (sodrasi, Casagrande-féle képlékenységi, ill. zsugorodási vizsgálat). Azonban a konzisztencia határokat a vályog építéstechnológiája (nedves vagy száraz) függvényében módosítani kell.

A *bedolgozhatóság* a friss vályoghabarcs azon tulajdonsága, amely meghatározza a habarcs tömöríthetőségének mértékét, ill. könnyű vagy nehéz voltát. Ezt a habarcs saját jellemzőin kívül (pl. konzisztencia) külső tényezők is (pl. a kiöntendő forma bonyolultsága, hozzáférhetőség stb.) befolyásolják. Csak relatív skálán mérhető.

A *zöld szilárdságon* a friss habarcskeverék megkötés előtti szilárdságát értjük, amely csak a belső súrlódás ( $tg\phi$ ) és a kohézió ( $c$ ) függvénye. Ekkor a tömörítésből és a kiszáradásból származó szilárdság még nem érvényesül.

A *telítettség* annak a mértéke, hogy a kötőanyag pép – amely vályoghabarcsok esetében az agyag és a keverővíz alkotta agyagpép – milyen mértékben tölti ki az adalékanyag-váz hézagait. Eszerint a habarcs lehet telítetlen, telített és túltelített.

A *szétoztályozódási képesség* a friss vályoghabarcs homogenitásában idő függvényében bekövetkező változás mértékét jelzi. A habarcsnak, mint szuszpenzióknak a koagulációs hajlamát fejezi ki. A szárazabb konzisztenciánál kevésbé és lassabban, folyósabb konzisztenciánál gyorsabban és erőteljesebben jelentkezik.

A *kivérzés* az a jelenség, amely során a friss habarcs a megdermedése előtt a keverővíz egy részét feladja. Ez a szétosztályozódás egyik módja. Ez a jelenség túlzott keverővíz adagolás esetén lép fel. A feladott keverővíz igen erősen megnöveli a habarcs porozitását, ami nagyon káros a habarcsok számos tulajdonságára.

A *vízmeztartó képesség* a habarcs azon tulajdonsága, amely biztosítja a bedolgozás befejezéseig a formázhatósághoz, ill. kenhetőséghez szükséges víz kivérzés nélküli megtartását. Minél kövérebb egy habarcs – minél nagyobb az agyagtartalma – annál nagyobb a vízmeztartó képessége. Stabilizált vályogok esetében a vízmeztartó képesség a nagy fajlagos felületű kötőanyagok (cement, mész, gipsz) adagolásával fokozható.

A *pórustartalom* a térfogategységben levő hézagmennyiség. Ennek jelentősége a vályoghabarcsoknál is a szilárdság és a hőszigetelő képesség befolyásolásában nyilvánul meg. A habarcs szilárdsága fordítottan, hőszigetelő képessége egyenesen arányos a pórustartalommal. Ezért a lehető legnagyobb szilárdságú és lehető legjobb hőszigetelő képességű vályog optimalizálással nyerhető.

## 5.2. A megszilárdult habarcs jellemzői

A próbatestek előállításához szükséges keverővíz tartalom meghatározása a vályogkészítés legfontosabb kérdése. A keverővíz mennyisége ellentétes értelemben befolyásolja a habarcsok bedolgozhatóságát és mechanikai (szilárdság, alakváltozás) tulajdonságait. A keverővíz tartalom növelése könnyíti a bedolgozást, de erősen rontja a megszilárdult habarcs mechanikai tulajdonságait. A legkedvezőbb keverővíz tartalmat a bedolgozhatósághoz szükséges minimális víztartalom biztosítja.

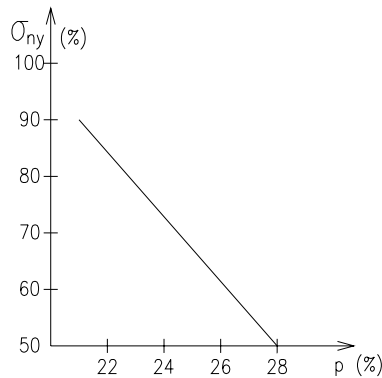
*További követelmény a különböző vizsgálatok eredményeinek összehasonlíthatósága. Ezért a szabványos próbatesteket egységesen – szabványos folyósságú – vályoghabarcsból kell előállítani. Ennek definíciója vályoghabarcsok esetén – az építési technológiától függően – kétféleképpen adható meg.*

*Száraz építési technológia esetén a próbatesteket is száraz eljárással kell elkészíteni. Szabványos folyósságú pépnek a talajmechanikában alkalmazott – Proctor vizsgálattal meghatározott – maximális testsűrűséget ( $\rho_{d\ max}$ ) biztosító víztartalommal ( $w_{opt}$ ) kevert vályogot tekintjük.*

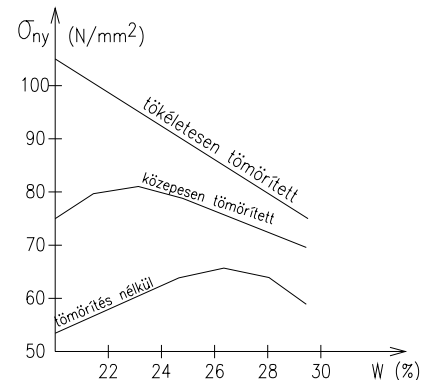
*Nedves építési technológia esetén a próbatesteket is nedves eljárással kell előállítani. A vizsgálataim szerint a Casagrande vizsgálattal  $n = 20$  ejtegetési számhoz tartozó víztartalommal készített vályoghabarcs, ill. a habarcs technológiában alkalmazott 170-190 mm területű, ill. 70-90 mm kúpsüllyedésű habarcs kb. azonos folyósságot takar. Mivel ezen víztartalom a talajmechanikai tapasztalatok szerint igen közel van a legkönnyebb bedolgozhatóságot biztosító – a Casagrande-féle  $n = 25$  ejtegetéshez tartozó plaszticitást biztosító – víztartalomhoz és megegyezik a habarcs szabvány (MSZ 16000/1) szerinti próbatestek előállításához előírt konzisztenciával, ezért nedves építési technológia esetén célszerű ezt választani a szabványos folyósság definiálására (7.1.3. pont).*

Már az eddig leírtakból is látható, hogy a próbatesteket – az építési technológiától függően – mindig a lehető legkisebb víztartalommal, a lehető legjobb tömörítéssel kell elkészíteni, mert mind a fölös keverővíz, mind az elégtelen tömörítés a pórustartalmat növeli. A pórustartalom növekedés nyomószilárdság csökkenést eredményez (5.1. ábra). A lehetséges maximális tö-

mörítés mellett pedig a próbatetek nyomószilárdsága a keverővíz tartalommal lineárisan csökken. Elégtelen tömörítés esetén a  $\sigma_{ny}$ -w függvénynek szélső értéke van (5.2. elvi ábra). Az összehasonlíthatóság és kiértékelhetőség érdekében – az építési technológia függvényében (száraz vagy nedves) – mindig ugyanúgy kell a próbatesteket tömöríteni.



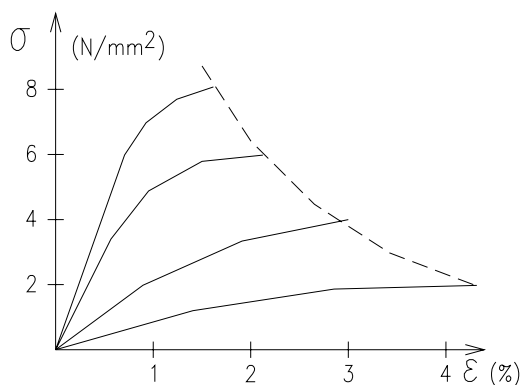
**5.1. ábra:** A pórustartalom hatása a szilárdságra [28]



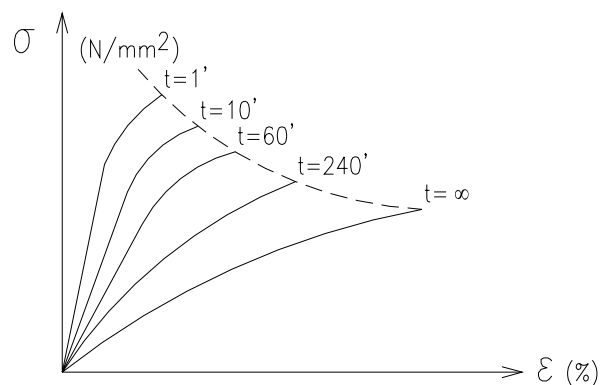
**5.2. ábra:** A tömörítés és a víztartalom hatása a szilárdságra [29]

Száraz technológia esetén adott ideig, adott nyomáson préselt, míg nedves technológia esetén adott ideig kevert (és esetleg még adott ideig történő vibrációs tömörítéssel) készített próbatesteken kell a vályog minősítő vizsgálatait elvégezni.

**A vályoghabarcsok feszültség-alakváltozás ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) diagramjának nincs tiszta rugalmas szakasza.** Az anyag alakváltozási képessége igen nagymértékben függ a habarcs szilárdságától (5.3. ábra), ill. a terhelés sebességétől, (5.4. ábra).



**5.3. ábra:** A habarcs szilárdság hatása a  $\sigma$ - $\epsilon$  diagramra (elvi ábra) [28]

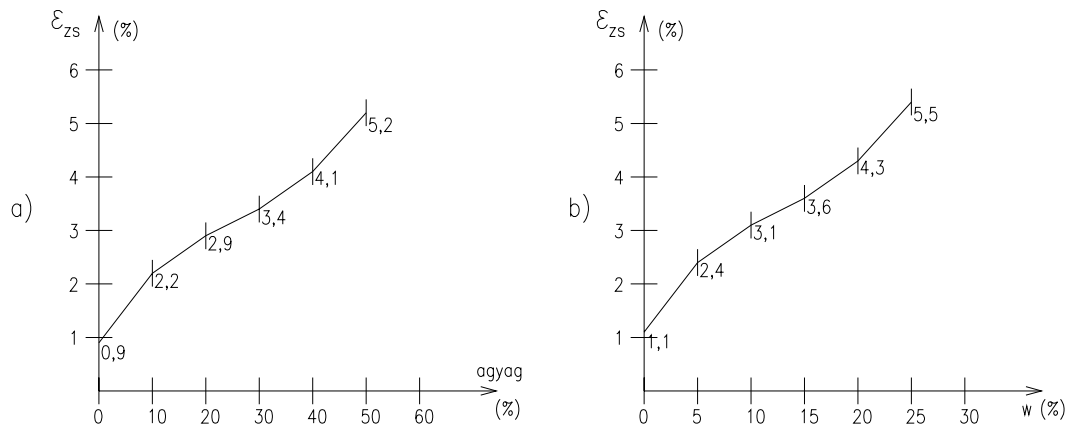


**5.4. ábra:** A terhelés sebességének hatása a  $\sigma$ - $\epsilon$  diagramra (elvi ábra) [29]

Fentiek alapján megerősíthető, hogy a vályog próbatetek viselkedése a rugalmas-viszkózus idealizált anyagmodellel követhető legpontosabban (4.11.3. pont).



A habarcsok zsugorodásának elsődleges oka a kötőanyag (cement-, gipsz-, ill. mészkő) zsugorodása (az adalékanyag lényegében nem zsugorodik), melyben a legdöntőbb tényező a keverővíz mennyisége és a környező levegő nedvességtartalma. A zsugorodás mértéke tehát a kötőanyag és a keverővíz mennyiségének, ill. arányának és a légnedvesség tartalomnak a függvénye (5.5. ábra).



**5.5. ábra:** A vályoghabarcsok zsugorodása:

a) az agyagtartalom-

b) a keverővíz mennyiségének függvényében

*Ez a vályoghabarcsok esetében hatványozottan igaz. Azok zsugorodása az agyagfrakció mint kötőanyag (8.9. ábra) és a keverővíz mennyiségének (8.14. ábra), ill. arányának függvénye. Azonban míg a mész- és cementhabarcsok zsugorodása néhány ezrelék addig a vályogé 1-30 % is lehet.*

## 6. A VÁLYOGKÉSZÍTÉS TECHNOLÓGIAI ALAPKÉRDÉSEI

Ebben a fejezetben azokat az általános vályoghabarcs technológiai tapasztalatokat gyűjtöttem össze, amelyek segítenek a minősítő vizsgálatok kiválasztásában és – elfogadott minősítő vizsgálatok esetén – a vályog minősítő tulajdonságainak optimalizálásához, ill. stabilizálásához nyújtanak alapot.

A vályog előállítási technológiái a földrajzi hely geológiai viszonyai és kialakult kultúrája függvényében nagyon eltérőek. Az alapanyag minőségétől a felhalmozott tapasztalatokig igen sok minden befolyásolta a vályogépítési technológiák kialakulását, amelyeket különböző szempontok szerint osztályozhatunk. Az osztályozás történhet:

- az előállítási víztartalom, ill. konzisztencia szerint: *száraz vagy nedves*.
- a bedolgozás módja szerint: *tömörített vagy tömörítetlen*.
- az előállítás, ill. készítés helye szerint: *monolit vagy előregyártott*.
- a technológia gépesítettsége szerint: *hagyományos, ill. korszerű*.

Fenti csoportosításból az első kettő olyan építési eljárás, amelynél az építési technológia a vályogtermék anyagminőségére közvetlen hatással van. A másik kettő esetén a technológiának elsősorban az épület szerkezetére van jelentős hatása, az anyagminőségre csak másodlagos befolyással bír.

A különböző technológiákkal, ill. azok különböző kombinációjából eltérő falszerkezetek alakíthatók ki a tiszta vályogfaltól a fonatos falon (paticsfal) át a fa- és kővázas vályogszerkezetekig. A szerkezeti kialakítástól függően egy vályogfalnak lehet: fő teherviselő, részben teherviselő, ill. csak térelválasztó szerepe.

**Mivel ez a dolgozat a vályog, mint építőanyag tulajdonságaival foglalkozik, ezért részletesen csak az azt befolyásoló első kettő, a konzisztencia szerinti (száraz vagy nedves), valamint a tömörítés módja szerinti (tömörített vagy tömörítetlen) technológiával előállított vályogok vizsgálatára szorítkozik.**

A *száraz vagy nedves technológia* között az alapvető különbség a vályog készítése során a vályogkeverékbe bevitt keverővíz mennyiségében van. A száraz technológiák alkalmazása során viszonylag kevés, míg a nedves technológiák esetében sok vizet kevernek a vályogtalajhoz. Az alacsony gyártási víztartalom előnye a relatív nagy szilárdság és kicsiny zsugorodás, míg hátránya a keverés és a bedolgozás nehézségeiből ered. A nedves technológiáknál értelemszerűen ez fordítva igaz, azaz könnyebb a keverés és a bedolgozás, de ez kisebb szilárdságot és nagyobb zsugorodást eredményez. (4.5. táblázat). Ez természetesen kihat a próbatestek készítésére is (5.2. pont).

A két technológia között (*tömörített vagy tömörítetlen*) a bedolgozáshoz felhasznált erőhatás alkalmazásában van különbség. Technológiailag egyszerűbb ha a keverés után nem kell még tömöríteni is a vályogot, hanem elég a formázás utáni kiszáritás. Ez viszont – a száraz technológiákhoz képest – csak magas keverővíz tartalom mellett lehetséges, ami a nagyobb képlékenység következtében relatív kicsiny szilárdságot és nagy zsugorodást eredményez. Amennyiben a bedolgozáshoz erőt is alkalmazunk abban az esetben relatív alacsony víztartalom mellett érhető el a szükséges tömörség, amitől nagyobb lesz a szilárdság és alacsonyabb lesz a zsugorodás értéke.

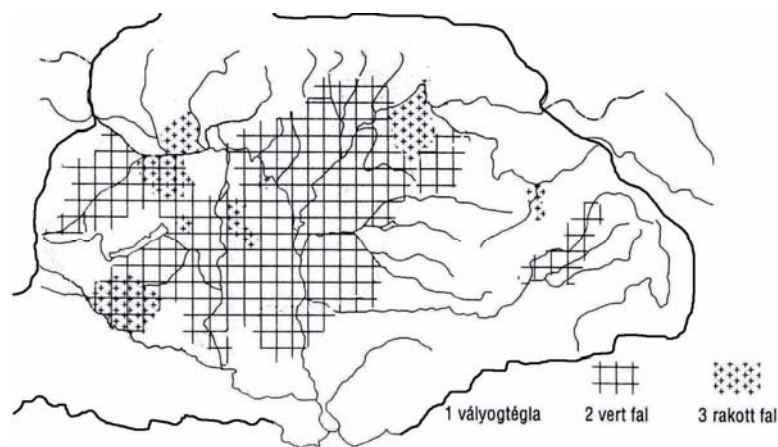
Látható, hogy mindkét technológiai megközelítés esetén a keverővíz mennyiségének helyes megválasztása a vályogkészítés talán legfontosabb kérdése. Minél nagyobb egy vályogtalaj plasztikus indexe, annál nagyobb lehet a kohéziója, azaz a szilárdsága (4.5. táblázat). Ez viszont a víztartalom túl a finom frakció, tehát az agyagtartalom függvénye. A különböző vályogépítési technológiák az agyag és a keverővíz mennyiségéhez, ill. a tömörítés módjához való viszonyát a 6.1. táblázatban foglaltuk össze.

| Falazat típusa      | Építési mód                           | száraz (sz)<br>nedves (n) | tömörített (t)<br>kever (k)<br>szárít (sz) | töm.erőhatás<br>nincs (n)<br>döngölés (d)<br>préselés (p) |
|---------------------|---------------------------------------|---------------------------|--|---|
| Tömőrfalas          | Villával rakott sárfal                | n                         | sz   | n   |
|                     | Gömbölyeges sárfal                    | n                         | k+sz                                       | n   |
|                     | Vertfal - vezetőoszlopos<br>- kalodás | n                         | t+sz                                       | d   |
|                     | Vályogtéglás                          | n/sz                      | k+sz/t+sz                                  | n/p   |
| Vesszőfonatos falak | Egyrétegű tapasztott                  | n                         | k+sz                                       | n   |
|                     | Kétrétegű vertfal                     | n                         | t+sz                                       | d   |
| Favázás fal         | Pólyás karóvázás                      | n                         | k+sz                                       | n   |
|                     | Sövényfonatos karóvázás               | n                         | k+sz                                       | n   |
|                     | Fachwerk szerkezet                    | n/sz                      | k+sz/t+sz                                  | n/p   |

6.1. táblázat: Vályogépítési technológiák összefoglalása

### 6.1. A vályogépítési technológiák hazai elterjedése

Magyarországon az Alföldön a XIX. században a természeti adottságok, valamint az erdőirtások, lecsapolások miatt, kő és fa hiányában a földanyagú falak alkalmazása terjedt el a legjobban. Ennek uralkodó típusait és arányait mutatja az 1900 körüli éveket ábrázoló térkép (6.1. ábra). Az ország nagyobb részén vályogfallal és vert fallal építkeztek, kisebb térségekben alkalmazták a rakott falas technológiát is.



6.1. ábra: A különböző vályogépítési technológiák meghonosodása Magyarországon a XIX. században [30]

A magyarországi talajokat és azon belül a vályogtalajokat a 4.1 ábrán mutattuk be. A 4.1 és 6.1. ábra összevetéséből három megállapítás tehető:

**A vályogtéglás építést** a jó minőségű, nagyobb agyagtartalmú vályogtalajos területeken végezték. A magas agyagtartalom nagy téglaszilárdságot eredményez. A vályogtéglás építésen belül is kialakult a száraz technológiával készített ún. préselt és a nedves technológiával készített ún. vetett téglá. Igaz ugyan, hogy a nagy agyagtartalom a zsugorodásra kedvezőtlenül hat, de annak jó része még a téglák pihentetése során, a beépítés előtt lejátszódik, így annak nem lesz káros hatása az építményre. (A két térkép összevetéséből az is kitűnik, hogy a talaj több helyen is megfelelő lenne a vályogtéglás építésre. Ez a technológia azonban inkább csak a gazdaságilag mindig is erősebb Dunántúli régióban terjedt el.)

**A vert falas építési technológiát** azokon a területeken alkalmazták, amelyeken nem túl kövér, mégis megfelelő szilárdságú és csekély zsugorodású volt a vályogtalaj, (akár vályogtéglás építésre is alkalmas lehetett volna) de a nedves technológiából fakadó építéstechnológiai előnyök jóval meghaladták a relatív nagyobb zsugorodás okozta hátrányokat. Ezen technológia állvány és zsaluzóanyag igénye a vályogépítési technológiák között a legnagyobb.

**A rakott falas építési mód** a legmunkaigényesebb, de legkisebb eszközigenyű, legegyszerűbb építési eljárás. Azokon a területeken alkalmazták, ahol kicsiny a vályogtalaj agyagtartalma, ezért nem kellett tartani a vizes technológia okozta zsugorodástól. Ez a technológia nem igényelt állvány-, ill. zsaluzóanyagot. A relatív nagyobb vályogtömeg beépítésével – azaz munkával – ezen segédanyagokat ki lehet váltani. A két térkép összevetéséből az tűnik ki, hogy azokon a területeken terjedt el ez a technológia, ahol a munkaerő ára alacsonyabb volt, mint az eszközöké.

## 6.2 A talaj feldolgozása vályoggá

Vályog készítése során a természetes fekvésű, igen jól konszolidált állapotból (4.7.2. pont, 4.10.a ábra) a vályogtalaj kinyerése során átgúrás utáni rendezetlen állapot alakul ki (4.10.b ábra). Amikor a vályogtalajt feldolgozzuk, akkor ezt a rendezetlen állapotot próbáljuk valamilyen technológiával (keverés, döngölés, préselés, szárítás) újból rendezett állapotba hozni. Természetesen ehhez egy építkezés során sokkal kevesebb idő áll rendelkezésünkre, amint annak idején a természetnek. Így az új vályogstruktúra sem lesz olyan tömör, mint a kezdeti állapotban volt. Tehát csak egy köztes állapot érhető el (4.10.c ábra).

*A vályogkészítés során a mi feladatunk a lehetséges legtömörebb állapot létrehozása. Ehhez a vályogtalaj feldolgozási és a vályog beépítési folyamatát (töltőanyag- és vízadagolás, keverés, tömörítés, ill. bedolgozás és utókezelés) szilárdságra, zsugorodásra, ill. vízáteresztésre gyakorolt hatását részletesen elemezni kell. Fentiek számszerű meghatározásához és kiértékelhetőségéhez ki kell dolgozni a vályog egységes minősítő vizsgálati rendszerét, mert csak ennek birtokában végezhető el az építőanyag értékelése (7. fejezet).*

### 6.2.1. A kitermelés

A kitermelés módját a fedőréteg (humusz) vastagsága, az építkezés területigénye (kicsi, nagy), ill. a terepviszonyok (sík, lejtős) határozzák meg.

Ezektől függően a kitermelés folyhat kis mélységben (1 m-ig), ill. nagy mélységben (1 m fölött), kis területen, ill. nagy területen, valamint síkvidéken vagy lejtős terepen [31].

Ha a fedőréteg vastagsága és az alapozás mélysége kicsiny, akkor nagy területen célszerű a vályogot kitermelni. Ellenkező esetben (vastag fedőréteg, mélyen fekvő alapozás) a kitermelés csak kis területen lehet gazdaságos.

A kitermelés megkezdése előtt a kijelölt területnél kb. 0,5-1,00 m-rel nagyobb területen le kell szedni a humusz takaróréteget. Mind a humuszréteg, mind a vályoggödör falát az omlás elkerülése érdekében rézsűsen kell kialakítani. A kitermelést mélységileg lépcsősen kell végezni.

### 6.2.2. A vályogtalaj előkészítése

A vályogtalajok előkészítésének legjobb hagyományos módszere a kitermelés után egy évre, de minimum egy télre való elterítése, érlelése. Ez kicsit időigényes, de munkaigénye kicsiny. A mi mérsékelt éghajlati klímánkon a nap, az eső, a hó és a fagy szétmállasztják a vályogtalaj csomóit. Az agyagfrakciónak is elég ideje marad a vízfelvételre, amely megtöri, felpuhítja és morzsalékosá teszi az agyagcsomókat. A víztől az agyagkristályok kövérré duzzadnak, majd megfagynak ami tovább aprítja, morzsolja és ezzel puhítja az anyagot.

Az agyagkristályok maguk is megváltozhatnak, kémiai cserebomlástól vagy ionizáció következtében. Ezek a változások kémiai vagy elektromos feszültségkülönbséget hoznak létre, amelyek aprózódással egyenlítődnek ki. A napsugárzás is segíti az ioncserélődést, amely meleg hatására felgyorsul. Ezen folyamatok hatására – tavaszra – a vályogtalaj plaszticitása építési szempontból kedvezővé válik. (A kínai porcelán készítéséhez két emberöltőn keresztül tartott a képlékenyítés [29]).

Az időjárás hatásai mellett felléphet a szerves talajrészek rothadásából származó mállás is. Az ilyen talaj fajlagos felülete elérheti a  $800 \text{ m}^2/\text{g}$  értéket is (humín anyagok). A humín anyagok ionfelvevő képessége még nagyobb, mint az eddig legjobb ioncserélő képességűnek tartott montmorillonit agyagé []. Így az agyagszemcsék igen jól formázhatók, plasztikusak lesznek keverővíz hozzáadása nélkül is. A szervesanyag tartalom a vályogban természetesen csak korlátozott mennyiségben fordulhat elő.

Algák és baktériumok egy csoportja ugyancsak hozzájárul a vályog plasztikussá tételéhez. Először csak a felületén telepednek le, de később behatolnak a belsejébe is. Minél morzsalékosabb és lazább a vályog, annál gyorsabban játszódik le a fenti folyamat. Ennek mechanizmusát elektronmikroszkóppal is vizsgálták, de még nem teljesen ismert a pontos folyamat, azonban ezek az organizmusok összetartják (zselészerűen) a különböző rétegeket.

Egy újabb vizsgálatban leptotrix és sedotrix baktériumokat alkalmaztak vályogtalajok előkészítéséhez. Ezek hatására kétértékű vaskötések jöttek létre a vályogtalajban és ezzel megnövelték annak plaszticitását, és húzószilárdságát [].

*A mai rohanó világban a vályogtalaj fent vázolt igen időigényes előkészítésére legtöbbször nincs idő. Ezért a technológia által megkövetelt konzisztencia eléréséhez a szükséges optimális víztartalom adagolása, és az anyag gépi keverése részesül előnyben.*

### 6.2.3. Vízadagolás, konzisztencia

Amint a talajoknál, úgy a vályogtalajoknál is kimutatható, hogy mind a talaj nyomószilárdsága, mind alakváltozása a talaj konzisztenciájának (közvetve víztartalmának) függvénye (4.11.1-4.11.3. pont). Minél alacsonyabb egy talaj, illetve egy vályogtalaj víztartalma, annál nagyobb a szilárdsága és annál kisebb az alakváltozása. Addig azonban, amíg egy adott talajnál a természetes víztartalom és konzisztencia constans, ill. többnyire csak lassan változik – így szilárdsága és alakváltozása (zsugorodás, ill. duzzadás) is csak lassan módosul – addig a vályogtalaj vályoggá alakítása során a keverővíz mennyiségének, azaz a vályog konzisztenciájának gyors megváltoztatásával befolyásolható a vályog nyomószilárdsága és zsugorodása.

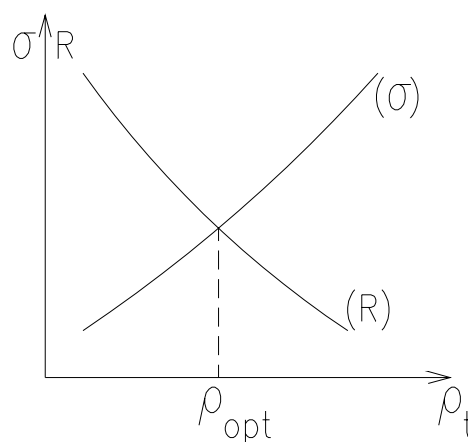
*A két véglet között (annyira száraz a vályoghabarcs, hogy bedolgozhatatlan, ill. annyira folyós, hogy ugyancsak használhatatlan) található – az építési technológia függvényében – az optimális keverő-víztartalom, ill. konzisztencia.*

### 6.2.4. Töltőanyagok adagolása

Töltőanyagot hátrányos tulajdonságainak csökkentése érdekében keverünk a vályoghoz. A tiszta tömör vályog húzószilárdsága kicsiny, zsugorodása nagy, ezért nagyon repedésérzékeny. Hogy a repedéseket elkerüljük különböző rostosanyagokat keverünk a vályogtalajhoz (szalmatörmelék, faforgács, sás stb.), így nyerjük a vályoghabarcsot.

A töltőanyagok adagolásának másik oka a vályog hővezetési tényezőjének lerontása, azaz a hőszigetelő képességének megnövelése. **Az adagolás mennyisége alapján változik a vályog testsűrűsége: több töltőanyag kisebb testsűrűséget eredményez. A testsűrűség ( $\rho_t$ ) a hővezetési képességgel sztohasztikusan egyenesen, a hőszigetelési képességgel (R) fordítottan arányos. Azaz minél kisebb egy vályog testsűrűsége annál kisebb a hővezetési képessége, tehát annál jobb hőszigetelő. A töltőanyag mennyiségének növelésével, azaz a testsűrűség csökkenésével csökken a vályog nyomószilárdsága.** Ezért töltőanyag a teherviselő szerkezetekhez kisebb, a térelhatároló szerkezetekhez nagyobb mennyiségben adagolható.

*Tehát a testsűrűség és így a töltőanyag mennyisége a szilárdsági és a hőszigetelő képességi igényeiktől függően optimalizálható (6.2. elvi ábra).*



**6.2. ábra:** A testsűrűség meghatározása a szilárdság és a hőszigetelő képesség optimalizálása érdekében

*Ezen belül a szilárdság meghatározása a kutatásom részét képezi (7. pont). A hőtechnikai jellemzőket irodalmi adatok átvételével nyerem.*

### **6.2.5. Stabilizálószeres adagolása**

A vályog hátrányos tulajdonságainak csökkentése, azaz az alacsony szilárdságának növelése, valamint nagy zsugorodási hajlamának és a vízerzékenységének csökkentése érdekében stabilizálószereseket (idegen talaj, mész, gipsz, cement, polimer stb.) adagolunk a vályoghabarcsokhoz. Így nyerjük a stabilizált vályogot.

*A stabilizálószeres mennyisége a szilárdság, a zsugorodás vagy a vízállóság érdekében - a gazdaságosság figyelembevételével - optimalizálható (9. fejezet).*

### **6.2.6. Keverés**

A vályogtalaj, a töltőanyag, a keverővíz és esetleg a stabilizálószer összekeverésével nyerjük a vályog- ill. a stabilizált vályoghabarcsot. A keverés elvileg lehet kézi és gépi, de megfelelő minőséget többnyire csak a gépi keverés biztosít. A keverőgépeknek két fő típusa ismert, a szabadonejtő és a kényszerkeverőgép.

Az optimális keverési idő a keverőgép típusától, a vályogtalaj agyagtartalmától és a keverővíz mennyiségétől (azaz a vályoghabarcs konzisztenciájától) függ.

*A keverési idő a víztartalom függvényében a szilárdság maximalizálása és a zsugorodás minimalizálása érdekében optimalizálható (8.5.2.1. pont).*

A keverés hatékonysága az alapanyagok beadagolásának helyes sorrendjétől függ, ami a habarcskeverés hazai gyakorlata szerint a keverőgép típusától függ. A helyes adagolási sorrend, ha a keverési idő optimumát „t”-vel jelöljük:

- kényszerkeverőgép: -  $t/5$  ideig a földnedves vályogtalaj + töltőanyag keverése,
  - $t/5 \div 2t/5$  alatt a keverővíz hozzáadása,
  - $2t/5$  ideig keverés.
- szabadonejtő keverőgép: - keverővíz egyharmadának adagolása,
  - földnedves anyag  $2t/5$ -ig hozzáadása,
  - utána a keverővíz kétharmadának adagolása,
  - $3t/5$  ideig keverés.

*Az optimális keverési idő meghatározását a 8. fejezetben részletezzük.*

### **6.2.7. Bedolgozás (tömörítés)**

A bedolgozás, tömörítés történhet erőhatás alkalmazása nélkül (csak szárítás), ill. erőhatással (vibrálás, döngölés, préseles és szárítás). A tömörítés lehet kézi vagy gépi. A gépi tömörítés eszközei: vibrátorok, döngölők, ill. vályogprések.

*A tömörítés mértéke a technológia és a víztartalom függvényében optimalizálható (8.5.2.2. pont).*

A vályoghabarcsot úgy kell tömöríteni, hogy minél kevesebb pórus maradjon a kész, megszilárdult vályogban. Ennek mennyiségét két dolog határozza meg: a bedolgozási víz- és a légpórustartalom (5.2. pont).

*A bedolgozás soha nem 100 %-os, mindig marad a friss vályoghabarcsban néhány százalék légpórus. A vályog megkötése (kiszáradása) során további pórusok (kapilláris pórusok) keletkeznek. A légpórus és a kapilláris pórus együtt adja a vályog teljes pórusmennyiségét.*

*A friss vályoghabarcs pórustartalma fordítottan arányos a szilárdsággal (5.2. pont).*

### **6.2.8. Az utókezelés (a kiszáradás folyamatának szabályozása)**

Mivel a pórusok jelentős része – és a repedések is - a kiszáradás során keletkeznek, ezért a vályogkészítés utolsó fázisának az utókezelésnek a megtárgyalása előtt elemezni kell a kiszáradás jelenségét.

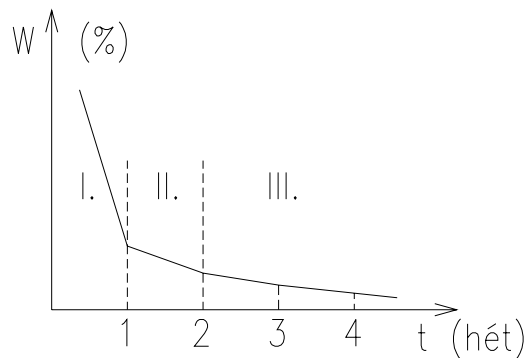
A kiszáradás, ill. az elázás éppúgy vízmozgást eredményez a vályogban, mint a talajokban. Amint megindul a vályog kiszáradása, megkezdődik a vályog belső struktúrájának átalakulása. Az önsúlyból és az önsúly irányába ható külső terhekből származó nyomástól további tömörödés, azaz térfogatcsökkenés következik be. Az anyagrészecskék közelebb kerülnek egymáshoz. Eközben a pórusok mérete csökken. A vályog zsugorodása, tömörsége és testsűrűsége nő. Hatni kezd a száradási erő, amely a külső kéreg és a belső mag száradási sebességének különbségéből adódik. A gyorsabban száradó külső kéreg csak részben engedi összehúzódni a lassabban száradó, így lassabban zsugorodó belső mag. Ettől a kéregben húzófeszültség lép fel, amitől az megrepedhet. Ez a kiszáradás folyamatának megfelelő lassításával elkerülhető.

A kiszáradás időszükséglete belső és külső körülmények függvénye:

- belső körülmények:      - víztartalom  
                                  - agyagtartalom  
                                  - tömörség
- külső körülmények:    - napsugárzás  
                                  - hőmérséklet  
                                  - szélesebbség  
                                  - relatív páratartalom

A vályog kiszáradási folyamata, azaz a keverővíz távoztása, a víz vályogban való megjelenési formája (4.8. pont) és a pórusok nagysága függvényében különbözőképpen játszódik le, ill. a víz különféleképpen hagyja el a pórusokat. A vályog kiszáradási folyamatában három szakasz különböztethető meg (6.3. ábra) [33].





**6.3. ábra:** A kiszáradás fázisai [33]

Az **első szakaszban** a nagyobb pórusokból a pórúsvíz, és a kapilláris víz egy része különböző sebességgel szabadon távozik az atmoszférába, mialatt a szilárd szemcsék szerkezete tömörödik.

(Kövér agyagok kevés pórusal pl. a tiszta montmorillonitban a víz áramlási sebessége néhány mm/év. Az ilyen anyagot szigetelésre lehet használni. A homokokban a víz 10 cm/óra sebességgel is áramolhat. A vályog agyagtartalmának növelésével a szivárgó/kapilláris víz sebessége néhány mm/óra csökkenthető.)

A **második fázisban** a közepméretű pórusokban is megindul a kiszáradás. A húzószilárdság eléri a lehető legnagyobb értéket. A kapilláris víz eltávozik, a kiszáradás következtében az agyagrészecskék már nem elég mozgékonyak, alig tudnak változtatni helyzetükön, ill. szerkezetükön, így már alig tömörödnek.

A víz utánpótlás már csak pára formájában érkezik belülről, amely azonban egyre növekvő diffúziós ellenállásba ütközik. Ráadásul a víz párányomása az egyre szűkülő kapillárisokban mindig kisebb lesz, így a kiszáradás lelassul.

(Amint a vízfilm (szolvátvíz) egy része az agyagkristályok közül eltávozik, az agyagrészecskék az adszorpciós vízzel szilárd kristálystruktúrát alkotnak. A vályog megszilárdul, a száradási erők is megemelkednek. (A fellépő kapilláris erők igen nagyok, pl. száraz agyagnál elérhetik az 1000-2000 N/mm<sup>2</sup> értéket is.)

A **harmadik fázisban** a szerkezet már szinte teljesen száraz. A kiszáradás a vályog belső „áramlási vonalait” mentén található szolvátvíz egy részének távozásával következik be, igen lassan. A víz a már kiszáradt pórusokon keresztül a hidegebb falrészek irányába (télen kifelé, nyáron befelé) haladva távozik vízgőz formájában. Elvileg ekkor a vályog egyensúlyi nedvesség állapotába jut. A vályog higroszkópikus, s a víztartalma a környezet nedvességtartalmával (esetenként vízleadással, esetenként vízfelvétellel) egyensúlyba kerül. Ez az egyensúlyi állapot mindig a környezet víztartalmára áll be.

A 6.3. ábrán látható, hogy az egyes fázisok élesen (töréssel) válnak el egymástól.

- Az első szakaszban a részecskék pórusait teljesen kitölti a víz, a szilárd szemcsék a gravitációs és a külső erők hatására – a közöttük levő víz távozása révén tudnak tömörödni, ha megindul a kiszáradás.
- A második szakaszban a víz további távozása következtében a talajrészecskék még egy kicsit közelebb kerülnek egymáshoz és a kapilláris feszültség következtében a vályog még egy kicsit tömörödik.
- A harmadik szakaszban, a zsugorodási határon túl a termoozmózis hatására (4.8. pont) még egy kevés szolvátvíz távozik. A talajszemcsék helyzete már nem változik, lényegesen nem tömörödik tovább az anyag.

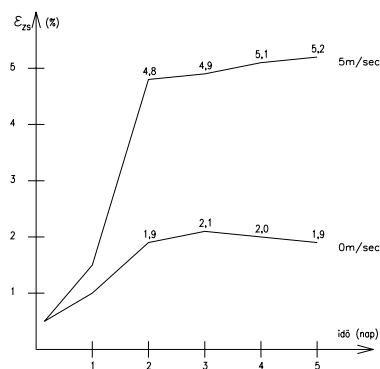
A kiszáradás folyamán a vályog tömörsége és szilárdsága folyamatosan nő. Az **első** szakaszban a térfogatcsökkenés arányos a leadott vízmennyiséggel. A **második** szakaszban a víz-

utánpótlás csökkenése miatt lelassul a térfogatcsökkenés és a vele járó tömörödés és szilárdulás. A **harmadik** szakaszban – amely már csak mesterséges szárítással állítható elő – gyakorlatilag megszűnik a zsugorodás és a vele járó tömörödés és szilárdulás.

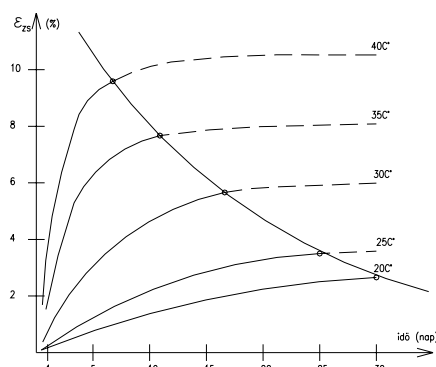
*A kiszáradás sebességének szilárdságra, zsugorodásra és vízállóságra való hatását elemezni és optimalizálni kell.*

Az **utókezelés** a kiszáradás, ill. a vízfelvétel folyamatának szabályozását jelenti. A vályog belsejében az egyenetlen nedvességeloszlás miatt egyenetlen zsugorodás lép fel. Ennek hatására a felületen húzó-, a belsejében nyomófeszültség keletkezik.

Ha a vályog túl gyorsan szárad ki, akkor a felületén zsugorodási repedések lépnek fel. A kiszáradás elsősorban a napsugárzástól, a környezet hőmérsékletétől, a levegő relatív páratartalmától és a szélétől függ. Ha a kiszáradás sebességét nem tartjuk relatív alacsony szinten, akkor a vályog felszíne gyorsan kiszárad és összeropadozik. Így a felszíni réteg szilárdsága alacsonyabb lesz és a szerkezet szilárdsága nem lesz homogén. Ezért a friss vályogot óvni kell a szél és a napsütés gyors kiszáritó hatásától (6.4., 6.5. ábra).



**6.4. ábra:** A szélsebesség hatása a zsugorodásra [28]



**6.5. ábra:** A száradási hőmérséklet hatása a zsugorodásra [28]

Ha a száradó vályogot nem óvjuk a csapadéktól (elázástól), akkor a vályog vízfelvevő képessége függvényében (4.8.1. pont) vizet vesz fel. Ha egy vályogépítmény felülete vízzel telítődik, akkor az építmény belsejében a pórusokban beszorult levegőtől kapilláris nyomás alá kerül a vályog. A nyomás alatt álló levegő a talaj vázszerkezetét húzásra veszi igénybe, a vályog megreped (4.8.2. pont). Ezért a vályogot mind az építés ideje alatt, mind az élettartama során óvni kell a víztől.

A vályog száradás érzékenysége függ:

- az anyag típusától, azaz ásványi összetételétől \*
- az agyagtartalomtól, fajlagos felülettől (a kaolinit csak kicsit zsugorodik),
- a kapilláris áramlási sebességtől,
- a töltőanyagok minőségétől és mennyiségétől,
- a keverővíz mennyiségétől,
- a pihentetési időtől,
- a termék alakjától és méreteitől.

*Az utókezelés zsugorodásra, szilárdságra és vízérzékenységre gyakorolt hatását - kísérleti úton - elemezni és optimalizálni kell (8.5.3. pont).*

\* A montmorillonit egyszemcsés szemeloszlásából fakadóan nagyon-, míg a jól graduált kaolinit kevésbé vízérzékeny (4.12. ábra).

## 7. A VÁLYOG MINŐSÍTŐ VIZSGÁLATAI

A 6. fejezetből adódik, hogy a vályog minősíthetőségéhez ki kell választani a minősítésre alkalmas tulajdonságait és ki kell alakítani a minősítés alapjául szolgáló vizsgálati eljárásokat. Az építéshez felhasználni kívánt anyagokat mindig meg kell vizsgálni, hogy alkalmasak-e a kívánt célokra. Vályog esetén az anyagnyerésre kiválasztott területen – a humusz eltávolítása után – helyszíni gyorsvizsgálattal meg kell állapítani, hogy az adott talaj alkalmas-e vályogépítés alapanyagául, azaz **vályogtalaj-e?** (3.2. és 4.1.1. pont) Erre alkalmasak a helyszíni szemrevételezésen és tapintáson alapuló konzisztencia-, kövérség- és egyszerűbb kémiai vizsgálatok. Ha ezen vizsgálatok eredménye pozitív, azaz a talaj kötött és nem tartalmaz számottevő mennyiségben káros-, szerves-, ill. mészevegyületeket, akkor az vályogépítésre alkalmas, tehát vályogtalaj.

A vályogtalajból töltőanyag, víz és esetleg stabilizálószer hozzáadásával nyert **vályog-**, ill. **stabilizált vályoghabarcsot**, majd ezek megszilárdulásából nyert **vályogot**, ill. **stabilizált vályogot**, azok fizikai, mechanikai és kémiai tulajdonságaik alapján minősíteni kell tudni. **Ehhez szabványos minősítő értékekre lenne szükség**, azonban a vályognak – összehasonlítva a többi építőanyaggal – kevés, kísérlettel is igazolt fizikai és mechanikai tulajdonsága, ill. jellemzője ismert. **Pedig az alkalmazás során ugyanúgy szükség lenne a sűrűség, hajlítót-húzó szilárdság, nyomószilárdság, zsugorodás, a hidrotechnikai, hőtechnikai és egyéb anyagtulajdonságok ismeretére, mint a többi építőanyag esetében.**

Ezzel szemben ma Magyarországon nincs se szabvány, se műszaki irányelv, amely a vályogról, mint építőanyagról, ill. a vályogépítésről rendelkezne. Ez ma, a vályog reneszánsza idején meglehetősen lassítja és hátráltatja a fejlődést. A vályogépítményekre az Országos Területrendezési és Építési Követelmények (OTÉK) általános előírásai érvényesek a tervezés és kivitelezés során, azonban az OTÉK a vályogépítészet speciális kérdéseivel nem foglalkozik. Ezen felül pedig csak az Épületfelújítási Kézikönyv 6. fejezete említi röviden a föld- és vályogfalakat [30].

Ezért az anyagvizsgálatok elvégzéséhez ki kell dolgozni a **mintavétel** és a **minősítő vizsgálatok** egységes rendszerét. **Korábbi tapasztalatok** segítségével meg kell határozni azokat a **minősítő értékeket**, amelyekkel összehasonlítva a mérési eredményeket **ki tudjuk értékelni** azokat.

Ehhez három terület nyújt támpontot:

- a talajmechanikai vizsgálatok,
- az építőanyag vizsgálatok (habarcs- és képlékeny kerámiai nyersanyagok és masszák vizsgálatai),
- a DIN 18951 [34]\*.

\* 1944-ben a II. világháború vége felé jelent meg Németországban a „Verordnung über Lehmbauten” azaz „Rendelet a vályogépítésről” c. előírás, amelyet a háború okozta lakáshiány kényszerített ki. Ebből fejlődött ki a „Vályogépítményekre vonatkozó műszaki irányelvek” azaz a DIN 18951, amelyből kis változtatásokkal és kiegészítésekkel a DIN 18951-18957 keletkezett. Ez a kiadás változatlan tartalommal és formában, 1974-ig volt érvényben.

**Az eddigiekből adódik, hogy Magyarországon a vályog minősítési rendszerét az MSz szerinti talajmechanikai és építőanyag, valamint a DIN szerinti vályogvizsgálatok értelem szerű kombinációjából lehet és kell kialakítani, de figyelembe kell venni a régi szájhagyomány útján fennmaradt egyszerű népi vizsgálatokat is. Erre hazai javaslat már készült [35].**

A vályog minősítő vizsgálatainak kiválasztása előtt összefoglaljuk a minősítés alapjául elfogadható legfontosabb jellemzőit.

Ezek a jellemzők lehetnek:

- osztályozó,
- állapot-,
- mechanikai,
- beépítési és
- épületfizikai jellemzők

**Osztályozó jellemzők lehetnek:**

- plasztikus vizsgálat szerint ( $w_p$ ;  $w_f$ ,  $I_p$ ): homokliszt, iszap, agyag
- ásványi összetétel alapján: a hatféle agyagásvány lásd a (4.6.2. pont)

**Állapotjellemzők lehetnek :**

- víztartalom,
- testsűrűség,
- tömörség, ill. porozitás.

**Mechanikai jellemzők lehetnek:**

- térfogatállandósági (alakváltozási)
  - zsugorodás,
  - duzzadás,
  - összenyomódás,
- szilárdsági:
  - nyomó,
  - hajlító-húzó („kvázi” húzó),
  - élmenti nyomó („kvázi” húzó),
- hidrotechnikai:
  - vízfelvétel/-leadás,
  - vízállóság,
  - fagyállóság,
- beépítési:
  - optimális keverő víztartalom,
  - maximális testsűrűség,
  - maximális tömörség,
- épületfizikai :
  - hővezetési tényezők ( $\lambda$ ),
  - hőtároló képesség ( $c$ ),
  - hőátbocsátási tényező ( $K$ )
  - hőátbocsátási ellenállás ( $R$ ),
  - páradiffúziós ellenállás ( $\mu$ ).

**A dolgozat a vályog számtalan tulajdonsága közül (fizikai, mechanikai, kémiai) csak azokkal – a 6. fejezetben már megemlített - mechanikai tulajdonságokkal foglalkozik részletesen, amelyek az építési technológiák szempontjából a legfontosabbak és egyben a vályog, mint építőanyag tulajdonságai közül a legkritikusabbak: (alacsony) szilárdság, (nagy) zsugorodási és duzzadási hajlam, ill. (erős) vízérzékenység. Ezek lesznek az ún. minősítő tulajdonságok.**

**Fentiek alapján a vályog minősítésére az alábbi vizsgálatokat bevezetését javaslom:**

- **térfogatállandóság (térfogattartóság) ( $\epsilon_{zs}$ ;  $\epsilon_{duzz}$ ),**
- **szilárdság ( $\sigma_{ny}$ ;  $\sigma_h$ ),**
- **vízérzékenység vizsgálatát.**

**Térfogatállandóságon**, ill. térfogattartóságon a vályog vízfelvétel, ill. vízleadás következtében elszenvedett térfogatváltozásának (zsugorodás vagy duzzadás) mértékét értjük.

**Szilárdságon** a vályog egyirányú nyomó- és húzószilárdságát értjük. Ez utóbbi alatt a vályog hajlító-húzó, ill. élmenti nyomószilárdságát, mint „kvázi” húzószilárdságot fogadjuk el.

**Vízérzékenységen** – a többi építőanyag vízállóságától eltérően – nem a tartós vízhatásra létrejövő szilárdságvesztés százalékos mértékét -, hanem az eliszapolódás idősükségletét értjük.

## 7.1. A próbatestek előállításának menete

A vizsgálatok egységes kiértékelhetősége érdekében rögzíteni kell a **próbatestek előállításának menetét, azaz:**

- a mintavétel módját,
- a vályogépítési technológia hatását a próbatestek készítésére,
- a szabványos folyósságú vályog fogalmát, meghatározását,
- a próbatestek alakját, méreteit és előállítását.

### 7.1.1. A mintavétel módja

A vályogtalaj minősítő vizsgálatainak elvégzéséhez mintát kell venni. A magyarországi hagyományok szerint a humuszréteg eltávolítása után egy-egy építési telken 3-4 helyről kell mélységileg 0,5 m-enként 4-4 lapát talajmintát venni. Az átlagos minőség meghatározása érdekében a vett mintákat össze kell keverni.

A DIN 18952 szerint - ugyancsak a humuszréteg eltávolítása után - feltárásonként, min. 50 cm mélységből - két liter térfogatú mintát kell venni.

A kerámia alapanyag vizsgálatához az MSz 12 788 szabvány 10 kg minta vételét írja elő.

*Fentiek alapján javasolható, hogy a kitermelés mélységében szemmel látható rétegváltozás esetén minden rétegből legyen mintavétel. Ezeket a felhasználás módjától függően el kell különíteni, ill. össze kell keverni. A vályog minősítő vizsgálataihoz szükséges mintavétel mennyisége a készítendő próbatestek számából és méreteiből (7.1.4. pont) határozható meg:*

- *vizes technológiánál: ~ 10 kg*
- *száraz technológiánál: ~ 5 kg minta vétele javasolható.*

### 7.1.2. A vályogépítési technológia hatása a próbatestek készítésére

A vályogépítés technológiáját alapvetően a vályogtalaj típusa és az adott vidék építési kultúrája határozza meg.

**A próbatestek kialakítását a vályog tulajdonságainak lehető legjobb leképezése érdekében az építési technológiától függően aszerint kell megválasztani, hogy:**

- **az előállítási víztartalom, azaz a keverővíz, ill. a konzisztencia szerint száraz vagy nedves, ill.**

- a bedolgozás módjától függően tömörítéses vagy tömörítés nélküli építési technológiával készül-e a vályog.

Ennek megfelelően kétféle próbatestet lehet előállítani:

- a száraz technológiához készített **tömörített** és **szárított** próbatesteket, ill.
- a nedves technológiához készített **kevert** - esetleg tömörített - és **szárított** próbatesteket.

*Fenti megállapításokból egyértelműen következik, hogy rögzíteni kell a száraz, ill. a nedves technológiához tartozó szabványos folyósság fogalmát.*

### 7.1.3. A szabványos folyósságú vályog fogalma és meghatározása

A vályoghabarcs folyósságának függvényében ugyanannak a vályognak más és más lesz a teherbírása és az alakváltozása. A különböző vályogok különböző víztartalommal érik el ugyanazt a „folyósságot”. Tehát, ha nem rögzítjük a folyóssági állapotát, akkor a különböző mintákon nyert szilárdsági és az alakváltozási jellemzők csak relatív skálán értékelhetők, de nem összehasonlíthatók. **Az összehasonlíthatóság és így a kiértékelhetőség csak azonos folyósságú anyagok között értelmezhető. Ezért a vizsgálat előtt a minta anyagát szabványos folyósságú állapotba kell hozni.**

A szabványos folyósságot a vályog valamely kiemelten fontos, tehát minősítő tulajdonsághoz, ill. a próbatest előállítási technológiájához célszerű kötni.

A kísérletek során azt tapasztaltuk, hogy a „tökéletes” tömörítéses száraz technológiáknál a földnedves konzisztencia biztosítja a legnagyobb tömörséget és szilárdságot: a keverésre és szárításra épülő nedves technológiáknál ez nem biztosítható, de a folyós konzisztencia biztosítja a legjobb formázhatóságot. Így kétféle szabványos folyósságot kell megkülönböztetni, külön a száraz- és külön a nedves építési technológiához (5.2.pont).

**A kétféle szabványos folyósságú vályoghabarcsból, kétféle technológiával kell próbatestet készíteni:**

- a Proctor vizsgálattal meghatározott, a  $\rho_{dmax}$ - hoz szükséges optimális vízmennyiséggel ( $w_{opt}$ ) előállított ún. földnedves vályogkeverékből, amelyből a száraz technológiákkal előállított vályog anyagvizsgálatához szükséges próbatesteket állítjuk elő préssel vagy döngöléssel és szárítással (7.1. kép).



**7.1. kép:** A  $\rho_{dmax}$  eléréséhez szükséges  $w_{opt}$  meghatározása Proctor-vizsgálattal (száraz technológiához)

- az ún. módosított Casagrande vizsgálattal meghatározott,  $n = 20$ -as ejtegetési számhoz tartozó víztartalommal előállított, a formázhatóság határán levő, ún. folyós vályogkeverékből, melyből a nedves technológiákkal előállított vályog anyagvizsgálatához szükséges próbatesteket állítjuk elő keveréssel, szárítással - esetleg tömörítéssel (7.2. kép).



**7.2. kép:** A legkönnyebb formázhatóság eléréséhez szükséges  $w_{opt}$  meghatározása az ún. Casagrande vizsgálattal (nedves technológiához)

Az első esetben a legjobb tömöríthetőség, a másodikban a formázhatóság és a bedolgozhatóság határozza meg a szabványos folyósságot.

#### 7.1.4. A próbatestek alakja, méretei és előállítása

A vizsgálati eredményeket befolyásolja a próbatest alakja, méretei és az előállítási technológiája, ezért ezeket egységesíteni kell. Azonban a vályognak a technológiából adódó (vizes vagy száraz előállítási mód) viselkedése oly mértékben eltérő, hogy emiatt a két technológiá-



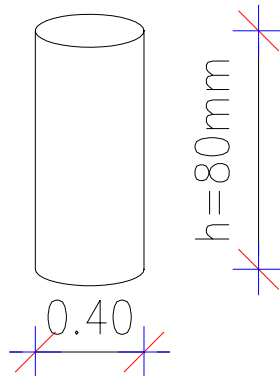
hoz nem lehet azonos próbatestet készíteni, de mindkét esetben arra kell törekedni, hogy a szilárdság a lehető legnagyobb, míg a zsugorodás lehető legkisebb legyen, ill. hogy a próbatesteken nyert eredmények a legpontosabban kövessék a beépített vályog szilárdságát.

- *száraz technológiához préseléssel előállított földnedves (FN) ( $d = 40 \text{ mm}$  átmérőjű,  $h = 80 \text{ mm}$  magas henger) adott ideig, adott nyomáson préselt vályog próbatesteket javaslunk alkalmazni, mivel az ezek előállításához szükséges eszközök (CBR, kinyomók, stb.) és technológia a talajmechanikai laboratóriumokban biztosított (7.3. kép, 7.1. ábra).*



**7.3. kép:** Préselt hengeres próbatest:

- készítése
- kész próbatest kinyomása

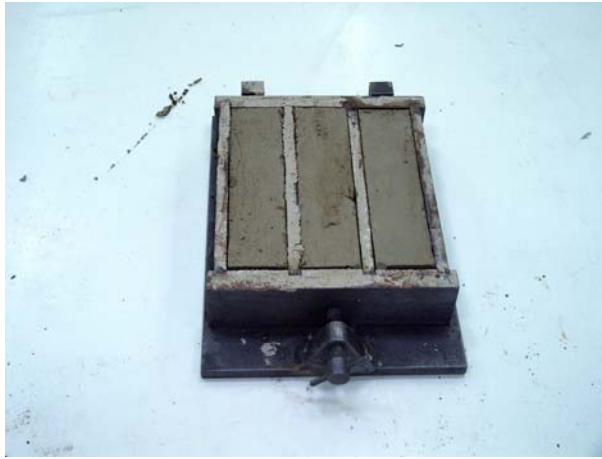


**7.1. ábra:** Préseléssel előállított próbatest

Már meglevő építmények utólagos minősítéséhez, ill. ellenőrzéséhez magmintavétellel ugyancsak hengeres próbatestek nyerhetők a legegyszerűbben.

- nedves technológia esetén már nem alkalmazható ue. az eljárás, mert a képlékeny, ill. folyós anyag a CBR géppel nem, vagy csak nehezen tömöríthető és a nedves minta a rézhengerből nem kinyomható. Tehát erőhatás helyett öntéssel és szárítással, esetleg utótömörítéssel kell készíteni a nedves technológiával előállítandó próbatesteket. Ehhez 40x40x160 mm-es hasáb (7.4. kép, 7.2. ábra) alkalmazása javasolható, mivel előállításához szükséges eszközök és technológia az építőanyag laboratóriumokban adott.

Az előállítás körülményeit – mind a száraz- és a nedves technológia esetén – a 8. fejezetben ismertetett vizsgálatok segítségével pontosítom.

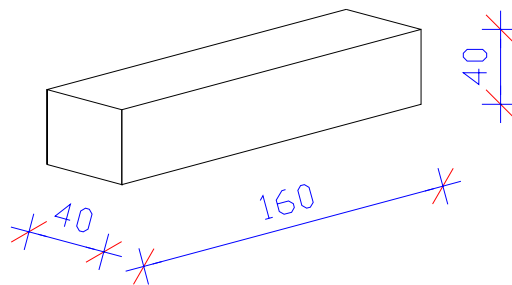


a.)



b.)

**7.4. kép:** Öntött és vibrált hasáb alakú próbatetek  
a.) készítése  
b.) kész próbatest



**7.2. ábra:** Keveréssel előállított próbatest

## 7.2. A vályog minősítő tulajdonságait befolyásoló tényezők

A vályog minősítő vizsgálatának definiálása előtt tisztázni kell a **minősítő tulajdonságokat befolyásoló tényezőket**. Ezek a:

- szemeloszlás ( $d_{max}$ ; U; frakcióhiány),
- kövérség, kötöttség (agyagfrakció mennyisége),
- keverővíz (mennyisége),
- konzisztencia (FN, KK, K, F, Ö),
- töltőanyag (típusa, mennyisége),
- kémiai összetétel (káros vegyületek),
- építési technológia (száraz, nedves/tömörítés, utókezelés).

### 7.2.1. A szemeloszlás

A vályogtalaj szemeloszlásával kapcsolatos általános megállapításaim:

- $d_{\max} < 4 \text{ mm}$  (d = szemcseátmérő)
- $a < 15 \%$  (a = agyagtartalom)
- $U < 5$  (U = egyenlőtlenségi együttható)

Ezen felül célszerűnek tűnik határgörbék segítségével a vályogépítés számára kedvező szemeloszlási tartomány kijelölése (8.1. pont).

### 7.2.2. A kövérség, kötöttség (az agyagtartalom mennyisége)

A talajok kötöttségét (kövérségét) a plasztikus index alapján osztályozzuk (4.4. pont). A vályog kövérségét annak agyagtartalmából származó kötőereje (húzószilárdsága) alapján határozták meg német kutatók.

A vályogot Pollack (7.1/a táblázat) és Niemeyer (7./b táblázat) a húzószilárdság függvényében osztályozta, amelyből a DIN 18952 (7.2. táblázat) Pollack eredményeit fogadta el.

| Vályogtípus   | Kötőerő (N/mm <sup>2</sup> ) |
|---------------|------------------------------|
| nagyon sovány | 0,005-0,007                  |
| sovány        | 0,007-0,011                  |
| kicsit sovány | 0,011-0,015                  |
| kicsit kövér  | 0,015-0,020                  |
| kövér         | 0,020-0,028                  |
| nagyon kövér  | 0,028-0,036                  |

a)

| Osztály        | Anyag                | N/mm <sup>2</sup> |
|----------------|----------------------|-------------------|
| Homok          | homok                | <0,003            |
|                | vályogos homok       | 0,003-0,005       |
| Sovány vályog  | nagyon sovány vályog | 0,005-0,008       |
|                | sovány vályog        | 0,008-0,011       |
| Közepes vályog | kicsit sovány        | 0,011-0,015       |
|                | közepesen kövér      | 0,015-0,020       |
| Kövér vályog   | kövér                | 0,020-0,027       |
|                | nagyon kövér         | 0,027-0,036       |
| Agyag          | sovány agyag         | 0,036-0,048       |
|                | kövér agyag          | 0,048-0,066       |
|                | nagyon kövér agyag   | 0,066-0,090       |

b.)

**7.1. táblázat:** A kötőerő változása a vályog kövérsége függvényében

a.) Pollack szerint [36]

b.) Niemeyer szerint [27]

| Vályogtípus         | Kötőerő (N/mm <sup>2</sup> ) |
|---------------------|------------------------------|
| sovány vályog       | 0,005-0,011                  |
| félkövér vályog     | 0,011-0,020                  |
| kövér vályog        | 0,020-0,028                  |
| nagyon kövér vályog | 0,028-0,036                  |

**7.2. táblázat:** A vályog kötőerő szerinti osztályozása a DIN 18952 szerint [34]

A vályog gyakorlatilag csak nyomásnak ellenálló építőanyag, kötőereje (tisza húzószilárdsága) jelentéktelen. Ezért, ha a henger alakú próbatest élnyomásra, ill. a hasáb alakú próbatest hajlításra tönkre megy, a törés gyakorlatilag a húzószilárdság kimerülése miatt jön létre. **Ezért javasolható a DIN 18952 szerinti bonyolult és költséges kötőerő meghatározás helyett a száraz technológiáknál alkalmazott henger alakú próbatest élmenti törővizsgálati eredményét, ill. a nedves technológiáknál alkalmazott hasáb alakú próbatest hajlító-húzó szilárdságát „kvázi” húzószilárdság vizsgálat néven bevezetni, ill. elfogadni (7.1.4. pont, 7.5. kép).**



**7.5. kép:** Kvázi húzószilárdság vizsgálat

- a.) hengeres próbatest élmenti nyomó
- b.) hasáb alakú próbatest hajlító-húzó szilárdságvizsgálóval

Általánosan elfogadott vélemény, hogy bár az agyagtartalom növekedésével nő a vályog szilárdsága, de nő a zsugorodása is. Ezért a vályogépítésre alkalmas vályogtalaj agyagtartalma – a tapasztalatok szerint – 5-15 % között kell legyen.

### 7.2.3. Víztartalom (keverővíz)

A vályog víztartalma a vályog minősítő jellemzőit leghatékonyabban befolyásoló tényező. Az építési technológia (száraz vagy nedves), ill. az elsődlegesen elérni kívánt tulajdonság (nagy szilárdság vagy kicsiny zsugorodás, ill. vízérzékenység) függvényében különböző vízmennyiséggel keverhető a vályog.

A különböző kötöttségű vályogokban más és más víztartalommal lehet ugyanazt az anyagi összefüggést létrehozni. Így a víztartalom még nem ad elegendő információt a vályog állapotról, ezért be kell vezetni a szabványos folyósság, ill. a konzisztencia fogalmát is, (7.1.3. pont).

#### 7.2.4. Konzisztencia, konzisztencia határok és -vizsgálatok

A vályoghabarcs minősége – szilárdsága, zsugorodása, ill. vízállósága – és bedolgozhatósága döntő módon függ a friss vályoghabarcs konzisztenciájától, ezért a vályogépítésben is be kell vezetni a konzisztencia határokat. Ezen határok rögzítéséhez, egységesíteni kell a konzisztencia vizsgálati módszereket. Erre célszerűen három lehetőség kínálkozik:

- a talajmechanikában vagy
- a habarcs technológiában meghonosodott, konzisztencia határok elfogadása, vagy
- új konzisztencia határok bevezetése.

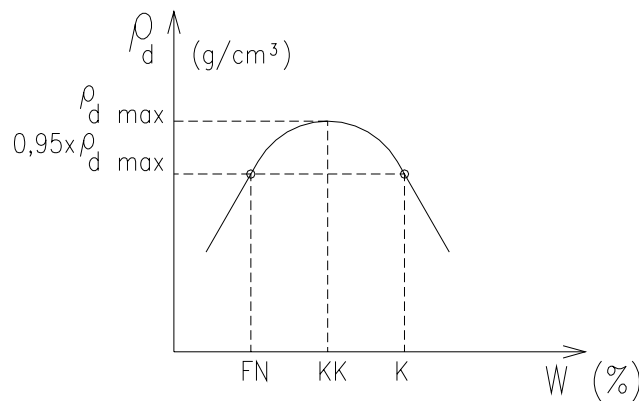
A talajmechanikában és a habarcs technológiában alkalmazott konzisztencia határok egymáshoz való viszonya a 7.3. táblázatban foglaltam össze.

| Talajmechanikai konzisztencia határok |  | Habarcs technológiai konzisztencia határok<br>MSZ 16000/2 |                       |                             |
|---------------------------------------|--|---|-----------------------|-----------------------------|
| konzisztencia megnevezés              | vizsgálat és mérőszám  | konzisztencia megnevezés                                  | terület mérőszáma(cm) | kúpsüllyedés mérőszáma (mm) |
| folyási határ                         | Casagrande vizsgálat-tal meghatározott víztartalom ( $w_f$ ) | önthető   | 26 fölött             | 120 fölött                  |
|                                       |  | folyós  | 21-26                 | 61-120                      |
| plasztikus határ                      | sodrasi vizsgálat-tal meghatározott víztartalom ( $w_p$ )    | képlékeny   | 15-20                 | 21-60                       |
|                                       |  | kissé képlékeny   | 12-14                 | max. 20                     |
| zsugorodási határ                     | térfogatállandósághoz tartozó víztartalom ( $w_{zs}$ )       | földnedves  | -                     | -                           |

#### 7.3. táblázat: A konzisztencia határok

A konzisztencia határok célszerű kijelölésének azonban vályogtechnológiai szempontok, ill. a vályog hátrányos tulajdonságainak figyelembevételével kell megtörténnie. Így az némileg eltér mind a talajmechanikában, mind a habarcs technológiában meghonosodott konzisztencia határoktól. A javasolt új konzisztencia határok a:

- földnedves (FN): a  $\rho_{dmax}$  95 %-hoz tartozó alsó víztartalommal kevert vályog konzisztenciája
- kissé képlékeny (KK): a  $\rho_{dmax}$  100 %-hoz tartozó víztartalommal kevert vályog konzisztenciája
- képlékeny (K): a  $\rho_{dmax}$  95 %-hoz tartozó felső víztartalommal kevert vályog konzisztenciája (7.3. ábra)



**7.3. ábra:** A száraz építési technológiák esetén alkalmazható földnedves és kissé képlékeny konzisztenciákhoz tartozó víztartalom kijelölése

- folyós (F): a Casagrande vizsgálattal meghatározott  $n = 25$  ejtegetési számhoz tartozó víztartalommal kevert vályog konzisztenciája
- önthető (Ö): a módosított Casagrande vizsgálattal meghatározott  $n = 20$  ejtegetési számhoz tartozó víztartalommal kevert vályog konzisztenciája

**Az FN, KK és K konzisztenciájú vályog – száraz technológia esetén – a bedolgozhatóság alsó határát, optimumát, ill. felső határát jelölik ki. Az F és az Ö konzisztenciájú vályog – nedves technológia esetén – a legkönnyebb bedolgozhatóságot, ill. a formázhatóság határát jelölik ki. Valamennyi konzisztencia határ vízszükséglete iterációs vizsgálattal határozható meg.**

### 7.2.5. Töltőanyag

Tapasztalatok szerint a különböző töltőanyagok (szalma-, sás- vagy nádtörek, állati szőr stb.) a vályog testsűrűségét csökkenti. Ez nyomószilárdság csökkenést okoz, de a vályog – talán leghátrányosabb tulajdonságait – az igen alacsony húzószilárdságát növeli, ill. a zsugorodását csökkenti.

### 7.2.6. Kémiai összetétel, ill. káros vegyületek

A vályogtalajok különböző, esetleg káros vegyi anyagokat tartalmazhatnak, amelyek helyi szemrevételezéses vagy laboratóriumi vizsgálattal kimutathatók.

#### *Ásványi szennyezők vizsgálata (színvizsgálat)*

A szín az agyag ásványi eredetéről árulkodik, ami az építőanyag szempontjából fontos lehet. Az elszíneződés leggyakoribb fajtái:

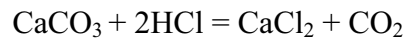
- vöröses-barna: vasoxid tartalomra utal, ami nagy szilárdságú vályogra enged következtetni,
- fehér és szürke: mész és kréta jelenlétére utal, ami szilárdságcsökkenést eredményez,
- zöldes-barnás szín: szervesanyag tartalomra utal, ami szilárdságcsökkenéshez vezet.

### *Szervesanyag-tartalom vizsgálata*

Közelítő vizsgálata szaglás útján történik. Frissen kitermelt vályog nem tartalmazhat organikus anyagokat, nem lehet kellemetlen illatú. Ha valami kétely merül fel, akkor laboratóriumi vizsgálattal kell meggyőződni a szervesanyag tartalomról. A 250 ml-es mérőhengerbe 130 ml légszáras anyagot kell betölteni, majd 200 ml-ig 3 %-os nátriumhidroxid oldattal feltölteni. Ha az összerázás majd 24 órás pihentetés után az oldat szintelen marad, vagy legfeljebb világossárgára változik, akkor a szervesanyag tartalom jelentéktelennek tekinthető, ha megbarnul, akkor célszerű más anyagot választani.

### *Mésztartalom vizsgálata (savpróba)*

A magas mésztartalom csökkenti a vályog szilárdságát, törékennyé teszi azt. Feltáráskor az anyag fehér, ill. világosszürke színéből lehet következtetni a mésztartalomra. A vizsgálathoz 20 %-os sósavat használunk. A próbaanyagra 20 %-os sósavat cseppentünk és a reakcióból következtetünk a vályog mésztartalmára. A magnéziumos agyag – amely szintén világos – nem reagál, a meszes agyag pezsgéssel reagál, mivel:



A reakció hevesége függvényében a következő megállapítások tehetők:

- nincs pezsgés → a mésztartalom 1 % alatt,
- enyhe pezsgés → a mésztartalom 1-2 %,
- jelentős pezsgés → a mésztartalom 2-4 %,
- erős pezsgés → a mésztartalom 4-5 %,
- azonnali erős pezsgés → a mésztartalom 5 % fölött.

Szerves szennyeződésű sötét vályogoknál a sósavpróba nem megfelelő, mivel a szervesanyagok is pezsgésbe jönnek a sósavtól, de nem tudjuk szétválasztani a pezsgés okát.

## **7.2.7. Építési technológia**

A vályogépítésben a megfelelő tömörség a minőség alapja. A tömörítés módja az építési technológia függvénye. Más-más módszerrel lehet a száraz, ill. a nedves technológiák esetén a relatív legnagyobb tömörséget előállítani.

### **7.2.7.1. Tömörség a száraz technológiák esetén**

A relatív tömörség vályog esetén nem értelmezhető, mivel  $e_{\max}$  (a leglazább állapot hézagtelezője) nem állítható elő, ezért csak a  $T_{ry} = \frac{\rho_d}{\rho_{d\max}}$  tömörségi fokkal lehet számolni.

A  $\rho_{d\max}$  a tömörítési – szélső értékkel bíró Proctor – görbéből nyerhető, amely a legkedvezőbb tömörítési víztartalmat adja.

### **7.2.7.2. Tömörség a nedves technológiák esetén**

A nedves technológiák – a képlékeny, a folyós és az önthető vályog – esetén a relatív legnagyobb tömörség a keverési víztartalom és a keverési idő helyes megválasztásával határozható

meg. Ha – technológiai okokból – nem a tömörítési optimumhoz tartozó optimális ( $w_{opt}$ ) víztartalommal tömörítjük a vályogot, hanem annál nagyobb, akkor a víztartalom és a nyomószilárdság közötti függvény lokális szélső értékkel bír (5.2. pont, 5.2. ábra). Így meghatározható az optimális keverővíz mennyisége. Ez egyben a legnagyobb vízállóságot biztosító víztartalommal közel megegyezik (4.8.2. pont, 4.16. ábra).

### 7.3. A vályog minősítő vizsgálatai

#### 7.3.1. A vályog térfogatállandóság (térfogattartóság) vizsgálata ( $\epsilon_{zsug}$ , $\epsilon_{duzz}$ )

A vályog **zsugorodásának**, ill. **duzzadásának** elsődleges oka az agyagfrakció víztartalomváltozás okozta térfogatváltozásának mértéke. A térfogatváltozást a vályog felszínére ható kapilláris erők idézik elő.

**Kiszáradás** folyamán, amikor már a szolvárvíz egy része is távozott ezek az erők elérnek egy maximumot, így a további zsugorodás  $\epsilon_{zs}$  megszűnik. Ez a zsugorodás végértéke (6.2.8.pont, 6.3. ábra).

**Felszíni nedvesedés** esetén, ha a felszín telítődik, a próbatest belsejébe beszorult levegő kapilláris nyomás alá kerül. Ettől a pórusokban levő nyomás a vályog szilárd vázszerkezetét „húzásra” veszi igénybe és ettől a vályog duzzadni  $\epsilon_{duzz}$  kezd (mindaddig, amíg meg nem reped).

A zsugorodás, ill. a duzzadás mértéke függ:

- a vályog kötöttségétől, azaz az agyagtartalomtól,
- az agyag fajtájától,
- a keverővíz tartalomtól,
- a bedolgozástól,
- az utókezeléstől (kiszáradás sebességétől).

A vályog térfogatállandóságát (zsugorodását, ill. duzzadását) a próbatestek (henger vagy hasáb) 0,1 mm-es pontosságú hosszmerése segítségével végezzük.

A **zsugorodást** az egy hétig tartó szárítás folyamán mérjük naponta, majd a súlyállandóságig való kiszáradás befejeztekor (6.3. ábra).

A **duzzadást** 100 %-os páratérben (exikátorban) tartott próbatesteken mérjük a próbatest kiszáradását követően egy hétig. A zsugorodás, ill. a duzzadás mértékét százalékban (%) adjuk meg.

#### 7.3.2. A vályog szilárdsági vizsgálata

A vályog szilárdságvizsgálatán a nyomószilárdság és a „kvázi” húzószilárdság vizsgálatát értjük. A vizsgálatokat száraz építési technológia esetén hengeres, nedves technológia esetén hasáb alakú próbatesteken végezzük (7.1.4. pont).

##### 7.3.2.1. Szilárdságvizsgálat hengeres próbatesteken (száraz technológia esetén)

A *nyomószilárdság* vizsgálata során három db henger alakú próbatesten egyirányú nyomószilárdság vizsgálatot végzünk. A nyomószilárdságot a három mérési eredmény átlaga adja.



A „kvázi” húzószilárdság vizsgálata során három db. henger alakú próbatestet élmenti nyomóvizsgálatnak vetünk alá. A „kvázi” húzószilárdságot a három mérési eredmény átlaga szolgáltatja.

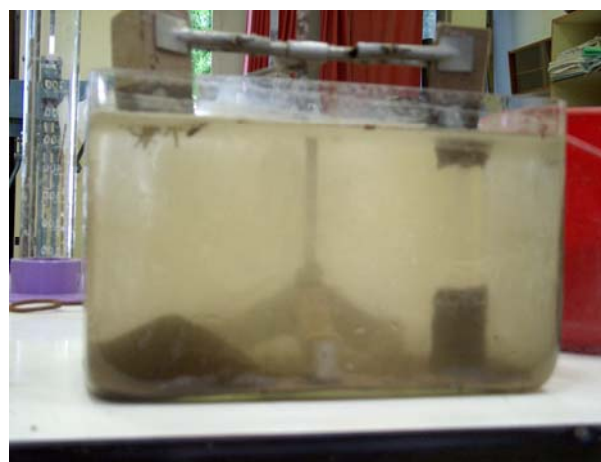
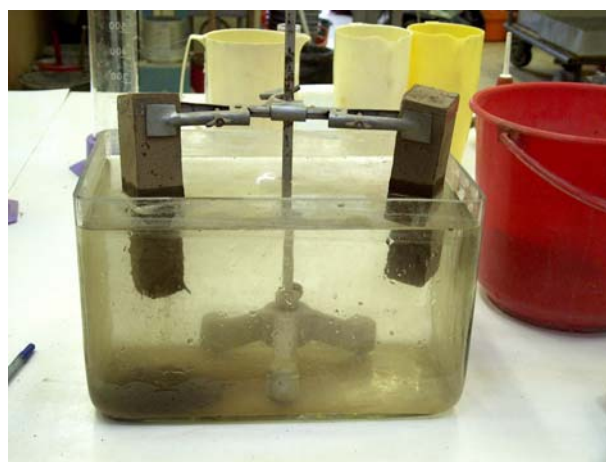
### 7.3.2.2. Szilárdságvizsgálat hasáb alakú próbatesteken (nedves technológia esetén)

Hasáb alakú próbatesteken a „kvázi” húzószilárdság, azaz a hasáb alakú próbatest hajlítószilárdság vizsgálatával kezdjük az eljárást. A hajlítóvizsgálatot a habarcstörő gépen kell elvégezni egy középen ható koncentrált erővel. Ennek eredményét a „kvázi” húzószilárdságot a három mérési eredmény átlaga adja.

A nyomószilárdság vizsgálatot a hajlítási vizsgálat során nyert hat darab félhasábon végezzük el. A nyomószilárdságot a hat mérési eredmény átlaga szolgáltatja.

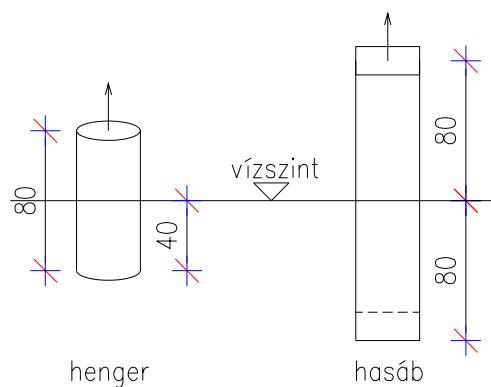
### 7.3.3. A vályog vízérzékenysége vizsgálat

A vízállóság meghatározására az építőanyag vizsgálatokban a vízlágyulási tényező fogalmát vezették be. Ez a vízzel telített és a teljesen kiszáritott anyag szilárdságának a hányadosa. Kívánatos, hogy a tartósan nedves környezetben levő építőanyagok vízlágyulási tényezője 0,8 legyen. Ez a feltétel tiszta – tehát nem stabilizált – vályog esetében nem teljesíthető. Ezért helyette – némi módosítással - a szétesési idő DIN 18952 szerinti mérésének bevezetése javasolható. Eszerint a vizsgálandó próbatesteket (henger vagy hasáb) úgy kell egy kísérleti állványra felfüggeszteni, hogy az alsó 50 mm-es vége vízbe lógjon (7.4. ábra) *Mi a próbatest (henger vagy hasáb) felét lógattuk vízbe, mert a szem szimmetria érzékenysége miatt ez mérés nélkül is elvégezhető* (7.6. kép).



7.6. kép: Vízérzékenység vizsgálat

Bármely típusú próbatestnél két különböző esetet különböztetünk meg: a próbatestek elszakadását vagy eliszapolódását. A vizsgálat mérőszáma az eliszapolódáshoz vagy elszakadáshoz szükséges idő.



**7.4. ábra:** Vályog próbatestek eliszapolása állóvízben

A vizsgálatból a DIN 18952 szerint az alábbi eredmények vonhatók le:

- ha a tönkremenetel eliszapolódás, akkor sovány, vízérzékeny, míg
- ha a tönkremenetel elszakadás, akkor félkövér, kövér vagy nagyon kövér, azaz kevésbé vízérzékeny a vályog.

*Tovább finomítva a kiértékelést azt mondhatjuk, hogy:*

$t < 45$  perc  $\Rightarrow$  igen vízérzékeny, a vályog csak védőbevonattal alkalmazható biztonsággal,

$45$  perc  $< t < 60$  perc  $\Rightarrow$  kevésbé vízérzékeny, építésre alkalmas,

$t > 60$  perc  $\Rightarrow$  tiszta – nem stabilizált – vályog esetén nagyon kövér vályogra utal, ezeknél a térfogatállandóságot igen gondosan kell megvizsgálni.

## 8. A VÁLYOG MINŐSÍTŐ TULAJDONSÁGAINAK OPTIMALIZÁLÁSA

A vályog előállítása során elsődleges célunk relatív nagy szilárdságú, kicsiny zsugorodású és vízerzékenységű építőanyag előállítása, ill. annak minősítése. Ez az egységes minősítő vizsgálati rendszer segítségével (7. pont) már elvégezhető.

A laboratóriumi vizsgálataink során az újkígyósi vályogot, ill. annak ötféle (10...50 %-os agyagosföld), valamint a Wienerberger téglagyár téglalapanyag keverékét vizsgáltuk. **A vizsgálatok során minden értékpárt (pontot) három mérés átlagából számítottuk ki.**

A vályog minősítő tulajdonságait alapvetően :

- szemeloszlása,
- agyagfrakciója (típusa, mennyisége),
- keverővize (mennyisége),
- töltőanyaga (típusa, mennyisége),
- építési technológiája (száraz vagy nedves), ill. bedolgozása (tömörítés módja és mértéke) és utókezelése (kiszáradás sebességének szabályozása) határozza meg.

### 8.1. A vályog optimális szemeloszlási tartományának meghatározása

Fenti cél eléréséhez a saját anyagaink mellett megvizsgáltuk:

- a földutak építésére [20],
- a habarcskészítésre [29],
- az égetett agyagtéglák [38], ill.
- az eddigi tapasztalatok szerint vályogépítésre [39]

alkalmas anyagok szemeloszlási görbéit. Ezek egy ábrában való összerajzolásával kellő pontossággal kijelölhető az a tartomány, amely vályogépítésre alkalmas anyagot jelöl (8.1. és 8.2. ábra). Az ábrát elemezve az alábbi javaslatok tehetők:

- a tartomány alsó határának kijelölésére alkalmas közelítést ad a földutak mechanikai stabilizációjának szemeloszlási határgörbéi közül az ágyazat építésére alkalmas szemeloszlási tartomány felső határoló vonala azzal a feltétellel, hogy szilárdsági okból a  $d_{\max}$  értékét, térfogattartóság érdekében az agyagtartalmat maximalizálni kell [20];
- fenti határvonal pontosítható az útépítésben elfogadott Fuller-parabola Boemans (1989.) [40] javaslatával, amely 10 %-os minimális agyagtartalmat követel meg:

$$a = 90 \sqrt{\frac{d}{D}} + 10;$$

- ***A mi vizsgálataink szerint megfelelő talajstabilizáció esetén 5 %-os minimális agyagtartalomig le lehet menni, tehát az alkalmazhatóság alsó határát az:***

$$a = 95 \sqrt{\frac{d}{D}} + 5$$

***egyenletű parabola határozza meg.***





- az ismert vályog szemeloszlási görbék az égetett agyagtéglák szemeloszlási tartományának alsó határgörbáját fogják közre. Tehát a vályogépítésre alkalmas anyagok szemeloszlási tartományát felülről az égetett agyagtéglák előállítására alkalmas tartományt felező görbével javaslom kijelölni. Ez matematikailag közelítve az általam módosított Fuller-parabola 180°-os elforgatásával nyerhető! (8.1. ábra)

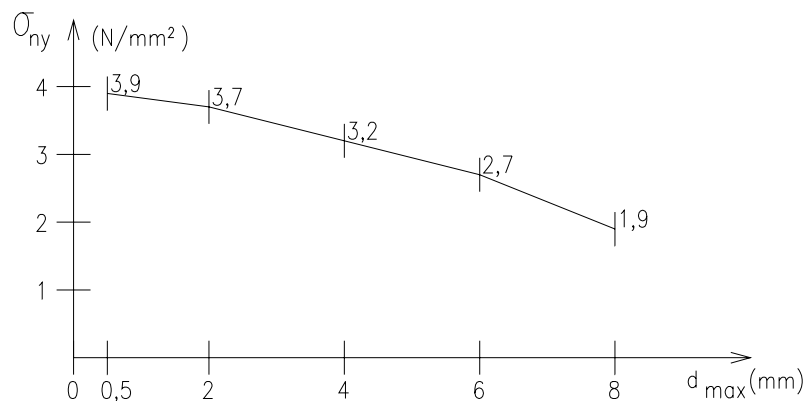
Ezen határokon belül általánosan elfogadott elvek, hogy:

- a  $d_{\max} < 4$  mm,
- a vályog agyagtartalma 5-15 % között,
- az egyenlőtlenségi együtthatója  $U > 5$ ,
- a szemeloszlás arányos és egyenletes eloszlású legyen, és
- ne legyen frakcióhiányos (lépcsős) a szemeloszlási görbe.

### 8.1.1. A szemcseméret maximalizálása

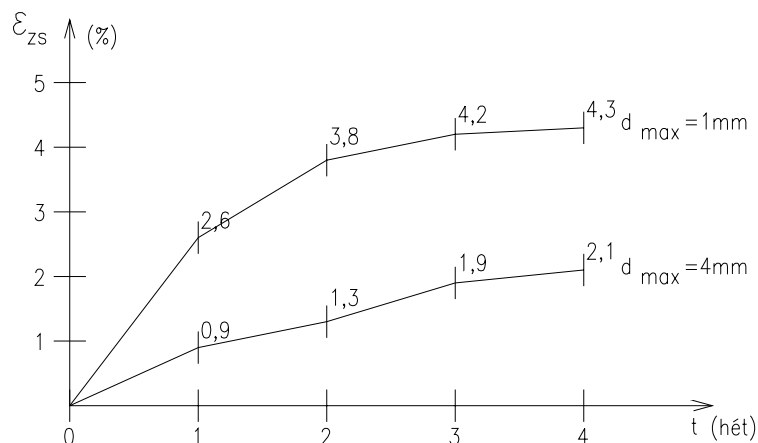
A szemeloszlási görbék vizsgálata során feltűnt, hogy a vályogépítésnek megfelelő anyagokban igen kicsiny a  $d > 0,5$  mm-es szemcsetartomány. Ezen tartományban a  $d > 4$  mm-es frakció már durva szemcsének számít. Ezért vizsgálatot végeztem  $d_{\max} > 4...6...8$  mm-es maximális szemmagyságú vályogokkal. Ezt az anyagot a kövér újkígyósi vályogból 4...6...8 mm-es maximális szemmagyságú finom kavics hozzákeverésével állítottam elő. Ezen keverékeknek a szemeloszlási görbéje az égetett agyagtéglák alsó határológörbéjéhez volt hasonló, azzal a különbséggel, hogy  $d_{\max} = 4...6$ , ill. 8 mm volt (8.1. ábra).

**Ezen anyagból előállított hengeres próbatesteken végzett kísérletek során azt tapasztaltam, hogy a maximális szemcsemagyság növelésével a vályog próbatestek nyomószilárdsága szignifikánsan csökkent (8.3. ábra).**

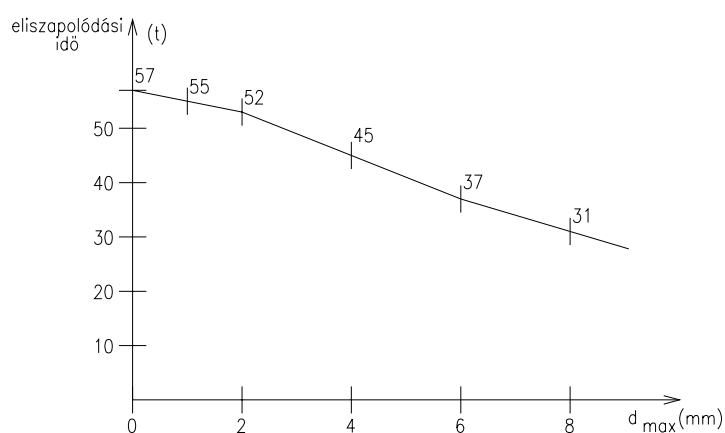


8.3. ábra: A szilárdság és a maximális szemmagyság kapcsolata

**A vizsgálataink során megfigyeltük, hogy a  $d_{\max}$  növelése hatással van a térfogat állandóságra és a vízerzékenységre is. A  $d_{\max}$  növelése csökkentette a zsugorodás végértékét (8.4. ábra). Egyidejűleg csökkentette az eliszapolódás idejét, azaz növelte a vályog vízerzékenységet (8.5. ábra).**



**8.4. ábra:** A  $d_{\max}$  hatása a zsugorodásra



**8.5. ábra:** A  $d_{\max}$  hatása a vízérzékenységre

A finom frakció biztosította felületi kötés a durvább szemcséknél már alig érvényesül, ezért csökken a  $d_{\max}$  növekedése esetén a vályog szilárdsága. A szemcsenagyság maximális értékének meghatározása érdekében további vizsgálatokat végeztünk egy-egy nagyobb egyedi szemcsének a  $d_{\max} = 1$  mm-es alaphalmazba való keverésével (8.1.2. pont).

### 8.1.2. Egyedi durva szemcsék vizsgálata

A vizsgálatok során azt tapasztaltuk, hogy a vályogépítésre alkalmas szemeloszlású újkígyósi anyagba – annak maximális szemnagyságát lényegesen meghaladó egy-két nagyobb szemcse belekeveredése – a szilárdságot jelentősen rontja és a törési felület szinte mindig érinti a szemcsét. Ennek vizsgálatára mind száraz-, mind nedves eljárással (hasáb-, ill. henger alakú) próbatesteket készítettünk. A 7. fejezetben leírt módon elvégzett nyomóvizsgálatok szerint a  $d_{\max} = 1$  mm-es újkígyósi vályogba kevert 2-8 mm-es kavicszemcsék esetén az alábbiakat tapasztaltuk:

- $2 < d < 4$  mm-es kavics esetén a törési felületek 0-17 %-a (3 db-ból 0; ill. 6 db-ból 1 b),
- $4 < d < 6$  mm-es kavics esetén a törési felületek 17-33 %-a (3 db-ból 1, ill. 6 db-ból 1-2 db), ill.
- $6 > d > 8$  mm-es kavics esetén a törési felületek 67-100 %-a (3 db-ból 2-3 db, ill. 6 db-ból 5-6 db) a kavicson keresztül ment a törési felület.

Megállapítható, hogy a  $d > 4$  mm-nél nagyobb szemcsék igen gyakran esnek a törési felületbe (8.1. kép).



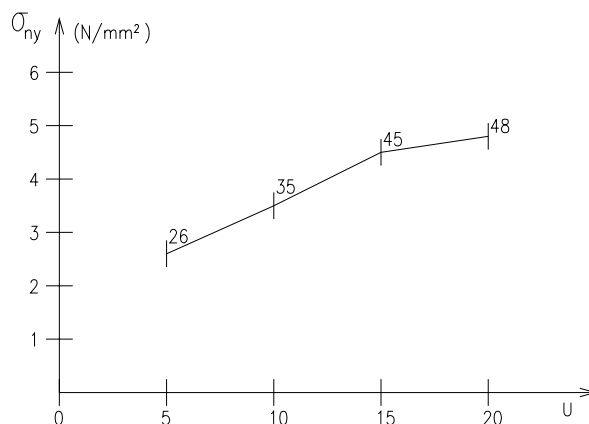
8.1. kép: Durva szemcsén ( $d > 4$  mm) áthaladó törési felület

*Fentiek alapján kimondható, hogy a vályoghoz keveredő  $d > 4$  mm egyedi szemcse helyi feszültségcsúcsot hoz létre, amely igen erősen lerontja annak szilárdságát. Tehát a vályogok maximális szemnagyságát 2-4 mm-ben kell korlátozni.*

*Tapasztalataink szerint az egyedi durva szemcsék nincsenek hatással a térfogattartóságra és a vízállóságra.*

### 8.1.3. A graduáltság, egyenletesség és frakcióhiány hatása

A graduáltság, az egyenletesség, ill. a frakcióhiány (lépcsős eloszlás) nyomószilárdságra való hatását mind a talajmechanikában, mind az építőanyagokban már bizonyították, ezért ezt nem kell külön igazolni. Bizonyítás nélkül állítható, hogy  $\sim 5 \dots 10 < U < \sim 20 \dots 30$  egyenlőtlenégi együtthatójú, lépcsőmentes szemeloszlású anyag alkalmas lehet vályogépítésre (8.6. ábra).



8.6. ábra: Tapasztalati összefüggés az U és a  $\sigma_{ny}$  között [20]

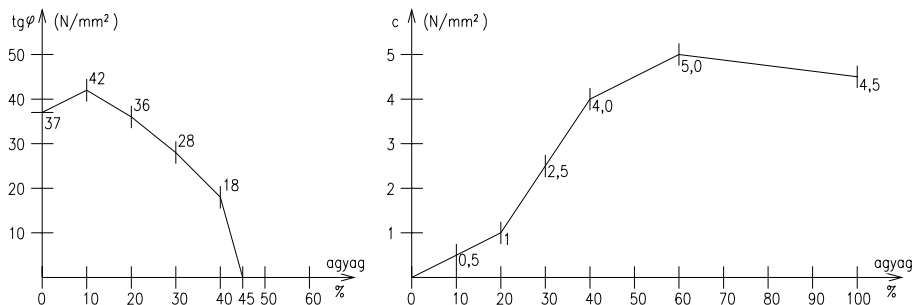


A graduáltság, egyenletesség, ill. frakcióhiány a tömörséget, ill. a tömöríthetőséget befolyásolja. A vályog valamennyi minősítő tulajdonságát pedig igen jelentősen befolyásolja a tömörség. Fentiek alapján kimondható, hogy a szemeloszlás közvetve hatással van a vályog térfogat állandóságára és vízérzékenységére is.

## 8.2. Az agyagfrakció hatása a vályog minősítő tulajdonságaira

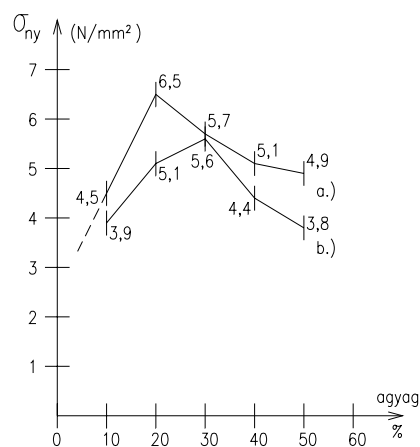
### 8.2.1. Az agyagtartalom hatása a szilárdságra

A vályog szilárdságát annak agyagtartalma biztosítja. Az agyagtartalom növelése egy darabig mind a belső súrlódás ( $tg\varphi$ ), mind a kohézió ( $C$ ) növekedését, majd bizonyos határ felett azok csökkenését vonja maga után (8.7. ábra). Tehát az agyagtartalom, ill. az egyirányú nyomószilárdság közötti kapcsolat szélsőértékkel bír.



8.7. ábra: Az agyagtartalom és a belső súrlódás ill. a kohézió kapcsolata [35]

Az előzőekben elmondottakat az újkígyósi vályoggal és annak 10...50 %-os agyagos keverékével végzett kísérleteink is igazolták. Próbatesten végzett vizsgálataink szerint a 20-30 % közötti agyagosföld vályogkeverék adta a maximális nyomószilárdságot (8.8. ábra). (Ennek gyakorlati haszna a keverés költségnövelő hatása miatt sokszor kicsiny).

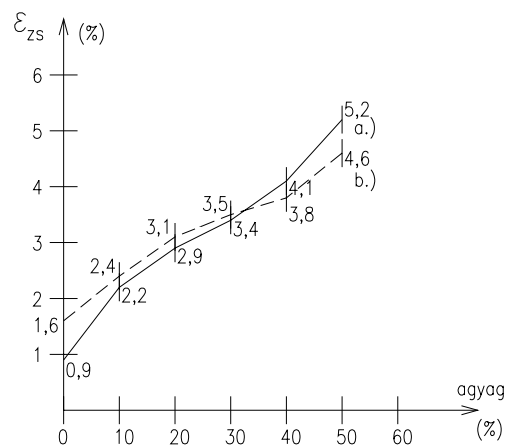


8.8. ábra: A kövérítés hatása a nyomószilárdságra  
a.) préselt hengeres-, ill.  
b.) öntött hasáb próbatesten

### 8.2.2. Az agyagtartalom hatása a térfogattartóságra

A vályog térfogatváltozását vízfelvétel, ill. vízleadás okozza. A vályog alkotói – homok, iszap és agyag – vízfellevő, ill. -leadó képessége igen eltérő. Az agyag vízfellevő képessége sokkal nagyobb, mint a homoké, azonban az agyag típusától függően is igen jelentős lehet az eltérés (4.11. ábra).

Az eddigiek alapján kimondható, hogy a vályog térfogattartósága – zsugorodása, ill. duzzadása – az agyagtartalmától függ. Saját méréseink is ezt igazolták. Az újkígyósi vályog, ill. annak 10 és 50 %-os agyagosföld keverékeinek, valamint a Wienerberger téglalapanyagának zsugorodásvizsgálata során azt tapasztaltuk, hogy négy hét után a zsugorodási eredményeket felrakva az is kimondható, hogy a **0, 10, ill. 20 %-os keverékek zsugorodásának végértékeit összekötve konvergenciát, míg a 30, 40 ill. 50 %-os keverékek zsugorodásának végértékeit összekötve divergenciát tapasztalunk (8.9. ábra). Amely vályogok zsugorodása konvergenciát mutat, azok a kiszáradás során nem repednek meg, míg azok, amelyeké divergenciát mutat, megrepednek. Tehát van egy olyan ún. kritikus agyagtartalom ( $a_{krit}$ ) – a függvény inflexiós pontja -, amely fölött a vályog – a leggondosabb utókezelés esetén is – megreped.** (A zsugorodás végértékén mindig az 1. hét végén mért eredményt értjük.)



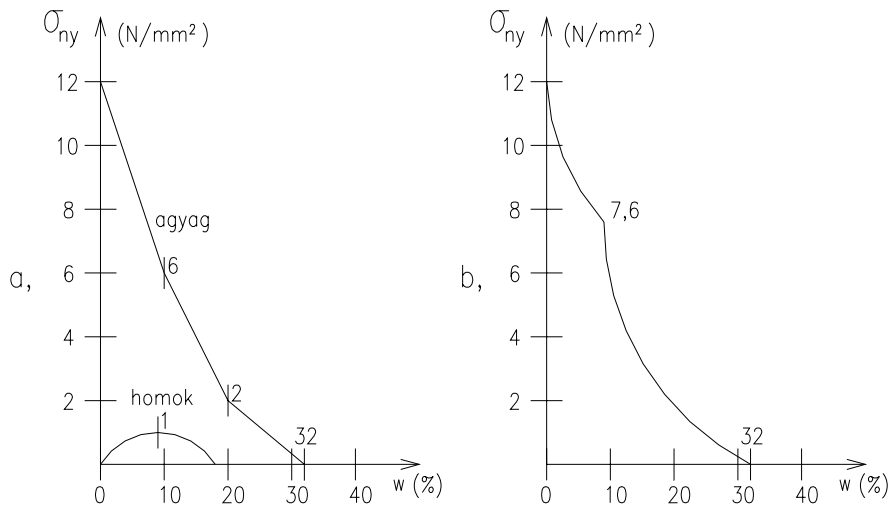
**8.9. ábra:** A különböző keverékek zsugorodása  
a.) préselt hengeres, ill.  
b.) öntött hasáb próbatesteken

### 8.2.3. Az agyagtartalom hatása a vízérzékenységre

A vályog – az építőanyagok vizsgálatokban alkalmazott kifejezéssel élve – nem vízálló, ezért az építőanyagok körében meghonosodott „vízállóság” fogalma helyett a vályog esetében a vízérzékenység fogalmát vezettük be (7.3.3. pont).

A vályog víztartalma és nyomószilárdsága között egyértelmű kapcsolat van. A víztartalom növekedésével rohamosan csökken a szilárdság.

A vályogalkotó homok és agyag szilárdságának víztartalom függvényében bekövetkező változásában igen jelentős eltérés figyelhető meg (8.10./a. ábra).



**8.10. ábra:** A nyomószilárdságnak változása  $w$  függvényében  
a.) homok és agyag, [20]  
b.) vályog

Ezen két alkotó arányaitól függően alakul ki a vályog szilárdságváltozása a víztartalom függvényében (8.10./b. ábra). A homok látszólagos kohézióból származó igen csekély szilárdsága viszonylag alacsony víztartalomnál megszűnik és utána már csak az agyagfrakció bír némi szilárdsággal. Fentiek alapján kimondható, hogy a vályog vízérzékenysége az agyagtartalom növekedésével csökken.

*Ez az újonnan bevezetett vízérzékenység vizsgálat szellemében azt jelenti, hogy az agyagtartalom növelésével az eliszapolódáshoz vagy az elszakadáshoz szükséges idő nő.*

Méréseink során alapvetően két csoportot lehetett megkülönböztetni:

- az eliszapolódó és
- az elszakadó próbatesteket.

A mi vizsgálataink során a 0...10, ill. 20 %-os keverékvályogból készült próbatestek eliszapolódtak, a 30...40...50 %-os, valamint a Wienerberger alapanyagból készült próbatestek elszakadtak.

Az eliszapolódási-ideő rendre kevesebb volt, mint 30' (13', 18', 25'). A 30...40 és 50 %-os keverékekből készült próbatestek elszakadásához szükséges idő rendre több volt, mint 30' (31', 45' és 57'), a Wienerberger téglalapanyagoké 45', 60' és 71'.

**Fentiek alapján definiáljuk:**

- az eliszapolódó vályogot vízérzékenynek nevezzük, ( $t < 30'$ ) a vályog építésre nem alkalmas,
- az elszakadó vályogot kevésbé vízérzékeny vályognak nevezzük, építésre alkalmas.

A kevésbé vízérzékeny vályogok a DIN 18952 (7.3.3. pont) kis módosításával tovább osztályozhatók. Ha a próbatestek elszakadásai ideje:

- $30' < t < 45'$  a vályog csak védőbevonattal alkalmazható,
- $45' < t < 60'$  a vályog építésre alkalmas,
- $t > 60'$  a vályog térfogattartósságát – nem stabilizált vályog esetén – gondosan meg kell vizsgálni.

Tehát az általunk vizsgált újkígyósi vályogkeverékek közül a 0, 10 és 20 %-os keverékek vízérzékeny, míg a 30, 40 és 50 %-os keverék és a Wienerberger téglalapanyag kevésbé vízérzékeny anyag.

### 8.3. A keverővíz hatása a vályog minősítő tulajdonságaira

#### 8.3.1. A keverővíz hatása a szilárdságra

A keverővíz adagolásakor a vályognak csak ún. „zöld” szilárdsága van. A kiszáradás után nyert kötőerő biztosítja a vályog egyirányú nyomó-, ill. a „kvázi” húzószilárdságát. Tehát számottevő szilárdsága csak a kiszáradt vályognak van (8.10./b. ábra).

A keverővíz mennyisége a pórustartalmon keresztül befolyásolja a vályog szilárdságát. Minél nagyobb a keverővíz mennyisége, annál nagyobb lesz a megszilárdult vályog pórustartalma.

A pórustartalom két részből tevődik össze, a friss habarcs elégtelen tömörítéséből származó pórustartalmából ( $V_\ell$ ) és a keverővíz kiszáradásából visszamaradt pórusokból ( $V_v$ ).

Kísérleteink szerint a friss vályoghabarcs pórustartalma a konzisztencia függvényében változott. A száraz technológiával készült vályoghabarcsoké 5-7 %, míg a nedves technológiával készült vályoghabarcsoké 3-4 % volt. A keverővíz tartalom (száraz technológia esetén 8-12 %, nedves technológiánál 20-30 %) a vályog kötőerejét biztosító kiszáradás után gyakorlatilag pórusná alakult.

Így a habarcs teljes pórustartalma :  $p = V_\ell + V_w(\%)$

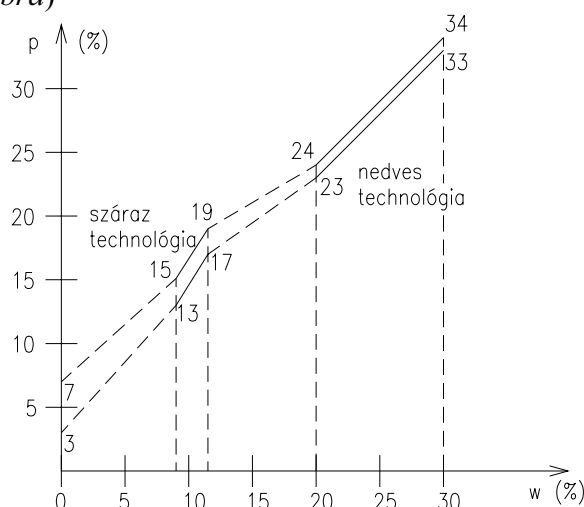
A mi vizsgálataink szerint a száraz technológiával készített próbatesteknek, amelyeknek a keverővíz tartalma 8-12 % között változott a pórustartalma:

$$5 \div 7 + 8 \div 12 = 13-19 \%,$$

a nedves technológiánál készült próbatesteknek, amelyeknek a keverővíz tartalma 20-30 % között változott a pórustartalma:

$$3 \div 4 + 20 \div 30 = 23-34 \%$$

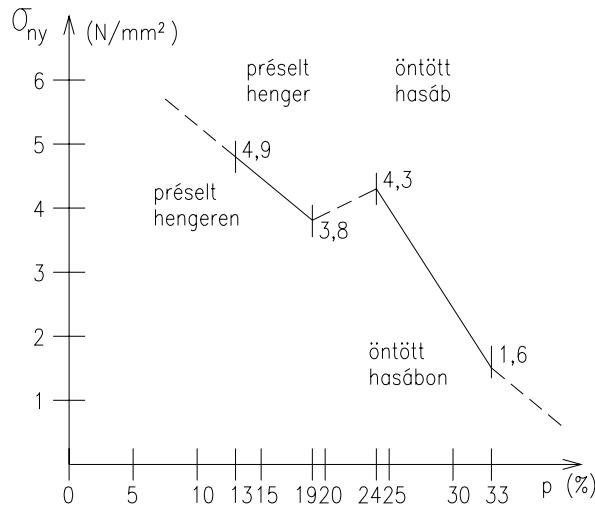
között változott (8.11. ábra)



8.11. ábra: A keverővíz mennyiségének hatása a pórustalomra

A pórustartalom a szilárdsággal fordítottan arányos (5.2. pont). Tehát nagy pórustartalomhoz kicsiny, míg kis pórustartalomhoz relatív magas szilárdsági érték tartozik.

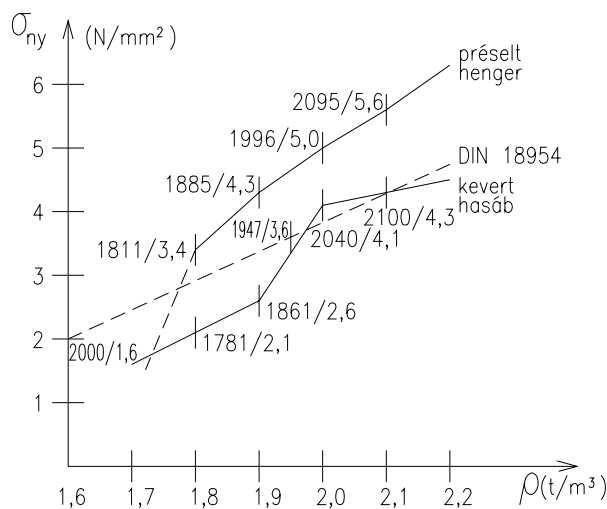
Különböző pórustartalmú vályog szilárdságát megvizsgálva azt tapasztaltuk, hogy (13-33  $\cong$  20 %) pórustartalom növekedés mellett a vályog szilárdsága kb. a harmadára csökkent (8.12. ábra).



8.12. ábra: A pórustartalom hatása az egyirányú nyomószilárdságra

Az ábra alapján az is kimondható, hogy a száraz technológiáról a nedves technológiára való áttérés először egy jelentős szilárdsági növekedést eredményez, de a továbbiakban gyorsuló ütemű romláshoz vezet.

A pórustartalom növekedésével járó szilárdságcsökkenést a pórustartalom (P) – testsűrűség ( $\rho_t$ ) közötti fordított arány is igazolja, hiszen minél nagyobb a pórustartalom (P), annál kisebb testsűrűség ( $\rho_t$ ) és minél kisebb  $\rho_t$ , annál kisebb az egyirányú nyomószilárdság ( $\sigma_{ny}$ ) (8.13. ábra).



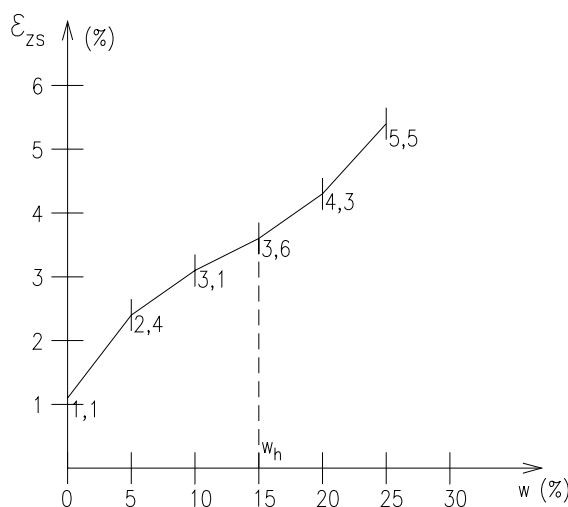
8.13. ábra: A testsűrűség változás hatása az egyirányú nyomószilárdságra

A testsűrűség ( $\rho_t$ ) és a nyomószilárdság ( $\sigma_{ny}$ ) a DIN 18 954 szerint rögzített viszonyát a 8.13. ábrába berajzoltuk. Látható, hogy a mi mérési eredményeinkkel – a biztonság javára – igen jó egyezést mutat.

*Ezért, ha a technológia lehetővé teszi a lehetséges legnagyobb testsűrűség ( $\rho_{dmax}$ ) eléréséhez szükséges víztartalmat ( $w_{opt}$ ) kell – Proctor-vizsgálattal – meghatározni. Ez az optimális keverővíz tartalmat adja, amely az anyagot a mi osztályozásunk szerint a kissé képlékeny konzisztencia osztályba sorolja. Technológiai vagy egyéb okok miatt ennél magasabb keverővíz tartalom, ill. konzisztencia osztály is alkalmazható (7.2. pont).*

### 8.3.2. A keverővíz hatása a térfogattartóságra

A keverővíz mennyisége – a lehetséges legjobb tömörítés mellett is – igen erősen hat a vályog térfogattartóságára, azaz zsugorodására és duzzadására. A zsugorodás végértéke a keverővíz mennyiségének növelésével nő. *Saját tapasztalatok szerint a különböző víztartalommal készített vályogok zsugorodása egy bizonyos keverővíz mennyiségéig konvergens, míg ezen víztartalom fölött divergens, tehát a függvénynek inflexiós pontja van (8.14. ábra). Amely vályogok zsugorodása konvergenciát mutat, azok a kiszáradás során nem repednek meg, míg azok, amelyeké divergenciát mutat, megrepednek. A kettő közötti víztartalmat határvíz tartalomnak ( $w_h$ ) nevezzük. (A zsugorodás végértékén mindig az 1. hét végén mért eredményt értjük. (7.3.1. pont))*



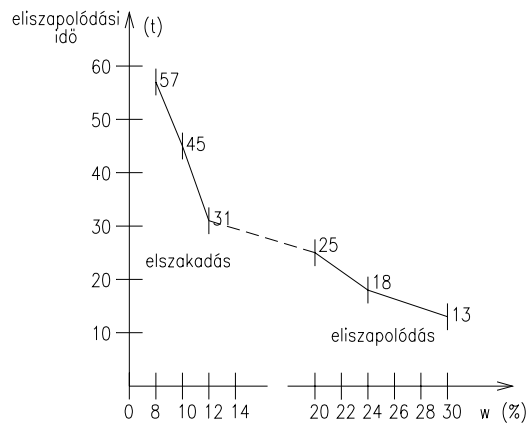
8.14. ábra: A víztartalom hatása a térfogattartóságra

A jelenség igen hasonlít az agyagtartalom-zsugorodás kapcsolatában tapasztaltakhoz (8.2.2. ábra).

### 8.3.3. A keverővíz hatása a vízerzékenységre

Vizsgálataink szerint a keverővíz mennyisége erősen befolyásolja a vízerzékenységet is. A különböző víztartalommal készített próbatestek eliszapolódásához, ill. elszakadásához szükséges idő a keverővíz tartalom növekedésével rohamosan csökken, azaz a vályog vízerzékenysége nő (8.15. ábra). Az ábrán az is megfigyelhető, hogy az ideális tömörítéshez

szükséges víztartalom ( $w_{opt}$ ) környezetében az eliszapolódási idő nagyon érzékeny a víztartalom változásra. Tehát a száraz technológiával készülő vályogok nagyobb technológiai figyelmet követelnek meg.



**8.15. ábra:** A próbatestek eliszapolódásának, ill. elszakadásának időszükséglete a keverővíz tartalom függvényében

Valószínű, hogy itt is a pórustartalom hatása érvényesül a kapillaritáson keresztül. A nagyobb keverővíz tartalom több pórust eredményez. A nagyobb pórustartalom nagyobb kapillaris aktivitást eredményez, ami gyorsabb eliszapolódáshoz vagy szakadáshoz vezet.

#### 8.4. A töltőanyagok hatása a vályog minősítő tulajdonságaira

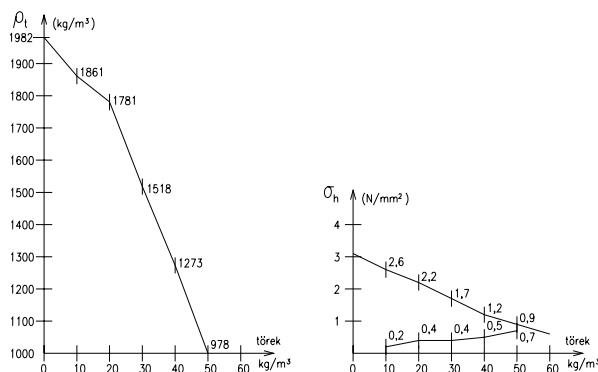
Alapvetően kétféle töltőanyagot alkalmazhatunk:

- hagyományos szerves rostokat (törek, szőr), ill.
- műanyag – polietilén (PE)-szálakat.

##### 8.4.1. A töltőanyagok hatása a szilárdságra

A tapasztalat és a vizsgálatok kimutatták, hogy a szerves rostok (a mi vizsgálatunkban 5 cm-es szálhosszúságú szalmatörek) igen jelentős mértékben – a vályog testsűrűségének csökkenése arányában – rontják annak egyirányú nyomószilárdságát és piciny mértékben növelik a húzó, ill. a „kvázi” húzószilárdságát. Tehát magas nyomószilárdsági követelmények esetén elvileg zérus töltőanyag mennyiség a megfelelő. Azonban a vályog repedésérzékenysége miatt egy kis töltőanyag hozzákeverése szinte elengedhetetlen. A kísérleteink eredménye a 8.16. ábrán látható.

| törek<br>kg/m <sup>3</sup> | $\rho_t$<br>kg/m <sup>2</sup> | $\sigma_{ny}$<br>N/mm <sup>2</sup> | $\sigma_h$<br>N/mm <sup>2</sup> |
|----------------------------|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| 0                          | 1982                          | 3,7                                | 0,2                             |
| 10                         | 1861                          | 2,6                                | 1,3                             |
| 20                         | 1781                          | 2,2                                | 1,4                             |
| 30                         | 1518                          | 1,7                                | 1,4                             |
| 40                         | 1273                          | 1,2                                | 1,5                             |
| 50                         | 978                           | 0,9                                | 1,7                             |



8.16. ábra: a.) – a testsűrűségre  
b.) – a szilárdságra

A különböző törekadagolású vályogból készített, különböző testsűrűségű préselt vályog próbatestek nyomószilárdsága – az értékeket kerekítve – 8.1. táblázat szerint alakult.

| Adagolás<br>kg/m <sup>3</sup> | $\rho_{test}$ | $\sigma_{ny}$ (N/m <sup>2</sup> ) | $\sigma$ „húzó” |
|-------------------------------|---------------|-----------------------------------|-----------------|
| 0-10                          | 1800-2000     | 2,6-3,7 $\bar{x} = 3,0$           | 0,25            |
| 20-30                         | 1500-1800     | 1,7-2,1 $\bar{x} = 2,0$           | 0,4             |
| 40-50                         | 1000-1500     | 0,9-1,2 $\bar{x} = 1,0$           | >0,6            |

8.1. táblázat: A testsűrűség és a nyomószilárdság közti összefüggés

A „kvázi” húzószilárdság és a nyomószilárdság aránya ~1:2 – 1:12 között változott.

Minke vizsgálatai [42] szerint a testsűrűség és a nyomószilárdság a törek adagolása függvényében az alábbiak szerint változik (8.2. táblázat).

| Szalmatörek<br>adagolás (%) | Testsűrűség<br>kg/m <sup>3</sup> | Nyomószilárdság<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------------|---|
| 0                           | 1882                             | 2,2                                     |
| 1                           | 1701                             | 1,4                                     |
| 2                           | 1571                             | 1,3                                     |
| 4                           | 1247                             | 1,1                                     |
| 8                           | 872                              | 0,3                                     |

8.2. táblázat: A testsűrűség – nyomószilárdság változása a törekadagolás függvényében [42]

A %-ban adott törekadagolást tömegre átszámítva kerekben: 19, 38, 76, ill. 152 kg/m<sup>3</sup>. A két táblázat összevetéséből megállapítható, hogy jó egyezést mutat.

**A DIN 18952 a teherhordó vályog minimális testsűrűségére  $\rho_{min} = 1800$  kg/m értéket ír elő. Minke és a saját kísérleteink alapján ez a DIN előírás átvehető, de célszerű kiegészíteni azzal, hogy teherviselő vályog rostadagolása 10-30 kg között legyen.**

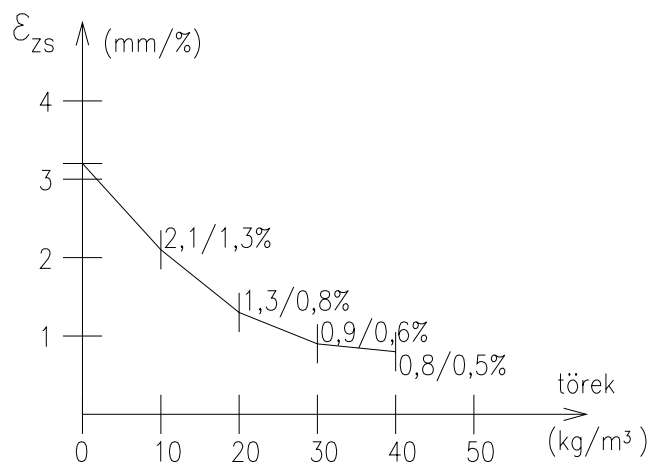
**A vályog esetleges korszerűsítése érdekében kísérleteket végeztünk  $\varnothing 0,5$ ; 1,0 és 1,5 m vastag műanyag (PE) szálakkal. Azt tapasztaltuk, hogy a műanyag szálak kevésbé csökkentették a vályog testsűrűségét, mint a szalmatörek. Ennek ellenére az egyirányú nyomószilárdság**



ságot, és különösen a kvázi húzószilárdságot kifejezetten lerontották. Ezért műanyag-szálerősítésű vályog készítése nem javasolható.

#### 8.4.2. A töltőanyagok hatása a térfogattartóságra

A 8.1. táblázatban felsorolt adagolású próbatesteken a törést megelőzően alakváltozás (zsugorodás) mérést végeztünk. Az 1. hét végén mért rövidüléseknek grafikonba történt felrakásából látható, hogy *a zsugorodás mértéke a törek adagolástól lelassult, de 30-40 kg/m<sup>3</sup> adagolás után már nem hatékony (8.17. ábra)*. Tehát kimondható, hogy a törek adagolása 30 kg/m<sup>3</sup> érték felett gyakorlatilag hatástalan a zsugorodásra.



8.17. ábra: A szalmatörek hatása a zsugorodásra

#### 8.4.3. Töltőanyagok hatása a vízerzékenységre

Szalmatörek és PE műszál adagolású próbatesteken vízerzékenység vizsgálatokat végeztünk. *A vizsgálataink szerint a vízerzékeny vályogoknál az eliszapolódást a szalmatörek adagolás nem lassította, a műanyagszál adagolás kimondottan gyorsította. Az elszakadó, tehát kevésbé vízerzékeny vályogok leszakadási idejét a műanyagszál adagolás kicsit gyorsította, a szalmatörek egy kicsit lassította, de nem volt jelentős hatásuk.*

#### 8.5. Az építéstechnológia hatása a vályog minősítő tulajdonságaira

Az építéstechnológia a vályog minősítő tulajdonságait alapvetően három ponton képes befolyásolni, ezek

- a bevitt keverővíz mennyiségével (száraz vagy nedves),
- a fel-, ill. bedolgozással (keverés, tömörítés), ill.
- az utókezeléssel (a kiszáradás időbeni lefolyásának szabályozásával).

### 8.5.1. A bevitt keverővíz hatása a vályog minősítő tulajdonságaira

A 8.3. pontban már részletesen elemeztük a keverővíz hatását a vályog minősítő tulajdonságaira.

### 8.5.2. A fel-, ill. bedolgozás hatása a vályog szilárdságára

Először a feldolgozás, majd a tömörítés szilárdságra gyakorolt hatását vizsgáljuk meg részletesen.

#### 8.5.2.1. A feldolgozás (keverés) hatása a szilárdságra

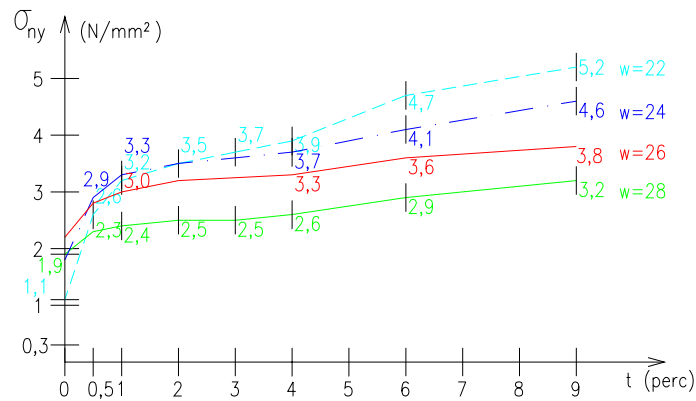
Az egyenletes jó keverés – homogenizálás – valamennyi habarcs technológiának az alapja. A keverést bolygólapátos habarcskeverőgéppel (MSZ 523/4-75) végeztük (8.2. kép).



8.2. kép: Bolygólapátos habarcskeverőgép

Saját vizsgálataink szerint a száraz technológia (préselés) alkalmazása esetén a keverésnek csak annyi szerepe volt, hogy a keverővizet (8-10 %) és a szalmatöredéket ( $30 \text{ kg/m}^3$ ) szemre egyenletesen elkeverjük. Ez gépi keverésnél 1-2 percet jelentett. A szilárdságot gyakorlatilag csak a préselő és a préselési idő befolyásolja.

Azonban nedves technológia esetén – amikor keverés után tömörítés nélkül öntjük ki a formát – megnő a keverés jelentősége.  $w = 18...20...22...24...26...28$  és  $30 \%$  keverővíz adagolás mellett vizsgáltuk a hasáb alakú vályog próbatestek nyomószilárdságát ( $\sigma_{ny}$ ), a keverési idő függvényében. A  $18$  és a  $20 \%$ -os víztartalmú vályog  $9'$  keverés után sem töltötte ki a zsaluzatot folytonosan, hanem darabos, morzsalékos maradt. A nyomószilárdsága gyakorlatilag zérus volt. A  $w = 30 \%$ -os víztartalmú vályog formázhatatlan – gyakorlatilag folyós – volt. A  $22-28 \%$ -os tartományban a  $w = 26 \%$ -os víztartalomhoz tartozott a legnagyobb nyomószilárdság. **Tehát a keverővíz mennyiségének – épp úgy, mint a száraz technológiáknál – szélsőértéke van (8.18. ábra).** Az ábrán látható az is,



**8.18. ábra:** A keverési idő hatása a nyomószilárdságra a víztartalom függvényében

hogy a keverési idő nyomószilárdságra gyakorolt hatása 2-3'-ig jelentős, utána elhanyagolható.

A vizsgálat során megvizsgáltuk a különböző víztartalmú vályogok konzisztenciáját is. A vizsgálat eredménye kerekítve:

- $w = 18-20 \% \Rightarrow \text{Casagrande } n = 25 \Rightarrow \text{képlékeny}$
- $w = 22-24 \% \Rightarrow \text{Casagrande } n = 20 \Rightarrow \text{folyós}$
- $w = 26-28 \% \Rightarrow \text{Casagrande } n = 15 \Rightarrow \text{önthető}$

**Tehát kimondható, hogy a 7.2.4. pontban elfogadott konzisztencia határokat alkalmazva a kevert vályog folyós vagy önthető konzisztenciájú anyag kell legyen. A keverési időt 3 percen célszerű előírni. Az optimális víztartalmat minden vályoghoz külön meg kell határozni.**

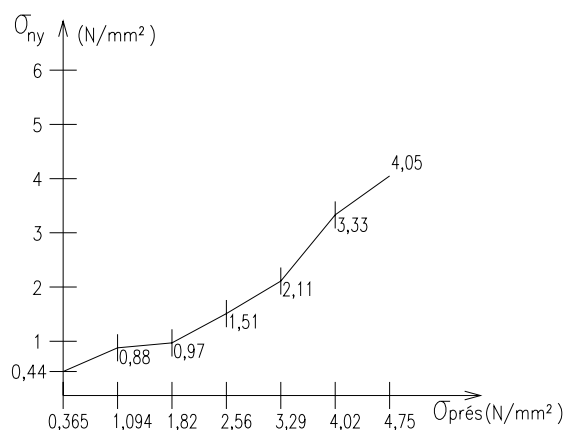
### 8.5.2.2. A bedolgozás (tömörítés) hatása a vályogszilárdságra

A **száraz technológiával** készülő vályog (préselt vályogtégla) vizsgálatához a próbatesteket is száraz technológiával kell előállítani. A lehető legjobb minősítési tulajdonságok eléréséhez a lehető legtömörebb állapotot kell elérni. Ehhez a **tömörítést befolyásoló tényezőket** optimalizálni kell, ezek:

- a keverővíz tartalom,
- a préserő és
- a présidő.

Az **optimális víztartalmat** Proctor-vizsgálattal határoztuk meg az újkígyósi vályoghoz és annak 10, 20, 30, 40 ill.50 %-os keverékeihez. Az optimális keverővíz mennyiség rendre 8,5-8,6, 9,0, 9,2-10,6, ill. 12,2 % volt.

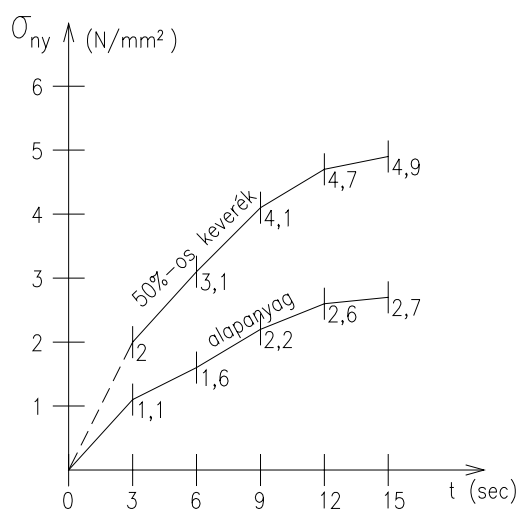
**Az optimális préserő meghatározása során azt tapasztaltuk, hogy a préserő növelésével a szilárdság lineárisan nő. Tehát a felső határát a vályogprések teljesítménye, ill. a gazdaságosság határozza meg.** A kézi vályogprésekkel kb. 0,5-2,5 N/mm<sup>2</sup> az egyszerű gépi berendezésekkel kb. 2-5 N/mm<sup>2</sup> présfeszültség érhető el gazdaságosan, közel ugyanazért az árért. Jelentősen nagyobb, kb. kétszer ekkora présnyomás (10 N/mm<sup>2</sup>) előállítási költsége ennek a háromszorosát teszi ki, tehát már nem gazdaságos [42]. A vizsgált újkígyósi vályogok esetében az alkalmazott préserőből (~17 t) számítható feszültség kb. 4 N/mm<sup>2</sup>.



**8.19. ábra:** Az egyirányú nyomószilárdság alakulása a présfeszültség változása függvényében

**Fentiek alapján kimondható, hogy az optimális préselő – gazdasági megfontolásból - 5 N/mm<sup>2</sup>-ben maximalizálható (8.19. ábra).**

*Az optimális présidő meghatározása során azt tapasztaltuk, hogy a présidő növelése eleinte igen erősen, majd egyre csökkenő ütemben növeli a szilárdságot. A növekedésnek – konstans présfeszültség esetén – felső korlátja van. Azonban ennek elérése órákban mérhető (8.20. ábra).*



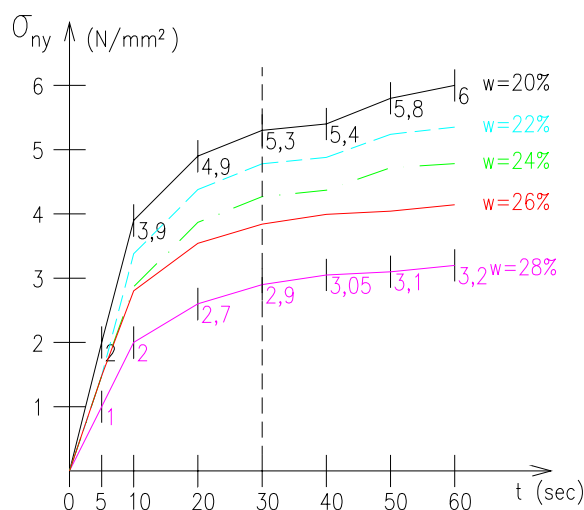
**8.20. ábra:** A présidő és a nyomószilárdság kapcsolata

*A vizsgált újkígyósi vályog, ill. a 10...20...30...40...50 %-os agyagos keverékek nyomószilárdsága még a 10 másodperc után is jelentősen nőtt. Azonban megállapítható, hogy a szokásos 3 másodperc 6 másodpercre való emelése is felére rontja a termelékenységet, tehát jelentősen nem célszerű növelni a présidőt.*

**Fentiek alapján javasolható, hogy a száraz technológiával készülő vályog próbatestet:**

- Proctor vizsgálattal meghatározott vízmennyiséggel,
- $p_{\text{max}} = 5 \text{ N/mm}^2$  nyomáson,
- a préselő max. 5 másodpercig való működtetésével kell előállítani (7.3. kép).

A **nedves technológiával** készülő vályog vizsgálatához a próbatesteket is nedves technológiával kell előállítani. A nedves technológiák alkalmazása esetén legtöbbször nem tömörítjük a vályogot, de ha mégis akkor leghatékonyabb tömörítési módja a formába öntött vályog próbatestek vibrálással való tömörítése. A vibráció hatására a formába öntés után még morzsalékos,  $w = 20\%$ -os víztartalmú vályog is kellően betömörödött és a próbatestek nagyobb szilárdságúak lettek (8.21. ábra).



**8.21. ábra:** A vibrációs idő hatása a nyomószilárdságra a víztartalom függvényében

A vibrációs tömörítést vibróasztalon végeztük (8.3. kép).



**8.3. kép:** Hasábalakú próbatest vibrációs tömörítése

A vibrációs időt a keveréssel szemben másodpercekben lehet mérni. A vibráció hatására az egyirányú nyomószilárdság kb. 30 másodpercig jelentősen, utána már csak elenyészően nő. Ezért a vibrációs időt – a gazdaságosság miatt - 30"-ben célszerű maximálni. A 30"-ig vibrált próbatestek szilárdsága átlagosan  $0,5 \text{ N/mm}^2$ -rel nőtt a csak öntött, nem vibrált próbatestekéhez képest.

**Fentiek alapján javasolható, hogy nedves a nedves technológiával készülő próbatesteket:**

– képlékeny – folyós konzisztenciájú anyagból

- *3 perc keveréssel*
- *30 másodperces vibrálással kell előállítani (8.4. kép)*



**8.4. kép:** Öntött, vibrált hasábalakú próbatetek

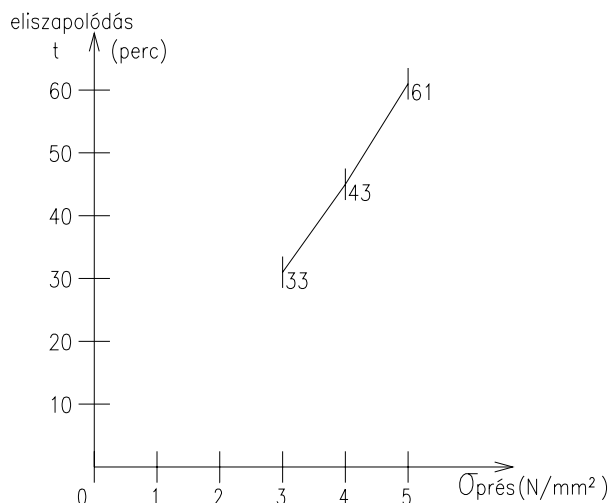
#### **8.5.2.3. A fel-, ill. bedolgozás hatása a vályog térfogattartóságára**

Mind a száraz, mind a nedves technológiával előállított próbatetek **zsugorodását** egy hétig mértük, mivel régebbi vizsgálatainkban azt tapasztaltuk, hogy a víztartalom – száraz környezetben – egy hét után kb. a véglegesnek tekinthető víztartalomra esik. Az eredmények – a várakozásnak megfelelően – azt igazolták, hogy *a száraz technológiával készült próbatetek zsugorodása sokkal kisebb a nedves eljárással gyártott próbatetek zsugorodásánál, sőt van egy olyan határvíztartalom ( $w_h$ ), amely fölötti víztartalom esetén – az utókezeléstől függetlenül – megrepednek a próbatetek (8.3.2. pont)*. A mi általunk vizsgált újkígyósi vályogkeverékek esetén ez 28-30 %-os keverővíz tartalom mellett következett be. Tehát a *gyártás során ez a keverővíz tartalom elvi felső határa*. A jó tömörítés térfogattartóságra gyakorolt pozitív hatását nem kell bizonyítani. A tömörítés fokának csak a gazdaságosság szab korlátot.

#### **8.5.2.4. A fel-, ill. bedolgozás hatása a vályog vízérzékenységére**

Mind a száraz, mind a nedves technológiával előállított próbatetek vízérzékenységének vizsgálata során azt tapasztaltuk, hogy a vályog vízérzékenysége a keverővíz tartalom növekedésével rohamosan nő (8.3.3. pont).

A jó tömörítés vizsgálataink szerint a vályog eliszapolódási, ill. leszakadási idejét egyértelműen növelte. Ennek igazolására 5 másodpercig ható 3, 4, ill. 5 N/mm<sup>2</sup>-es préserővel próbateteket készítettünk az 50 %-os újkígyósi vályogkeverékekkel,



**8.22. ábra:** A vízérzékenység csökkenése a présfeszültség növelése mellett

és vizsgáltuk ezek eliszapolódási idejét (8.22. ábra).

***Az eredmény egyértelműen bizonyítja, hogy a jobb bedolgozás – azaz nagyobb tömörség – csökkenti a vályog vízérzékenységét.***

### 8.5.3. Az utókezelés hatása a vályog minősítő tulajdonságaira

Kiszáradás folyamán túlnyomórészt a keverővíz, azaz a hidrodinamikai erővel megmozdítható pórusvíz és kapillárisvíz, esetleg a termoozmózis segítségével megmozdítható szolvárvíz egy része távozik a vályogból. Ez utóbbi mértéke oly csekély, hogy a vályog higroszkóposága mellett nincs gyakorlati jelentősége. Ha gyorsabban távozik (párolog el) a víz a vályog felületéről, mint ahogy az a belsejéből a felületére tud jutni, akkor az, mint szívóhatás lép fel, amely húzófeszültséget okoz a vályogban. Ha ez túllépi a vályog kötőerejét, azaz húzószilárdságát, akkor az anyag megreped. Ezen repedéseket száradási repedésnek nevezzük. *A száradási repedések elkerülésének két feltétele van, ezek:*

- a vályog (keverő) víztartalma ne haladja meg azt a  $w_h$  határvíz-tartalom mennyiséget, amely fölött a vályog mindenképpen megreped 8.3.2. pont),
- a párolgási sebesség ( $v_{wpár}$ ) kisebb kell legyen, mint a kiszáradás sebesség ( $v_{wszár}$ ), azaz  $v_{wpár} < v_{wszár}$ .

A kiszáradás üteme a tömeg és a felület arányától, valamint a külső hőmérséklettől (napsugárzás) (6.5. ábra) és szélesebből (6.4. ábra), valamint a levegő relatív páratartalmától függ. (Az utókezelés során utólagos nedvesítéssel vagy a kiszáradás lassításával a repedések kialakulásának elkerülése a legfőbb cél. A repedések elkerülése jótékonyan hat a vályog összes minősítő tulajdonságára.

## 9. A VÁLYOG STABILIZÁLÁSA

Ha egy vályog tulajdonságait úgy javítjuk, hogy a termelt vályogtalaj összetételén nem változtatunk, töltőanyagon és keverővízen kívül idegen anyagot – se talajt, se kötőanyagot – nem adagolunk hozzá, minősítő tulajdonságait csak technológiai módszerekkel – keverés, bedolgozás, utókezelés – javítjuk, akkor a vályog tulajdonságait optimalizáljuk (8. fejezet).

Ha egy vályog tulajdonságait úgy javítjuk, hogy a vályogtalajhoz idegen talajt vagy kötőanyagot adagolunk a minősítő tulajdonságainak javítása céljából, azt a vályog stabilizálásának nevezzük. A vályogstabilizáció technológiájának kialakításához a talajmechanikából ismert talajstabilizáló eljárásokat célszerű áttekinteni. Ezek alapján ma a természetes talajok keverésével, fizikai vagy kémiai kezelésével, ill. különböző kötőanyagok hozzáadásával olyan anyagot – vályogot – tudunk előállítani, amely szakszerű beépítés és fenntartás mellett az időjárás és a terhelés hatásainak is tartósan ellenáll, azaz stabil. A vályog stabilizálására alkalmas eljárások kétféleképpen csoportosíthatók: az eljárás módszere és célja szerint:

### – az 1. csoportosítási mód (a stabilizálás módszerei szerint):

- mechanikai módszerek:                   - víztelenítés
- tömörítés
- talajkeverés (csak talajok),
- fizikai módszerek:                   - hidratáció (cement, mész, gipsz, vízüveg, lignoszulfát, aminoplaszt)
- párolgás (talaj kiszáradása)
- adszorpció,
- kémiai módszerek:                   - ioncsere
- kicsapódás, új vegyület
- polimerizáció.

### – a 2. csoportosítási mód (a stabilizálás célja szerint):

- mechanikai tulajdonságok javítása kötőanyag hozzáadása nélkül (csak a szemeloszlás javítása idegen talaj hozzákeverésével),
- mechanikai tulajdonságok javítása kötő-, ill. adalékanyag hozzáadásával
- víz- és erózió érzékenység csökkentése.

Fenti hagyományos talajstabilizációs eljárások közül a második csoportot választottam továbbfejlesztésre, amelyik végső soron annyira leegyszerűsíthető, hogy laboratóriumi háttér és magasan kvalifikált munkaerő alkalmazása nélkül, házilagosan alkalmazható (9.1. táblázat).



| <b>Vályogstabilizálás</b>   |  |   |
|---|--|---|
| Mechanikai tulajdonságok javítása idegen anyag (kötőanyag) hozzáadása nélkül  | Mechanikai tulajdonságok javítása idegen (kötő- ill. töltőanyag) hozzáadásával   | Vízérzékenység és erodálódási hajlam csökkentése idegen anyag hozzáadásával, ill. hozzáadása nélkül   |
| $T_{ry}$ maximalizálása mellett: <ul style="list-style-type: none"> <li>- optimális szemeloszlás</li> <li>- optimális agyagtartalom</li> <li>- optimális víztartalom</li> <li>- optimális töltőanyag tartalom meghatározása.</li> </ul> | $T_{ry}$ maximalizálása mellett: <ul style="list-style-type: none"> <li>- optimális kötőanyag választás</li> <li>- optimális kötőanyag mennyiség meghatározása.</li> </ul> | $T_{ry}$ maximalizálása mellett optimális hidrotechnikai tulajdonságok kialakítása: <ul style="list-style-type: none"> <li>- optimális vízfelvétel</li> <li>- optimális vízfelszívás</li> <li>- optimális vízérzékenység</li> <li>- optimális vízzáróság</li> <li>- optimális fagyállóság kialakítása.</li> </ul> |

### 9.1. táblázat: Vályogstabilizálási módszerek

Azonban hangsúlyozottan le kell szögezni, hogy a kellően tömör állapot elérése, minden vályogstabilizáció sikerének alapvető feltétele!

Fentiek alapján a vályog stabilizálására alapvetően három módszer kínálkozik:

- szemeloszlás javítása:
  - $d > 4$  mm-es szemcsék kirostálásával
  - hiányzó frakció hozzákeverésével, lépcsős szemeloszlás megszüntetésével
  - az agyag-homok arány megváltoztatásával (soványítás vagy kövérítés homok-, ill. agyagfrakció hozzákeverésével)
- a kötőanyag hozzákeverése:
  - mész  $\Rightarrow$  kövérebb vályoghoz
  - cement  $\Rightarrow$  soványabb vályoghoz
  - gipsz  $\Rightarrow$  soványabb vályoghoz
  - polimer  $\Rightarrow$  bármely típushoz
- fenti módszerek kombinálása:
  - szemeloszlás javítása és
  - kötőanyag hozzákeverése

A lehetőségek igen széles skálájának mindig a gazdaságosság szab határt.

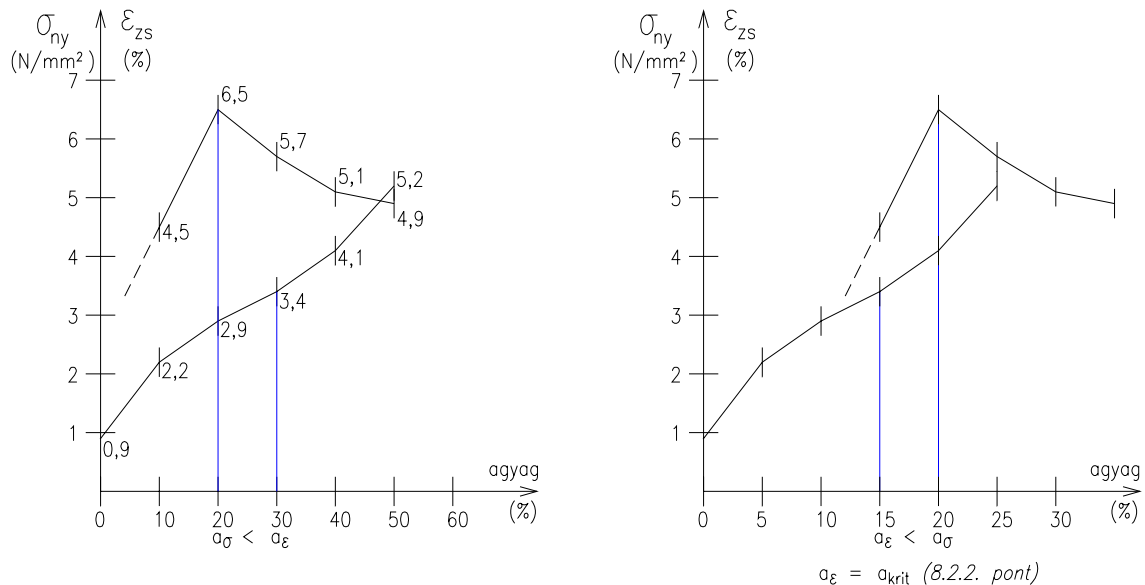
#### 9.1. Az ideális szemeloszlás előállítása

Az ideális szemeloszlási tartományt a 8.1. pontban határoztuk meg. Ennek alapján egy vizsgált vályog szemeloszlási görbéje kiértékelhető. Ha a vizsgált vályog szemeloszlási görbéje a kívánt tartományba esik és nem lépcsős – nem frakcióhiányos –, akkor beavatkozást nem igényel. Amennyiben a vizsgált anyag szemeloszlása megfelelő, de  $d_{max} > 4$  mm, abban az esetben a 4 mm feletti szemcsék kirostálásával a vályog szemeloszlása kedvezővé tehető. Lépcsős szemeloszlás esetén a hiányzó frakciót pótolni kell.

Végső soron az agyagtartalom megváltoztatása is a szemeloszlás megváltoztatásának egy módja, de ezt jelentősége miatt külön meg kell vizsgálni.

## 9.2. Az agyagtartalom megváltoztatásának korlátai

Az agyagtartalom növelésével növelhető a vályog szilárdsága, de ezzel párhuzamosan nő vele a zsugorodás is (8.2. pont). Bármely agyagfajtaán belül az optimális agyagtartalmat vagy a szilárdsági függvény maximumához (8.8. ábra), vagy a zsugorodási függvény inflexiós pontjához lehet kötni (8.9. ábra). Ezen belül két elvi lehetőség adódik. Az agyagtartalom növelése során előbb érjük el a maximális szilárdságot, mint a zsugorodás inflexiós pontját vagy fordítva. Az első esetben az  $a_\sigma$  a második esetben az  $a_{krit} = a_\varepsilon$  agyagtartalom biztosítja az optimális agyagmennyiséget (9.1. ábra).



9.1. ábra: Az optimális agyagtartalmat:

- a szilárdság,
- a zsugorodás határozza meg.

Ideális esetben ezen két érték igen közel áll egymáshoz, elvileg egybe is eshet.

## 9.3. A vályog stabilizálása kötőanyagokkal

(cementtel, mésszel, gipsszel, polimerrel)

A vályogban – eltérően a habarcsok adalékanyagától – az agyag-iszap tartalom igen jelentős. Míg a habarcsokban az adalékanyag - szemcséket a kötőanyag veszi körül, addig a vályogban a kötőanyag (cement, mész, gipsz, polimer) szemcséket agyag-iszap szemcsék veszik körül. Így a kötőanyag hatása sokkal gyengébb lesz. Felfogható úgy, hogy a stabilizált vályog egy magas agyag-iszap tartalmú adalékanyagból készített gyengébb minőségű habarcs. A vályog-stabilizáció végső soron habarcsstervezést jelent. Ennek legfontosabb lépései:

- a kötőanyag megválasztása,
- a kötőanyag mennyiségének meghatározása,
- a fel-, ill. bedolgozás technológiájának megválasztása.,
- az utókezelés.

Erre ma még nincs kidolgozott matematikai eljárás. Az optimális habarcs-összetélt - keveréket – iteráció (próbálgatás) segítségével határozzuk meg.

A kötőanyag típusának és mennyiségének meghatározását az ismert talajstabilizációs eljárások tapasztalataiból kiindulva kezdtük vizsgálni. A vizsgálat nagyon szerteágzó lett. *Az irodalmi adatok talán csak abban az egyben egyeztek meg, hogy a szervesen kötőanyagok (mész, cement, gipsz) adagolása 5 m% körül minden kutatónál pozitív eredményt hozott. Ezért a legelső vizsgálatunk során az újkígyósi vályogból 5 m%-os adagolással üres, meszes, cementes, gipszes és polimeres próbatesteket készítettünk mind száraz, mind nedves technológiával.*

A *cementes stabilizáció* során a cement szabad mésztartalma – az agyagásványok kovasavas reakciója következtében – relatív gyorsan megköt. A kötést igen hosszú szilárdulási folyamat követi, amit a szabványok 28 napban határoznak meg. Az ezután létrejövő folyamat - az utószilárdulás – eredményét a biztonság javára elhanyagoljuk.

A *meszes stabilizáció* során (oltottmész adagolás) az agyagásványok és a kalcium között létrejövő ioncsere következtében 4-8 órán belül bekövetkezik a kötés és a szilárdulás nagy része is. A szilárdulás, ill. az utószilárdulás ezután még igen sokáig tart, mivel az ehhez szükséges széndioxid a levegőben csak, mint egy 0,05 %-ban fordul elő. Ezen folyamatot a nedvesség katalizátorként gyorsítja, ill. annak hiánya lassítja. Ezért a vályog kiszáradása után ennek a folyamatnak jelentéktelen lesz a hatása.

A *gipszes stabilizáció* során a gipsz kötési ideje – maximum óra – a legalacsonyabb valamennyi vizsgált kötőanyag között.

A *polimeres stabilizáció* során a „műgyanta” kötése, ill. szilárdulása – időjárás függvényében – 1-2 nap.

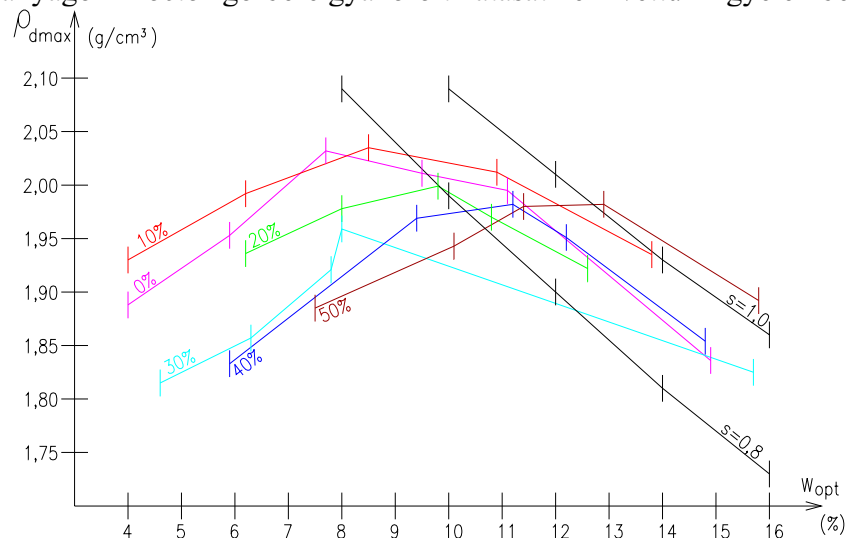
*Fentiek ismeretében a cementstabilizációs próbatestek törésvizsgálatait 28 napos, többi próbatestét 7 napos korban végeztük el (mind a száraz, mind a nedves technológiával előállított próbatestek esetében).*

*A zsugorodás végértékének minden esetben az első hét végeredményét tekintettük, mert korábbi vizsgálataink alapján kimondható, hogy a teljes zsugorodás 98-99%-a lejátszódik az első hét alatt [33].*

### **9.3.1. Száraz technológiával előállított próbatestek vizsgálata**

A tiszta vályogból, az 50 %-os agyagos keverékéből és az 5 m%-os kötőanyag adagolásos keverékeiből (cementes, meszes, gipszes, ill. polimeres) hengeres próbatestet készítettünk 5 sec-ig tartó, 5,0 N/mm<sup>2</sup>-es présnyomással (8.5.2.2. pont). Három –három darab próbatesten zsugorodás, majd vízérzékenység vizsgálatot, három darab próbatesten egyirányú nyomó ( $\sigma_{ny}$ ) és három darab próbatesten élmenti nyomó, azaz „kvázi” húzó ( $\sigma_h$ ) szilárdságvizsgálatot végeztünk. Az összes vizsgálatot a próbatestek egy hetes korában hajtottuk végre, kivéve a cementtel stabilizált próbatestek szilárdsági vizsgálatait, amit a próbatestek 28 napos korában végeztünk el. A próbatestek készítésének próbálgatása során a várakozásoknak megfelelően azt tapasztaltuk, hogy az agyagosabb (50 %-os) vályogkeverék optimális víztartalma ( $w_{opt}$ ) kicsit nőtt, a maximális száraz testsűrűségének ( $\rho_{d max}$ ) értéke pedig egy kicsit csökkent a tiszta újkígyósi vályogéhoz képest. Az 5 m%-os cementadagolásnál  $w_{opt}$  és a  $\rho_{d max}$  lényeges vál-

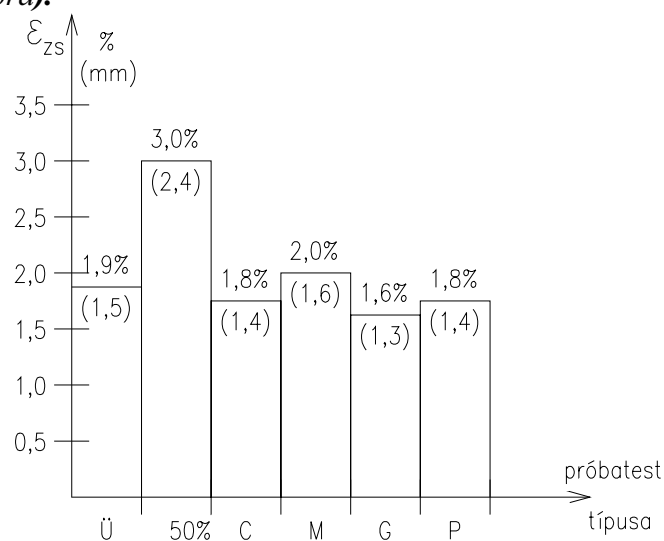
tozását nem tapasztaltuk. A meszes, gipszes és polimeres próbatesteknél csak kis mértékű  $w_{opt}$  növekedést és  $\rho_{d\ max}$  csökkenést mértünk. Mivel ezek hatása csekély, a kísérletek számának csökkentése érdekében a  $\rho_{d\ max} - w_{opt}$  változását csak a „kövérítés” függvényében határoztuk meg és a kötőanyagok Proctor-görbére gyakorolt hatását nem vettük figyelembe (9.2. ábra)..



9.2. ábra: A  $\rho_{d\ max}$  és  $w_{opt}$  változása az agyagos keverék változásának függvényében

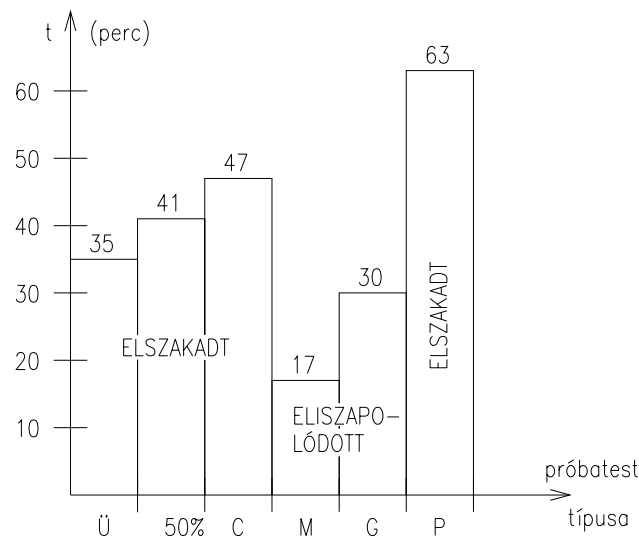
A próbatesteket az így megkapott víztartalommal készítettük el. Mivel a próbálgatások egyértelműen igazolták, hogy a 10...20...30...40 és 50 %-os agyagos keverékek közül az 50 %-os keverék minősítő tulajdonságai – a zsugorodást nem számítva – a legjobbak, ezért a további vizsgálatokat már csak az 50 %-os keverékkel végeztük el.

**A különböző kötőanyaggal stabilizált vályog zsugorodás vizsgálatát a próbatestek 1 hét utáni hosszmerésével végeztük el. A mérés eredményét %-ban adtuk meg. Zárójelben () a próbatesten mért rövidülés értékét tüntettük fel mm-ben. A legnagyobb különbséget az alapanyagból készült ún. „üres” (ü) próbatestekéhez képest az 50 %-os vályogkeveréknél mértük (1,1 %). A többi próbatest és az üres vályog zsugorodása között a különbség nem volt szignifikáns ( 9.3. ábra).**



9.3. ábra: A kötőanyagok hatása a száraz technológiával készülő próbatestek zsugorodására. A különböző stabilizálószerrel készült vályog vízérzékenysége is különböző hatással vannak. A vízérzékenységet az eliszapolódási, ill. elszakadási idővel mértük. **Kimondható, hogy az**

**agyag-, a cement- és a polimeradagolás egyértelműen csökkentette a vályog vízérzékenysé-  
gét, míg a mész és a gipsz inkább növelte azt (9.4. ábra).**



**9.4. ábra:** A különböző próbatessetek leszakadási, ill. eliszapolódási ideje

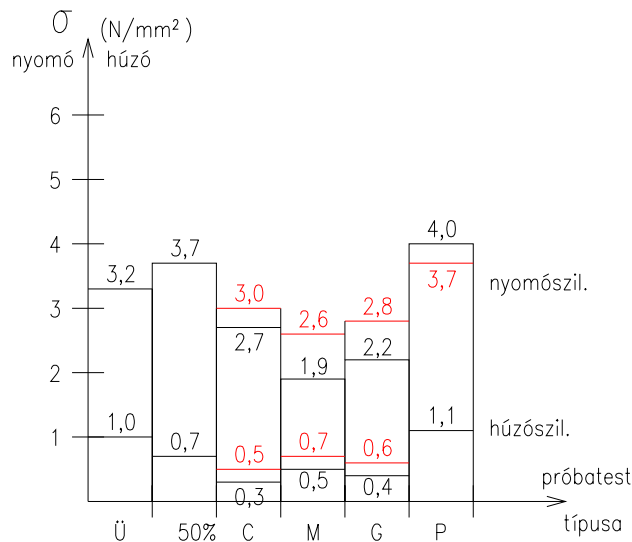
Külön megvizsgáltuk azt az esetet, amikor vályog próbatesseteken – polimerbe való 3”-ig tartó bemártással – védőbevonatot képeztünk. Egy hét után 3-3 db felületkezelt, ill. csupasz hasábok 30’-ig víz alá merítettünk. A vízből való kiemelés után a felületkezelt hasábok ép élűek maradtak, míg a nyers hasábok élei, sarkai és helyenként a felülete is megbomlott (9.1. kép).



**9.1. kép:** Polimerrel felületkezelt, ill. kezeletlen hasábok 30’-es víz alatti tárolás után

*A szilárdsági vizsgálat során „kvázi” húzó- és nyomó szilárdságvizsgálatot végeztünk.*

*Három henger élmenti törésvizsgálatával meghatároztuk a próbatessetek „kvázi” húzószilárdságát. Meglepő volt, hogy az alapanyagból készült ún. „üres” (Ü), az 50 %-os agyagkeverék (50 %) és a polimeres (P) próbatess húzószilárdsága volt a legnagyobb (9.5. ábra). A cementes (C), meszes (M) és gipszes (G) próbatessetek szilárdsága egyértelműen csökkent!*



**9.5. ábra:** Különböző stabilizálószer hatása a vályog szilárdságára

A nyomószilárdság vizsgálata szintén megerősítette, hogy az üres és az 50 %-os keverék nyomószilárdságát csak a polimeres próbatesteké haladta meg. A cementes, meszes és gipszes próbatesteké igen jelentős mértékben romlott.

**Fentiekből az a következtetés vonható le, hogy a  $w_{opt}$  keverővíz mennyiség még az ideális tömörséget sem biztosítja, mivel a víz egy részét a kémiai kötés elvonja, ugyanakkor ez mégsem elég a kémiai kötés vízszükségletének biztosításához.** Az a kötőanyagrésszel, amelyik nem köt meg, ill. csak helyenként, azaz nem egyenletesen, hanem csomószerűen, az elválasztó hatású. Tehát nem, növeli, hanem még rontja a szilárdságot. Fenti gondolatmenet helyességét bizonyítja, hogy a polimer – amely víz nélkül is kötőképes – növelni tudta a próbatestek szilárdságát.

**Összegzésképpen megállapítható, hogy száraz építési technológia esetén, 5 m%-os stabilizálószer adagolás esetén a vályog minősítő tulajdonságait az agyagtartalom mellett (8.2. pont) csak a polimerek – melyek kötéséhez nincs szükség vízre – képesek hatékonyan befolyásolni.**

Ezen tapasztalatok birtokában újra elvégeztük a kísérletet azzal a módosítással, hogy a Proctor vizsgálattal meghatározott  $w_{opt}$ -on felül a kötőanyag kötéséhez szükséges vizet ( $w_{köt}$ ) is adagoltunk a keverékhez. A  $w_{köt}$  meghatározásához elfogadtuk az építőanyagvizsgálatok során alkalmazott szabványos folyósságú pép előállításához szükséges átlagos keverővíz mennyiségeket.

- Mész esetén a megoltódáshoz szükséges vízmennyiség a gyakorlatban a mészre vetítve 32 %, ami az 5 %-os mézsadagolás mellett 1,6 %, így:  
 $w_{keverő} = w_{opt} + w_{köt} = 8,5 + 1,6 = 10,1 \%$
- Az alkalmazott gipsz esetén a szabványos folyósságú pép előállításához szükséges vízmennyiség a gipszre vetítve 41 %, ami 5 %-os gipszadagolás mellett 2,1 %, így:  
 $w_{keverő} = w_{opt} + w_{gköt} = 8,5 + 2,1 = 10,6 \%$
- A polimeres próbatestek keverővíz tartalmát – eddigi tapasztalatok híján – a többi kötőanyagéhoz hasonlóan, azaz mintegy 2 %-kal növeltük meg, így:  
 $w_{keverő} = 8,5 + 2,0 = 10,5 \%$

Fenti vízmennyiségekkel elkészítettük az új próbatesteket. Végül öt, ill. a cementes próbatestknél 28 nap után ismét elvégeztük a szilárdsági minősítő vizsgálatokat. Az eredményét a 9.5 ábrán pirossal ábrázoltuk. Látható, hogy a cement, mész és a gipsz esetében sorrendben 2,7 helyett 3,0; 1,9 helyett 2,6 és 2,2 helyett 2,8 N/mm<sup>2</sup> nyomószilárdságot kaptunk. Azaz 11, 37, ill. 27 %-kal nagyobb lett a stabilizált vályogok nyomószilárdsága, de az alapanyag szilárdságát még így sem érték el.

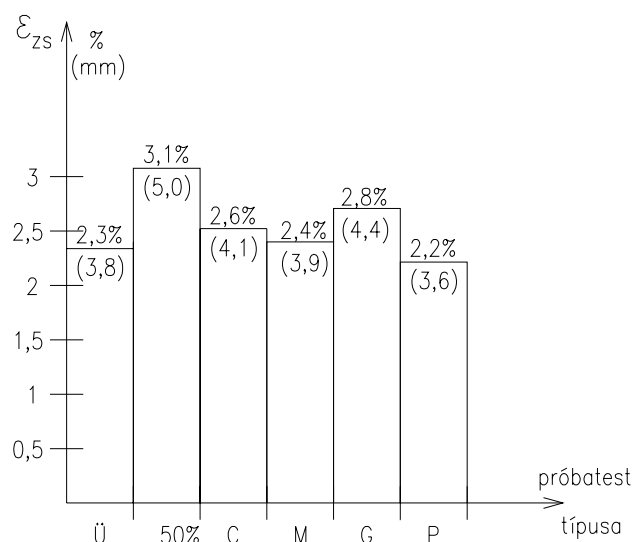
**Ezért kimondható, hogy a száraz technológiával készülő vályogot cementtel, mésszel és gipsszel nem lehet stabilizálni. A polimerrel stabilizált vályog esetében pedig 8 %-os szilárdságcsökkenést okozott a keverővíz mennyiség növelése. Tehát polimeres stabilizálás esetén a Proctor vizsgálattal nyert  $w_{opt}$ -ot kell alkalmazni.**

### 9.3.2. Nedves technológiával előállított próbatestek vizsgálata

A tiszta- és az 50 %-os agyagos újkagyósi vályogkeverékből 5 m%-os (9.3. pont) kötőanyag adagolással (cementes, meszes, gipszes és polimeres) hasábalakú próbatesteket állítottunk elő. A próbatesteket szabványos folyósságú pépből, a módosított Casagrande vizsgálattal meghatározott  $n = 20$  ejtegetési számhoz tartozó víztartalommal készítettük, (7.1.3. pont), 3' keverési és 30" vibrációs (tömörítési) idővel (8.5.2.1. és 8.5.2.2. pont).

A próbatestek minősítő vizsgálatai a következő eredményeket hozták (9.6. ábra).

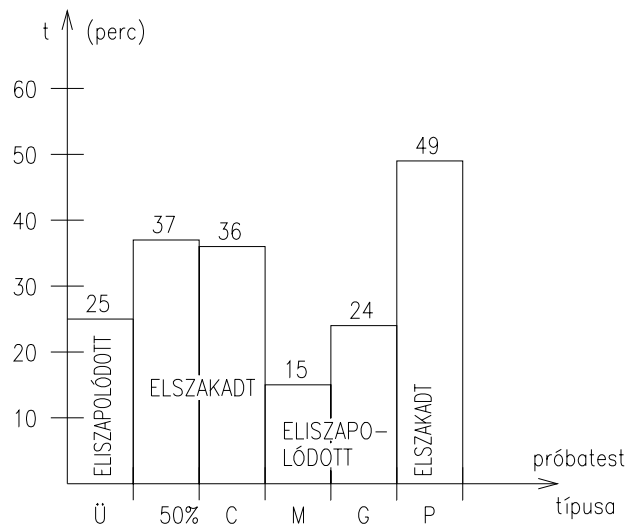
**A zsugorodás vizsgálat során (1 hét) azt tapasztaltuk, hogy a nedves technológiával előállított próbatestek zsugorodása egy kicsit – 0,1-1,2 %-kal megnőtt a száraz technológiával előállított próbatestek zsugorodásához képest (9.3. ábra), de a kötőanyag nincs különösebb hatással a zsugorodásra. A felrakás sorrendjében a száraz-, ill. a nedves technológiával készített próbatestek zsugorodása között a különbség: 0,4 %; 0,1 %; 0,8 %; 0,4 %; 1,2 % és 0,4 %. Tehát a nedves technológiával készített próbatestek közül csak a gipsz adagolású próbatestek zsugorodása haladta meg 1 %-nál nagyobb mértékben a száraz technológiával készített próbatestek zsugorodását.**



**9.6. ábra:** A kötőanyag hatása a nedves technológiával készülő próbatestek zsugorodására

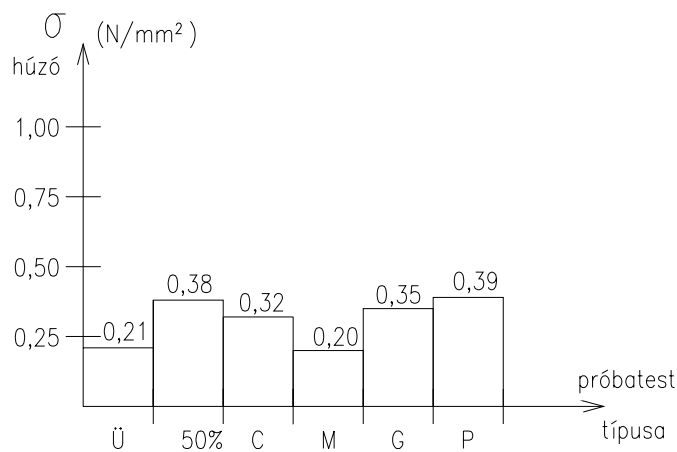
**A vízerzékenység vizsgálat során** meghatároztuk a hasáb próbatestek eliszapolódási, ill. leszakadási idejét. A 9.7. ábrán látható, hogy az agyag, a cement és a polimer adagolású próbatestek tönkremeneteli ideje jelentősen magasabb, mint a többi próbatesté. Tehát a vályog

vízérzékenységet az agyag, a cement és a polimer jelentősen csökkenti, a mész és a gipszadagolás pedig inkább növeli.



**9.7. ábra:** A különböző próbatestek eliszapolódási, ill. leszakadási ideje

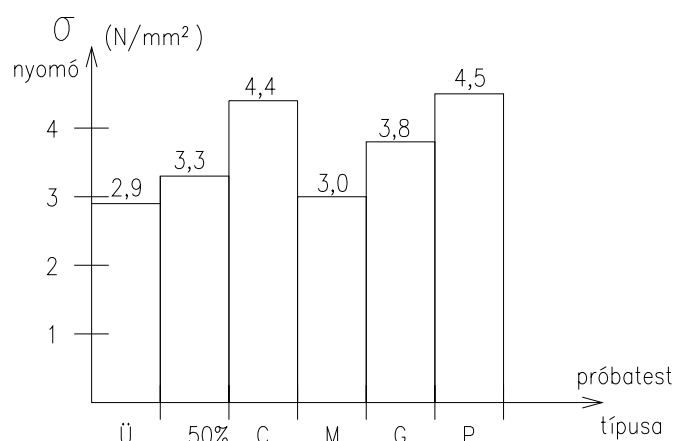
A **szilárdság vizsgálat** során a hasábok hajlító vizsgálatával meghatároztuk a próbatestek „kvázi” húzószilárdságát (9.8. ábra). Az ábrán látható, hogy az agyag és a polimer adagolás hat a legkedvezőbbben, de a cement és a gipsz is növeli a „kvázi” húzószilárdságot. A mész gyakorlatilag hatástalan.



**9.8. ábra:** A kötőanyagok hatása a nedves technológiával készített próbatestek „kvázi” húzószilárdságára

A hajlítóvizsgálattal nyert félhasábokon elvégeztük a vályog **nyomószilárdság vizsgálatát** (9.9. ábra).





**9.9. ábra:** A kötőanyagok hatása a nedves technológiával készített próbatessetek nyomószilárdságára

Az eredmények egyértelműen igazolták, hogy a cementes, meszes és gipszes stabilizáció nedves építési technológia esetén eredményes. (Száras építési technológia esetén káros.) A polimeres stabilizáció sikeresen alkalmazható mindkét technológiánál.

Az eddigi vizsgálatok alapján kimondható, hogy nedves építési technológia alkalmazása esetén az agyag, cement, mész, gipsz és polimer adagolás pozitív hatással lehet a vályog minősítő tulajdonságaira. Az egyes minősítő tulajdonságokat elemezve az alábbi megállapítások tehetőek:

*A stabilizáló szerek a vályog **térfogattartósságát** némileg lerontották. A vályog zsugorodása a fenti stabilizálószer hatására 0,1-1,2 %-kal nőtt.*

*A **vízérzékenységet** az agyag-, a cement-, ill. a polimeradagolás egyértelműen csökkentette, a mész és a gipsz kismértékben növelte.*

*A vályog **szilárdságát** – a mész kivételével – valamennyi vizsgált stabilizálószer növelte. A mész szilárdságnövelő hatása nem szignifikáns.*

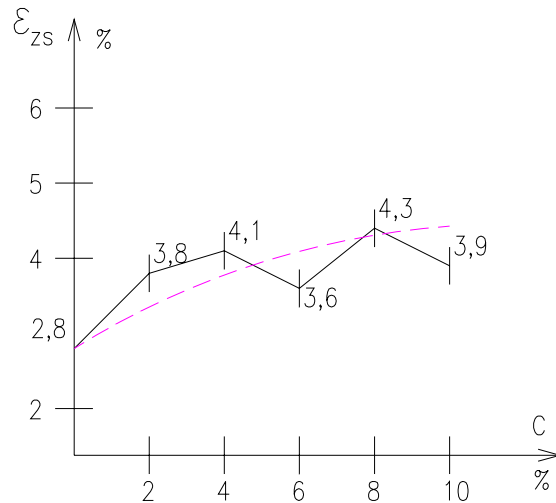
**Összességében megállapítható, hogy a fenti kötőanyagok vályogstabilizálásra – nedves építési technológiák esetén – alkalmasak, továbbvizsgálásra érdemesek.**

**Fenti tapasztalatok birtokában a nedves technológiák stabilizálási lehetőségeit vizsgáltuk meg részletesen.** A vályogstabilizálásnak legerősebb korlátja a gazdaságosság. Az építőiparban igen nagy mennyiségben felhasznált legolcsóbb kötőanyagok a cement, a mész és a gipsz. Azonban ezek 10 % fölötti alkalmazása megduplázza egy vályogtégla árát. Ez az a felső határ, amely fölött már nem gazdaságos a stabilizáció. Tehát a cement, mész és gipszadagolás felső határát 10 %-ban szabtuk meg. A különböző polimerek ára ennek a többszöröse is lehet. Ezek adagolása a keverővízhez viszonyítva 1:2 ÷ 1:3 aránynál hatásos. Ez nedves technológiák esetén a vályogra vetítve 7÷15 %-os adagolást jelent, tehát nem gazdaságos.

Fentiek alapján nedves technológia esetén csak a cement, mész és gipsz maximum 10 %-os adagolásának hatását érdemes részletesen megvizsgálni. Ezért az újkígyósi vályogon részletesen megvizsgáltuk mindhárom kötőanyag stabilizációs hatásait 2, 4, 6, 8 és 10 %-os adagolás esetén.

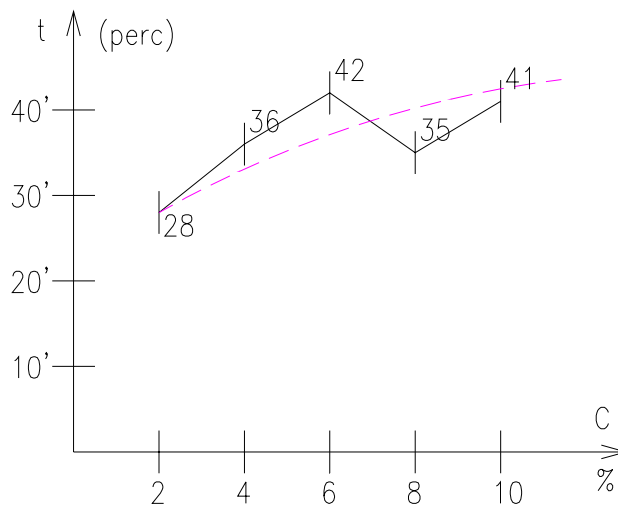
### 9.3.2.1. Cementes stabilizáció

A 2, 4, 6, 8 és 10 %-os cementadagolással készített próbatestek 1 hetes zsugorodás vizsgálatának eredményei a 9.10 ábrán láthatók. Az ábrán érzékelhető, hogy a nagyobb cementtartalom nagyobb zsugorodást eredményez, de végeredményben a növekmény (1,5 %-on belül maradt) jelentéktelen.



9.10. ábra: A cementadagolás hatása a próbatestek zsugorodására

A próbatesteken végzett vízérzékenység vizsgálatának eredményei a 9.11. ábrán láthatók. A cementadagolás növelésével az eliszapolódási idő nő, azaz a vízérzékenység csökken.

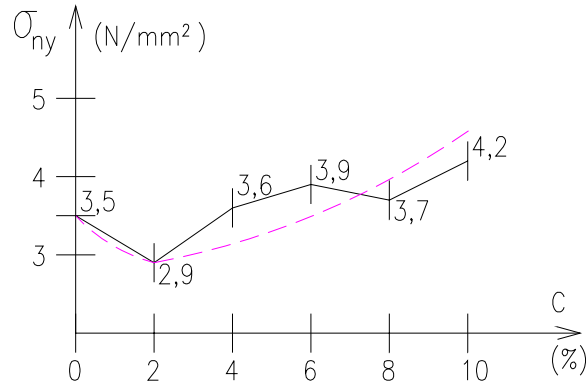


9.11. ábra: A cementadagolás hatása a próbatestek eliszapolódási, ill. elszakadási idejére

A szilárdsági vizsgálatok eredményei igen érdekesen alakultak (9.12. ábra). (A vizsgálatok számának csökkentése érdekében csak a nyomószilárdság változását vizsgáltuk meg.) A vizsgálati eredmények alapján kimondható, hogy sovány vályog esetében 1-2 % cementadagolás még nedves technológia esetén is rontja a szilárdságot, 3-4 % adagolásnál nyerhető vissza az

eredeti szilárdság. Az 5 % fölötti cementadagolás hatása egyértelműen pozitív, de 10 % fölé gazdasági megfontolásból nem érdemes menni.

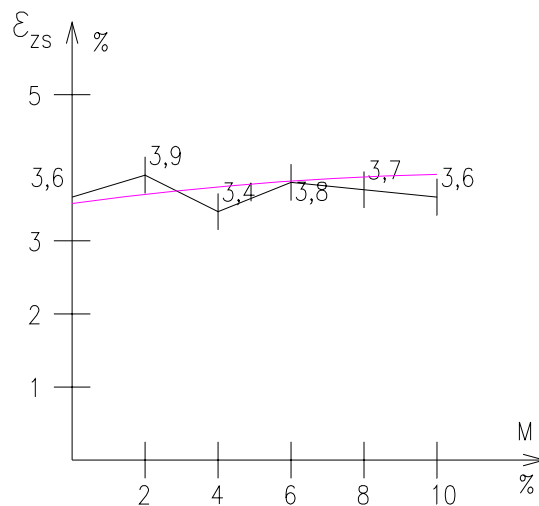
Összességében kimondható, hogy sovány vályog esetén a cementes stabilizáció 5-10 %-os adagolással műszakilag és gazdaságilag hatékony.



**9.12. ábra:** A cementadagolás hatása a próbatestek nyomószilárdságára

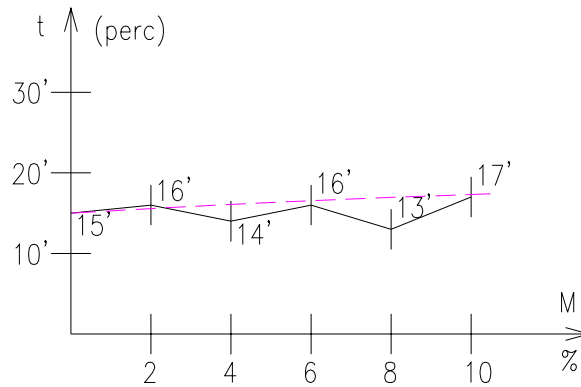
### 9.3.2.2. Meszes stabilizáció

A 2, 4, 6, 8 és 10 %-os mészadagolással készített próbatestek 1 hetes zsugorodás vizsgálatának eredményei a 9.13. ábrán láthatók. Az ábra alapján megállapítható, hogy a mészstabilizáció nincs jelentős hatással a zsugorodásra.



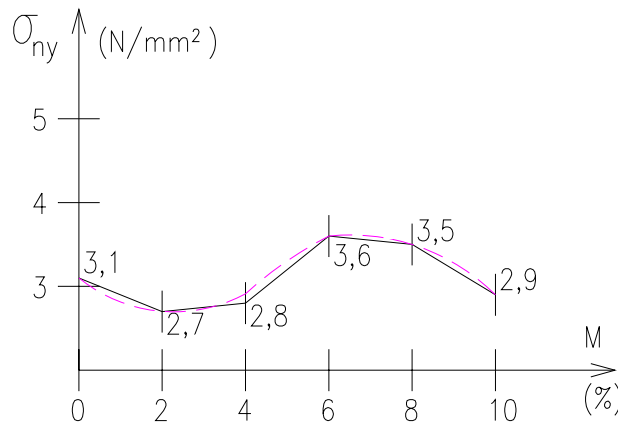
**9.13. ábra:** A mészadagolás hatása a próbatestek zsugorodására

A próbatesteken végzett vízérzékenységi vizsgálatának eredményei a 9.14. ábrán közzétek. Az ábra alapján kimondható, hogy a mésztartalom nincs jelentős hatással a vízérzékenységre.



**9.14. ábra:** A mészadagolás hatása a próbatetek eliszapolódási, ill. elszakadási idejére

A szilárdsági vizsgálatok eredménye a 9.15. ábra szerint alakult. A szilárdsági vizsgálatok szerint 2-3 %-os mészadagolás rontja, kb. 4-8 %-os javítja, majd a 8 % feletti ismét rontja a próbatetek szilárdságát.

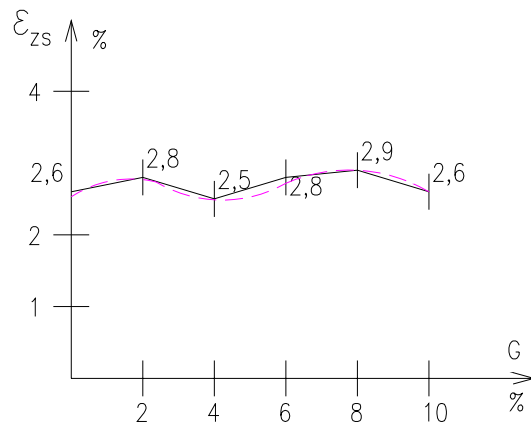


**9.15. ábra:** A mészadagolás hatása a próbatetek nyomószilárdságára

Összességében kimondható, hogy sovány vályog esetén 4-8 %-os mészadagolás hatékonyan javítja a vályog nyomószilárdságát, s a többi minősítő tulajdonságát lényegében nem befolyásolja.

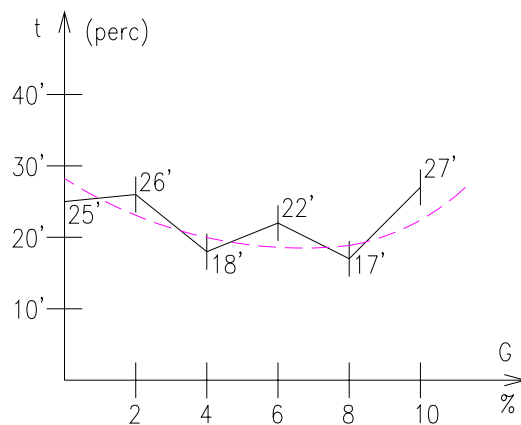
### 9.3.2.3. Gipszes stabilizáció

A 2, 4, 6, 8 és 10 %-os gipszadagolással készített próbatetek 1 hetes zsugorodás vizsgálatának eredményei a 9.16. ábrán láthatók. Az ábra alapján megállapítható, hogy a gipszstabilizáció nincs jelentős hatással a zsugorodásra. A zsugorodás minimumát 4-5 %-os adagolás mellett mértük.



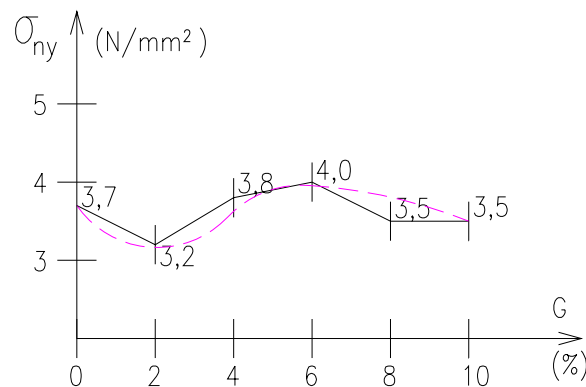
**9.16. ábra:** A gipszadagolás hatása a próbatetek zsugorodására

A próbatetekeken végzett *vízérzékenységi* vizsgálatának eredményei a 9.17. ábrán láthatók. Az ábra alapján megállapítható, hogy a gipsztartalom nincs jelentős hatással a vízérzékenységre, de 4-8 %-os adagolás mellett a függvénynek minimuma van.



**9.17. ábra:** A gipszadagolás hatása a próbatetek eliszapolódási, ill. elszakadási idejére

A *szilárdsági* vizsgálatok eredménye a 9.18. ábra szerint alakult. A szilárdsági vizsgálatok szerint 2-3 %-os gipszadagolás rontja, kb. 4-6 %-os javítja majd a 6 % feletti nincs hatással a próbatetek szilárdságára.



**9.18. ábra:** A gipszadagolás hatása a próbatetek nyomószilárdságára

Összességében kimondható, hogy sovány vályog esetén 4-6 %-os gipszadagolás hatékonyan javítja a vályog nyomószilárdságát.

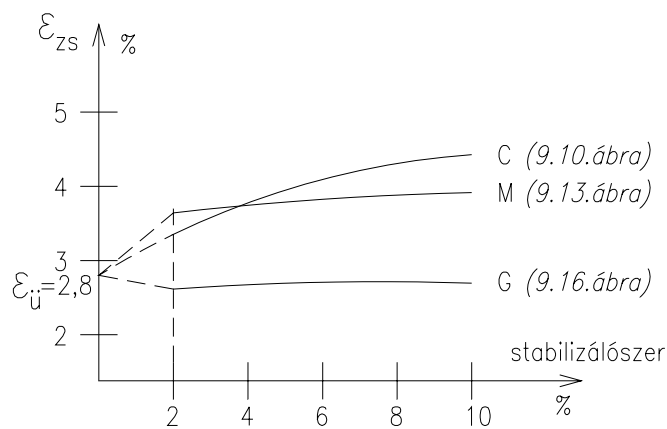
Megjegyzés:

A gipszes stabilizáció elvileg igen hatékony eljárás, azonban a gipsz nagyon kicsiny kötéseideje igen gyors és pontos munkát követel meg, amelyet még laboratóriumi körülmények között is nehéz betartani, ezért a gyakorlat számára nem ajánlható.

#### 9.3.2.4. A különböző stabilizációk összehasonlítása

A cementes, meszes és gipszes stabilizáció vizsgálati eredményeit összerajzolva az alábbi megállapítások tehetők:

A különböző stabilizálószer **zsugorodásra** gyakorolt hatását a 9.19. ábrán vetettük össze.

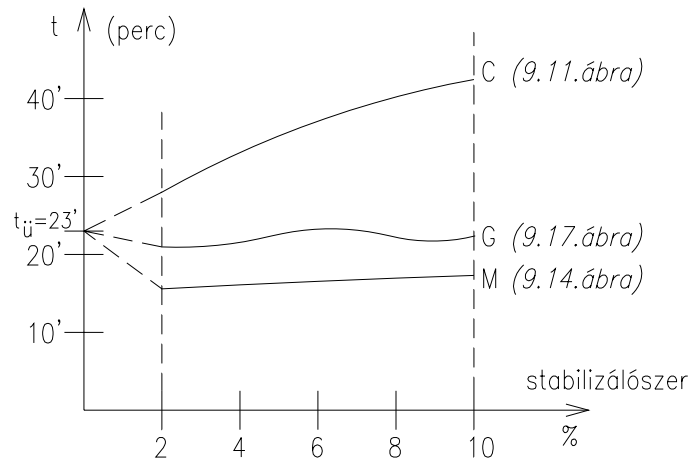


9.19. ábra: A különböző stabilizálószer hatása a vályog zsugorodására

A cementstabilizációs próbatetek zsugorodása 2,8-4,3 %, (9.10. ábra), a mészstabilizációs próbateteké 3,6-3,9 %, (9.13. ábra), a gipszstabilizációsaké 2,5-2,9 % (9.16. ábra) között változott. A tiszta alapanyagból készült üres (etalon) próbateteké 2,3 % (9.6. ábra). Az  $\bar{\varepsilon}_{\bar{u}} = 2,8$  %-os zsugorodást, az  $\varepsilon_{\bar{u}} = 2,3$  % (9.6. ábra), az  $\varepsilon_{\bar{u}c} = 2,8$  % (9.10. ábra), az  $\varepsilon_{\bar{u}m} = 3,6$  % (2.6. ábra) és az  $\varepsilon_{\bar{u}g} = 2,6$  % (9.16. ábra) átlagaként számoltuk ki. Kimondható, hogy a 0-10 %-os adagolási tartományban a mész és a cementadagolásnak van számottevő hatása a zsugorodásra. Az adagolás nagyságától függően 1,5 %-os zsugorodás növekedést is mértünk.

**Sovány vályog esetén a különböző stabilizálószer 1-1,5 % körüli zsugorodás növekedést hozhatnak létre. Ez azt jelenti, hogy hasonló a hatásuk, mint egy esetleges kövérítésnek – agyag hozzákeverésnek – (8.2.2. pont). A 8.9. ábrán látható, hogy a 0-10 %-os keverék növekménye 0,9-2,2 %, átlagosan ugyancsak 1,3 % körüli érték.**

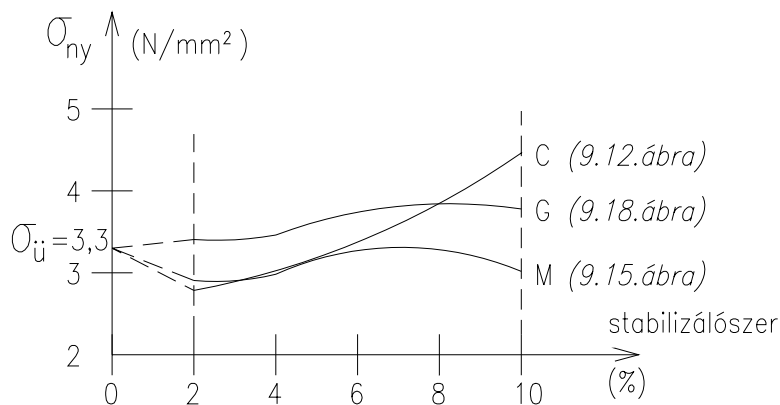
A különböző stabilizálószer **vízérzékenységre** gyakorolt hatása a 9.20. ábrán vethető össze.



**9.20. ábra:** A különböző stabilizálószer hatása a vályog vízérzékenységére

A cementstabilizációs próbatetek eliszapolódási, ill. elszakadási ideje 28-41' (9.11. ábra), a mészstabilizációs próbateteké 15-17' (9.14. ábra), a gipszstabilizációsaké 17-27' (9.17. ábra). Az üres (etalon) próbateteké 25' (9.7. ábra). A  $t_{\bar{u}} = 23'$ -es eliszapolódási időt a  $t_{\bar{u}} = 25'$  (9.7. ábra), a  $t_{\bar{u}c} = 36'$  (9.11. ábra); a  $t_{\bar{u}m} = 15'$  (9.14. ábra) és a  $t_{\bar{u}g} = 25'$  (9.17. ábra) átlagaként számoltuk ki. **Kimondható, hogy a cementadagolás pozitív, a gipszadagolás semleges, a mészadagolás negatív hatással van a vályog vízérzékenységére.**

A különböző stabilizálószer **nyomószilárdságra** gyakorolt hatása a 9.21. ábrán követhető.



**9.21. ábra:** A különböző stabilizálószer hatása a vályog nyomószilárdságára

A cementstabilizációs próbatetek nyomószilárdsága 2,9-4,2 N/mm<sup>2</sup> (9.12. ábra), a mészstabilizációs próbateteké 2,7-3,6 N/mm<sup>2</sup> (9.15. ábra), a gipszstabilizációsaké 3,2-4,0 N/mm<sup>2</sup> (9.18. ábra) között változik. Az üres (etalon) próbateteké 2,9 N/mm<sup>2</sup> (9.9. ábra). A  $\bar{\sigma}_{\bar{u}} = 3,3$  N/mm<sup>2</sup>-es nyomószilárdságot a  $\sigma_{\bar{u}} = 2,9$  N/mm<sup>2</sup> (9.9. ábra), a  $\sigma_{\bar{u}c} = 3,5$  N/mm<sup>2</sup> (9.12. ábra), a  $\sigma_{\bar{u}m} = 3,1$  N/mm<sup>2</sup> (9.15. ábra) és a  $\sigma_{\bar{u}g} = 3,7$  N/mm<sup>2</sup> (9.18. ábra) átlagaként számoltuk ki. **Kimondható, hogy mindhárom kötőanyag adagolása pozitív hatással van a vályog nyomószilárdságára.**

## 9.4. A próbatesten nyert szilárdsági eredmények megbízhatóságának vizsgálata

Mivel közismert dolog, hogy a próbatestek alakja és méretei befolyásolják a vizsgálat anyag szilárdságát, ezért megvizsgáltuk mind a száraz- és a nedves technológiával készített próbatesten, ill. a kész vályogtéglakon mért nyomó- és húzószilárdság megbízhatóságát.

### 9.4.1. A száraz technológiával készült vályog vizsgálata

Az alapanyagból háromféle próbatestet készítettünk:

- préselt hengeres próbatesteket (PT) (7.1. ábra),
- préselt vályogtéglát (T),
- préselt vályogtéglából a préselt próbatesttel azonos méretűre kiesztetgált hengeres magmintát (MM).

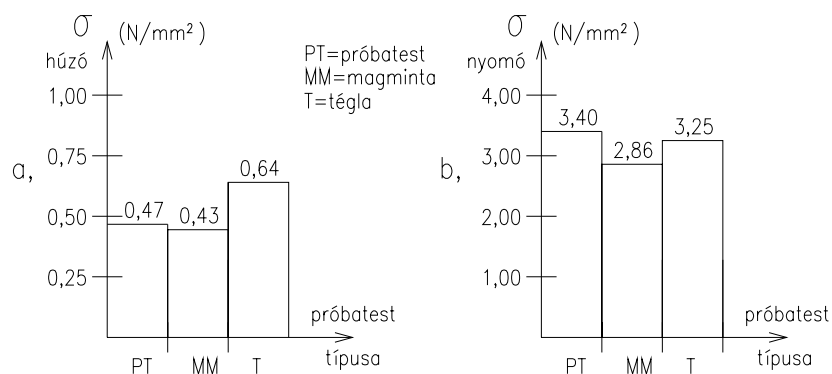
A próbatestek nyomó-, ill. „kvázi” húzószilárdságát hasonlítottuk össze a vályogtéglák hajlításból nyert „kvázi” húzószilárdságával, ill. a hajlításból nyert féltéglák nyomószilárdságával (9.2. kép). A vályogtéglák vizsgálatát az égetett agyagtéglák vizsgálatának kisebb módosításával végeztük. A vizsgálat eredménye a 9.22. ábrán figyelhető meg.



9.2. kép: Szilárdságvizsgálatok

a.) a vályogtéglák hajlító-

b.) a féltégla nyomószilárdság vizsgálata



9.22. ábra: A száraz technológiával készült, a magmintákon és a kész vályogtéglakon mért

a.) „kvázi” húzó- és

b.) nyomószilárdság összehasonlítása



Az (a) ábrán látható, hogy az azonos méretű préselt próbatest (PT) és a téglából kivágott magminta (MM) „kvázi” húzószilárdsága között ( $0,47-0,43 \text{ N/mm}^2$ ) elég kicsiny, kb. 10 % a különbség. A próbatestek és a téglaszilárdsága között ( $0,43..0,47-0,64 \text{ N/mm}^2$ ) már 36-49 % az eltérés. Ez százalékban kifejezve elég sok, azonban abszolút értékben vizsgálva elfogadhatóan pontos eredménynek mondható.

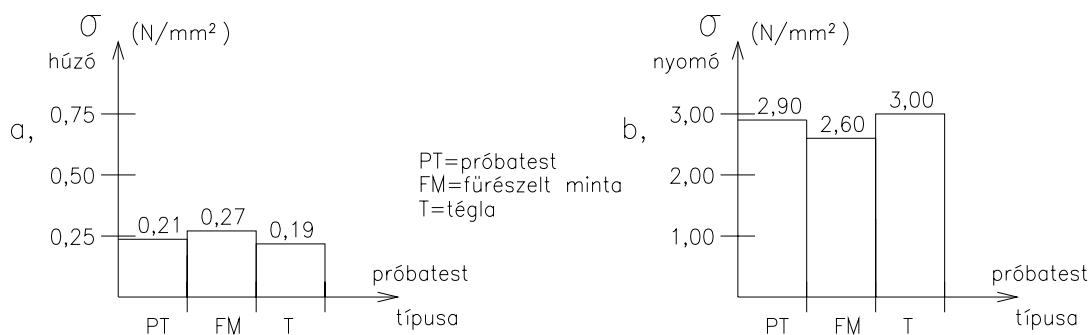
A (b) ábrán a nyomószilárdság alakulását tüntettük fel. Az azonos méretű PT és FM próbatestek nyomószilárdsága között ( $3,40-2,86 \text{ N/mm}^2$ ) 18 %, míg a próbatestek és a téglaszilárdsága között ( $2,86...3,40 - 3,25 \text{ N/mm}^2$ ) 14-19 % az eltérés. Tehát a legnagyobb átlagos eltérés is 20 %-on belül maradt, ami elfogadhatóan pontos.

**Fenti eredmények alapján kimondható, hogy a „kvázi” húzószilárdság vizsgálat „tájékoztató” jellegű, míg a nyomószilárdság vizsgálat eredménye „pontosnak” tekinthető. Megfelelő biztonsági tényező alkalmazása esetén a vizsgálat gyakorlat számára is elfogadható.**

#### 9.4.2. A nedves technológiával készült vályog vizsgálata

Az alapanyagból háromféle próbatestet készítettünk:

- öntött és vibrálással tömörített hasáb alakú próbatesteket (PT) (7.2. ábra),
- öntött és vibrálással tömörített vályogtéglákat (T),
- öntött és vibrálással tömörített vályogtéglából a próbatesttel azonos méretű magminta kifűrészelésével (FM).



**9.23. ábra:** A próbatesteken és a kész téglákon mért  
a.) „kvázi” húzó- és  
b.) nyomószilárdság összehasonlítása

Az (a) ábrán látható, hogy az azonos méretű próbatest (PT) és a téglából kifűrészelt minta (FM) „kvázi” húzószilárdsága között ( $0,27-0,21 \text{ N/mm}^2$ ) elég magas, kb. 28 % az eltérés. A próbatestek és a téglaszilárdsága között ( $0,21...0,27 - 0,19 \text{ N/mm}^2$ ) már 10-42 % az eltérés. Ez százalékban kifejezve elég sok, azonban abszolút értékben vizsgálva elfogadhatóan pontos eredménynek mondható.

A (b) ábrán a nyomószilárdság alakulását tüntettük fel. Az azonos méretű PT és FM próbatestek nyomószilárdsága között ( $2,90-2,60 \text{ N/mm}^2$ ) 12 %, míg a próbatestek és a téglaszilárdsága

ga között ( $2,60 \dots 2,90 - 3,00 \text{ N/mm}^2$ ) 3-15 % az eltérés. Tehát a legnagyobb eltérés is 15 %-on belül marad.

***Fenti eredmények alapján kimondható, hogy a „kvázi” húzószilárdság vizsgálat „tájékoztató” jellegű, míg a nyomószilárdság vizsgálat eredménye „pontosnak” tekinthető. Megfelelő biztonsági tényező alkalmazása esetén a vizsgálat a gyakorlat számára is elfogadható.***

## 10. A KUTATÁS EREDMÉNYEINEK ÖSSZEFOGLALÁSA

### 10.1. A kutatás aktualitása és célja

Korunkban hallatlanul felgyorsult a társadalom, a tudomány, a technika, az ipar és azon belül az építőipar, ill. az építőanyagok fejlődése, azonban ez a tendencia igen súlyos problémákat is felvetett, mint pl. energiaár-robbanás, környezetszennyezés, a metropolisok válsága. Ma már tudjuk, hogy az ipari technológiák képesek arra, hogy sokkal nagyobb sebességgel állítsák elő az ipari termékeket (végső fázisában hulladékot), mint a föld ún. regenerálódó képessége. Ha nem tesszük az ipart, azon belül az építőipart környezetbaráttá, előbb-utóbb egy hulladék hegyen fogunk élni.

Ha mindezt el akarjuk kerülni, akkor **az ipari technológiákat és a velük előállított termékeinket „környezetbaráttá” kell tennünk.** Ehhez azon felül, hogy takarékosan bánunk a nyersanyaggal és az energiával, **a végtermék egyszerű és olcsó újrafelhasználhatóságát, ill. szanálhatóságát** kell elérnünk. Tehát olyan ipari termékeket kell előállítani, amelyek újrafelhasználása a mindenkori technológiai fejlettség szintjén gazdaságosan megoldható, ill. a természetbe – annak károsítása nélkül – visszaforgatható.

Mindezt végiggondolva jutottam el a vályoghoz, mint olyan építőanyaghoz, mely a fenti kritériumnak a leginkább eleget tesz. Azonban annak ellenére, hogy ma Magyarországon több, mint 250 000 vályogház van, a vályogépítés nincs szabályozva.

Ahhoz, hogy egy adott építési feladathoz a megfelelő vályogot ki tudjuk választani, ill. a rendelkezésünkre álló talajokból elő tudjuk állítani, és ezt az anyagot minősíteni, ill. az építés során ellenőrizni lehessen, ki kell alakítani a vályog mai napig hiányzó szabályozási rendszerét. Ki kell dolgozni a vályog minősítő vizsgálatait, meg kell határozni a különböző talajok építőanyagként (vályogként) való alkalmazási lehetőségeit, össze kell gyűjteni és meg kell határozni a vályog legjelentősebb fizikai- és mechanikai tulajdonságait. Korszerűsíteni kell a vályogstabilizálási eljárásokat.

### 10.2. A kutatás területei

A fentiekben vázolt feladatot tíz fejezetre bontva tárgyalom.

Az **első fejezetben** a vályogépítés hazai gyakorlatában elkövetett legsúlyosabb hibákra hívom fel a figyelmet, majd egy hazai példán szemléltetem a vályogépítészet lehetőségeit.

A **második fejezetben** rövid történelmi áttekintést adok erről az ősi, időről-időre ciklikusan megújuló építőanyagról, a vályogról, áttekintve az emberiség kapcsolatát a vályogépítészettel, ill. annak fejlődését az utolsó kb. 10000 évben.

A **harmadik fejezetben** ismertetem a kutatás célját, aktualitását és a vályoghoz, mint építőanyaghoz való örökös visszatérés szükségességének okait. Elemzem a vályog, mint építőanyag előnyeit és hátrányait.

A **negyedik fejezetben** bemutatom a talajok eredetét, alkotóit és szerkezeti felépítését, kiemelt hangsúllyal a vályogkészítésre leginkább alkalmas kötött talajokat. Ezek ismeretében integrálom a talajmechanikának a vályogépítéshez alkalmazható részterületeit.

Az **ötödik fejezetben** ismertetem mind a friss-, mind a megszilárdult vályoghabarcs tulajdonságait. Integrálom a habarcstechnológiai ismeretek vályogépítéshez kapcsolható, ott is alkalmazható tapasztalatait.

A **hatodik fejezetben** a vályogépítés technológiai alapkérdéseit taglalom. A vályogépítési technológiákat alapvetően két csoportra osztom:

- elsősorban az anyag minőséget befolyásoló technológiákra (száraz vagy nedves, tömörített vagy tömörítetlen),
- másodsorban az épületszerkezeti kialakítást befolyásoló technológiákra (monolit vagy előregyártott, hagyományos vagy korszerű).

A dolgozatomban az anyagminőséget befolyásoló technológiával készített vályoggal foglalkozom részletesen.

A **hetedik fejezetben** a vályog minősítő vizsgálati rendszerének kialakítására teszek javaslatot, hogy a vályog a többi ismert építőanyaghoz hasonlóan minősíthető legyen. A kiválasztott minősítő tulajdonságok a vályog legkritikusabb tulajdonságai: a térfogattartósság, szilárdság és vízáteresztő képesség.

A **nyolcadik fejezetben** a vályog minősítő tulajdonságainak optimalizálási lehetőségeit tárgyalom az új vizsgálati rendszer segítségével. Az elsődleges cél egy relatív nagy szilárdságú, ill. kicsiny zsugorodású és vízáteresztő építőanyag előállítása.

A **kilencedik fejezetben** a vályog stabilizálási lehetőségeinek hagyományos kötőanyagokkal (mész, gipsz, cement), ill. folyékony polimerekkel való lehetőségeit vizsgálom, az építési technológiák (száraz vagy nedves) függvényében.

A **tizedik fejezetben** összefoglalom a kutatásom céljait, téziseit és eredményeit.

### 10.3. A kutatás tézisei

A dolgozatomban célja az előző pontban részletezett feladat kidolgozása a szakirodalom áttanulmányozása során összegyűjtött ismeretek és saját laboratóriumi vizsgálataim eredményei alapján szerzett tapasztalatok összegzésével. A kutatásomban legfontosabb céljai:

- *a vályog minősítő vizsgálati rendszerének kidolgozása,*
- *a vályog hátrányos tulajdonságainak csökkentését eredményező technológia kialakítása,*
- *ezen célok eléréséhez szükséges kerületi feltételek egységesítése az összehasonlíthatóság ill. a kiértékelhetőség érdekében,*
- *a magyar nyelvű szakirodalom részleges pótlása.*

Fenti feladat kidolgozása során az alábbi téziseket fogalmaztam meg:

1. **tézis:** *ma Magyarországon nincs se szabvány, se műszaki irányelv, amely a vályogról mint építőanyagról, ill. annak vizsgálatáról rendelkezne. Ezért ki kell dolgozni a vályog egységes minősítő vizsgálati rendszerét.*

- 2. tézis:** a vályog definíciója: építészeti céllal felhasznált, töltőanyaggal (törek, fenyőtűske, forgács, stb.) és vízzel kevert kötött talajt vályoghabarcsnak nevezzük. Ennek kiszáritásával nyerhető a vályog.
- 3. tézis:** a talajalkotórészek arányát megmutató háromszög diagram Minke [42] által meghatározott tartományát kiegészítve az égetett kerámiákhoz használatos tartomány egy részével, kijelöltem a vályogépítésre alkalmas talajok tartományát.
- 4. tézis:** a Fuller-parabola módosításával  $a = 95 \sqrt{\frac{d+5}{D}}$  egyenlettel és a módosított Fuller-parabola 180°-os elforgatásával matematikailag is kijelölhető az építésre alkalmas vályogok szemeloszlási tartománya.
- 5. tézis:** a vályog vizsgálatához készített próbatestek anyagának – a kiértékelhetőség és az összehasonlíthatóság érdekében – szabványos folyósságúnak kell lennie.
- 5.1.tézis:** a vályog vizsgálatához a próbatesteket az építési technológiának megfelelően kell elkészíteni. Ennek függvényében kétféle próbatestet – száraz vagy nedves – kell kialakítani; préselt hengereket vagy öntött és vibrált hasábokat.
- 5.2. tézis:** a száraz építési technológiával készült vályog vizsgálatához a Proctor vizsgálattal meghatározott, maximális testsűrűséget ( $\rho_{dmax}$ ) biztosító víztartalommal ( $w_{opt}$ ) kevert vályogot tekintjük szabványos folyósságúnak;
- 5.3. tézis:** a nedves építési technológiával készült vályog vizsgálatához a módosított Casagrande vizsgálattal, az  $n = 20$  ejtegetési számhoz tartozó víztartalommal ( $w_{20}$ ) készített vályogot tekintjük szabványos folyósságúnak, amely a formázhatóság határát jelöli ki;
- 5.4. tézis:** a nedves építési technológiával készült vályog vizsgálatához a habarcs-technológiából ismert területvizsgálat-, ill. képsüllyedés is alkalmazható. A „módosított” Casagrande vizsgálattal  $n = 20$  ejtegetési számhoz tartozó víztartalom ( $w_{20}$ ) közel megegyezik a  $180 \pm 10$  mm-es terület biztosító víztartalommal ( $w_{180}$ ), ill. a  $80 \pm 10$  mm-es kúpsüllyedést biztosító víztartalommal ( $w_{80}$ ).
- 6. tézis:** a töltőanyag adagolás szabályozza a testsűrűséget ( $\rho_t$ ). A  $\rho_t$  a szilárdsággal ( $\sigma$ ) sztohasztikusan egyenes míg a hőszigetelő képességgel ( $R$ ) fordítottan arányos. A  $\rho_t$  a  $\sigma$  és az  $R$  függvényében optimalizálható.
- 7. tézis:** a minősítő vizsgálatok kiválasztásának fő szempontja a vályog kritikus mechanikai tulajdonságainak vizsgálata, így: szilárdság („kvázi” húzó-, nyomószilárdság),
- térfogattartósság,
  - vízérzékenység.
- 7.1.tézis:** a DIN 18952 szerinti – bonyolult – kötőerővizsgálat helyett a „kvázi” húzószilárdság vizsgálatot kell bevezetni. A „kvázi” húzószilárdság vizsgálat száraz technológiával készített hengeres próbatestek esetén az élmenti nyomószilárdság vizsgálatot, ill. a nedves technológiák esetén a hasábalakú próbatestek hajlító-húzó szilárdság vizsgálatát jelenti.
- 7.2.tézis:** az építőanyagok vízhez való viszonyát kifejező vízállóság és a vizlágulás fogalma a vályogok esetében nem alkalmazható. Helyette a vízérzékenység fogalmának bevezetése javasolható. A DIN 18952 szerinti vízérzékenység vizsgálatot – kicsiny módosítással – át lehet venni. A vizsgálatot mindkét típusú (henger vagy hasáb) próbatest esetén ugyanúgy kell elvégezni.
- 7.3.tézis:** a zsugorodás vizsgálatot a próbatestek hosszának egy héten keresztül naponta 0,1 mm pontos megméréssel kell végezni. Vizsgálataim szerint az egy hét után mért zsugorodási értéket jó közelítéssel a zsugorodás végértékének lehet tekinteni.

**8. tézis:** a talajmechanikában és a habarcstechnológiában kialakult konzisztencia határok figyelembevételével – a vályogépítés technológia függvényében – új konzisztencia határokat kell kijelölni.

Ezek a:

- földnedves (FN): a  $\rho_{dmax}$  95 %-hoz tartozó **alsó**
- víztartalommal kevert vályog konzisztenciája,
- kissé képlékeny (KK): a  $\rho_{dmax}$  100 %-hoz tartozó víztartalommal kevert vályog konzisztenciája,
- képlékeny (K): a  $\rho_{dmax}$  95 %-hoz tartozó **felső** víztartalommal kevert vályog konzisztenciája
- folyós (F): a Casagrande vizsgálattal meghatározott,  $n = 25$  ejtegetési számhoz tartozó víztartalommal kevert vályog konzisztenciája,
- önthető (Ö): a módosított Casagrande vizsgálattal meghatározott –  $n=20$  ejtegetési számhoz tartozó – víztartalommal kevert vályog konzisztenciája
- Az FN konzisztencia határ a száraz technológiáknál a bedolgozhatóság alsó, a KK konzisztencia határ az optimális-, míg a K konzisztencia határ a bedolgozhatóság felső határát jelöli ki.
- Az F konzisztencia határ a nedves technológiáknál a legkönnyebb bedolgozhatóságot, míg az Ö a formázhatóság határát jelöli ki.

**9. tézis:** a kritikus agyagtartalom ( $a_{krit}$ ) fogalmának bevezetését javaslom. Az  $a_{krit}$  az az agyagtartalom, amely alatt a vályog zsugorodása a kiszáradás folyamán konvergens és amely fölött divergens. A konvergencia azt jelenti, hogy gondos utókezeléssel a vályog megrepedése elkerülhető. Divergencia esetén a vályog bizonyosan megreped.

**10. tézis:** a határ víztartalom ( $w_h$ ) az a keverővíztartalom, amely alatt a vályog zsugorodása konvergens és amely fölött divergens. A konvergencia azt jelenti, hogy gondos utókezeléssel a vályog megrepedése elkerülhető. Divergencia esetén a vályog bizonyosan megreped.

**11. tézis:** a teherviselő vályog rostadagolása  $10-30 \text{ kg/m}^3$  között kell legyen.  $10 \text{ kg/m}^3$ -nél kisebb adagolást a vályog repedésérzékenysége miatt nem célszerű alkalmazni. A  $30 \text{ kg/m}^3$  feletti mennyiség már nem javítja hatékonyan a vályog húzószilárdságát, de jelentősen csökkenti annak nyomószilárdságát.

**12. tézis:** a vályog szilárdságát jelentősen befolyásolja a maximális szemcseméret ( $d_{max}$ ), ezért korlátozni kell. A  $d_{max} > 4 \text{ mm}$  esetén a vályog nyomószilárdság erőteljesen csökken. Nagyobb egyedi szemcsék vályoghoz keveredése –  $d > 4 \text{ mm}$  – ugyancsak jelentősen leontja a vályog nyomószilárdságát.

**13. tézis:** száraz építési technológiával készülő stabilizált vályog esetén, amikor a keverővíznek a technológiai szerepén felül a stabilizálószer – mész, gipsz, cement – megkötésében kémiai szerepe is van, akkor nem elég a  $\rho_{dmax}$  eléréséhez szükséges optimális keverővíz ( $w_{opt}$ ) mennyiséget alkalmazni. A kémiai kötés ugyanis vizet von el a maximális tömörséget biztosító  $w_{opt}$ -ből, amely így sem a kémiai kötés biztosításához, sem a maximális tömörség eléréséhez nem elegendő, s végeredményben a stabilizációnak negatív hatása lesz.

- 13.1.tézis:** ha a  $\rho_{dmax}$  eléréséhez szükséges keverővíz mennyiségét ( $w_{opt}$ ), az adagolt stabilizálószer megkötéséhez elvileg szükséges víz mennyiségével megnöveljük, akkor a – mésszel, gipsszel, cementtel – stabilizált próbatestek szilárdsága közel visszaáll a stabilizálatlan vályog szilárdságára, de a stabilizációnak nincs pozitív hatása.
- 13.2.tézis:** a fentiek alapján kimondható, hogy a kémiai kötéshez vízszükséglettel bíró stabilizálószeres száraz építési technológiák esetén nem alkalmazhatók
- 13.3.tézis:** száraz építési technológiák esetén csak a folyékony halmazállapotú polimeres stabilizálás hatékony. A folyékony polimer plasztifikáló hatást is kifejt.
- 14. tézis:** a nedves technológiával készülő vályog a Proctor-vizsgálattal meghatározható optimális keverővíztartalomhoz ( $w_{opt}$ ) képest olyan nagy vízfelesleggel készül, hogy az a technológiához szükséges vízen felül képes biztosítani a stabilizálószeres – mésszel, gipsz, cement – kémiai kötésének vízszükségletét is. Az adagolás kb. 10 %-os felső határa elsősorban gazdasági kérdés.
- 14.1.tézis:** a vályog cementes stabilizálása 2-3 %-os adagolásig rontja a vályog nyomószilárdságát, 5-10 % között növeli azt. A felső határt a gazdaságosság határozza meg;
- 14.2.tézis:** a vályog meszes stabilizációja 2-3 %-os adagolásig rontja, 4-8 % között javítja, míg 8 % felett ismét rontja a vályog nyomószilárdságát;
- 14.3.tézis:** A vályog gipszes stabilizációja 2-3 %-os adagolásig rontja, 4-6 % között javítja, majd 7-10 % között ismét rontja a vályog nyomószilárdságát. A gipszes stabilizáció elvileg valamivel hatékonyabb, mint a meszes, azonban a gipsz igen kicsiny kötési ideje, igen gyors és pontos munkát követel meg, amelyet még laboratóriumi körülmények között is nehéz betartani. Ezért a gyakorlat számára nem ajánlható.
- 14.4.tézis:** a polimeres stabilizáció a keverővízhez viszonyítva 1:2, 1:3-as adagolásban hatásos. Ez nedves technológiák esetén gazdaságtalan megoldáshoz vezet.

#### 10.4. A kutatás várható eredményei

Dolgozatomban várható eredménye a vályog, mint építőanyag:

- hazai szabályozásának elindítása
- a vályog minősítő vizsgálati rendszerének kidolgozása:
  - mintavétel, előkészítés
  - szabványos folyósságú vályog előállítása (az építési technológia függvényében)
  - próbatestek kialakítása (a szabványos folyósság függvényében)
  - minősítő vizsgálatok kialakítása (a vályog mechanikai tulajdonságai alapján):
    - szilárdság (nyomó- és „kvázi” húzószilárdság)
    - alakváltozás ( $\epsilon_{zs}$ ,  $\epsilon_{duzz}$ )
    - vízérzékenység
- a vályog legfontosabb fizikai és mechanikai tulajdonságainak irodalmi összegyűjtése
- az erősen hiányos magyar nyelvű irodalom részlege pótlása.

Fenti eredmények hasznosíthatóságát a hazai vályogépítéssel főlendítésében látom, amely részben megoldást kínál a 3. pontban felvetett súlyos környezetvédelmi és egészségügyi problémákra.

## MELLÉKLETEK

- I. Ábrajegyzék
- II. Táblázatjegyzék
- III. Képjegyzék
- IV. Irodalomjegyzék
- V. Szakirodalom összefoglaló
- VI. - Kivonat  
- Summary
- VII. Saját publikációk



## I. ÁBRAJEGYZÉK

- 2.1. ábra: Kosztyonszki földbe mélyített ház  
2.2. ábra: Árpádkori veremház rekonstrukciója  
2.3. ábra: Azzan (Dél-Jemen) utcakép több emeletes vályogházak
- 4.1. ábra: Magyarországi vályogtalajok a Világatlasz szerint  
4.2. ábra: A talajtípus ábrázolása háromszögdiagrammal  
4.3. ábra: Egyszemcsés szerkezet  
4.4. ábra: Finom talajszerkezetek  
a.) sejt-,  
b.) pehelyszerkezet  
4.5. ábra: A tetraéderes, a hexagonális és az oktaéderes kristály  
4.6. ábra: A feszültség változása a szilárd szemcsék közötti vízfilm vastagság függvényében  
4.7. ábra: Az agyagszerkezet kialakulása az erőhatások eredőjének függvényében  
4.8. ábra: Lemezes agyagrészecskék közötti kötések lehetséges típusai  
4.9. ábra: A durva szemcséket is tartalmazó agyagos talajszerkezet  
4.10. ábra: Az agyag szerkezeti típusai a részecskék rendezettségi foka szerint  
4.11. ábra: Különböző típusú agyagok vízfelvétele az agyagtartalom függvényében  
4.12. ábra: Az agyagok jellemző szemeloszlása  
4.13. ábra: A talajban levő víz különböző megjelenési formái  
4.14. ábra: A talajok vízfelvevő képessége  
4.15. ábra: A talajok szétesési görbéje  
4.16. ábra: A szétesési szám a kezdeti víztartalom függvényében  
4.17. ábra: A víztartalom hatása az egyirányú nyomószilárdságra  
4.18. ábra: A konzisztencia hatása:  
a.) az egyirányú nyomószilárdságra  
b.) az alakváltozásra  
4.19. ábra: A hézagtenyező hatása a nyomófeszültségre  
4.20. ábra: Hengeres talajminta alkotó menti törése  
4.21. ábra: Homok és agyag konszolidációs görbéje  
4.22. ábra: Az agyag-iszap tartalom hatása a vízáteresztő-képességi együtthatójának értékére
- 5.1. ábra: A pórustartalom hatása a szilárdságra  
5.2. ábra: A tömörítés és a víztartalom hatása a szilárdságra  
5.3. ábra: A habarcs szilárdság hatása a  $\sigma$ - $\varepsilon$  diagramra  
5.4. ábra: A terhelés sebességének hatása a  $\sigma$ - $\varepsilon$  diagramra  
5.6. ábra: A vályoghabarcsok zsugorodása:  
a.) az agyagtartalom  
b.) a keverővíz mennyiségének függvényében
- 6.1. ábra: A különböző vályogépítési technológiák meghonosodása Magyarországon a XIX. században  
6.2. ábra: A testsűrűség meghatározása a szilárdság és a hőszigetelő képesség optimalizálása érdekében  
6.3. ábra: A kiszáradás fázisai

- 6.4. ábra: A szélsébség hatása a zsugorodásra
- 6.5. ábra: A száradási hőmérséklet hatása a zsugorodásra
- 
- 7.1. ábra: Préseléssel előállított próbatest
- 7.2. ábra: Keveréssel előállított próbatest
- 7.3. ábra: A száraz építési technológiák esetén alkalmazható földnedves és kissé képlékeny konzisztenciákhoz tartozó víztartalom kijelölése
- 7.4. ábra: Vályog próbatestek eliszapolása állóvízben
- 
- 8.1. ábra: Az ismert szemeloszlások
- 8.2. ábra: A vályog javasolt minősítő szemeloszlási tartománya
- 8.3. ábra: A szilárdság és a maximális szemnagyság kapcsolata
- 8.4. ábra: A  $d_{max}$  hatása a zsugorodásra
- 8.5. ábra: A  $d_{max}$  hatása a vízérzékenységre
- 8.6. ábra: Tapasztalati összefüggés az U és a  $\sigma_{ny}$  között
- 8.7. ábra: Az agyagtartalom és a belső súrlódás ill. a kohézió kapcsolata
- 8.8. ábra: A kövérítés hatása a nyomószilárdságra  
a.) préselt hengeres-, ill.  
b.) öntött hasáb próbatesteken
- 8.9. ábra: A különböző keverékek zsugorodása  
a.) préselt hengeres, ill.  
b.) öntött hasáb próbatesten
- 8.10. ábra: A nyomószilárdság változása w függvényében  
a.) homok és agyag  
b.) vályog
- 8.11. ábra: A keverővíz mennyiségének hatása a pórustartalomra
- 8.12. ábra: A pórustartalom hatása az egyirányú nyomószilárdságra
- 8.13. ábra: A testsűrűség változás hatása az egyirányú nyomószilárdságra
- 8.14. ábra: A víztartalom hatása a térfogattartóságra
- 8.15. ábra: A próbatestek eliszapolódásának, ill. elszakadásának időszükséglete a keverővíz tartalom függvényében
- 8.16. ábra: A törekadagolás hatása  
a.) a testsűrűsége  
b.) a szilárdságra
- 8.17. ábra: A szalmatörek hatása a zsugorodásra
- 8.18. ábra: A keverési idő hatása a nyomószilárdságra a víztartalom függvényében
- 8.19. ábra: Az egyirányú nyomószilárdság alakulása a présfeszültség változása függvényében
- 8.20. ábra: A présidő és a nyomószilárdság kapcsolata
- 8.21. ábra: A vibrációs idő hatása a nyomószilárdságra a víztartalom függvényében
- 8.22. ábra: A vízérzékenység csökkenése a présfeszültség növelése mellett
- 
- 9.1. ábra: Az optimális agyagtartalmat  
a.) a szilárdság-  
b.) a zsugorodás határozza meg
- 9.2. ábra: A  $\rho_{d max}$  és  $w_{opt}$  változása az agyagos keverék változásának függvényében
- 9.3. ábra: A kötőanyagok hatása a száraz technológiával készülő próbatestek zsugorodására
- 9.4. ábra: A különböző próbatestek leszakadási, ill. eliszapolódási ideje
- 9.5. ábra: Különböző stabilizálószer hatása a vályog szilárdságára

- 9.6. ábra: A kötőanyag hatása a nedves technológiával készülő próbatestek zsugorodására
- 9.7. ábra: A különböző próbatestek eliszapolódási, ill. leszakadási ideje
- 9.8. ábra: A kötőanyagok hatása a nedves technológiával készített próbatestek „kvázi” húzószilárdságára
- 9.9. ábra: A kötőanyagok hatása a nedves technológiával készített próbatestek nyomószilárdságára
- 9.10. ábra: A cementadagolás hatása a próbatestek zsugorodására
- 9.11. ábra: A cementadagolás hatása a próbatestek eliszapolódási, ill. elszakadási idejére
- 9.12. ábra: A cementadagolás hatása a próbatestek nyomószilárdságára
- 9.13. ábra: A mészadagolás hatása a próbatestek zsugorodására.
- 9.14. ábra: A mészadagolás hatása a próbatestek eliszapolódási, ill. elszakadási idejére
- 9.15. ábra: A mészadagolás hatása a próbatestek nyomószilárdságára
- 9.16. ábra: A gipszadagolás hatása a próbatestek zsugorodására.
- 9.17. ábra: A gipszadagolás hatása a próbatestek eliszapolódási, ill. elszakadási idejére
- 9.18. ábra: A gipszadagolás hatása a próbatestek nyomószilárdságára
- 9.19. ábra: A különböző stabilizálószer hatása a vályog zsugorodására
- 9.20. ábra: A különböző stabilizálószer hatása a vályog vízérzékenységére
- 9.21. ábra: A különböző stabilizálószer hatása a vályog nyomószilárdságára
- 9.22. ábra: A száraz technológiával készült próbatesteken és a kész vályogtéglákon mért  
a.) „kvázi” húzó- és  
b.) nyomószilárdság összehasonlítása
- 9.23. ábra: A próbatesteken és a kész téglákon mért „kvázi” húzószilárdság

## II. TÁBLÁZATJEGYZÉK

- 3.1. táblázat: Az SBS panaszok
- 3.2. táblázat: Az SBS-panaszok megelőzése
- 3.3. táblázat: A vályog előnyei és hátrányai
- 3.4. táblázat: A vázas vályogszerkezetek előnyei és hátrányai
  
- 4.1. táblázat: A talajfizikai jellemzők csoportosítása
- 4.2. táblázat: Talajok szemcse nagyság szerinti elnevezése
- 4.3. táblázat: A szemcseméret és a fajlagos felület kapcsolata
- 4.4. táblázat: Kötött talajok osztályozása a plasztikus index alapján
- 4.5. táblázat: A kötött talajok osztályozása a konzisztencia index alapján
- 4.6. táblázat: Különböző kationok hatása az agyag szilárdságára és zsugorodására
- 4.7. táblázat: Vízmozgás a pórusok nagyságának függvényében
  
- 6.1. táblázat: Vályogépítési technológiák összefoglalása
  
- 7.1. táblázat: A vályog osztályozása kötőerő szerint
  - a.) Pollack szerint
  - b.) Niemeyer szerint
- 7.2. táblázat: A vályog kötőerő szerinti osztályozása a DIN 18952 szerint
- 7.3. táblázat: A konzisztencia határok
  
- 8.1. táblázat: A testsűrűség és a nyomószilárdság változása a törekeadagolás függvényében
  
- 9.1. táblázat: Vályogstabilizálási módszerek

### III. KÉPJEGYZÉK

- 1.1 kép: Földfalu családi ház
- 2.1. kép: A Kínai Nagy Fal
- 2.2. kép: Hollókői falurészlet
- 7.1. kép: A  $\rho_{dmax}$  eléréshez szükséges  $w_{opt}$  meghatározása Proctor-vizsgálattal
- 7.2. kép: A legkönnyebb formázhatóság eléréshez szükséges  $w_{opt}$  meghatározása Casagrande vizsgálattal
- 7.3. kép: Préselt hengeres próbatest
- a.) készítése;
  - b.) kész próbatest
- 7.4. kép: Öntött és vibrált hasáb alakú próbatestek
- a.) készítése;
  - b.) kész próbatest
- 7.5. kép: „Kvázi” húzószilárdság vizsgálat
- a.) hengerest próbatesten élmeneti nyomó
  - b.) hasábalakú próbatesten hajlító-húzó szilárdságvizsgálattal
- 7.6. kép: Vízérzékenység vizsgálat
- 8.1. kép: Durva szemcsén ( $d > 4$  mm) áthaladó törési felület
- 8.2. kép: Bolygólapátos habarcskeverőgép
- 8.3. kép: Hasábalakú próbatest vibrációs tömörítése
- 8.4. kép: Öntött, vibrált hasábalakú próbatestek
- 9.1. kép: Polimerrel felületkezelt, ill. kezeletlen hasábok 30'-es víz alatti tárolás után
- 9.2. kép: Szilárdságvizsgálatok
- a.) a vályogtéglá hajlító-
  - b.) a féltégla nyomószilárdság vizsgálata

#### IV. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Kovács Zsolt: Földfalú ház a Sárréten  
Budapest 2002.  
Szép házak 2002./6. szám 24-28. oldal
- [2] Istvánfi Gyula: Az építészet története – Óskor. Népi építészet  
Budapest, Nemzeti Tankönyvkiadó, 1973. 33., 36., 41. oldal
- [3] Hajnóczi J. Gyula: Az építészet története. Ókor I. Keleti és átmeneti kultúrák  
Budapest, Nemzeti Tankönyvkiadó, 1991. 38. oldal
- [4] Vitruvius P. Marcus: De architectura libri decem, ie. 80-10  
Tíz kötet az építészeztől IV. kötete
- [5] Pilnius G.S.: De architectura, ie. 23-79.
- [6] Szűcs Miklós: Föld- és vályogfalak építése  
Budapest Építésügyi Tájékoztatási Központ Kft. 1996. 8., 10. oldal
- [7] Palladió Andrea: I quattro Libri dell' Architettura  
in Venezia 1570. nyomán  
Budapest, Képzőművészeti Alap 1982.  
Die Vier Bücher zur Architectur  
München, 1988.
- [8] Gerő László: A magyar várak építéstörténete  
Budapest, Műszaki Kiadó, 1975.
- [9] „KSH” kiadvány: Energetika felhasználás 2002-ben  
Budapest, Központi Statisztikai Hivatal 2003.
- [10] Recknagel/Sprenger/Schramek: Fűtés- és klimatechnika 200. I.  
Budapest-Pécs, dialógus Campus Kiadó 2000. 83. oldal
- [11] Kunszt György: Az építési kutatások főiránya a 21. század elején és a magyar kutatás kapcsolódása  
Budapest 2001.  
Magyar Építőipar 2001/1. szám 2. oldal
- [12] ENSZ kiadvány: „Környezet és fejlődés” világkonferencia  
Rio de Janeiro 1992.
- [13] Márkus Gábor: Ökológikus lakásépítés  
Budapest 2002.  
Építőanyag 2002./4. szám, 130-133. oldal
- [14] 2000. évi XLIII. törvény: Országos Hulladékgazdálkodási Terv  
Budapest 2000.
- [15] Molnár Viktor: Olcsó és környezetbarát vályogépítészet  
Budapest 1999.  
Építőanyag 99/1. szám, 6-13. oldal
- [16] Molnár Viktor: Vályogépítési módok és szerkezeti megoldások  
Budapest 1998.  
Magyar Építőipar 1998./11-12. szám, 348-350. oldal
- [17] Molnár Viktor: Favázás vályogépítési módok és szerkezeti megoldások  
Budapest 1999.  
Magyar Építőipar 1999./3-4. szám, 119-120. oldal
- [18] Nemező Ernő: Agyagásványok  
Budapest, Akadémiai Kiadó, 1973. 13. oldal

- [19] Radó Sándor: Képes politikai és gazdasági világtasz  
Budapest, Kartográfiai Vállalat, 1979., 28. oldal
- [20] Kézdi Árpád: Stabilizált földutak  
Budapest, Akadémiai Kiadó, 1967., 257. olda.
- [21] Kézdi Árpád: Talajmechanika I.  
Budapest, Tankönyvkiadó, 1977., 37., 107., 167., 173., 137., 145., 146.,  
141., 339., 288. oldal
- [22] Keppler M./Lemcke T.: Mit Lehm gebaut  
Karlsruhe, Müller Verlag, 1986., 125. oldal
- [23] Voth/Germot M.: Darstellung des Ton-, Schluff- und Sandgehaltes von Lehm mit Hilfe  
eines Dreiecknetzes  
Freiburg, Ökobuch, 1999., 30. oldal
- [24] Kézdi Árpád: Talajmechanika I.  
Budapest, Tankönyvkiadó, 1952., 106., 110., 116., 117., 144., 244.,  
262., 263. oldal
- [25] Mitchell K. James: Fundamentals of Soil Behavior  
New York, London, Sydney, Torontó  
John Wiley&Sous, Inc., 1976., 29-30. oldal
- [26] Salmang G./Scholze H.: Die physikalischen und chemischen  
Grundlagen der Keramik  
Heidelberg, 1951.
- [27] Schneider Ulrich: Lehm bau für Architekten und Ingenieure  
Düsseldorf, Werner-Verlag GmbH, 1996. 100. oldal
- [28] Balázs György: Építőanyagok és kémia  
5.1., és 6.4., 6.5. ábrák
- [29] Palotás László: Építőanyagok 3.  
Budapest, Akadémiai Kiadó, 1980. 458. oldal
- [30] Épületfelújítási kézikönyv 2002., 6.1.3. fejezet 2. oldal
- [31] Tóth Jenő: Építés helyi anyaggal  
Budapest, Egyetemi Nyomda, 1960. 15-16. oldal
- [32] Veder Christian: Rutschungen und ihre Sanierung  
Wien, 1979.
- [33] Molnár Viktor: Examination of pressed adobe brick  
Hungarian Eletronic Journal of Sciences  
<http://heja.szif.hu/ARC/ARC>  
- 021227 – A/arc 021227 a.pdf, Győr, 2002.
- [34] DIN német szabvány: DIN 18951-18957 1944.
- [35] Molnár Viktor: A vályog minősítő vizsgálatai  
Budapest 1998.  
Magyar Építőipar 1998/9-10. szám, 295-298. oldal
- [36] Pollack E./Richter E.: Technik des Lehmhaus  
Berlin 1952.
- [37] Niemeyer Richard: Der Lehm bau  
Hamburg 1946.
- [38] Wienerberger: Égetett agyagtéglák szemeloszlása

- [39] Bálint Pál: Vízálló és víztaszító vályogtéglák  
Budapest 1957., Építőanyag 1957./1.szám
- [40] Boemans: Modifizierte Fuller-Parabel 1989.
- [41] Boros Gyula: Praxis der Bodenverfestigung  
Budapest, Akadémiai Kiadó, 1993.
- [42] Minke Gernot: Lehm-Handbuch  
Freiburg, Ökobuch Verlag, 1999, 88., 121. oldal



## ***SZAKIRODALOM ÖSSZEFOGLALÓ:***

A vályogépítéssel témakörében végzett irodalomkutatás során a végső soron felhasznált művek irodalomjegyzékben felsorolt körénél, sokkal több munkát kellett áttekinteni. Mivel a vályogépítésnek gyakorlatilag nincs magyar irodalma, ezért első sorban a német nyelvű (német és osztrák) irodalmat kutattam. Németországi privát utam alkalmával a Karlsruhei Egyetem, majd kétszer egy hetes tanulmányi utamon a Bécsi Műszaki Egyetem könyvtárában fellelhető irodalmat tanulmányoztam át, ill. jegyzeteltem ki.

Az alábbi összefoglalásban csak a szakirodalom vázlatos áttekintése és az értekezés szempontjából legfontosabb információk kiemelése lehet a célom.

**Marcus Vitruvius** (i.e. 80-10) a „De architectura libri decem” c. 10 kötetes művében [4] egy teljes kötetet szán a vályogra mint építőanyagra. Leírása kiterjed az anyagmegválasztásra, feldolgozásra és az építési technológiára.

**Pilnius G.S.** (i.sz. 23-79) [5] írásaiból tudjuk, hogy a rómaiak is építkeztek vályogból. Írásaiban beszámol arról, hogy a rómaiak Krisztus előtti első században polgári létesítményeken kívül még erődítmények építésére is felhasználták ezt az építőanyagot.

**Az Ótestamentumból** tudjuk, hogy az egyiptomiak és a héberek igen gyakran alkalmaztak nád-, sás-, ill. szalmatörökkel kevert vályogot az építkezéseikhez. Tehát már akkor tudták, hogy a zsugorodás miatt szükséges különböző rostos anyagokat adagolni (keverni) a vályoghoz.

**Palladio Andrea:** „Négy könyv az építészetéről” c. művében [7] írja, hogy a „legteljesebb” építőanyag a vályog.

**Gerő László:** „A magyar várak építéstörténete” c. művében [8] a magyar vár- és erődépítészetben mutat be példákat különösen a sövényfonatos- és favázás erődfal, azaz vályogfal kialakításokra. Ma már bizonyított tény, hogy 3 cm-nél nagyobb vályogtakarás konzerválja és tűzállóvá teszi a favázás szerkezetet. Később a várfalakat kívülről kővel burkolták.

**Kézdi Árpád:** „Talajmechanika”, ill. „Stabilizált földutak” c. munkái [20, 21, 24] egyedül tudományos magyarázatot a talajok viselkedésével kapcsolatban. Így ezekben megfogalmazott műszaki megfontolások – kicsiny módosítással – segítséget nyújtanak a vályog viselkedésének jobb megértéséhez is.

**Mitchell K. James:** „Fundamentals of Soil Behavior” c. munkája [25] segít eligazodni az agyagok között, amelyek a kötött talaj-, ill. a vályog kötőanyaga. Ismerteti az egyes agyag fajták vízhez való viszonyát (vízfelvétel, duzzadás, zsugorodás), ill. kötőerejét (szilárdságát).

**Palotás László és Balázs György:** „Építőanyagok 1-3”, ill. „Építőanyagok és Kémia” c. munkája [28, 29] alpművek az építőanyagok világában. Ezekben a könyvekben – többek között – a habarcs ismereteket is összefoglalják. Ennek segítségével lehet a vályogot, mint habarcsot, azaz mint egy építőanyagot kezelni. Összességében a talajmechanikai- és az építőanyag tudományok alapozzák meg a vályog tudományos igényű tárgyalását.

**Tóth Jenő** szerkesztésében jelent meg az „Építés helyi anyaggal” c. mű [31] melynek egy fejezete foglalkozik a vályog építéssel is. Ez az egyetlen magyar irodalmi mű Szűcs Miklós 1996-ban megjelent könyvéig [6].

**Szűcs Miklós:** „Föld és vályogfalak építése” c. munkája az egyetlen korszerű mai mű, [6] amelyről elmondható, hogy a vályogépítésben lefedi szinte a teljes hazai szakirodalmat.

**Albert János:** „Vízálló és víztaszító vályogtéglák” Budapest 1956 (SZIKKTI), foglalkozott vályogtéglák stabilizálásával.

A számtalan német kutató mellett (**Niemeyer R., Pollack E., Minke G., Schneider U., Germot M., Salmang G. stb.**) meg kell említeni a **DIN\_** német szabványt.

Magyarországon nincs szabályozva a vályogépítés. Németországban 1974-ig volt érvényben a DIN 18951-18957. Ezek röviden a következő témakörökkel foglalkoztak:

DIN 18 951 – 18 957 tartalomjegyzéke

DIN 18 951: B1.1. Vályogépítés, kivitelezési előírások

B1.2. Vályogépítés, magyarázatok

DIN 18 952: B1.1. Építési vályog, fogalmak, fajták

B1.2. Építési vályog vizsgálatai

DIN 18 953: Építési vályog, vályogépítmények

B1.1. Építési vályog alkalmazása

B1.2. Rakott vályogfalak (vályogtéglás falak)

B1.3. Döngölt (csömöszölt) vályogfalak

B1.4. Pólyás vályogfalak

B1.5. Vázás könnyűvályog falak

B1.5. Vályogfödémek

DIN 18 954: Vályogépítés kivitelezési irányelvei

DIN 18 955: Építési vályog, vályogépítmények nedvesség elleni védelme

DIN 18 956: Vályogépítmények „bepucolása”

DIN 18 957: Vályogzsindely fedések

(Ezek ideiglenes átvételével lehetne a legegyszerűbben pótolni a vályog magyarországi szabályozásának hiányát.)

**Az épületfelújítási kézikönyv 6. részének 6. fejezete** – amely a „Földfalak (vályogfalak)” c. jelent meg és mutatja, hogy a vályogépítés hazai szabályozása már nem sokáig ódázható el. Ismerteti a különböző építési technológiákat, azok magyarországi elterjedését. Említi a stabilizálási lehetőségeket és épületszerkezeti csomóponti kialakításokat közöl.

Végül, de nem utolsó sorban itt szeretném megemlíteni a Bécsi Műszaki Egyetem Építőanyag- Épületfizika- és Tűzvédelem Intézetének egyetemi tanárát **Bölskey Elemért**, és a Baustoffe 4/95.számában írt és nekem barátilag elküldött „Lehmbauten” c. cikkét, amellyel felhívta a figyelmemet a vályogra és ezen kutatás elvégzésére ösztönzött.

## VI. KIVONAT

### VÁLYOG ÉS FAVÁZAS VÁLYOGÉPÍTÉSZET

#### *Az értekezés tárgya:*

Mivel ma Magyarországon nincs se szabvány, se műszaki irányelv, amely a vályogról mint építőanyagról, ill. a vályogépítészetről rendelkezne, ezért a vályog és favázás vályogépítészet alapanyagának a vályognak mint építőanyagnak a megismerése, műszaki jellemzőinek kiválasztása és azok meghatározása szinte lehetetlen.

Ezért az anyagvizsgálatok elvégzéséhez ki kellett dolgozni a **mintavétel** és a **minősítő vizsgálatok** rendszerét.

#### *Vizsgálati módszerek:*

A minősítő vizsgálatok kialakítását négy terület összehangolásával végeztem; ezek a::

- talajmechanikai vizsgálatok
- építőanyag vizsgálatok
- DIN 18951-57 német vályogépítési szabvány
- saját laboratóriumi vizsgálataim összehangolása.

#### *Az eredmények:*

A dolgozattól alapvetően négy eredmény várható:

- a vályog minősítő vizsgálati rendszerének kidolgozása:
  - mintavétel
  - előkészítés
  - szabványos folyósság meghatározása (technológia függvényében)
  - a vályog próbatestek kialakítása (technológia függvényében)
  - a minősítő vizsgálatok kialakítása (technológia és a vályog kritikus tulajdonságai függvényében)
- a vályog legfontosabb ismert műszaki jellemzőinek összegyűjtése
- az erősen hiányos magyar nyelvű irodalom részleges pótlása.

Fenti eredmények hasznosíthatóságát a hazai vályogépítészet fellendítésében látom, amely részben megoldást kínál a környezetszennyezés csökkentésére.

## **VI. ABSTRACT**

### **BUILDING WITH ADOBE AND WOODEN FRAME**

#### ***Subject of the dissertation:***

As there are neither standards nor technical guidelines in Hungary that would regulate the adobe as construction material and the adobe constructions, therefore it is almost impossible to get acquainted with the adobe as construction material and raw material for the adobe construction and for the adobe construction with wooden frame, to select and define its technical specifications.

Therefore in order to execute the material tests we had to elaborate the system for the sampling and for the qualification-certification.

#### ***Testing methods:***

In order to design the qualification test I had to harmonize the following four different topics:

- soil mechanical tests
- construction material tests
- adobe construction standard in Germany, DIN 18951-57
- my own laboratory tests

#### ***Results:***

Four different results can be expected from this dissertation:

- launching national regulations of the adobe as construction material
- elaboration of the qualification-test system of the adobe
  - sampling,
  - preparation,
  - determination of the standard fluidity (depending on technology),
  - formation of adobe test specimens (depending on technology),
  - determination of qualification tests (as a function of the technology and of the disadvantageous parameters of the adobe),
- collection of the most important well-known technical characteristics of the adobe,
- partial completion of the significantly insufficient Hungarian literature.

I see the possibility to use the above results in the promotion of the national adobe architecture that offers partial solutions to reduce environment pollution.

## VII. SAJÁT PUBLIKÁCIÓK

### *Magyar nyelvű folyóiratcikkek*

1. *A vályog reneszánsza (1998.)*  
Magyar Építőipar 7-8.szám, pp. 242-244. L
2. *A vályog minősítő vizsgálatai (1998.)*  
Magyar Építőipar 9-10. szám, pp. 295-298. L
3. *Vályogépítési módok és szerkezeti megoldások (1998.)*  
Magyar Építőipar 11-12. szám, pp. 348-350. L
4. *Favázás vályogépítési módok és szerkezeti megoldások (1999.)*  
Magyar Építőipar 3-4. szám, pp. 119-120. L
5. *Olcsó és környezetbarát vályogépítészet (1999.)*  
Építőanyagok 99/1. szám, pp. 6-13. L
6. *Építés természetes helyi anyaggal (2001.)*  
Magyar Építőipar 11-12. szám, pp. 358-361. L

### *Angol nyelvű folyóirat cikk*

1. *Examination of pressed adobe brick (2002.)*  
Hungarian Electronic Journal of Sciences (2002.)  
<http://heja.szif.hu/ARC/ARC-021227-A/arc021227a.pdf>  
Győr, 2002. L

### *Hazai konferencia-kiadványban megjelent előadás*

1. *A vályog reneszánsza (1996.)*  
Janus Pannonius Tudományegyetem 3. Építőanyagok Konferencia  
Pécs 1996.szeptember 4-6., pp. 42-52.  
Megjegyzések: magyar nyelvű publikáció száma: 7  
angol nyelvű publikációk száma: 1  
a megjelölt témakörben megjelent összes  
publikációk száma: 8  
ezek közül lektorált (L): 7

A szerző összes, egyéb témákban is megjelent publikációjának jegyzéke

a [www.sze.hu/ep/arc](http://www.sze.hu/ep/arc) honlapon megtalálható, összesen 13 db.