

A vályog reneszánsza

Molnár Viktor
SZIF, Győr

A vályognak és az agyagnak mint építőanyagoknak a fizikai és mechanikai tulajdonságait vizsgáltam, ill. ezek számszaki jellemzőit gyűjtöttem össze. Fenti kutatásból kitűnt, hogy az agyag ill. a vályog legtöbb tulajdonsága (természetes környezetbe való illeszthetősége, kis előállítási és üzemeltetési energia igénye, nagy hőszigetelő és hőtároló képessége, korlátlan alakíthatósága, gazdaságossága, stb.) építési szempontból igen kedvező. Hátránya viszont vízzérékenysége, csekély szilárdsága és relatív nagy alakváltozási képessége. Fenti hiányosságok kiküszöbölésére ad lehetőséget különféle adalékanyagok vályoghoz való keverése (mész, cement, gipsz, műgyanta).

A vályog történeti áttekintése

A vályogot mint építőanyagot - írásos emlékekből tudjuk -, hogy már az ókorban is alkalmazták. Marcus Vitruvius (i.e. 80-10) a "De architectura libri decem" [1] c. 10 kötetes művében mint teljes értékű építőanyaggal foglalkozik a vályoggal és egy teljes kötetet szentel a vályogépítéssel kapcsolatos ismereteknek. 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 [2]. De a vályogot Európán kívül is ismerték és alkalmazták. Az Ó-testamentumból ismeretes, hogy az egyiptomiak előszeretettel alkalmazták sás-, vagy nádrost erősítésű vert illetve vályogtéglá falakat. Kultúrtörténetileg legrégebbi alkalmazásával a Kínai Nagyfalnál találkozunk. Ennek első ütemét i.e. kb. 2000 évvel ugyancsak vályogból építették. De ismerünk Afrikában núbiai, kameruni, marokkói, valamint Ázsiában jemeni, afganisztáni, iraki és iráni példákat is [3], [4], [5], [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 kővázás ill. a kívülről kővel vagy téglával burkolt erődítményfalak. Bár ez már akkor sem volt új találmány, hiszen a Kínai Nagyfalnál is alkalmazták ezt a módszert a későbbi szakaszokon. A vályogépítészet egy másik fejlődési iránya a favázás vályogépületek, ill. a vesszőből font falakból agyagtapasztással kialakított építmények. Ezeknél a szerkezeteknél a vályognak már nem teherhordó-, csupán térelhatároló szerepe van [9].

Az vályogépítészet öt fő technológiai irányvonalat különböztet meg:

- előregyártott vályogtéglás,
- agyagpólyás vályogfalas,
- csömöszölt (vert) vályogfalas,
- vázás (fa, kő, téglá) és
- vályoghabarcsos építési módot.

Az első három technológiánál teherhordó és térelhatároló, a negyediknél már csak térelhatároló, míg az utolsónál már csak habarcs szerepe van a vályognak.

Természetesen a vályognak is - mint minden más építőanyagnak -megvannak a maga előnyei és hátrányai.

Az agyag ill. a vályog olcsósága, könnyű fellelhetősége, kiváló hőtechnikai tulajdonságai, előállításának csekély energiaszükséglete, jó megmunkálhatósága, szinte korlátlan alakíthatósága, környezetbarát volta és egyszerű újrafelhasználhatósága miatt kerülhetett ismét az építők figyelmének, érdeklődésének középpontjába.

Hátrányaként meg kell említeni a "vízérzékenységet", az igen csekély húzószilárdságából adódó repedésérzékenységet, zsugorodás- és duzzadásérzékenységet, a kivitelezés "időjárás-érzékenységet", a felületi erózió veszélyét, és a különböző agyagok sokféleségét. Hátránynak kell tekinteni az irodalomszegénységét, az írásos tervezési és kivitelezési tapasztalatok és a vályogra vonatkozó szabványok hiányát.

Az agyag

Az anyagszerkezeti tudomány óriási volumene és még sok tisztázatlan problémája miatt - a teljességre való törekvés leghalványabb reménye nélkül - de szólni kell néhány szót az agyagról. 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 érdemi kutatása csak az 1930-as években indulhatott meg, a röntgensugaras vizsgálatok kifejlesztése után. Ugyanis az új vizsgálati módszerekkel kiderült, hogy az addig mintegy 250 féle, amorf szerkezetűnek tartott agyagásvány mindössze öt fő kristályos szerkezetű típusra osztható. Az agyag korszerű és rendszeres kutatása az 1950-es években, elsősorban ipari céllal - a kerámiák nyersanyagának vizsgálatával - kezdődött meg.

Az agyagásványok fizikai, kémiai és technológiai tulajdonságai sztochasztikus jellegűek, azaz csak nagyszámú vizsgálati eredmény statisztikus kiértékelése révén nyerhetők a gyakorlatban is alkalmazható eredmények.

Agyagásvány keletkezhet: kristályos oldatból, kőzetek mállásából, dialízis útján, illetve kőzetek hidrotermális átalakulása révén.

A képződés lényeges fizikai és kémiai tényezői: forró víz, hideg víz, anorganikus felszíni mállás, talajban a bioszféra hatása, kontinentális tavak, tengerek, ill. óceánok hatása [10].

Az agyagásványok összetétele: ~75-80%-ban O, Si és Al

~16%-ban Fe, Ca, Na, K és Mg

~5%-mész, márgásmész, márgásagyag.

A legismertebb agyagásványok: kaolinit, montmorillonit, illit. Ezen agyagásványok különböző kristályszerkezeti felépítése befolyásolja a számunkra talán legfontosabbat, az agyag vízfelvételt és a szilárdságát. Az agyag vizsgálatait közül a legfontosabb a kémiai analízis és a szemmegoszlás meghatározása (hidrometrálás).

Az agyag ill. a vályog - mint építőanyag - tulajdonságai

A vályog az agyag, a homok és kisebb kövek természetes keveréke, olyan mint egy természetes habarcs, amelyben az agyag a kötőanyag, a homok és a kő az adalékanyag szerepét tölti be. Az agyagkristályok természetes állapotukban erős koagulálási hajlamú

hidrofób szőlőknek tekinthetők, de szerkezetük hosszabb víz alatti tárolással finom diszperz rendszerré alakul, s így plasztikussá válik az agyag.

A vályognak -összehasonlítva egyéb építőanyaggal- kevés, kísérlettel is igazolt fizikai és mechanikai tulajdonsága, ill. jellemzője ismert. Ezek nincsenek szabványban rögzítve, pedig az alkalmazás során ugyanúgy szükség van a sűrűség, hajlító-húzó szilárdság, nyomószilárdság, zsugorodás, a hidrotechnikai, hőtechnikai és egyéb anyagtulajdonságok ismeretére mint a többi már ismert építőanyag esetében. A vályog irodalomban fellelhető fizikai jellemzői a következők:

A vályog testsűrűsége, származása és víztartalma függvényében, meglehetősen széles határok között ($\rho=1750-2400 \text{ kg/m}^3$) változik [11].

A vályog szilárdsága az agyagfajta, az adalékanyag / pl. törek / adagolása, az előkészítés és a feldolgozás függvénye. A szakirodalomban található adatok szerint a vályog nyomószilárdsága $2,0-4,0 \text{ N/mm}^2$ [12]. A növényi rostokkal kevert vályog nyomószilárdsága $1,75-2,5 \text{ N/mm}^2$ között változik [12, 13].

Kis testsűrűségű agyagból és növényi rostokból kevert vályog nem igen alkalmas tartószerkezeti funkció betöltésére. A húzó- és a tapadószilárdság földnedves vályog esetén $0,004-0,08 \text{ N/mm}^2$. A nyíró- és a csavarószilárdság értékei a húzószilárdsági értékekhez hasonlóan kicsik. A húzó- és a nyomószilárdság aránya átlagosan 1:6.

A növényi rostokkal kevert (szálerősített) száraz vályog hajlító-húzó szilárdsága nő, így nő a terhelhetősége is. A rostok hasonlóan működnek, mint a beton vasalása. A magdeburgi egyetemen 1951-ben végzett kísérletek szerint $1,2-1,7 \text{ N/mm}^2$ -es húzó-hajlító szilárdságokat mértek szalmaszállal kevert vályog próbatesteken [14].

A vályog hőtechnikai tulajdonságai elsősorban a testsűrűségtől, víztartalomtól és a porozitástól függenek. A jól összekevert és tömörített vályog testsűrűsége 2000 kg/m^3 , a hővezetőképessége $\lambda=0,93 \text{ W/mK}$. A könnyű vályogé $\rho=1200 \text{ kg/m}^3$, ill. $\lambda = 0,47 \text{ W/mK}$.

Az agyag fajtájának, az építmény korának és a környezet nedvességtartalmának függvényében alakul ki a vályogépítmények nedvességtartalma. Ez az érték tömegszázalékban kifejezve tiszta vályog esetén $0,5-5,0\%$, de növényi rostokkal kevert vályog esetén $10-15\%$ -ot is elérheti [15].

A vályog páradiffúziós ellenállási képessége, az anyag fajtája, pórustartalma, pórus-szerkezete, sűrűsége, valamint a szemszerkezetének és konszolidációjának függvényében $\mu=2-10$ között változik, [12].

A vályog zsugorodása az agyagtartalomtól, az agyag fajtájától és a víztartalomtól függ. Földnedves sovány agyagoknál ez 1% , "zsíros" agyagoknál a $7,5\%$ -ot is elérheti [11]. Természetesen a zsugorodás jórészt már az építési fázisban lejátszódik, tehát ezt az építési fázisban kompenzálni lehet és kell.

Az agyag rugalmassági modulusa a lineárisan rugalmas-tökéletesen képlékeny anyagmodellel közelíthető. A rugalmassági modulus természetesen függ az agyagtartalomtól, agyagfajtától, testsűrűségtől, tömörségtől, víztartalomtól stb. A jól tömörített, száraz, szilárd, $\rho=1700 \text{ kg/m}^3$ testsűrűségű vályognak a rugalmassági modulusa $E=4350 \text{ N/mm}^2$ [16].

Adalékanyagok keverése vályoghoz

Az agyag ill. a vályog tulajdonságainak javítása, illetve hátrányainak kiküszöbölése érdekében, különböző kötő- és adalékanyagokkal keverhető a vályog. A javítás célja a vályog

- vízzel szembeni ellenálló képességének növelése,
- szilárdságának növelése,
- duzzadásának illetve zsugorodásának csökkentése,
- plaszticitásának víz nélküli növelése,
- felületének időjárással, erózióval szembeni ellenállóképességének növelése.

A különböző célokat különböző adalékanyagok adagolásával lehet megvalósítani, pl. mész, cement, gipsz, kazein, tej és egyéb fehérjék, gyanták, növényi rostok stb..

Mész adagolása

A mész hatása függ az agyag fajtájától, részarányától és a mész mennyiségétől:

- duzzadó agyaghoz max. 1%-os adagolásban keverve stabilizációs hatása van,
- nagy homoktartalmú agyagokhoz adagolva gyengébb minőségű mészhabarcsot nyerünk,
- egyéb esetekben óvatosságra int a szakirodalom, mert fennáll annak a veszélye, hogy porózussá, rideggé, törékennyé válik a mésztől a vályog [11].

Cement adagolása

A cement adagolásának vannak éppúgy pozitív, mint negatív tapasztalatai. A hatás függ az adagolástól, az agyag, ill. a vályog fajtájától és állapotától. Erősen homokos agyag esetén egy gyenge minőségű betonhabarcs nyerhető, tehát nő a vályog nyomószilárdsága. A kutatások sovány agyagoknál 5-8%, kövér agyagoknál 3%-körüli adagolással hoztak kedvező eredményeket. Nagy agyagtartalmú vályogoknál eredménytelen a cement-adagolás. A vizsgálatok tapasztalatai szerint az optimális cementadagolás 4-8% közötti, ennél nagyobb adagolás már hatástalan marad.

A cementadagolás további előnye, hogy növelni lehet a vályog felületének időjárással szembeni ellenállóképességét.

Nagyon sovány agyagoknál kb. 15%-os cementadagolással stabilizálni lehet az agyagot, de ez már inkább a talajstabilizáció mintsem a vályogépítés körébe tartozik [17].

Gipsz adagolása

A régi vályogot utólag javítani friss vályoggal vagy agyaggal a zsugorodás miatt szinte lehetetlen. Azonban az agyaghoz 3-5% gipszet keverve oly mértékben lecsökken a zsugorodás, hogy elvégezhető lesz a javítás. Igen jók a tapasztalatok a két rész soványagyag, egy rész gipsz, egy rész mész és egy rész papírfecni összetételű javítóhabarcsról [18].

Kazein, tej és egyéb fehérjék

Kazein-enyv adagolásával javítható a vályog vízállósága és megmunkálhatósága. Kísérletek folynak Kínában 5-10% rizspaszta vályoghoz való keverésével [19], míg Japánban kaucsuk ill. növényi olajok 2%-körüli adagolásával javítják a vályogot felületi erózió és átnedvesedés ellen [20].

Gyanták

Német kísérletek szerint forró olajban feloldott természetes gyanta 1%-os adagolásával vízállóbb és keményebb felületű agyag nyerhető [21].

Növényi rostok és egyéb szálak anyagok

Különböző szálak rostokkal növelhető a vályog húzószilárdsága, és ezzel csökkenthető a repedésérzékenysége, de tudni kell, hogy ezek csökkentik a nyomószilárdságot. Fenti céllal alkalmazhatók különböző növényi rostok pl. szalma, nád, sás, túlevél, állati eredetű haj, szőr, valamint juta, és különböző műanyagok pl. polipropilén szál, stb. [14].

Összefoglalás

Végezetül megállapítható, hogy a vályognak mint építőanyagoknak számos *előnye* van a többi építőanyaggal szemben mint pl.:

- alacsony árfekvésű,
- egészséges életmódot nyújtó, környezetbarát,
- a vályog építmények természetes, főleg helyi anyagokból épülnek,
- a környezetünkbe harmonikusan illeszkednek,
- kicsiny mind az építési, mind az üzemeltetési energia szükséglete,
- a lehető legkevesebb hulladék és égéstermék keletkezése előállításuk során,
- a legnagyobb "sajátmunka" befektetését, tehát pénzmegtakarítást tesz lehetővé,
- megmunkálhatósága jó, alakíthatósága szinte korlátlan,
- tűzálló, és a hőtechnikai tulajdonságai kiválóak,
- esetleges bontása olcsó és környezetkímélő.

Hátrányaként meg kell említeni:

- vízérzékenységét,
- az igen csekély húzószilárdságából adódó repedés-érzékenységét,
- zsugorodás- és duzzadás-érzékenységét,
- a kivitelezés "időjárás-érzékenységét",
- a felületi erózió veszélyét, és a különböző agyagok sokféleségét.

Fenti hátrányok csökkentése érdekében további kutatási cél a vályoghoz, ill. az agyaghoz keverhető lehetséges adalékanyag fajták és azok optimális adagolásának meghatározása. Továbbiakban hátránynak tekintendő az idevágó irodalom szegénysége, a vályogra vonatkozó szabványok, előírások és a tervezési és kivitelezési tapasztalatok hiánya. Ezért a további vizsgálatok során foglalkozni kell az agyag ill. a vályog mint építőanyag szabályozási kérdéseivel, ill. ehhez első lépésként ki kell dolgozni annak laboratóriumi minősítő vizsgálatait.

Irodalom

- [1] *Vitruvius, P.M.:* "De architectura Libri decem"
- [2] *Pollack, E.-Pilnius G.S.:* Technik des Lehmbaus (Berlin 1952)
- [3] *Minke, G.:* Bauen mit Lehm / Lehmsteinbau -Grebenstein 1984-87
- [4] *Gardi, R.:* Auch im Lehmhaus Läßt sich' s leben -Graz 1973
- [5] *Dietz, E.:* Islamische Baukunst -Darmstadt 1963
- [6] *Heinrich, E.:* Schilf und Lehm, Baugaschichte der Sumerer -Leipzig 1934
- [7] *Palladio, A.:* Die vier Bücher zur Architectur - Velence 1570/1988 München
- [8] *Gerő, L.:* A magyar várak építéstörténete - Műszaki K.kiadó 1975
- [9] *Bölcskey, E.:* Lehmbauten - Baustoffe 4/95-Wien
- [10] *Nemecz, E.:* Agyagásványok - Akadémiai K.kiadó 1973
- [11] *Niemeyer, R.:* Der Lehmbau - Hamburg 1946
- [12] *DIN 18 951-18 957:* Normen zum Lehmbau - Berlin 1949-1953
- [13] *Schilberg, K.:* Naturbaustoff Lehm - Aarau 1993
- [14] *Pollack. E. - Richter. E.:* Technik der Lehmbaus - Berlin 1952
- [15] *Vanros. G.:* Studie zu bauphysikalischen Merkmalen Vom
Lehmfachwerkwänden- Leuven 1981
- [16] Arbeitsgruppe für umwelt - und menschengerechtes Bauen - TU-Wien:
Lehmbauscriptum - Wien 1992
- [17] *Minke, G.:* Alternatives Bauen - Kassel 1980
- [18] *Minke, G.:* LehmBAUFORSCHUNG - Kassel 1984
- [19] *Minke, G.:* LehmBAU - Handbuch - Staufen 1994
- [20] *Meischeder, H.:* Der LehmBAU, bodenphysikalisch betrachtet -Lüneburg 1946
- [21] *Kepler M./Lemcke T.:* Mit Lehm gebaut - Karlsruhe 1986