

## izvleček

Ilovica je naravno mineralno gradivo, s katerim je mogoče graditi tudi v evropskem prostoru, kjer so klimatski pogoji zelo raznoliki. Velik del stavbnega, zlasti stanovanjskega fonda, ki je bil v preteklosti zgrajen iz ilovice in ilovnatih gradiv, je v uporabi še po več stoletjih in nudi zelo ugodno bivalno klimo. Gradnja z ilovico je v 70-tih letih prejšnjega stoletja v evropskem prostoru skoraj popolnoma izginila. Ponovni preporod je doživela po letu 1984, najprej v Franciji, takoj zatem še v Nemčiji in drugod. Gradivo, ki je nekaj tisočletij služilo za gradnjo bivališč, se je vrnilo, tokrat z ekološkim predznakom. Kljub močnim predsodkom se po okoljsko osveščenih državah pojavljajo ilovnatne zgradbe, grajene v posodobljenih tradicionalnih tehnikah.

V evropskem prostoru se danes v glavnem uporabljajo tri tehnike gradnje z ilovico: butana ilovnata gradnja, gradnja z ilovnatimi zidaki in kombinacija lesa in ilovnatih gradiv.

V članku je prikazana ilovica, ki ustreza sodobnim gradbeno-fizikalnim, funkcionalnim, oblikovnim in gradbeno-tehničnim zahtevam. Predstavljene so bistvene lastnosti tega gradiva in laboratorijski preizkusi, ki so danes potrebni pred izbiro ilovnatega gradiva in tehnologije gradnje. Prikazani so tudi projekti, realizirani v evropskem prostoru, ki potrjujejo tezo o primernosti gradiva za gradnjo.

## ključne besede:

ilovica, butana ilovica, ilovnati zidaki, lahka ilovica

## abstract

*Clay is a natural mineral building material that can be used throughout Europe, although the climatic differences are very varied. A large share of the buildings, especially of the housing stock that was built in the past from clay and clay derivatives, is still in use after several centuries and offers very pleasant living conditions. During the 70s of the last century building with clay almost vanished completely from Europe. It blossomed again after 1984, first in France and soon afterwards in Germany and elsewhere. The building material, used for several millennia to build homes, has returned, this time with an ecological denominator. Despite severe prejudice clay buildings are being built in ecologically conscious countries by using modernised traditional techniques*

*In Europe, three techniques are being applied for building with clay: packed clay, clay bricks and a combination of timber and clay materials.*

*The article describes clay, which complies with contemporary physical, functional, design and construction demands. The main properties of the material and laboratory tests, needed before the clay material and the building technique are chosen, are shown. The article also presents some projects undertaken in Europe that prove the hypothesis about the suitability of the material for building.*

## key words:

clay, packed clay, clay bricks, light clay

Ilovica se je uporabljala skozi vso človeško zgodovino, še zlasti pa po kriznih časih – epidemijah, vojnah in drugih pomanjkanjih, ko je bil standard najnižji. Zaradi tega še danes velja kot "poceni gradivo za revne čase". V odvisnosti od klimatskih razmer, ravni tehničnega znanja in razvitosti orodij za obdelavo so se razvile številne tehnike gradnje z ilovico in ilovnatimi gradivi. Veliko zgradb, grajenih v teh tehnikah, je še po nekaj stoletjih v uporabi. V razvitem svetu, pa tudi v Evropi, se je v večjem obsegu zadnjih pojavila po drugi svetovni vojni. Z višanjem življenjskega standarda v drugi polovici 20. stol. je za nekaj desetletij izginila s seznama gradiv.

Uvajanje ekoloških načel pri izbiri gradiv in tehnologij gradnje ob koncu drugega tisočletja je pripeljalo tudi do oživljanja starih, naravnih, pozabljenih gradiv. Tako je tudi ilovica po letu 1984 doživela ponovni preporod. Najprej v Franciji, nato se je trend uporabe tega naravnega gradiva skupaj z ekološkimi načeli gradnje širil tudi drugam. V evropskem prostoru je danes kar nekaj sodobnih pionirjev, ki staro tradicionalno gradnjo oživljajo s sodobnimi tehnikami. Martin Rauch v Avstriji, Gernot Minke in Franz Volhard v Nemčiji, Gordon Pearson v Angliji delujejo kot arhitekti v praksi, hkrati vodijo tudi raziskave na znanstveni ravni, znanje pa razširjajo z bogato publicistiko. To so le nekatera najbolj zveneča imena, popolnega seznama zaradi obširnosti ni več mogoče voditi. Vedno več je majhnih in srednje velikih podjetij [Steingass, 2003:188], ki na trgu nudijo različna ilovnata gradiva in omete za novogradnje in sanacije, pa tudi strojno opremo za sodobno vgrajevanje. Tudi če za enkrat za njimi ne stojijo veliki industrijski lobiji, je stanje naivne alternative v ilovnati gradnji že davno preseženo. Vedno več je namreč strokovnjakov, ki so prepričani, da je prihodnost ilovnati gradnji odprta [Walker, 2005:14].

Ilovica je eno prvih gradiv, ki jih je človek uporabil za gradnjo

svojih bivališč. Prisotna je namreč skoraj povsod po zemeljski obli, največkrat kar na gradbišču, po odkopu gradbene jame pod 30 – 40 cm debelo humusno plastjo. Na splošno je to mešanica gline kot veziva in peska kot mineralnega ogrodja. V naravi so gline zelo različne. Njihova osnovna sestavina je kaolin ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), vsebujejo pa še številne druge spojine (predvsem železov oksid, pa tudi apnene, magnezijeve, manganove in druge anorganske ter organske spojine). Gline dajejo ilovici lepljivost oziroma vezivnost. Ilovica vsebuje še otipljivi ali vsaj pod povečevalnim steklom viden pesek in vodo, ki pri strjevanju delno izhlapi. Meje med ilovico in glino so zelo zabrisane in težko določljive. Delež gline v ilovici mora biti ravno pravi. Če ilovica vsebuje preveč peska (pusta ilovica), ji glina ne daje večzadostne lepljivosti, zato se s tako mešanico ne da graditi. Če je delež gline prevelik (mastna ilovica), pa se ilovica zaradi večjih količin vode, ki jo potrebuje za obdelavo, pri sušenju zelo skrči, kar povzroča razpoke. Naravno sestavo ilovice za gradnjo je tako treba včasih popraviti. Pustim ilovicam dodati glino, mastnim pa pesek. Ilovica se strjuje z izhlapevanjem vode. Proces je reverzibilen, pri ponovnem namakanju se gradivo znova zmehča. To je izredno pomembna lastnost, zaradi katere je treba konstrukcije iz ilovice zaščititi pred meteorno vodo in kapilarno vlago.

## Klasificiranje ilovic

Ilovica ni normirano gradivo. Na vsakem nahajališču je njena sestava nekoliko drugačna. Od sestave ilovice so odvisne njene lastnosti. Razlikovati je treba med gradbeno-tehničnimi in geološko-tehničnimi vrednostmi: prve klasificirajo ilovice po njihovi vezivnosti, druge pa po zrnatosti in plastičnosti. Vezivnost na eni strani ter na drugi zrnatost in plastičnost so seveda soodvisne.

**a) Klasificiranje ilovic po vezivnosti**

Preizkusi vezivnosti se vršijo na terenu, na mestu, kjer se ilovnato gradivo nahaja [Fischer in sod., 2005:19]. Z enostavnimi preizkusi po vonju in izgledu ilovice, po njeni sposobnosti oblikovanja v kroglo, raztapljanja, gnetenja, po lepljivosti in po vsebnosti peska, mivke in glinice se ilovice razdeli na puste, srednje mastne in mastne.

**b) Klasificiranje ilovic po zrnatosti in plastičnosti**

Če terenski preizkusi potrdijo primernost ilovnatega gradiva, sledi preverjanje kakovosti in sestave ilovic v evropskih referenčnih laboratorijih [ibidem:79]. Klasifikacija glede na zrnatost se naredi s pomočjo sejalne analize [ibidem:24]. Ta pove, kolikšen je procentualni delež kamna (premer zrn več kot 60 mm) in proda (2,8 do 60 mm), peska (0,06 do 2,8 mm), mivke (0,002 do 0,06 mm) in glinice (0,002 mm ali manj). Plastičnost ilovice pove, kje sta meji prožnosti in razvaljanja. Obstaja zveza med mejo prožnosti in vsebnostjo glinice v ilovici. Visoka meja prožnosti (pri mastni ilovici) pomeni visok delež glinice, nizka (pri pusti ilovici) pa nizko vsebnost glinice.

**Preizkušanje ilovic**

Pred izbiro tehnike ilovnate gradnje je treba preveriti primernost ilovice zanjo. Iz ilovnatega gradiva morajo biti izdelani preizkusni elementi, ki so podvrženi nadaljnjim preizkusom v laboratoriju:

**a) Tlačna trdnost**

Tlačna trdnost suhe gradbene ilovice se določa s kohezijo (odvisna od vsebnosti glinice) in trenjem zrn. Za fino zrnata ilovnata gradiva velja: čim višji je delež glinice, tem višja je tlačna trdnost. Pri grobozrnatih materialih je lahko delež glinice za zahtevano tlačno trdnost manjši. S primerno predelavo se tlačna trdnost lahko poveča (mešanje, butanje, gnetenje, komprimiranje). Povišanje tlačne trdnosti se lahko doseže tudi z dodajanjem primesi. Vendar se pri tem ne sme pozabiti, da taki dodatki lahko v ilovnatem gradivu povzročijo spremembe, ki so pogosto nezaželene. Za ilovico, ki bo uporabljena na nosilnih ilovnatih elementih, mora biti vedno izdelan preizkus tlačnih napetosti, znašati morajo najmanj 2 N/mm<sup>2</sup>.

**b) Vsebnost vode**

Od vsebnosti vode v ilovici so odvisne njena konzistenca, optimalna vsebnost vode, paropropustnost in higroskopičnost. Določanje vsebnosti vode je pomembno za ocenjevanje primernosti ilovice za butanje, ker mora biti pri tem načinu gradnje vsebnost vode optimalna.

**Konzistenca** - izvedba gradnje je odvisna od konzistence (sprijemljivosti) ilovnatega gradiva – zemeljsko vlažna ilovica je primerna za butanje, plastična za ilovnate zidake, kašasta do tekoča pa za lahke ilovice.

KONZISTENCA					VELIKOST ZRN
tekoča	kašasta	plastična	zamažljiva	suha	
					opredeljena
					prodnata
					peščasta
					mivkasta
					glinasta

Slika 1: Primernost gradbenih ilovic za predelavo v odvisnosti od tehnike ilovnate gradnje, konzistence in velikosti zrn [Fischer in sod., 2005: 26].

*Appropriateness of building clay for processing in dependence of building technology, consistency and size of grains.*

**Optimalna vsebnost vode** - vsebnost vode v ilovnati mešanici je optimalna takrat, kadar se z najmanjšo količino vode, ki še daje možnost obdelovanja gradiva, doseže maksimalno gostoto suhe ilovice (kg/m<sup>3</sup>), t.j. gostota, ki jo ima gradivo po strditvi, ko voda izhlapi. Maksimalna gostota suhe ilovice je odvisna od njene sestave: glinaste ilovice (več kot 50 % glinice) okrog 2000 kg/m<sup>3</sup>, peskaste ilovice (več kot 50 % peska) okrog 2200 kg/m<sup>3</sup>, prodnate ilovice (več kot 50% proda) okrog 2500 kg/m<sup>3</sup>. Optimalna vsebnost vode je pomembna predvsem pri butani ilovici (cca. 12,5%). Če se ilovico buta pri višji vsebnosti vode, je treba računati na povečanje razpok zaradi krčenja in posedanja ter na nižjo gostoto suhe ilovice. Če je učinkovita vsebnost vlage več kot 2% nižja od optimalne vrednosti, se z butanjem ne da doseči potrebne tlačne trdnosti.

**Paropropustnost** - difuzijsko število  $\mu$  označuje upor difuziji vodne pare iz zraka. Porasta struktura ilovnatega gradiva vpliva na difuzijo;  $\mu$ -vrednost lahke ilovice je v primerjavi z drugimi gradivi relativno majhna. Ta vrednost nekoliko niha glede na vsebovane dodatke (slama, lesni ostružki, perlit, ekspanzirana glina).

	gostota [kg/m <sup>3</sup> ]	$\mu$ (srednja vrednost pri 20°C in 60% rel. zračni vlazi)
masivna ilovica	2000	100–110
lahka ilovica	1200	80–100
	900	60–80
	600	50–60
	300	40–50

Slika 2: Difuzijska vrednost prehoda vodne pare  $\mu$  za masivno ilovico in lahke ilovice [Fischer in sod., 2005: 29].

*Diffusion value of transfer of water vapour  $\mu$  for massive and soft clay.*

**Higroskopičnost** - Ilovnato gradivo ima ugodne higroskopične lastnosti. Iz zraka lahko sprejme velike količine vlage in jo znova odda. S tem ima boljše sposobnost reguliranja vlage kot druga gradiva. Zaradi higroskopičnosti ima ilovica kot gradivo konzervirne lastnosti. Ker se vlaga veže v glino, ostaneta les ali slama v ilovici suha in tudi več stoletij zaščitena pred glivami in napadi škodljivcev. Poskrbeti je treba, da higroskopičnih lastnosti ilovice ne ovirajo dodane primesi s slabšimi higroskopičnimi lastnostmi ali površinska obdelava, ki ovira difuzijo vodne pare.

**c) Krčenje**

Zaradi visoke sposobnosti sprejemanja vlage glinice, ki je v ilovici, prihaja pri sušenju ilovnatega gradiva do temu primernega krčenja. Pri enaki konzistenci mastna ilovica z visokim deležem glinice sprejme več vode kot pusta ilovica, zato se pri sušenju tudi bolj krči. Pri prehitrem sušenju prihaja do dodatnih napetosti, ki povzročijo nastanek razpok. Da se krčenje gradiva obdrži v mejah normale, se ilovice z visokim deležem glinice osuši z dodatki. Nadaljnja možnost zmanjšanja krčenja je predčasna izdelava majhnih ilovnatih zidakov, pri katerih je postopek sušenja bolj enakomeren, do krčenja pa pride pred vgradnjo. Ilovice, ki se močno krčijo, to so mastne ali zelo mastne ilovice, niso primerne za butano gradnjo.

**d) Toplotna prevodnost in shranjevanje toplote**

Toplotna prevodnost  $\lambda$  in specifična toplotna kapaciteta  $c$  (sposobnost shranjevanja toplote) sta odvisni od gostote suhe ilovice  $\rho$ . Ilovice brez lahkih dodatkov imajo dobro sposobnost shranjevanja toplote. Nasprotno pa je toplotna prevodnost relativno visoka. Za izboljšanje toplotne izolativnosti se  $\lambda$ -vrednost z dodajanjem lahkih dodatkov s cca 0,9 W/mK zmanjša na 0,1 W/mK;  $c$ -vrednost za masivno ilovico se giblje v vrednostih, ki veljajo za opeko ali beton.



	$\rho$ (gostota) [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ (toplotna prevodnost) [W/mK]	$c$ (specifična toplotna kapaciteta) [kJ/kgK]
masivna ilovica	2000	0,95	1,0
lahka ilovica	1200	0,47	1,0
	900	0,26	1,1
	600	0,15	1,2
	300	0,09	1,3
masivna ilovica	2000	1,13	1,0
lahka ilovica z dodatkom slame	1200	0,47	1,0
	1000	0,35	1,1
	800	0,23	1,1
	600	0,17	1,1
	400	0,12	1,2
	300	0,10	1,3
ilovnatí zidaki		0,46–0,81	0,85

Slika 3: Toplotna prevodnost  $\lambda$  in specifična toplotna kapaciteta  $c$  ilovnatih gradiv [Fischer in sod., 2005:31; Volhard, 1995:149; CRATerre-EAG: Houben, Hugo et al (1989). *Traité de construction en terre*. Editions Paranthèses, Marseille, Grenoble].

*Thermic conductance  $\lambda$  and specific thermic capacity  $c$  of clay materials.*

### e) Zvočna izolativnost

Zvočno izolativno delovanje ilovnatih gradiv [ibidem:33] je odvisno od gostote suhe ilovice (pri zvoku v zraku) ter njene sestave oz. "elastičnih" dodatkov (pri zvoku v telesu).

Dobre zvočnoizolativne vrednosti imajo ilovice z gostoto  $\rho = 1000$  do  $2000 \text{ kg/m}^3$ . Zaščita proti zvoku v telesu je pri ilovici brez dodatkov zaradi elastičnosti v fini strukturi nekoliko boljša kot pri trših gradivih z enako gostoto suhe snovi.

izločena zavla v zrak	proti	debelina plasti $d$ [m]	za ovrhobno minimumno vrednost zvočne izolacije pred zvočnim valom $R'_{w}$		
	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	30 dB	40 dB	50 dB	55 dB
masivna ilovica	2000	0,08	0,07	0,2	0,40
lahka ilovica	1200	0,04	0,12	0,33	0,73
	800	0,04	0,08		
	400	0,08	0,16		

Slika 4: Zvok v zraku, potrebne debeline plasti ilovnatih gradiv  $d$  v okviru dosegljive zvočne zaščite [Fischer in sod., 2005:33].

*Air sound, necessary thickness of layers of clay materials  $d$  in context of achievable sound protection.*

### f) Ognjevarnost

Masivna ilovica je odporna proti ognju in se obravnava kot "negorljiva". V primeru požara je pri butanih stenah nevarnost poškodbe zaradi močnega curka vode, s katerim se požar gasi. Gorljive primesi kot npr. slama, lesni ostružki ipd. gradivu zmanjšajo odpornost proti ognju [Walker, 2005:25].

	gostota $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	debelina $d$ [cm]	požarni vzvod
masivna ilovica	2000	25	REI 180
		15	REI 120
lahka ilovica z mineralnimi dodatki	900	25	REI 180
		10	REI 90
lahka ilovica z organskimi dodatki	600		REI 30
ilovnatí omet na lahki ilovici	1700	2	REI 30

Slika 5: Odpornost ilovnatih gradiv proti ognju [Fischer in sod., 2005:34].  
*Resistance of clay materials against fire.*

### Primesi in dodatki

Neugodne lastnosti ilovice kot so krčenje pri sušenju, relativno nizka tlačna trdnost, občutljivost na vodo in nezadostna toplotna izolativnost, se lahko izboljšajo z vmešavanjem dodatkov [ibidem:36]. Takšna sprememba gradiva se imenuje tudi stabilizacija. Glede na možne spremembe lastnosti gradiva v celoti in iz ekonomskih razlogov se morajo prednosti in slabosti takega ukrepa dobro preudariti. Nekateri dodatki (npr. apno, cement, bitumen, umetne snovi) namreč lahko spremenijo tudi druge lastnosti ilovice, npr. higroskopičnost ali možnost ponovne uporabe. Dodatki se morajo razlikovati po svojem mineralnem (npr. pesek, prod, vulkanski tuf, opečna moka) ali organskem

(npr. slama, les, pluta) karakterju. Na splošno lahko izboljšajo statično trdnost ilovice in zmanjšajo krčenje. Z organskimi dodatki se poveča toplotna izolativnost, zmanjšata pa tlačna trdnost in ognjeodpornost. Vlanknati dodatki delujejo kot armatura.



Slika 6: Mehansko butanje ilovice [Vir: zur Nieden in Ziegert, 2002: 18 – 19].  
*Mechanical clay packing.*

### Sodobna gradnja z ilovnatimi gradivi

Pilotni projekti in ilovnate zgradbe, realizirane v različnih tehnikah gradnje v zadnjih letih, so živi modeli za meritve, ki potrjujejo primernost ilovnatih gradiv. Z njihovo pomočjo je bilo dokazano, da ilovnata gradiva niso le ekološko in zdravstveno popolnoma neoporečna, temveč so primerna tudi za izvedbo pasivnih hiš (letna poraba energije za ogrevanje do  $15 \text{ kWh/m}^3$ ) [Meingast, 2003:49]. Gradivo, ki je nekaj tisočletij služilo za gradnjo bivališč, se danes znova vrača. Predsodki so sicer še vedno veliki, pa vendar je čedalje več projektov po vsem svetu in tudi v Evropi, ki pionirsko uvajajo tehnologije ilovnate gradnje, poznane že veliko stoletij.

V evropskem prostoru se danes v glavnem uporabljajo tri tehnike gradnje. Temeljijo na tradicionalnih osnovah, vendar v posodobljenih oblikah. Te tehnike so: butana ilovnata gradnja, gradnja z ilovnatimi zidaki, kombinacija lesa in ilovnatih gradiv.

### Butana ilovnata gradnja

Butana ilovica je bila v Evropi znova oživiljena v osemdesetih letih prejšnjega stoletja. Moderne evropske butane ilovnate zgradbe so v zadnjih treh desetletjih nastale zlasti v Franciji (pobudnik CRATerre \_ Centre de Recherche et Application – Terre, Villefontain), pa tudi v Nemčiji, Švici in Avstriji. Prvi sodobni eksperiment ilovnate gradnje, ki velja za začetnika sodobne gradnje v ilovici, je stanovanjsko naselje Domain de la terre v mestu L'isle d'Abeau v Franciji (arh. J. V. Berlotier in ostali), zgrajen 1983-84 [zur Nieden in Ziegert, 2002:44]. S projektom gradnje 65 socialnih stanovanj, ki je imel nove oblike in drzne linije, se je to staro in pozabljeno gradivo izkazalo kot sodobno in pokazalo Evropi svoj tehnološki pomen in arhitekturni potencial. Uporabljene so bile različne tehnike gradnje iz surove ilovice: butana ilovica, slamnata ilovica, bloki iz stabilizirane ilovice, izdelani z vibratorjem.

Omeniti je treba Kapelo sprave v Berlinu (arh. Reitermann in Sassenroth, 1999-2000), kjer je bila ilovici dodana zdrobljena stara opeka [ibidem:22]. Da je ilovica primerna za vse klimatske cone, dokazuje stanovanjska hiša iz butane ilovice na portugalski obali



Slika 7: Naselje Domain de la Terre – stopnišča iz butane ilovice [Vir: zur Nieden in Ziegert, 2002: 45].  
*The settlement Domain de la Terre – packed clay stairways.*

[Wroblewski, 2002:15-16].

Gostota ilovnatnega gradiva za butanje je podobna kot pri betonu. Primerna je peskasta ilovica z več kamna, ki po zrnatosti spominja na beton. Na primerne ilovice se redko naleti v naravni obliki. Večinoma je treba določene velikosti zrn dodati. Poznejši izgled stene je odvisen od barve in sestave ilovice.

Butana ilovica se v zemeljsko vlažnem stanju v plasteh nabuta med dva opaža. Čeprav se ta postopek danes izvaja mehansko z vibratorji in bati, še vedno zahteva veliko dela. V fazi preizkušanja so tehnologije, kjer se butano ilovico z veliko hitrostjo nabija v vertikalni opaž. Ilovica se na ta način zgosti prav tako kot pri postopku butanja. V kolikšni meri bo to pomenilo prihrankov stroškov, bo pokazal razvoj.

Stene iz butane ilovice imajo svoj karakter. Običajna debelina sten je med 35 in 60 cm. Ta enormna debelina je potrebna, ker mora biti zaradi strojne obdelave opaž izdelan v etažni višini, poleg tega mora biti zaradi butanja pohoden. Pri postopni gradnji je opaž lahko nižji in stena ima le statično potrebno debelino 20 do 40 cm. Konstrukcije iz butane ilovice so zelo trdne in nosilne, zato so primerne za nosilne in tudi nenosilne konstrukcije. Možno jih je uporabiti tudi v dekorativne ali tehnične namene, v povezavi z ogrevalnim sistemom ali za shranjevanje toplote v steklenjakih [Rauch, 2005: 37].

Stroški za enoslojno butano ilovnato steno z retuširano vidno površino so trenutno cca. 300 do 500 EUR/m<sup>2</sup> [zur Nieden in Ziegler, 2002:17]. Visoka cena je posledica delovno intenzivne obdelave ilovice. Razvijajo se nove tehnologije strojnega mešanja, vgradnje in butanja ilovice. Z razširitvijo tega načina ilovnate gradnje in



Slika 9: Ekološki center – južna fasada z velikim napuščem štiti ilovnate zidake pred meteorno vodo [Vir: zur Nieden in Ziegler, 2002:126].  
*Ecological centre – south facade with large overhanging that protects the clay bricks from rain water*



Slika 8: Bogoslužni prostor Kapele sprave – stena in oltar iz butane ilovice [Vir: Zur Nieden, Ziegert, 2002: 29].  
*Liturgical space in the Reconciliation Chapel – packed clay wall and altar.*

postopnega tehnološkega razvoja bi stroški gradnje srednjeročno lahko začeli padati.

### Gradnja z ilovnatimi zidaki

Gradnja z ilovnatimi zidaki je eden najstarejših in še danes najbolj razširjenih načinov gradnje nasploh. Ilovnate zidake je mogoče najti povsod po svetu, razlikujejo se le po formatu in stopnji mehanizacije [ibidem:42]. Za ročno oblikovane zidake mora biti ilovica bolj peskasta, suha, ker se pri sušenju manj krči in poka. Pri industrijski proizvodnji žgane opeke se uporablja bolj mastne ilovice. Če se tovrstni surovci posušijo na zraku in se ne žgejo, nastanejo t.i. zelenci, ki so primerni samo za uporabo v notranjosti. Visoka vsebnost gline daje zelencem visoko sorpcijsko sposobnost, s tem pa tudi večjo občutljivost na vlago in zmrzal. Mnoge opekarnice danes kot dopolnitev svoje proizvodnje industrijsko proizvajajo ilovnate zidake, ilovnate votle zidake in zelence. Trdnost ilovnatih zidakov ne doseže trdnosti opeke, zadoščajo pa za gradnjo dva- do trinadstropnih zgradb. Prednost pred žgano opeko je v sposobnosti shranjevanja in transportiranja zračne vlage prek nestopljenih mineralnih struktur v ilovnatem zidaku [ibidem:112-113]. Tehnično gledano ni nobene razlike v zidanju z ilovnatimi zidaki v primerjavi z drugimi zidovi. Kot malta se lahko uporabijo ilovnate ali apnene malte.

Nosilne stene iz ilovnatih zidakov so dveh vrst – enoslojne in dvoslojne. Pri enoslojnih stenah ima ilovica hkrati nosilno in toplotnoizolativno funkcijo. Uporabljajo se votli ilovnati zidaki, ki imajo zaradi zračnih prekatov pri zadostni trdnosti tudi boljše toplotnoizolativne lastnosti. Pri nadaljnji zaostitvi zahtev po



Slika 10: Gradnja kupole iz ilovnatih zidakov s pomočjo rotacijske šablone [Vir: Zogler, 2004:32].  
*Building a dome with clay bricks by utilising a rotational mould.*





Slika 11: Kiparski atelje – zasteklitev na južni fasadi, stena je obdelana z apnenim ometom [Vir: Zogler, 2004:22].  
*Sculptor's atelier – glazing on the south facade, the wall is finished with lime plaster*

toplotni zaščiti bo debelina take stene več kot 40 cm. Dvoslojna stena ima na notranji strani ilovnate zidake, na zunanji pa plast primerne toplotne izolacije. Pri tej sestavi ilovica na notranji strani služi za shranjevanje toplote. Dober primer je hiša z vgrajeno prosojno toplotno izolacijo, kjer se ilovnate stene s pomočjo sončne energije segrejejo do 78°C in toploto s časovnim zamikom oddajajo v prostor [Ueberschlag, 2000:5]. Debeline dvoslojnih sten so manjše kot pri enoslojnih stenah. Zunanost zgradb iz ilovnatih zidakov se v Srednji Evropi ne razlikuje bistveno od zgradb, zgrajenih v drugih tehnikah gradnje. Omet štiti in pokriva gradivo stene. Zanimiv primer take gradnje je zgradba ekološkega centra Terre Vivante v Franciji (arh. J. V. Berlottier, 1993-94), pri kateri je toplotna izolacija vstavljena med dve plasti ilovnatih zidakov. Na zunanji strani ilovnati zidaki niso ometani, pred vodo jih štiti velik napušč [zur Nieden in Ziegert, 2002:124].

Med objekti, grajenimi z ilovnatimi zidaki, gotovo izstopajo kupole. Njihov avtor, arh. Gernot Minke, že leta zagotavlja, da je gradnja ilovnatih kupol možna tudi v našem kulturnem prostoru in sicer za stanovanjske in tudi druge funkcionalne zgradbe in da predstavljajo ekonomsko upravičene ter ekološko aktualne rešitve. Kupole iz koničnih oblikovanih ilovnatih zidakov na waldorfskem vrtcu Sorsum, vrtcu Oranienburg-Eden in solarni enodružinski hiši so narejeni s posebno rotacijsko šablono, ki so jo posebej za ta način gradnje razvili v raziskovalnem laboratoriju za eksperimentalno gradnjo univerze v Kaslu [Zogler, 2004:32].

Cena za nosilno, 30 cm debelo zunanjo steno iz votlih ilovnatih zidakov z obojestranskim ilovnatim ometom, se začne pri 150 EUR/m<sup>2</sup> [zur Nieden in Ziegert, 2002:113]. Zunanje stene iz masivnih ilovnatih zidakov s toplotno izolacijo na zunanji strani so nekoliko dražje. Cena za notranje stene iz masivnih ilovnatih zidakov je cca. 60 EUR/m<sup>2</sup> za debelino 11,5 cm. Stene iz ilovnatih zidakov so tako cenejše kot butane stene ali skeletne stene iz lesa in ilovice. Ilovnato gradnjo v vedno večji meri odkrivajo konvencionalna gradbena podjetja, ki želijo razširiti svojo ponudbo. Stroški so zaradi tega relativno nizki in še padajo. Zato je odločitev za ilovnato gradnjo pogosto povezana z gradnjo z ilovnatimi zidaki.

### Kombinacija lesa in ilovnatih gradiv

Pretežnega dela ilovnatih gradiv se danes ne vgrajuje v čiste ilovnate konstrukcije, temveč v leseni zgradbi služi kot polnilo. Za konstrukcijo se uporablja lesen skelet, lesene plošče ali prefabricirane lesene okvirje. Iz konstruktivnega stališča pri tej vrsti gradnje ne gre za ilovnate, temveč lesene zgradbe. Ker je kljub temu prevladujoč delež gradiv zemeljskih, se pogosto označujejo kot ilovnate [zur Nieden in Ziegert, 2002:58]. Velika prednost uporabe lesa v kombinaciji z ilovico je v tem, da se ilovico, ki je občutljiva na vlago, zaščiti pred vremenskimi vplivi.



Slika 12: Naselje Landhof – predelne stene iz ilovnatih zidakov [Vir: zur Nieden in Ziegert, 2002:95].  
*The Landhof settlement – clay brick partition walls.*

Moderna lesena zgradba s polnili iz ilovice je prilagojena zgodovinski predalčni gradnji, ki je bila in je še vedno najbolj razširjena v srednjeevropskem prostoru. Franz Volhard iz Avstrije, ki je močno povezan s ponovno oživitvijo ilovnate gradnje, je pionir uporabe lahkih ilovnatih blokov med stojkami lesenega skeleta. Ta posodobljeni način gradnje po eni strani pomeni podaljšanje gradbene sezone, saj je lesen skelet skupaj s streho postavljen pred vgradnjo polnil in s tem zaščiti ilovico pred atmosferilijami. Še pomembnejši je statični vidik – ilovnato gradivo za zdaj še ni standardizirano kot potresno varno gradivo. Leseni skelet prevzame vse statične zahteve, ilovnata gradiva pa le gradbeno-fizikalne.

Pri kombinaciji gradnje z lesom in ilovnatimi gradivi se ilovica lahko uporabi v različnih oblikah. Težko ilovico brez dodatkov butajo med stojke s pomočjo opažev ali pa vgrajujejo v obliki zidakov. Na ta način se izrabi akumulacijske sposobnosti gradiva, poleg tega je boljša tudi zvočna zaščita. Ilovici pa se lahko dodaja tudi različne dodatke. Z dodajanjem lahkih dodatkov dobi težka ilovica boljše toplotnoizolativne lastnosti. Ilovica veže in obdaja dodatke, jih štiti pred ognjem in škodljivci. Danes se poleg tradicionalnih dodatkov iz žitne slame uporabljajo tudi konoplja, lan, nasekani koščki lesa ali pa odpadni produkti v gozdarstvu. Mineralni dodatki, ki se dodajajo betonu, so primerni tudi kot dodatek ilovici. Težka ekspandirana glina se zamenja z neprimerno lažjim perlitom. Možno je uporabiti samo eno vrsto dodatkov ali pa jih med seboj mešati.

V evropskih državah je danes precej realiziranih objektov, kjer sta les in ilovica v sožitju. Kiparski atelje v Darmstadtu (arh. Shauer in Volhard, 1995-96) ima nosilno konstrukcijo iz prefabriciranih lesenih stenskih elementov, v katere so na notranji strani vstavljeni ilovnati zidaki z dodatkom lesenih ostružkov. Toplotna izolacija je na zunanji strani [ibidem:68]. Podoben sistem imata tudi pasivna hiša v Krofedorfu (arh. Planungsgruppe Bau + Energie, 2000-01) [ibidem:84] in ekološko vzorčno naselje na Madžarskem (arh. Ertsey) [Matisz, 2005:17–18]. Pri zgradbi vrtca Riesa v Nemčiji (arh. Rentzsch & Reiter, 1996–97) so ilovnati zidaki vstavljeni v lesen skelet [zur Nieden in Ziegert, 2002:72], podobno kot pri naselju Landhof v bližini Berlina [ibidem:93]. V leseno skeletno konstrukcijo se ilovico lahko tudi nabuta, kot npr. pri waldorfski šoli v Weimarju (arh. Heinrich in Nummert, 1997-99) [ibidem:80].

### Pot naprej

Ilovica je staro gradivo in se je s svojo uporabnostjo dokazala skozi zgodovino. Kljub temu, da je tisočletja veljala kot primerno, ceneno, varno in trajno gradivo, je danes podvržena različnim preiskavam, ki naj bi z znanstvenimi merili potrdile z izkušnjami pridobljena znanja in vedenja o ilovici in tehnikah ilovnate gradnje. Številne raziskave relevantnih laboratorijev kažejo zanimiva dejstva – ilovica in

ilovnata gradiva dajejo zgradbam prijetnejšo in veliko bolj zdravo bivalno ugodje kot sodobna gradiva in hkrati zadoščajo vsem gradbeno-fizikalnim, hkrati pa tudi ekološkim zahtevam.

Kljub pozitivnim izkušnjam, ki se kažejo na realiziranih objektih, se ilovico in ilovnata gradiva še vedno preizkuša in išče možne izboljšave. Ilovica ima kljub vsemu nekaj slabih lastnosti, zaradi katerih prihaja do njenega zavračanja. Raziskave se vršijo na različnih področjih:

- a) z laboratorijskimi preizkusi se dokazuje primernost uporabe ilovice in išče najprimernejše rešitve za izboljšanje pomanjkljivosti tega tradicionalnega gradiva. Še posebej obširni so različni poskusi, kako odpraviti neugodne lastnosti ilovice in ilovnatih gradiv – nizke natezne trdnosti:
  - armiranje butane ilovice z geotekstilnimi vlakni – raziskave so pokazale, da je vgradnja geotekstilnih vlaken za izboljšanje tlačne trdnosti ilovnatih gradiv smiselna, še zlasti na območjih koncentriranih obremenitev – na ležiščih leg, stropnih tramov, nosilcev itd. Vgradnja geovlaken se je izkazala kot zelo smiselna tudi na vogalih zgradbe in pri nenadnih spremembah debelin sten [Dierkers, K. et al, 2003: 22];
  - armiranje butane ilovice z betonskim železom – poskus z vgradnjo železnih palic premera 9 mm je pokazal občutno manjše upogibe in večjo lomno trdnost kot pri armaturi iz geovlaken [ibidem:26];
  - armiranje sten iz ilovnatih zidakov z vrvmi sisala – poskusi kažejo pozitivno delovanje med ilovico in sisalom – natezna trdnost sisalovih vrvi doprinese k povečanju nosilnosti zidu [Gasparini, J. et al, 2003:32];
  - obširni so tudi preizkusi ugotavljanja potresne varnosti gradnje z ilovico in ilovnatimi gradivi. Ilovica sama ni deklarirana kot potresno varno gradivo, čeprav močni potresi na seizmično aktivnih območjih ilovnate gradnje dokazujejo, da ilovnate stavbe niso poškodovane močnejše kot opečne [Minke, 2003c: 129].
- b) Preizkušanje ilovice in ilovnatih gradiv kot pomoč za preprečevanje gradbenih poškodb, ki so posledica njihovih naravnih, nedeklariranih lastnosti: pojav razpok pri sušenju, tvorba plesni pri neustrezni uporabi dodatkov, drobljenje ilovice, ilovnatih malt in ometov [Minke, 2003d: 13–20]:
  - obvezno deklariranje sestavin – vse sestavine morajo biti v celoti izražene v odstotkih glede na celotno težo izdelka; jasno mora biti, če je poleg glin kot naravnega veziva v ilovici še kakšno drugo organsko ali mineralno vezivo, npr. kazein, živalski iztrebki, cement, apno ali mavec (ilovnatih gradiv s temi dodatki ni mogoče znova uporabiti); natančna navedba vrste in količine organskih dodatkov (narezana slama, žitno pleve, rastlinska vlakna, lesno žaganje, oblanci), ker ti prispevajo k nastanku plesni;
  - zmanjševanje krčenja pri sušenju (medtem ko linearno krčenje pri sušenju apna, apnenega cementa, cementnih in mavčnih ometov praviloma znaša manj kot 0,1%, imajo ilovnate malte krčenje do 3,85%) – uporaba armature iz vlaken, primerno tanki nanosi malte, vgradnja čim bolj suhe mešanice gradiva, popravljanje razpok z močnim drgnenjem z vlažno gladilko;
  - ugotavljanje površinske trdnosti ilovice in ilovnatih gradiv – s posebnimi preizkusi je mogoče določiti trdnost proti obrabi (za trdnost proti obrabi je odločilna optimalna sestava zrn in zadostna vsebnost glin), da se v primeru premajhne trdnosti predvidi potrebne dodatke v ilovici ali nanosopleska;
  - merjenje trdnosti robov ilovnatih zidakov in ilovnatih plošč – preprečevanje poškodb pri transportu, vgradnji in uporabi (preizkusi kažejo na ustrezno trdnost robov pri pravilni sestavi gradiva, saj je ta podobna tisti pri votli opeki);

- sorpcijska sposobnost ilovice – odločujoč ni le delež glin, temveč predvsem vrste glin (montmorilonitna glina vsrka bistveno več vlage kot npr. kaolinit) in dodatkov organskih snovi, kot so celuloza, zmlata slama in kokosova vlakna. Sorpcijsko delovanje pri ometih je relevantno le, če gre za debele plasti ometa in kratkotrajno spreminjanje vlage v prostoru.

Poznavalci granje z ilovico in ilovnatimi gradivi se danes zavedajo, da je pot v ponovno širšo uporabo tega načina gradnje še dolga. Zlasti je treba tradicionalna znanja, ki so danes že nadgrajena s sodobno tehnologijo, prenesti v strokovne in tudi laične kroge. V ekološko osveščenih evropskih državah, kot so Francija, Nemčija, Švica, Anglija, tudi Italija je danes evidentiranih mnogo društev, organizacij, arhitekturnih birojev in posameznih entuziastov, pa tudi strokovnjakov, ki delujejo po fakultetah in organizirajo razna strokovna srečanja, seminarje, znanstvene in strokovne kongrese, pa tudi poljudna predavanja. Na teh predstavljajo prednosti uporabe ilovnatih gradiv, tehnike gradnje in pilotne projekte uporabnikom, potencialnim investitorjem in gradbenim delavcem [Beuchel, 2003:101, Warzecha, 2003:112, Herz, 2003:122]. Poznavanje ilovice kot gradiva tako počasi prihaja v zavest novodobnih graditeljev.

## Viri in literatura

- Beuchel, E., (2003): Weiterbildung zur Fachkraft für Lehm- und Bausystem, Moderner Lehm- und Bausystem 2003, (Steingass, P., ur.), Fraunhofer IRB Verlag, str. 101 – 104, Stuttgart.
- Dierkers, K. et al, (2003): Bewehrung im Stampflehm- und Bausystem, Moderner Lehm- und Bausystem 2003, (Steingass, P., ur.), Fraunhofer IRB Verlag, str. 21 – 29, Stuttgart.
- Gasparini, J. et al, (2003): Bewehrung aus Sisalstricken im Lehmsteinbau, Untersuchung des Verbundverhaltens, Moderner Lehm- und Bausystem 2003, (Steingass, P., ur.), Fraunhofer IRB Verlag, str. 30 – 33, Stuttgart.
- Herz, U., (2003): Moderner Lehm- und Bausystem zur Förderung der Regionalentwicklung: Entwicklung einer Weiterbildung "Lehmputze" – Ein Europäisches Pilotprojekt, Moderner Lehm- und Bausystem 2003, (Steingass, P., ur.), Fraunhofer IRB Verlag, str. 122 – 126, Stuttgart.
- Matisz, I., (2005): Ökologisches Mustersiedlungsprojekt in Ungarn, W+G, Nr. 114, str. 17-18.
- Meingast, R., (2003): Das Projekt Lehm-passivhaus – Bausystem, Moderner Lehm- und Bausystem 2003, (Steingass, P., ur.), Fraunhofer IRB Verlag, str. 48 – 53, Stuttgart.
- Minke, G., (2003a): Kindertagesstätte Oranienburg-Eden, W+G, Nr. 107, str. 2 – 3.
- Minke, G., (2003b): Bauen mit Vorgefertigten Holzbauteilen und Lehm, W+G, Nr. 108, str. 2 – 3.
- Minke, G., (2003c): Erdbebensichere Häuser aus Lehm, Moderner Lehm- und Bausystem 2003, (Steingass, P., ur.), Fraunhofer IRB Verlag, str. 129 – 138, Stuttgart.
- Minke, G., (2003d): Lehmmörtel und Lehmsteine – Stoffkennwerte und ihre Ermittlung als Hilfe zur Vermeidung von Bauschäden, Moderner Lehm- und Bausystem 2003, (Steingass, P., ur.), Fraunhofer IRB Verlag, str. 13 – 20, Stuttgart.
- Rauch, M., (2005): Building simply with loam, Building Simply, (Schittich, Ch., ur.), Birkhäuser, str. 37 – 43, Basel – Boston – Berlin.
- Steingass, P., (2003): New chances for modern earth building, Moderner Lehm- und Bausystem 2003, (Steingass, P., ur.), Fraunhofer IRB Verlag, str. 186 – 190, Stuttgart.
- Ueberschlag, E., (2000). Transparente Wärmedämmung und Lehm- und Bausystem kombiniert, W+G, Nr. 93, str. 5–6.
- Volhard, F., (1995): Leichtlehm- und Bausystem, C.F.Müller, Heidelberg.
- Walker, P. et al, (2005): Rammed earth, BRE Bookshop, Watford.
- Warzecha, R., (2003): Lehm- und Bausystemprojekte mit Schulen und freien Trägern: Ein Modell für eine praxisorientierte Pädagogik und Vermittlung von ökologischem Grundverständnis im Kontext Bauen, Moderner Lehm- und Bausystem 2003, (Steingass, P., ur.), Fraunhofer IRB Verlag, str. 112 – 117, Stuttgart.
- Wroblewski, D., (2002): Bau eines Lehmhauses in der Algarve/Portugal, W+G, Nr. 104, str. 15-16.
- Zogler, O., (2004): Wohnhäuser aus Lehm, Deutsche Verlags-Anstalt, München.
- Zur Nieden, G., Ziegert, Ch. (2002): Neue Lehm-häuser international, Bauwerk, Berlin.