



MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE



**UNIVERSITATEA TEHNICĂ**  
DIN CLUJ-NAPOCA

---

FACULTATEA DE CONSTRUCȚII

ing. Gabriela Adela Călătan

# **TEZĂ DE DOCTORAT**

## **MATERIALE ECOLOGICE PENTRU CONSTRUCȚII**

Conducător științific  
Prof.dr.ing. Călin Mircea

Cluj-Napoca 2018

## CONȚINUT

<b>LISTA FIGURI.....</b>	<b>I</b>
<b>LISTA TABELE.....</b>	<b>VI</b>
<b>LISTA SIMBOLURI.....</b>	<b>VII</b>
<b>1. PREAMBUL.....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivația demersului de cercetare .....	1
1.2 Încadrarea tezei de doctorat în domeniul științific .....	3
1.3 Obiectivele tezei de doctorat.....	3
1.4 Conținutul tezei de doctorat.....	4
<b>2. FUNDAMENTAREA DEMERSULUI ȘTIINȚIFIC.....</b>	<b>6</b>
2.1. Materialele naturale în contextul dezvoltării durabile.....	6
2.1.1. Dezvoltarea durabilă în domeniul construcțiilor.....	6
2.1.2. Perspectivă istorică privind materialele naturale.....	11
2.1.3. Importanța păstrării tradiției.....	21
2.1.4. Conservarea mediului și a resurselor natural.....	23
2.1.5. Impactul economic al materialelor ecologice.....	27
2.1.6. Avantajele folosirii materialelor de construcții ecologice.....	31
<b>3. RETROSPECTIVA CRITICĂ A CERCETĂRII MATERIALELOR ECOLOGICE.....</b>	<b>34</b>
3.1. Materiale ecologice folosite în construcții.....	34
3.2 Corpuri de zidărie din lut.....	42
3.3 Pereți din pământ / lut bătătorit.....	49
3.4 Pereți din saci umpluți cu pământ.....	53
3.5 Aditivi(adaosuri) naturali.....	55
3.6 Materiale ecologice termo și fonoizolatoare.....	64
3.7 Materiale pentru finisaje.....	68
<b>4. ELEMENTE DE CHIMIA ARGILELOR.....</b>	<b>71</b>
<b>5. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PE COMPONENTE DE PEREȚI.....</b>	<b>76</b>
5.1. Programul experimental.....	76
5.2. Materiale.....	77
5.2.1. Argila.....	77
5.2.2. Nisipul.....	79
5.2.3. Aditivi și material de adaos.....	79

5.2.4. Materiale vegetale.....	79
5.2.5. Materiale argilos reciclat.....	81
5.3 Metode de analiză.....	81
5.3.1. Metode de testare amestecuri argiloase pentru cărămizi.....	81
5.3.2. Metode de testare amestecuri argiloase pentru mortare.....	84
5.3.3. Metode de testare amestecuri argiloase destinate protecției suprafeței pereților din argilă .....	84
5.3.4. Metode de testare amestecuri argiloase pentru material argilos reciclat.....	85
5.4. Stabilirea cantității optime de nisip din amestecurile argiloase.....	87
5.5. Influența aditivilor și a materialelor de adaos. Identificarea amestecului argilos optim.....	93
5.6. Posibilitatea de utilizare a cenușii zburătoare ca material de adaos în amestecul argilos.....	106
5.7. Influența materialelor de adaos de tip vegetal.....	106
5.8. Mortare de zidărie și tencuială.....	117
5.8.1. Mortare de zidărie și tencuială pentru cărămizi de argilă.....	117
5.8.2. Mortare de tencuială pentru baloți de paie.....	119
5.9. Cercetări privind tratarea suprafețelor în vederea creșterii durabilității prin creșterea rezistenței la apă.....	121
5.9.1. Determinarea permeabilității la vapori de apă.....	122
5.9.2. Determinarea penetrației apei sub presiunea vântului.....	124
5.10. Încercarea la compresiune a zidăriei realizată din cărămizi de argilă.....	129

## **6. CERCETĂRI PRELIMINARE PRIVIND SUSTENABILITATEA ZIDĂRIEI DIN CĂRĂMIZI DE ARGILĂ.....**

6.1 Posibilitatea de reciclare și reutilizare a cărămizilor din argilă.....	130
6.2 Evoluția caracteristicilor fizico-mecanice ale cărămizilor din argilă cu adaos de var, după 2 ani de la confecționare.....	135

## **7. APRECIERI FINALE.....**

7.1 Concluziile cercetării.....	137
7.2 Contribuții originale.....	138
7.3 Direcții de cercetare viitoare.....	138

## **8. BIBLIOGRAFIE.....**

**LISTA LUCRĂRILOR ȘTIINȚIFICE PUBLICATE PE DURATA STAGIULUI DE STUDII DOCTORALE**  
**LUCRĂRI ȘTIINȚIFICE (8 articole)**

## Lista de figuri

<b>Fig. 2.1</b>	Principiile unei construcții sustenabile.....	8
<b>Fig. 2.2</b>	Criterii de realizare a construcțiilor sustenabile.....	10
<b>Fig. 2.3</b>	Liniile directoare pentru adaptarea la conceptul <i>Green</i> .....	10
<b>Fig. 2.4</b>	Camere de depozitare în templul lui Ramses al II-lea, Egipt, construit din cărămizi de pământ acum 3200 de ani.....	11
<b>Fig. 2.5</b>	Oraș fortificat în valea Draa, Maroc.....	12
<b>Fig. 2.6</b>	Cetatea Bam, Iran.....	12
<b>Fig. 2.7</b>	Piramida Soarelui, Teotihuacan, Mexic.....	13
<b>Fig. 2.8</b>	Acoperișul bazarului din Sirdjan, Iran.....	13
<b>Fig. 2.9</b>	Casa cu pereți umpluți cu pământ, Germania, 1795.....	15
<b>Fig. 2.10</b>	Casa cu pereți din pamant, Germania, 1828.....	16
<b>Fig. 2.11</b>	Una din primele case din baloți de paie construite în sec. XIX.....	16
<b>Fig. 2.12</b>	Capela Reconcilierii din Berlin.....	17
<b>Fig. 2.13</b>	Sera cu pereți din cărămizi de lut.....	18
<b>Fig. 2.14</b>	Casa rezidențială cu pereți din cărămizi de lut, Wazirpur, India.....	18
<b>Fig. 2.15</b>	Casa cu pereți și acoperiș tip cupola, din cărămizi de lut, La Paz, Bolivia....	19
<b>Fig. 2.16</b>	Casa de vacanță, din baloți de paie, Valea Nucului, Buzău, Romania.....	19
<b>Fig. 2.17</b>	Moschea Djenne, Mali.....	20
<b>Fig. 2.18</b>	Lucrări de întreținere la moschea Djenne, Mali.....	20
<b>Fig. 2.19</b>	Castelul de Lut din Valea Zânelor.....	21
<b>Fig. 2.20</b>	Interacțiunea dintre arhitectura vernaculară, arhitectura modernă, dezvoltare tehnologică și economică, cultură, tradiții și conștiința ecologică.....	22
<b>Fig. 2.20</b>	Cantitatea de energie necesară producerii, punerii în operă și întreținerii pe toată durata de viața pentru cele mai comune materiale de construcții.....	25
<b>Fig. 3.1</b>	Rezistența la compresiune medie al peretelui de 102 mm în funcție de rezistență cărămizii din zidărie.....	36

<b>Fig. 3.2</b>	Prezentare exterioară și interioară a casei cu pereți din cărămizi de lut, Helensville, Noua Zeelanda.....	40
<b>Fig. 3.3</b>	Prezentare exterioară și interioară a casei cu pereți din pământ și baloți de paie, Warkworth, Noua Zeelanda.....	40
<b>Fig. 3.4</b>	Clădire cu două etaje, cu pereți din cărămizi de lut, Auckland - Noua Zeelandă.....	40
<b>Fig. 3.5</b>	Caracterizarea lutului în funcție de raporturile nisip-praf (pulbere)-argilă	42
<b>Fig. 3.6</b>	Curba granulometrică recomandată pentru corpuri de zidărie.....	42
<b>Fig 3.7</b>	Absorbția de apă pentru epruvete din diverse materiale de construcție, cu grosimea de 15 mm în condițiile creșterii bruște a umidității relative a aerului de la 50% la 80%, la temperatura de 21°C.....	45
<b>Fig 3.8</b>	Absorbția de apă pentru epruvete din materiale uzuale de construcție, cu grosimea de 15 mm în condițiile creșterii bruște a umidității relative a aerului de la 50% la 80%, la temperature de 21°C.....	45
<b>Fig 3.9</b>	Absorbția de apă pentru epruvete din lut, cu diferite grosimi, în condițiile creșterii bruște a umidității relative a aerului de la 50% la 80%, la 21°C.....	46
<b>Fig. 3.10</b>	Diferite tipuri de elemente de zidărie din lut (cărămizi pentru pereți, elemente decorative, bolți, tavane, podele.....	47
<b>Fig 3.11</b>	Corespondența în compoziția elementelor din beton și materialele natural.....	47
<b>Fig. 3.12</b>	Curba granulometrică și compoziția materialului optim destinat realizării pereților din pământ bătătorit.....	49
<b>Fig. 3.13</b>	Structura pereților realizați din cofraj lemnos și umplutura de lut.....	50
<b>Fig. 3.14</b>	Exemple de module utilizate ca și cofrag pierdut.....	51
<b>Fig. 3.15</b>	Exemple de pereți realizați prin îmbinarea cofrajelor pierdute modulare, umplute cu pământ bătătorit și paie pentru izolare termică.....	51
<b>Fig. 3.16</b>	Aspect interior al tipografiei și un exemplu de element de zidărie din pământ bătătorit.....	53
<b>Fig. 3.17</b>	Casa de locuit cu pereți realizați prin stivuirea sacilor umpluți cu pământ bătătorit.....	54
<b>Fig. 3.18</b>	Variația densității și a rezistenței la compresiune a epruvetelor din pământ bătătorit în funcție de adaosul de ciment Portland 42,5 N.....	56

<b>Fig. 3.19</b>	Rezistența la compresiune pe amestecuri de argilă cu coji de orez și trestie de zahăr.....	61
<b>Fig. 3.20</b>	Contrația la uscare pe amestecuri de argilă cu coji de orez și trestie de zahăr	61
<b>Fig. 3.21</b>	Conductivitatea termică pe amestecuri de argilă cu coji de orez și trestie de zahăr.....	61
<b>Fig. 3.22</b>	Proprietăți mecanice în funcție de conținutul procentual de paie, la lungimi de paie de 1-3 cm.....	63
<b>Fig. 3.23</b>	Plăci termoizolante din fibră de lemn, Gutex.....	65
<b>Fig 3.24</b>	Izolarea cu pachete de stuf.....	66
<b>Fig. 3.25</b>	Lâna de oaie folosită pentru termo și fonoizolare.....	67
<b>Fig 3.26</b>	Case decorate cu vopsele natural.....	69
<b>Fig. 3.27</b>	Baie în stil marocan finisată cu Tadelakt.....	70
<b>Fig. 4.1</b>	Structura caolinitului.....	72
<b>Fig. 4.2</b>	Structura haloizitului nedeshidratat.....	73
<b>Fig. 4.3</b>	Structura haloizitului deshidratat.....	73
<b>Fig. 4.4</b>	Structura montmorilonitului.....	74
<b>Fig. 4.5</b>	Compoziția chimică a argilelor.....	75
<b>Fig. 5.1</b>	Diagrama de realizare a cercetărilor experimentale.....	76
<b>Fig. 5.2</b>	Caracterizarea pământului de tip argilă nisipoasă utilizat.....	77
<b>Fig.5.3</b>	Compoziția mineralogică a argilei extrase.....	78
<b>Fig. 5.4</b>	Fibrele utilizate în prepararea amestecurilor.....	80
<b>Fig. 5.5</b>	Epruvete în dispozitivele de încercare.....	83
<b>Fig. 5.6</b>	Aspectul epruvetelor după determinarea rezistenței la compresiune.....	83
<b>Fig. 5.7</b>	Determinarea conductivității termice prin metoda termofluxmetrică.....	83
<b>Fig. 5.8</b>	Aspectul epruvetei după tratament termic în flacără deschisă.....	84
<b>Fig. 5.9</b>	Exemple de epruvete realizate din amestecurile de pământ – nisip – apă.....	88
<b>Fig. 5.10</b>	Contrația axială a amestecurile întărite la umiditate de echilibru.....	88
<b>Fig. 5.11</b>	Rezultate exepimentale privind rezistența la întindere prin incovoiere ( $R_{ti}$ ),rezistența la compresiune ( $R_C$ ) și densitatea epruvetelor din amestecurile întărite la umiditate de echilibru.....	90

<b>Fig. 5.12</b>	Diagrama cu granulometria argilei pure (triunghi roz) și amestecului de argilă cu 35% nisip (triunghi albastru). Se observă deplasarea triunghiului la adaosul de nisip.....	92
<b>Fig. 5.13</b>	Exemple de epruvete realizate din amestecurile de pământ cu diferite adaosuri.....	95
<b>Fig. 5.14</b>	Contrații axiale ale amestecurilor.....	95
<b>Fig. 5.15</b>	Contrații axiale ale amestecurilor argilă nisipoasă cu NaCl.....	97
<b>Fig. 5.16</b>	Densitate aparentă în stare întărită și rezistențe mecanice ale amestecurilor de pământ tip argilă nisipoasă cu var.....	98
<b>Fig. 5.17</b>	Densitate aparentă în stare întărită și rezistențe mecanice ale amestecurilor de pământ tip argilă nisipoasă cu clei de oase și/sau NaOH.....	100
<b>Fig. 5.18</b>	Densitate aparentă în stare întărită și rezistențe mecanice ale amestecurilor de pământ tip argilă nisipoasă cu NaCl.....	100
<b>Fig. 5.19</b>	Compoziția mineralogică a amestecului de argilă cu adaosuri, considerat optim.....	105
<b>Fig. 5.20</b>	Epruvete realizate cu adaos de fibre de cânepă.....	108
<b>Fig. 5.21</b>	Epruvete realizate cu adaos paie.....	109
<b>Fig. 5.22</b>	Densitatea aparentă în funcție de adaosul de fibre vegetale.....	110
<b>Fig. 5.23</b>	Rezistența la compresiune în funcție de adaosul de fibre vegetale.....	110
<b>Fig. 5.24</b>	Rezistența la încovoiere în funcție de adaosul de fibre vegetale.....	110
<b>Fig. 5.25</b>	Variația proprietăților cărămizii cu procentul de cânepă.....	111
<b>Fig. 5.26</b>	Variația proprietăților cărămizii cu procentul de paie.....	114
<b>Fig. 5.27</b>	Reprezentare comparativă din punct de vedere a conductivității termice, cu diferite materiale de construcții, a amestecurilor argiloase considerate optime	115
<b>Fig. 5.28</b>	Tencuieli aplicate pe cărămidă de argilă, fisurate.....	117
<b>Fig. 5.29</b>	Aderența mortarului pe bază de argilă, nisip, var și NaCl la suport din argilă.....	118
<b>Fig. 5.30</b>	Tencuiala de argilă cu adaos de ulei în compoziția proaspătă.....	119
<b>Fig. 5.31</b>	Tencuială de argilă și nisip aplicată pe un balot de paie.....	120
<b>Fig. 5.32</b>	Tencuială pe bază de argilă cu nisip, var și paie.....	120
<b>Fig. 5.33</b>	Tencuială de argilă cu nisip aplicată peste primul strat de tencuială cu paie.....	120
<b>Fig. 5.34</b>	Straturile de mortar aplicate pe balotul de paie.....	121



<b>Fig. 5.35</b>	Variația factorului de rezistență la vapori de apă în funcție de modul de tratare a suprafeței epruvetelor.....	123
<b>Fig. 5.36</b>	Influența modului de tratare a suprafeței asupra fluxului de apă absorbită....	124
<b>Fig. 5.37</b>	Influența modului de tratare a suprafeței asupra coeficientului de penetrație a apei sub presiunea vântului.....	124
<b>Fig. 5.38</b>	Epruvete cu suprafața tratată supuse la testare.....	126
<b>Fig. 5.39</b>	Aspectul epruvetelor după încercare.....	127
<b>Fig. 5.40</b>	Testarea la îngheț- dezgheț a epruvetei din argilă tratată cu ulei de in.....	128
<b>Fig. 5.41</b>	Aspecte din timpul încercării.....	129
<b>Fig. 6.1</b>	Influența tipului de argilă utilizat asupra densității aparente.....	130
<b>Fig. 6.2</b>	Influența tipului de argilă utilizat asupra rezistențelor mecanice.....	132
<b>Fig. 6.3</b>	Influența tipului de argilă utilizat asupra contracțiilor axiale.....	133
<b>Fig. 6.4</b>	Influența tipului de argilă utilizat asupra conductivității termice.....	133
<b>Fig. 6.5</b>	Rezistențele mecanice la 40 de zile.....	135
<b>Fig. 6.6</b>	Rezistențele mecanice la 2 ani de la confecționare.....	136

## Lista tabele

<b>Tab. 2.1</b>	Definirea sustenabilității construcțiilor.....	4
<b>Tab. 2.2</b>	Energia reziduală înmagazinată datorită tehnologiei de producție.....	20
<b>Tab. 3.1</b>	Caracteristicile pământului folosit la construcția Capelei Reconcilierii din Berlin.....	53
<b>Tab. 3.2</b>	Conductivitatea termică a cărămizilor din argilă la diferite adaosuri.....	59
<b>Tab. 3.3</b>	Rezistența termică a diferite materiale termoizolatoare.....	68
<b>Tab. 5.1</b>	Compoziția oxidică a argilei.....	77
<b>Tab. 5.2</b>	Analiza granulometrică a nisipului.....	79
<b>Tab. 5.3</b>	Caracteristicile varului pasta.....	79
<b>Tab. 5.4</b>	Compoziția amestecurilor testate experimental.....	87
<b>Tab. 5.5</b>	Densitatea aparentă și contracțiile axiale ale epruvetelor de argilă, nisip și apă.....	88
<b>Tab. 5.6</b>	Rezistențele mecanice ale epruvetelor din argilă și nisip.....	89
<b>Tab. 5.7</b>	Compoziția amestecurilor testate experimental.....	94
<b>Tab. 5.8</b>	Valorile proprietăților fizico mecanice ale epruvetelor de argilă cu cenușă.....	106
<b>Tab. 5.9</b>	Valorile rezistențelor mecanice, densitatea aparentă, contracțiile axiale și conductivitatea termică la cărămizi de argilă cu fibre de cânepă.....	107
<b>Tab. 5.10</b>	Valorile rezistențelor mecanice, densitatea aparentă, contracțiile axiale și conductivitatea termică la cărămizi de argilă cu paie.....	108
<b>Tab. 5.11</b>	Datele încercării pe zidărie la rupere.....	129
<b>Tab. 6.1</b>	Compoziția amestecurilor realizate din argila reciclată testate experimental.....	135

## Lista de simboluri

- $\rho$  - densitatea materialului,  $\text{kg/m}^3$
- $\lambda$  - coeficient de conductivitate termică,  $\text{W/mK}$
- $R_c$  - rezistența la compresiune,  $\text{N/mm}^2$
- $R_f$  - Rezistența la încovoiere,  $\text{N/mm}^2$
- $F$  - Forta,  $\text{N}$

## 1 PREAMBUL

### 1.1 Motivația demersului de cercetare

În contextul economico-social actual, la nivel mondial, se observă existența a trei probleme esențiale: problema conservării resurselor naturale și a protecției mediului, problema economică și problema vernaculară.

Mai mult de jumătate din populație locuiește la oraș și consumăm resursele naturale mai repede ca niciodată. Suntem fără îndoială cea mai inventivă și puternică viețuitoare de pe planetă. Suntem atât de plini de succes încât am arestat întreaga planetă în interesul nostru, dar consecințele traiului nostru lacom sunt deja necontrolabile. Împingem natura către o criză? Unde vrem să mergem de acum încolo? O provocare este proiectarea unor construcții sau chiar orașe care să fie în echilibru cu natura. Așadar pornind de la natură și aplicând apoi tehnologia, conlucrând cu natura, cu valorificarea acesteia este o ambiție nobile ce poate fi atinsă. Însă adevărata provocare este de a încerca și de a schimba modul în care trăim cu natura în orașele actuale. Nu există nici un dubiu că în condițiile în care continuăm să trăim în orașe, va trebui să ne oprim din a lăsa natura stearpă fără nici un gând la ziua de mâine. Ce facem în casele noastre și pe străzi afectează întreaga planetă. Viitorul civilizației noastre depinde restaurarea echilibrului dintre lumea naturală și jungla urbană. Putem să facem asta? Sunt semen clare de speranță din toată lumea. Avem inteligența și ingeniozitatea necesare adaptării unei lumi în schimbare. Putem să dăm mâna cu natura în munca de a rezolva problemele cu care ne confruntăm. Când muncim împreună e incredibil ce putem realiza. Dacă vom combina aceste abilități naturale cu imaginația și ideile noastre cele mai mărețe atunci cu siguranță că orașele noastre se pot adapta și schimba.

*"Aproape 80% din timp îl petrecem în clădiri, fie că suntem la serviciu, acasă sau în instituții publice, siguranța și sănătatea clădirilor având un foarte mare impact asupra populației. Construcțiile verzi au un rol esențial în tranziția către o economie circulară, crescând calitatea fondului construit din România, reducerea deșeurilor rezultate, a*

*consumului de energie și a emisiilor de CO<sub>2</sub>*" afirma doamna Monica Ardeleanu, Director Executiv al Consiliului Român pentru Clădiri Verzi, în cadrul conferinței Next Generation Buildings din luna Aprilie 2016, organizată de Romania Green Building Council.

În ceea ce privește arhitectura și construirea, ca preocupări umane, materialele de construcție s-au dovedit a fi fundamentale pentru dezvoltarea civilizației. Chiar dacă antropologii definesc epocile istorice prin materialele folosite de diferitele civilizații, cum ar fi piatra, cuprul, bronzul și vârsta de fier, argila a fost prezentă în toate acestea și încă mai este. Schimbările majore aduse de utilizarea intensivă a cimentului Portland și a oțelului, chiar dacă s-au materializat prin performanțe spectaculoase, au adus în același mari deservicii vieții în ansamblu, care riscă să prejudicieze ireversibil planeta. Drept urmare, autoarea consideră că argila, ca material de construcție, merită o atenție sporită și o valorificare superioară pe piața construcțiilor.

Prin utilizarea și îmbinarea inteligentă a materialelor naturale în construcția unei case, se poate realiza un mediu interior sănătos și cu economie maximă de energie pentru încălzirea spațiului interior. OSHO spune: *“Omul este parte a naturii; sănătatea lui nu înseamnă nimic altceva decât a se simți în largul său în natura”*. Prin păstrarea mediului curat și crearea unui spațiu de locuit cât mai natural, fără produși sintetici care ne izolează de mediu, noi ne păstrăm sănătatea și vitalitatea necesară pentru a avea o viață armonioasă.

La nivel global, domeniul construcțiilor din materiale ecologice cum sunt cărămizile din argila și baloții de paie este în plină ascensiune. În multe țări guvernele încurajează utilizarea acestora în domeniul construcțiilor, autoritățile locale fiind printre cei mai importanți beneficiari. În România, casele naturale, ecologice, au început să devină din ce în ce mai cunoscute și tot mai mulți specialiști sunt interesați de acest tip de construcții.

Este demonstrat că, utilizând materialele naturale ca și materiale de construcții:

- se salvează energie datorită nivelului scăzut de energie înmagazinată;
- se salvează energie cu încălzitul și răcitul locuințelor;
- scade nivelul de emisii de dioxid de carbon.

## **1.2. Încadrarea tezei de doctorat în domeniul științific**

Conceptul de dezvoltare sustenabilă presupune în mare măsură implementarea pe scară tot mai largă a conceputului de clădiri armonizate cu natura. În acest sens, demersul de cercetare propune un studiu laborios al materialelor istorice naturale, insuficient încă studiate și fără reglementare la nivel legislativ în România, precum și o fructificare a potențialului lor în soluții originale, care să asigure confortul adecvat utilizatorilor.

Pe fondul unei industrializări tot mai accelerate, materialele tradiționale au fost prea puțin valorizate atât prin programe de cercetare cât și promovarea pe piața construcțiilor destinate în principal locuirii. Realizarea de noi soluții, pornind de la experiența fericită istorică/tradițională, care să asigure performanțe superioare, se constituie la ora actuală într-o prioritate a cercetării din domeniul ingineriei civile.

Materialele argiloase au fost utilizate cu succes mii de ani, iar la ora actuală tehnologia permite înlăturarea în mare parte a neajunsurilor dovedite de-a lungul istoriei. Cercetarea realizată în cadrul prezentului stagiu de doctorat propune o fructificare superioară a acestora, încadrându-se în eforturile de cercetare de vârf din domeniul ingineriei civile, materiale de construcții sustenabile.

## **1.3 Obiectivele tezei de doctorat**

**Obiectivul general** al cercetării este de a aduce contribuții semnificative în revalorizarea materialelor tradiționale de construcții realizate cu argilă (corpuri de zidărie nearsă, mortare de zidărie și tencuieli, finisaje) și adaosuri naturale (ulei de in, cânepă, paie, grăsimi animale etc.). Realizarea acestui obiectiv global este argumentată cu atingerea următoarelor obiective specifice:

**Obiectivul 1:** Atingerea unui nivel de cunoaștere cuprinzător cu privire la aplicațiile materialelor de construcție tradiționale în general, respectiv al argilei în particular, de la civilizațiile antice până în prezent;

**Obiectivul 2:** Implementarea materialelor tradiționale și naturale în dezvoltarea de noi/inovative soluții și proiectarea individualizată a acestora pentru îndeplinirea unor funcțiuni specifice;

**Obiectivul 3:** Concepția unui program experimental laborios și original în vederea identificării soluțiilor optime și cu performanțe superioare;

**Obiectivul 4:** Optimizarea compozițiilor argiloase, având ca și ținte performanțe fizico-mecanice superioare;

**Obiectivul 5:** Validarea experimentală a performanțelor fizico-mecanice ale produselor proiectate și realizate;

**Obiectivul 6:** Fundamentarea de noi direcții de cercetare prin valorificarea cercetărilor întreprinse în cadrul stagiului de doctorat.

## **1.4 Conținutul tezei de doctorat**

Teza de doctorat de față este structurată în șapte capitole. În continuare este prezentat succint(sintetic) conținutul tezei de doctorat:

*Capitolul 1* prezintă motivația care a stat la baza acestui studiu.

*Capitolul 2* tratează materialele naturale în contextul dezvoltării durabile precum și termenul de sustenabilitate, după care se prezintă exploatarea acestor materiale de-a lungul istoriei, încă din cele mai vechi timpuri. Omul a reușit să valorifice ceea ce i-a pus natura la dispoziție, realizându-și confortul și siguranța proprie, dar rămânând în armonie cu natura.

În *Capitolul 3* sunt prezentate studiile efectuate pe materialele ecologice, în special argila, până în prezent. Metodele tradiționale de a construi cu pământ s-au adaptat la tehnicile contemporane, în scopul de a furniza clădiri moderne, confortabile, estetice, funcționale, economice și prietenoase mediului înconjurător. Numeroase studii s-au efectuat pe proprietățile termice ale cărămizilor din lut nears. De asemenea, s-au prezentat neajunsurile acestor materiale tradiționale cum ar fi degradarea în timp datorită rezistenței mici la apă.

*Capitolul 4* prezintă elemente de chimia argilelor. Compoziția mineralogică a argilelor este diferită, în funcție de locul extragerii. Argilele sunt alcătuite din minerale argiloase precum hidrosilicații de aluminiu și minerale accesorii precum: cuarț, mică și

feldspat, carbonați alcalino - pământoși de calciu și magneziu, compuși alcalini, ghips, compuși cu fier, silicați complecși și compuși organici.

Proiectarea și evaluarea unor amestecuri argiloase realizate cu materiale locale face obiectul **Capitolului 5**. Sunt evaluate compoziții preliminare și compoziții individualizate având ca destinație componente de pereți, din punct de vedere a proprietăților fizico-mecanice. S-au prezentat materiile prime folosite și metodele de testare efectuate. S-a stabilit o compoziție optimă pentru realizarea cărămizilor din lut nears, precum și pentru mortarele de zidărie și tencuială. S-au prezentat studiile efectuate pe suprafețele argiloase tratate cu diferite soluții în vederea obținerii unei suprafețe mai rezistente la acțiunea apei.

În **Capitolul 6** sunt prezentate cercetări preliminare privind sustenabilitatea zidăriei din cărămizi de argilă. Au fost realizate studii privind posibilitatea de reciclare și reutilizare a cărămizilor din argilă nearsă, precum și evoluția caracteristicilor fizico-mecanice ale cărămizilor din argilă cu adaos de var , după 2 ani de la confecționare.

**Capitolul 7** prezintă concluziile acestor demers științific și contribuțiile originale ale autoarei la acest studiu, precum și direcții viitoare de cercetare în acest domeniu.



## **2 FUNDAMENTAREA DEMERSULUI ȘTIINȚIFIC**

### **2.1 Materialele naturale in contextul dezvoltării durabile**

#### **2.1.1 Dezvoltarea durabilă în domeniul construcțiilor**

Definirea sustenabilității nu este ușoară și, de-a lungul timpului, a dat naștere mai multor controverse și dezbateri. În accepțiunea generală, conform Raportului Brundtland [1], termenul *sustenabilitate* sau, așa cum mai este cunoscut, *dezvoltare durabilă*, reprezintă „*satisfacerea nevoilor de azi fără a sacrifica abilitatea generațiilor viitoare de a-și satisface propriile nevoi*“. În cadrul oricărei direcții sau strategii de dezvoltare, ale unei organizații sau ale unui produs, impunerea criteriilor de sustenabilitate conduce la evitarea, reducerea și / sau controlul impactului dăunător asupra mediului și populației, în condițiile respectării legislației în vigoare, satisfăcând totodată cerințele utilizatorilor.

Ingineria civilă durabilă este definită ca fiind procesul de proiectare și punere în operă astfel încât resursele și energia să fie utilizate într-un mod mult mai rațional. Ingineria verde cuprinde numeroase modalități de a îmbunătăți procesele și produsele pentru a le face mai eficiente din punct de vedere ecologic. Ingineria și arhitectura au fost mereu preocupate de spațiu. Proiectarea trebuie să ia în considerare impactul atât pe termen scurt cât și pe termen lung. Acest impact reprezintă bazele proiectării durabile.

Ca și obiective viitoare, ingineria sustenabilă își propune să creeze un program cuprinzător care să identifice și să ofere informații inginerilor și arhitecților din țările în curs de dezvoltare, realizând astfel o mai bună calitate a vieții. Își propune să ofere informații de specialitate studenților și inginerilor practicanți pentru a înțelege mai bine conceptele sustenabilității.

Sustenabil nu înseamnă primitiv. Când oamenii întâlnesc termenul sustenabil, imaginea uzuală pe care și-o creează este aceea a unei locuințe departe de confortul secolului XXI. Cu toate acestea noile locuințe sustenabile oferă un mediu ambiant mult mai prietenos, cu beneficii importante pentru sănătatea umană.

Proiectarea sustenabilă presupune utilizarea unor materiale reciclabile, cu consum minim de energie, utilizarea eficientă a energiei, calitate și durabilitate, re folosirea materialelor, substituirea serviciilor.

O construcție sustenabilă trebuie să fie concepută, realizată, operată și refolosită într-un mod ecologic, fără impact negativ asupra mediului. O posibilitate ar fi orientarea în direcția folosirii materialelor naturale. Ar fi ideal să se poată produce materiale care nu se degradează atâta timp cât sunt folosite și care să poată fi redat naturii când nu mai sunt utile.[2]

Deși aparent simplă, definiția sustenabilității conform Raportului Brundtland are o puternică încărcătură din punct de vedere a echității. Principala idee a raportului a fost de a găsi "*o cale de dezvoltare care să susțină progresul uman nu numai în câteva locuri și pentru câțiva ani, ci pentru întreaga planetă și pentru un viitor îndepărtat*" [1]. Astfel, se are în vedere utilizarea resurselor atât în ceea ce privește beneficiile pentru generația prezentă, cât și costurile și moștenirea lăsată generațiilor viitoare. Această moștenire, în funcție de gradul de conștientizare al generației actuale, poate fi o valoare sau o povară. Astfel, conform regulii lui Hartwick, s-a identificat o interconexiune care poate fi generalizată în orice domeniu de activitate între două atitudini: "*eu, acum vs alții, acum și mai târziu*" [2][3]. Prin urmare, în prezent, sunt de preferat direcțiile de dezvoltare de tip preventiv, tip win-win în detrimentul celor alternative.

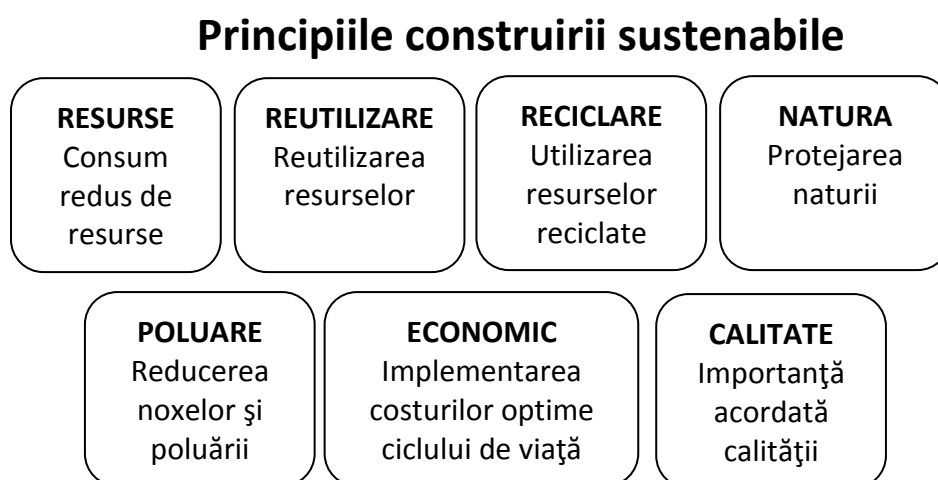
Elementele dezvoltării durabile sunt Eco-Eficiența, Producțiile Curate, Eco-Proiectarea, Chimia Verde, Analiza Ciclului de Viață, Minimizarea Pierderilor. Conceptul de eco-eficiență, așa cum a fost introdus în anul 1992 de către Consiliul Mondial pentru dezvoltare Sustenabilă din afaceri a fost definit ca "*oferirea unor bunuri și servicii la prețuri competitive, care să satisfacă nevoile umane și care să confere calitate vieții, reducând impactul ecologic la un nivel care să fie compatibil cel puțin cu capacitatea estimată de susținere a planetei Pamânt*" [4]. Prin urmare, eco-eficiența include optimizarea proceselor, reciclarea deșeurilor și furnizarea de noi servicii. Producțiile curate implică creșterea productivității, implementarea principiului eficienței energetice, managementul fluxurilor de materiale, aplicarea principiului prevenirii, utilizarea durabilă a capitalului natural și atingerea conformării cu cerințele legale. Eco-design-ul reprezintă procesul de dezvoltare a unui produs care are în vedere ciclul de viață complet al acestuia, luând în considerare aspectele de mediu în toate etapele procesului și promovând produsele cu cel mai mic impact

asupra mediului de-a lungul întregului ciclu de viață. Chimia verde constă în promovarea produselor și tehnologiilor care reduc sau elimină folosirea și generarea de substanțe periculoase. Analiza ciclului de viață implică o evaluare a efectelor asupra mediului pe care un produs le are pe întreaga sa durată de viață. Minimizarea pierderilor este definită ca eliminarea sau reducerea, până la un nivel fezabil, a deșeurilor generate, care altfel ar presupune tratare ulterioară, depozitare sau eliminare.

În etapele construcției și utilizării unei clădiri se deosebesc 3 faze determinante: faza pre-construcție, faza de construcție propriu-zisă și utilizare și faza post-construcție și post-utilizare. Fiecare dintre aceste faze trebuie să îndeplinească criteriile minime pentru a satisface principiile sustenabilității, așa cum este prezentat în Figura 2.1.

De-a lungul timpului sustenabilitatea construcțiilor a fost definită în numeroase moduri [3] (vezi Tabel 2.1). În prezent, conform acestor definiții, sustenabilitatea în domeniul construcțiilor trebuie să satisfacă 7 principii de bază, așa cum este prezentat în Figura 2.2.

Clădirile sustenabile au de obicei costurile anuale mai mici pentru energie, apă, întreținere / reparații, reconfigurare spațiu din cauza nevoilor în schimbare, precum și alte cheltuieli de exploatare. Aceste costuri reduse nu trebuie să vină în detrimentul de costuri mai mari pentru materia primă.



**Fig. 2.1** Principiile unei construcții sustenabile [3]

**Tab. 2.1** Definierea sustenabilității construcțiilor [3]

<b>Autor / anul</b>	<b>Definiția sustenabilității</b>
Kibert 1994	<i>“Managementul creativ și responsabil al unui patrimoniu construit sănătos, bazat pe principiile eficienței resurselor și ecologice”</i>
Huovila și Richter 1997	<i>“Minimizarea utilizării energiei și emisiilor care au fost dăunătoare mediului și sănătății, precum și furnizarea clienților de informații relevante luării deciziilor cu privire la procesele și produsele de considerat pe durata de viață”</i>
Lanting 1998	<i>“Un nod de construire ținând spre reducerea impactului negativ asupra sănătății și mediului cauzat de procesele de construire sau de patrimoniul construit”</i>
Bossink 2002	<i>“Probleme globale cheie care cuprind evaluarea de mediu a clădirilor, metodele de proiectare ecologică, durabilitatea urbană și postutilizarea”</i>
Zainul-Abidin și col. 2003	<i>“Construirea sustenabilă crează un patrimoniu construit sănătos, bazat pe principiile optimizării resurselor și ecologiei”</i>
Shelbourn și col. 2006	<i>“Activitățile care înglobează cei trei stâlpi ai armoniei – socialul, economicul și mediului”</i>
Zainul-Abidin și Jaapar 2008	<i>“Menținerea echilibrului dintre necesarului uman de construcții (de exemplu locuire și afaceri) și infrastructură (nivelul bunăstării), conservând resursele naturale și ecosistemele pentru generațiile actuale și viitoare”</i>
Augenbroe și Pearce 2010	<i>“Definirea unui cadru metodologic cuprinzând cele trei axe principale: sistemul (contur), procesul (actor) și aspectul (esteticul)”</i>

Construcțiile tradiționale reprezintă un stil arhitectonic bazat în esență pe nevoile și pe materialele de construcție locale, reflectând în cel mai înalt grad tradiția locului. În prezent peste 50% din populația globului locuiește în construcții tradiționale realizate din materiale locale [4][5]. Construcțiile realizate din elemente de tip cărămidă nearsă pot fi regăsite cu precădere în zonele rurale, atât în țări puțin dezvoltate, cât și în state dezvoltate economic precum Germania, Franța, Marea Britanie, Spania, SUA, Brazilia, Australia și Noua Zeelandă.

Cercetarea de față își propune să aprofundeze cercetările în domeniul materialelor de construcții ecologice și să analizeze posibilitățile de utilizare cât mai avantajoasă a acestora, respectiv să identifice materialele cu o performanță ridicată din punct de vedere energetic. În tendințele actuale din domeniul construcțiilor conceptul *Green-Building* se remarcă tot mai des. În Figura 2.3 sunt prezentate liniile directoare pentru adaptarea construcțiilor conceptului *Green-Building*. Se remarcă la proiectele actuale că definesc gestionarea materialelor din faza de extracție, până la punere în operă, utilizare și demolare.

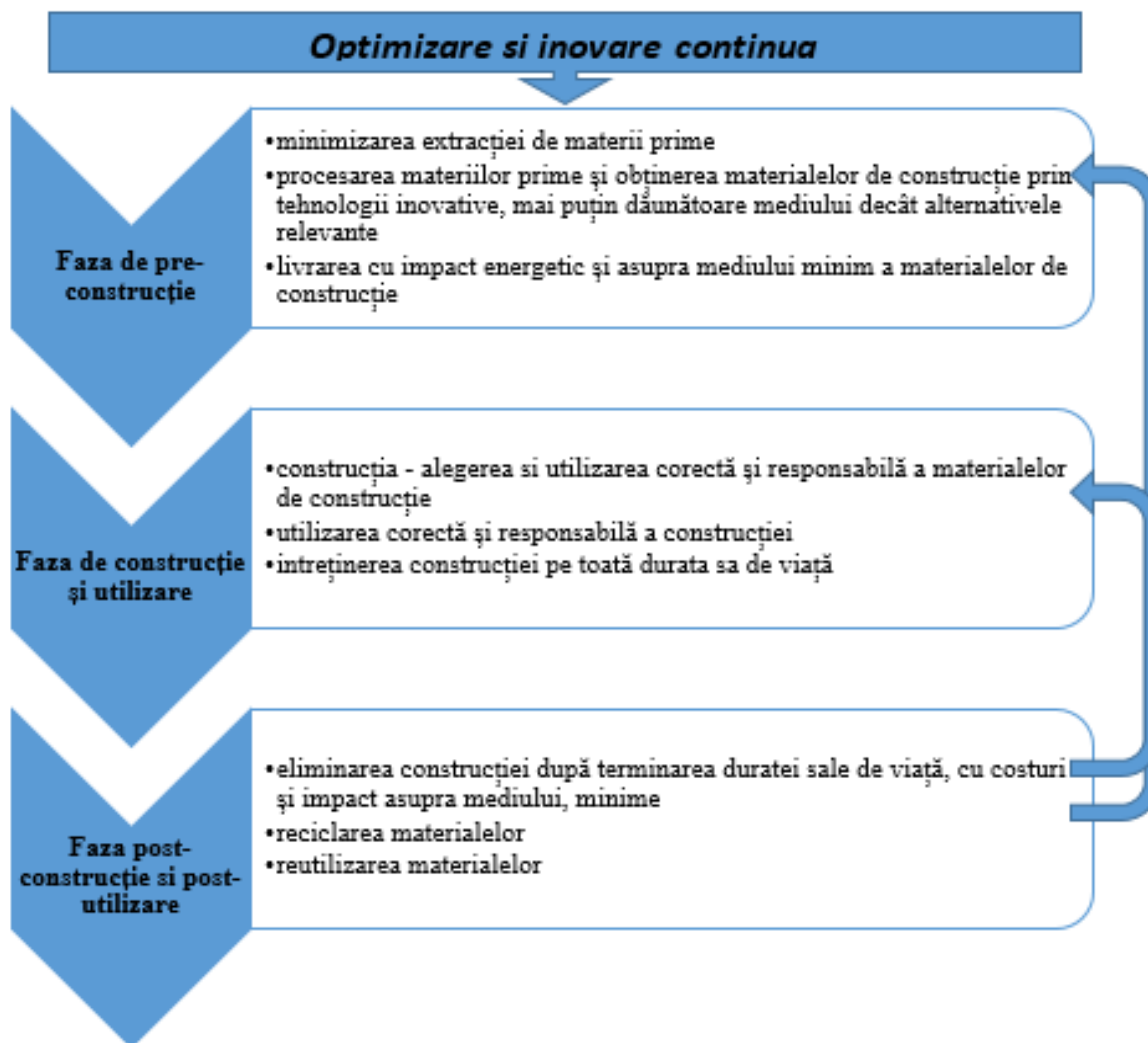


Fig. 2.2 Criterii de realizare a construcțiilor sustenabile[6]

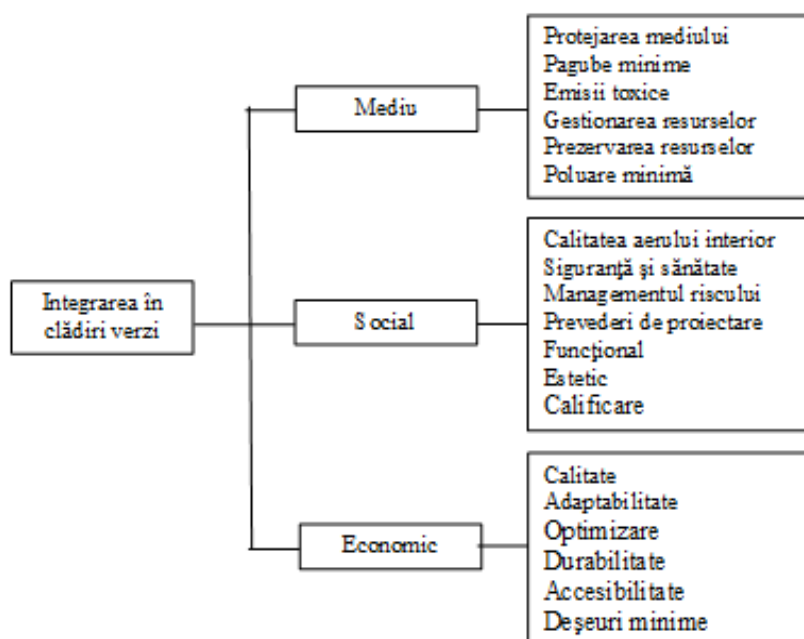


Fig. 2.3 Liniile directoare pentru adaptarea la conceptul *Green-Building* [6]

### **2.1.2 Perspectivă istorică privind materialele naturale**

Cele mai la îndemână materiale de construcție sunt cele care se găsesc în natură și care pot fi folosite ca atare sau cu un minim de efort necesar prelucrării.

Înainte de a exista cimentul și betonul, au fost piatra, argila, lutul, paiele, iar înainte de armătura de oțel a fost lemnul. Omul a reușit să valorifice ceea ce i-a pus natura la dispoziție, realizându-și confortul și siguranța proprie, dar rămânând în armonie cu mediul înconjurător.

Încă din cele mai vechi timpuri așezările umane și sistemele agricole au imitat relațiile din natură. Primele picturi atribuite oamenilor primitivi sunt mai vechi de 25000 de ani [6]. Materialele folosite în realizarea lor proveneau în întregime din mediul înconjurător. Analizele chimice efectuate pe picturile descoperite în peșterile de la Altamira (Spania) și Lascaux (Franța) au demonstrat că pigmentii folosiți de artiștii din paleolitic aveau la bază, în cea mai mare parte, oxizi de fier și magneziu [6]. Aceste materiale asigurau culorile fundamentale ce se regăsesc în majoritatea picturilor rupestre: negru, roșu și galben, precum și toate nuanțele intermediare. De asemenea s-a mai pus în evidență utilizarea cărbunelui obținut prin arderea lemnului, carbonatului de fier (galben) și a cretei.

Tehnicile de construcție utilizând pământ și lut sunt cunoscute și atestate cu 9000 de ani în urmă. Cărămizile din noroi descoperite în Turkestan au fost folosite din anii 8000-6000 î.H. Pământul a fost folosit ca material de construcții în toate culturile antice, nu doar pentru case, dar și pentru edificii religioase (vezi Figura 2.4), fundații vechi de 5000 de ani fiind descoperite în Asiria [7]



**Fig. 2.4** Camere de depozitare în templul lui Ramses al II-lea, Egipt, construit din cărămizi de pământ acum 3200 de ani [7]

În Maroc au fost descoperite părți ale unui oraș fortificat din valea Draa (Figura 2.5), iar în Iran cetatea Bam atestă utilizarea cărămizilor de pământ în urmă cu 2500 de ani (Figura 2.6) [7].



**Fig. 2.5** Oraș fortificat în valea Draa, Maroc [7]



**Fig. 2.6** Cetatea Bam, Iran [7]

Vechi de 4000 de ani, Marele Zid chinezesc a fost construit inițial numai din pământ bătătorit, fiind ulterior acoperit cu pietre și cărămizi, ceea ce îi dă aparența unui zid de piatră. Miezul piramidei Soarelui din Teotihuacan, Mexic, construită între 300 și 900 d.H. , constă în aproximativ 2 milioane de tone de pământ bătătorit (Figura 2.7) [7].

Cu multe secole în urmă, în zonele georgafice unde lemnul era greu de găsit și scump, au fost dezvoltate tehnici de construcție ale tavanelor, cupolelor, fără cofraj sau sprijin, din pământ și lut, așa cum s-a găsit în bazarul din Sirdjan, Iran (Figura 2.8).



**Fig. 2.7** Piramida Soarelui, Teotihuacan, Mexic [7]



**Fig. 2.8** Acoperișul bazarului din Sirdjan, Iran [7]

În Tibet, s-au construit numeroase clădiri masive, mănăstiri tibetane, din pământ bătătorit, cu până la 7 nivele, în ultimii 500 de ani.

Descoperiri arheologice datând din epoca bronzului au arătat că în Europa, în Germania, s-a utilizat o tehnică de construire a pereților din lemn, din trunchiuri de copaci, umpluți și sigilați cu pământ și lut. În Europa, cel mai vechi exemplu de utilizare a cărămizilor din pământ, este în Heuneburg, Germania, datând din secolul 6



i. H., iar scrierile lui Pliniu cel Bătrân indică construcția unor forturi de pământ bătătorit în Spania, la sfârșitul anilor 100 î.H.[8][9]

Nucleul istoric al orașului de Shibam, Yemen, care acoperă aproximativ 20.000 de m<sup>2</sup> și este accesibil numai printr-un singur portal, a fost construit în întregime din chirpici. În Mexic, America Centrală și America de Sud, toate culturile precolumbiene cunoșteau și utilizau tehnicile de construcție din pământ bătătorit amestecat cu diverse vegetale, atât pentru casele de locuit cât și pentru construcțiile de cult. În perioada cuprinsă între anii 600 î.C. și 400 artiștii greci și romani au dezvoltat vopsele pe bază de uleiuri siccative cu o durabilitate mult îmbunătățită.

În timpul Evului Mediu cele mai multe picturi, mai ales pe lemn, erau protejate cu ajutorul lacurilor. Cele mai multe lacuri se obțineau prin dizolvarea diferitelor rășini în ulei fierbinte de semințe de in, cânepă sau miez de nucă [10].

Yemenul este renumit pentru faimoasele sale turnuri (Figura 2.9), realizate din cărămizi de lut și care au 6 sau chiar mai multe etaje. Acestea sunt construite pe o fundație săpată și umplută cu lemn și pietre peste care se construiește un zid de piatră și var până la nivelul solului, după care se continua realizarea pereților din cărămizi de lut și cob. Grosimea pereților se reduce pe măsură ce aceștia se înalță. Acoperișurile sunt sub formă de terase impermeabilizate prin aplicarea unui strat de tencuială de var, cenușă de lemn și nisip [11].

În Europa medievală se cunoaște construirea pereților din lemn umpluți cu pământ și a acoperișurilor din paie acoperite cu pământ. Lutul și pământul s-au utilizat pentru realizarea protecției la foc a materialelor ușor inflamabile. În apropiere de orașul Lyon, există mai multe clădiri, care au mai mult de 300 de ani și sunt încă locuite. În 1790 și 1791 Francois Cointreaux a publicat patru broșuri în care a descris tehnicile de construcție utilizând pământ, lemn și paie, tehnici care s-au răspândit rapid în toată Europa.

În Germania cea mai veche casă de locuit datează din 1795 și a fost construită utilizând tehnica pereților umpluți cu pământ bătătorit (Figura 2.9). Tot în Germania se află cea mai înaltă casă cu pereți din pământ (Figura 2.10). Construcția acesteia s-a terminat în 1828 și este încă funcțională. Pereții casei au o grosime de 75 cm la bază și 40 cm la ultimul etaj [12].



**Fig. 2.8** Case de locuit din Yemen, realizate din cărămizi de lut și cob [12]



**Fig. 2.9** Casa cu pereți umpluți cu pământ, Germania, 1795 [12]

În Africa locuințele din paie datează din paleolitic. În 1850 s-a inventat presa de balotat în Nebraska (SUA) și de atunci a început să fie tot mai folosit acest material de construcție [12]. Există încă o casă construită în urmă cu mai mult de 100 de ani

(Figura 2.11). Această metodă a fost preluată în Europa de către norvegieni și germani și s-a răspândit și în celelalte țări europene.



**Fig. 2.10** Casa cu pereti din pamant, Germania, 1828 [13]



**Fig. 2.11** Una din primele case din baloți de paie construite în sec. XIX [13]

Un exemplu deosebit care ilustrează posibilitatea realizării de construcții durabile în armonie cu mediu înconjurător îl constituie Capela Reconcilierii din Berlin (Figura 2.12). Construcția inițială, sfințită în anul 1894 în prezența împărătesei

Augusta Victoria, soția lui Kaiser Wilhelm al II-lea, era o biserică realizată în stil neo-gotic, la fel ca multe alte lăcașe de cult din Berlin. În timpul războiului în urma unui bombardament din anul 1943, biserica a fost grav afectată și, din motive de siguranță publică, a fost demolată în anul 1985. Pe locul vechii construcții, cu ajutorul specialistilor de la Universitatea Tehnică din Berlin, în perioada 1999-2000 a fost ridicată o nouă clădire de cult. La realizarea sa s-a utilizat un amestec de lut, agregate naturale de diferite dimensiuni, paie și o cantitate mică de fibre de in. În total s-au utilizat 390 tone de pământ bătătorit. Relațiile dintre rezistențele la forfecare, încovoiere și la compresiune a amestecului testat în laborator sunt similare cu cele corespunzătoare unui beton. Podeaua din pământ bătătorit tratată cu ceară naturală semnifică unirea cu solul, iar acoperișul din lemn netratat și altarul din lut semnifică efemeritatea. Toate picturile au fost realizate folosind vopsele pe bază de roci minerale măcinate [14].



**Fig. 2.12** Capela Reconcilierii din Berlin [11]

Cercetătorul Jochen Guntzel a afirmat că în Germania, în sec 18 și 19, zeci de mii de case din cărămizi de argilă au fost construite. După primul război mondial s-au construit mii de case din cărămizi de lut nears, și după al doilea război mondial alte 40.000 de case s-au construit. [13][14]. Richard Pieper a afirmat că în New York, se folosesc cărămizile de lut din 1830. În prezent, cele mai multe case din lut se găsesc în New Mexico și Arizona unde se continuă și acum astfel de construcții datorită

păstrării tradiției Pueblo Indian și Hispanice. Clădiri profesionale se construiesc mai ales în Albuquerque, Santa Fe și Tucson. Sunt în jur de 200.000 clădiri din pământi US, din care 97% sunt în zona sud est. Fabricarea cărămizilor de lut s-a îmbunătățit prin adaosul de asfalt(3-5%), în New Mexico, Arizona și California, sau ciment (5-10%), în vestul Texasului, pentru o rezistență la apă mai bună. [15][16] Exemple de astfel de case sunt numeroase (vezi Figurile 2.13-2.16), fiecare dintre acestea îmbinând tehnologii moderne cu materialele tradiționale/naturale.



**Fig. 2.13** Sera cu pereți din cărămizi de lut [17]



**Fig. 2.14** Casa rezidențială cu pereți din cărămizi de lut, Wazirpur, India [17]



**Fig. 2.15** Casa cu pereți și acoperiș tip cupola, din cărămizi de lut, La Paz, Bolivia [17]



**Fig. 2.16** Casa de vacanță, din baloți de paie, Valea Nucului, Buzău, Romania [18]

Cea mai veche și cea mai mare clădire din lut este moscheea amplasată în orașul Djenné din Mali (Figura 2.17), oraș construit în întregime din lutul unui râu afluent al fluviului Niger. Lutul este amestecat cu cojile de orez și lăsat să fermenteze. În fiecare an, înainte de anotimpul ploios, clădirea se protejează cu un strat de lut numit și “piele antifurtună”. Toți locuitorii orașului ajută la aplicarea stratului de lut protector. Întregul oraș lucrează pentru protejarea moscheei încă un an (Figura 2.18). Moscheea e veche de peste 700 de ani și este inima sacră a orașului.[19]



**Fig. 2.17** Moschea Djenne, Mali[19]



**Fig. 2.18** Lucrări de întreținere la moschea Djenne, Mali[19]

În România, Castelul de Lut (Figura 2.19) din Valea Zânelor, Porumbacu, Sibiu, construit cu ajutorul arhitectului Ileana Mavrodin, este realizat strict din materiale ecologice.

Grosimea pereților este de 40 cm respectiv 60 cm și sunt în totalitate din lut. Fundația de 21 m, este din beton ciclopian peste care s-a venit cu o structură din lemn care a fost îmbrăcată în cob, un amestec de argilă, nisip, balast și paie. Cobul, se poate pune direct în zid atunci când este ud, spre deosebire de chirpici care trebuie să se usuce.

Văzut din depărtare, castelul atrage privirile curioșilor. Piatra, pământul, lemnul, și șindrila meștesugite la fața locului au dat viață construcției și i-au imprimat un aer nostalgic și spectaculos.



**Fig. 2.19** Castelul de Lut din Valea Zânelor

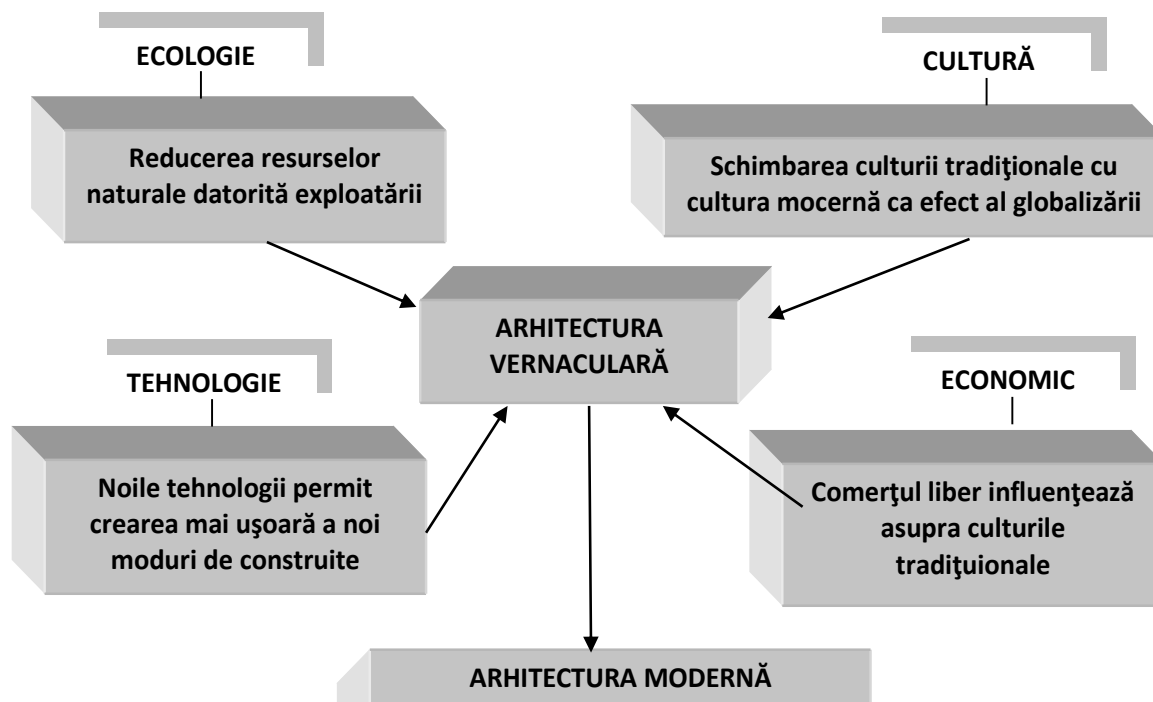
### ***2.1.3 Importanța păstrării tradiției***

O construcție sustenabilă trebuie să fie concepută, realizată, operată și refolosită într-un mod ecologic fără impact negativ asupra mediului. O posibilitate ar fi orientarea în direcția folosirii materialelor vernaculare.

Problema vernaculară apare din nevoia societății de a avea o identitate proprie, de a păstra legătura cu identitatea neamului din care provine și de a nu pierde tradițiile care o definesc. Se observă o întoarcere tot mai puternică spre tradiție, spre punerea în valoare a moștenirii seculare, având loc astfel o creștere a valorii păstrării obiceiurilor locului. Nici nu este de mirare acest lucru deoarece în perioada anterioară exploziei industriale, fiecare zonă geografică, în funcție de climă, de resursele naturale, de nevoi, dar și de obiceiuri religioase sau laice, a fost caracterizată prin tipologia construcțiilor. Dacă analizăm casele de locuit din satele românești, se pot observa elemente comune specifice fiecărei zone: case din bârne groase în zonele bogat împădurite din Maramures, case cu acoperiș de paie în Munții Apuseni, case cu acoperișuri joase în zonele vântoase din Câmpia Bărașului, și exemplele pot continua.

Modificările apărute la nivel de dezvoltare economică, conștiința ecologică a populației și amestecarea tradițiilor culturale au afectat și conceptul de arhitectură vernaculară (Figura 2.19).





**Fig. 2.20** Interacțiunea dintre arhitectura vernaculară, arhitectura modernă, dezvoltare tehnologică și economică, cultură, tradiții și conștiința ecologică [20]

Unele materiale de construcție durabile se bazează pe utilizarea unor noi tehnologii de fabricație și / sau punere în operă, altele, caută să revigoreze metode vechi de secole. Acestea din urmă prezintă avantajul că este mai ușor de anticipat și evaluat proprietățile lor precum și comportarea lor ulterioară în-situ. Noile tehnologii necesită o testare în timp laborioasă, începând cu faza de concept, teste de laborator, teste de comportare în-situ și, ceea ce este deseori cel mai dificil, evaluarea durabilității.

Faptul că în prezent există o tendință puternică de întoarcere spre natură și spre realizarea unor construcții în armonie cu aceasta nu presupune întoarcerea la locuințele din chirpici. Realizarea unor construcții durabile cu materiale ecologice presupune îmbinarea nivelului avansat de tehnologie în scopul realizării și punerii în operă cu impact redus asupra mediului, care să asigure siguranța și confortul utilizatorului o perioadă lungă de timp, să corespundă din punct de vedere estetic și funcțional, iar după demolare, deșeurile să poată fi ușor reciclate sau reintegrate în mediul natural.[21]

Toate acestea ne conduc la necesitatea de a găsi soluții mai prietenoase cu mediul, mai economice dar care să și răspundă nevoii de dezvoltare durabilă a construcțiilor din prezent.[22]

### **2.1.4 Conservarea mediului și a resurselor naturale**

România ca membră a Organizației Națiunilor Unite și a Uniunii Europene, trebuie să depună eforturi de limitare a încălzirii globale la 2°C până la finalul secolului, în concordanță cu semnarea acordului de la COP21, Paris. Sectorul rezidențial este responsabil de 40% din consumul de energie și 36% din emisiile de CO<sub>2</sub> la nivel european. Astfel situația clădirilor din România este unul din obiectivele strategice ale Guvernului datorită importanței asupra populației și a mediului înconjurător.[23]

Alegerea și utilizarea unor anumite tipuri de material de construcții implică o analiză atentă din punct de vedere al impactului lor asupra mediului. Problemele ecologice se pot regăsi fie în poluarea apei, aerului și solului, fie în distrugerea habitatului natural al unor specii, fie în eroziunea solului. Tăierea pădurilor pentru cherestea sau eliminarea vegetației pentru minerit distruge habitatele unor specii de animale și plante. Un număr record de specii dispar în fiecare an din cauza pierderii habitatului. Deși nu sunt cunoscute încă toate consecințele care ar putea urma, mulți biologi susțin că o astfel de reducere severă în diversitate amenință pe termen lung capacitatea de adaptabilitate și supraviețuire a plantelor, animalelor și oamenilor. Reducerea suprafeței acoperită de pădurea tropicală, reducere datorată în mare parte industriei mineritului, are consecințe grave asupra umidității planetei, asupra reducerii stratului de ozon și asupra modificărilor climatice. O consecință gravă a scăderii suprafeței pădurii tropicale este încălzirea globală, însoțită de vânturi puternice, secetă, foamete.[24]

O construcție produce efecte negative asupra naturii începând de la materialele fabricate pentru realizarea ei până în momentul distrugerii ei. În figura 1.36 sunt prezentate efectele fabricării și utilizării materialelor clasice de construcție.

Efectele fabricării materialelor de construcții și a construcțiilor clasice sunt:

- epuizarea materiilor prime,
- consumul de energie,
- emisiile gazoase rezultate în urma proceselor tehnologice, care determină poluarea aerului și diminuarea stratului de ozon,
- emisiile lichide și solide rezultate în urma proceselor tehnologice, care determină poluarea apei și a solului,

- poluarea acustică,
- costuri importante pentru producerea și punerea lor în operă.

În prezent, tehnologiile clasice de producere a materialelor de construcție se bazează pe extracția materiei prime neregenerabile. Acestea, prin procedee tehnologice care implică consum de resurse energetice și de apă și care generează poluare a aerului, apei și solului, poluare fonică, afectarea habitatului natural al unor specii de plante și animale, precum și modificarea aspectului natural al zonei de extracție, ajung să fie prelucrate într-o forma convenabilă punerii în opera. Prelucarea tehnologică a materiilor prime are loc în zone industriale care implică de asemenea costuri și daune majore mediului înconjurător. Chiar și punerea în operă aduce, de la caz la caz, poluare și consum de energie.

O analiză asupra produselor de construcție, de la colectarea de materii prime până la eliminarea lor finală, oferă o mai bună înțelegere a costurilor pe termen lung ale materialelor. Aceste costuri sunt plătite nu doar de către client și proprietar ci și de mediul înconjurător și implicit de noi toți.

Marques and Salgado [25] indică cele cinci căi de impact ale materialelor de construcție asupra mediului: extracția materiilor prime, procesarea materiilor prime și obținerea materialului finit, transportul materiilor prime și a materialelor finite, utilizarea materialelor în procesul de construcție, tratarea deșeurilor rezultate fie din procesul de construcție, fie din reparații sau demolări ale construcțiilor existente.

Rodman and Lenssen au afirmat ”*Clădirile sunt răspunzatoare de o șesime din consumul de apa potabilă, de un sfert din consumurile de lemn și de două cincimi din consumurile globale de material și de energie*” [26]. Prin urmare, au fost luate măsuri de protecție a mediului înconjurător discutate la nivel de organizații ecologice și al Uniunii Europene, prin politica de mediu adoptată.

Materialele clasice de construcții, fie că provin din materie primă reciclată sau nu, înmagazinează o anumită cantitate de energie reziduală care a fost utilizată pentru producerea lor. În Tabelul 2.2 se poate observa o analiză comparativă a cantității de energie înmagazinate de unele dintre cele mai comune materiale de construcții: otel, aluminiu, PVC, polietilenă.[27]

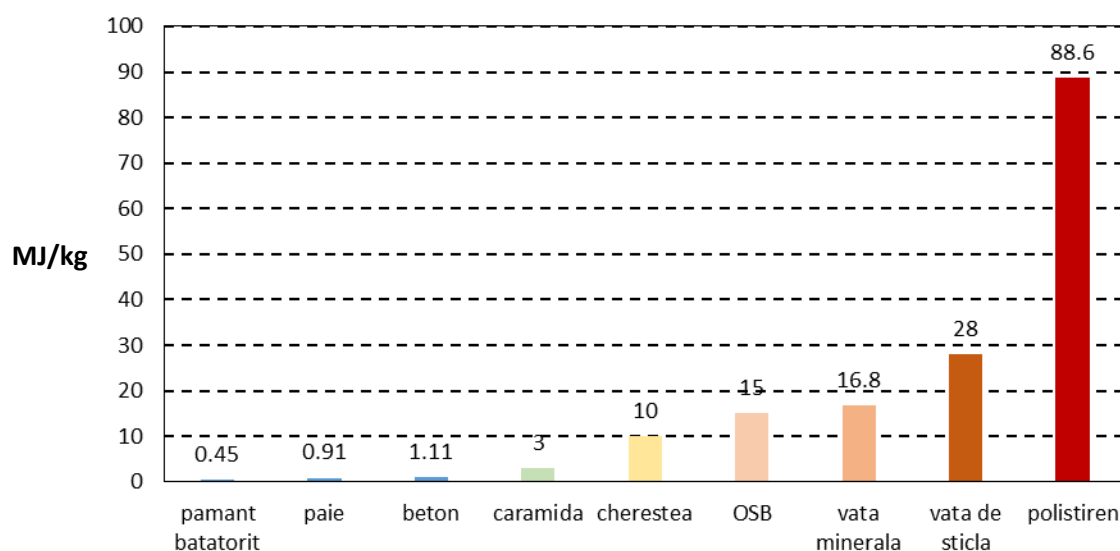
**Tab. 2.2** Energia reziduală înmagazinată datorită tehnologiei de producție [27]

Cantitatea de energie reziduală înmagazinată [MJ/kg]				
	Oțel	Aluminiu	PVC	Polietilenă
Produce din resurse primare	40	196	65	98
Produce prin reciclare	18	27	29	56

Materialele naturale, ecologice, în general încorporează o cantitate mai mică de energie reziduală datorită tehnologiilor mai simple, mai puțin costisitoare și totodată mai puțin dăunătoare mediului.

În funcție de tipul de material de construcție și de destinația sa, eficiența energetică poate fi măsurată pe baza unor coeficienți: coeficient de umbrire, eficiență luminoasă, eficiență termică, coeficient de izolare la umiditate, coeficient de izolare fonică. Materialele naturale pentru construcții, dacă sunt utilizate corespunzător, pe lângă faptul că înmagazinează o cantitate mai mică de energie reziduală, fac față cu succes provocării din punct de vedere al eficienței energetice.

În prezent, în contextul încălzirii globale tot mai accentuate, se ține seama tot mai mult de necesarul de energie consumată (nu numai de emisiile de CO<sub>2</sub>) pe care le implică producerea fiecărui material de construcție utilizat la ridicarea unei clădiri. Fiecare dintre aceste materiale necesită o cantitate de energie pentru producerea și punerea în operă și întreținerea lor pe toată durata de viață. Așa cum se poate observa din Figura 2.20, cel mai redus necesar de energie este în cazul pământului bătătorit și a paielor.[28][29]



**Fig. 2.20** Cantitatea de energie necesară producerii, punerii în operă și întreținerii pe toată durata de viață pentru cele mai comune materiale de construcții[28]

Conform datelor raportate în literatura de specialitate [29], s-a estimat că aproximativ o cantitate de energie de 370 GJ/an poate fi salvată utilizând materiale de construcție ecologice, de tip cărămizilor nearse din lut.

Pentru obținerea unei bune izolări termice respectiv a unei bune inerții termice, care să permită stocarea căldurii pe perioada caldă a anului și eliberarea sa în perioada rece, masa volumică a amestecului argilos utilizat la fabricarea elementelor de zidărie de tip cărămidă nearsă trebuie să se încadreze în limitele 1800 – 2000 kg/m<sup>3</sup> [30]. Un alt element important pentru realizarea unui confort termic satisfăcător este grosimea pereților. Raportări ale literaturii de specialitate [30], au indicat o grosime minimă de 30 cm pentru obținerea unui coeficient de transfer termic satisfăcător.

Conductivitatea termică a elementelor de tip cărămizilor nearse din lut este influențată de conținutul de umiditate al acestora și de umiditatea relativă a aerului. De asemenea, prezența sau absența pereților despărțitori din interiorul construcției are influențe asupra temperaturii interioare din încăpere și asupra comportării din punct de vedere a transferului termic [31]. Pe baza cercetărilor experimentale raportate în literatura de specialitate [32] și a cercetărilor experimentale efectuate de către autoare, se poate aprecia că și adaosul de materiale fibroase vegetale, precum și toate celelalte materiale de adaos utilizate în compoziția amestecului argilos influențează coeficientul de conductivitate termică, acesta variind între 0,24 și 0,34 W/mK. Una dintre explicațiile posibile este variația porozității materialului, care influențează în mod direct conductivitatea termică. Adaosurile, în special cele vegetale, cresc porozitatea amestecului argilos, și, în consecință, cresc și capacitatea de izolare termică a elementelor.

În prezent o serie de studii [33][34] atestă durabilitatea construcțiilor realizate cu materiale locale și cu tehnici autohtone în condiții geografice și climatice diverse. Există și unele probleme specifice construcțiilor din elemente de cărămidă nearsă, printre care și necesitatea realizării unor grosimi mari ale pereților astfel încât să fie atinse condițiile de rezistență și siguranță în exploatare. Cu toate acestea, comportarea bună și durabilitatea satisfăcătoare a construcțiilor realizate din pământ bătătorit și cărămidă nearsă este documentată încă din secolul XIX. Din analiza datelor bibliografice s-a stabilit ca solul ideal pentru acest scop trebuie să conțină minim 15-16% argilă [35].

Așa cum s-a arătat anterior, principala materie primă care se utilizează la fabricarea cărămizilor nearse este argila, material cu o clasă de reacție la foc A1 [36]. Prin urmare este un material cu o rezistență foarte bună la foc.

În cadrul elementelor de zidărie de tip cărămidă nearsă, argila are rolul unei matrici care îmbracă celelalte adaosuri care pot avea diverse clase de reacție la foc, de la A1 (nisipul, agregatele naturale) și până la E. Pe de o parte faptul că argila este materialul majoritar în compoziție, iar pe de altă parte faptul că acesta creează un înveliș pentru materialele cu clasa de rezistență la foc inferioară, face ca în final, elementele de zidărie realizate să aibă o rezistență sporită la foc.

Utilizarea pământului argilos pentru construcție dă posibilitatea realizării unui mediu de locuit plăcut, util, sănătos, fără emisii toxice, care se adaptează nevoilor utilizatorilor; care asigură reglarea umidității relative a aerului din interior la  $50\pm 5\%$  și un coeficient de permeabilitate la vapori de apă cu valori cuprinse între  $156 \text{ ng/m}^2\text{sPa}$  și  $479 \text{ ng/m}^2\text{sPa}$ , în funcție de densitatea materialului, pe toată durata anului [37] rezistent la atacul insectelor, rozătoarelor, mucegaiului [38] Un exemplu reprezentativ pentru capacitatea de reglare a umidității aerului este Spitalul din Feldkirch, Australia, unde s-a construit o galerie lungă de 180 m și înaltă de până la 6 m, din pământ bătătorit, a carei rol este de reglare a umidității aerului, fără a fi nevoie de alte instalații convenționale în acest scop [38].

### ***2.1.5 Impactul economic al materialelor ecologice***

Problema economică se resimte pe două direcții. Pe de o parte toate fazele tehnologice necesare extracției, prelucrării și punerii în operă a materialelor de construcții implică costuri energetice, de transport, de depozitare și de manoperă. Pe de altă parte, în contextul crizei economice mondiale, populația resimte mai puternic nevoia de chibzuire a cheltuirii banilor. Astfel, cu cât populația este mai săracă, cu atât este mai intensă nevoia de a i se pune la dispoziție produse mai ieftine, dar de calitate, pentru a crește accesibilitatea acestora.[39]

În plus față de economiile directe de costuri, se pot obtine numeroase alte beneficii economice indirecte la folosirea materialelor ecologice: o sănătate mai bună, confort, bunăstare, și productivitatea ocupanților clădirii, riscuri de utilizare mai mici, reducerea costurilor provenite din daune.

Uniunea Europeană și-a stabilit ca obiectiv pentru anul 2020 reducerea consumului de energie primară cu 20%. Conform directivei 2006/32/CE, se solicită statelor membre ca până în 2016 să adopte indicativul national global de 9% în ceea ce privește reducerea consumului de energie, prin punerea în aplicare a serviciilor energetice și a altor măsuri de îmbunătățire a eficienței energetice [40]. Conform datelor raportate în literatura de specialitate [41] s-a estimat ca aproximativ o cantitate de energie de 370 GJ/an poate fi salvată utilizând materiale de tip cărămidă nearsă .

Pentru obținerea unei bune izolații termice respectiv a unei bune inerții termice, care să permită stocarea căldurii pe perioada caldă a anului și eliberarea sa în perioada rece, masa volumică a amestecului argilos utilizat la fabricarea elementelor de zidărie de tip cărămidă nearsă trebuie să se încadreze în limitele 1800 – 2000 kg/m<sup>3</sup> [42]. Un alt element important pentru realizarea unui confort termic satisfăcător este grosimea pereților. Raportări ale literaturii de specialitate [42] au indicat o grosime minimă de 30 cm pentru obținerea unui coeficient de transfer termic satisfăcător.

Conform raportărilor din literatura de specialitate [43][44] conductivitatea termică a elementelor de tip cărămidă nearsă este influențată de conținutul de umiditate al acestora și de umiditatea relativă a aerului. De asemenea, prezența sau absența pereților despărțitori din interiorul construcției are influențe asupra temperaturii interioare din încăperea și asupra comportării din punct de vedere a transferului termic [45]. Pe baza cercetărilor experimentale raportate în literatura de specialitate [46] și a cercetărilor experimentale efectuate de către autoare, se poate aprecia că și adaosul de materiale fibroase vegetale, precum și toate celelalte materiale de adaos utilizate în compoziția amestecului argilos influențează coeficientul de conductivitate termică, acesta variind între 0,24 și 0,34 W/mK. Una dintre explicațiile posibile este variația porozității materialului, care influențează în mod direct conductivitatea termică. Adaosurile, în special cele vegetale, cresc porozitatea amestecului argilos, și, în consecință, cresc și capacitatea de izolare termică a elementelor de tip cărămidă nearsă.

O analiză asupra produselor de construcție, de la colectarea de materii prime până la eliminarea lor finală, oferă o mai bună înțelegere a costurilor materialelor pe termen lung. Din acest punct de vedere, costurile realizării, exploataării, întreținerii și

eliminării unei astfel de construcții sunt mici. De regulă, materia prima se exploatează din zone aflate în apropierea locului de construcție, cu mijloace simple. Realizarea elementelor de zidărie presupune o tehnologie simplă, accesibilă chiar și unui personal cu calificare redusă, constând în principal din amestecarea componentelor, turnarea în tipare și uscare naturală. Punerea în operă necesită, de asemenea, tehnologii simple, accesibile și ieftine, respectiv simpla clădire a cărămizilor cu ajutorul unei paste argiloase similare compoziției din care au fost fasonate elementele de zidărie, dar cu o lucrabilitate și plasticitate sporită. Întreținerea și reparațiile se realizează ușor, utilizând aceleași compoziții argiloase. După încheierea ciclului de viață a construcției, aceasta poate fi demolată, materialele reintegrându-se în mare parte în natură, fără a implica costuri mari de tratare a deșeurilor.

Studii din literatura de specialitate și datele istorice au indicat o durabilitate care poate satisface nevoile unei generații, în condițiile unei exploatare normale și a efectuării întreținerii și reparațiilor impuse de acest tip de materiale [47]. Principalele dezavantaje, din punct de vedere a durabilității și costurilor acestor construcții sunt: durabilitatea mai redusă a materialelor; rezistența redusă și riscul de eroziune al pereților în contact cu apa de ploaie sau alte forme de apă curgătoare; necesitatea reparațiilor frecvente. Rezistența pereților la acțiunea erozivă a apei de ploaie este încă un subiect controversat, unii cercetători susținând că ploaia nu are un efect eroziv dacă intensitatea sa nu depășește un debit de 25 mm/m [48]. Oricum, majoritatea cercetătorilor în domeniu sunt de acord că durabilitatea depinde în mod substanțial de modul de întreținere și reparațiile efectuate [49].

Este necesară găsirea unor soluții pentru locuințe cu un raport preț – siguranță - eficiență energetică – climat interior echilibrat și sănătos – impact negativ asupra mediului, cât mai bun.

O analiză asupra produselor de construcție, de la colectarea de materii prime până la eliminarea lor finală, oferă o mai bună înțelegere a costurilor materialelor pe termen lung. Din acest punct de vedere, costurile realizării, exploatare, întreținerii și eliminării unei astfel de construcții sunt mici. De regulă, materia primă se exploatează din zone aflate în apropierea locului de construcție, cu mijloace simple. Realizarea elementelor de zidărie presupune o tehnologie simplă, accesibilă chiar și unui personal



cu calificare redusă, constând în principal din amestecarea componentelor, turnarea în tipare și uscare naturală. Punerea în operă necesită, de asemenea, tehnologii simple, accesibile și ieftine, respectiv simpla clădire a cărămizilor cu ajutorul unei paste argiloase similare compoziției din care au fost fasonate elementele de zidărie, dar cu o lucrabilitate și plasticitate sporită. Întreținerea și reparațiile se realizează ușor, utilizând aceleași compoziții argiloase. După încheierea ciclului de viață a construcției, aceasta poate fi demolată, materialele reintegrându-se în mare parte în natură, fără a implica costuri mari de tratare a deșeurilor.

Studii din literatura de specialitate și datele istorice au indicat o durabilitate care poate satisface nevoile unei generații, în condițiile unei exploatare normale și a efectuării întreținerii și reparațiilor impuse de acest tip de materiale [49]. Principalele dezavantaje, din punct de vedere a durabilității și costurilor acestor construcții sunt: durabilitatea mai redusă a materialelor; rezistența redusă și riscul de eroziune al pereților în contact cu apa de ploaie sau alte forme de apă curgătoare; necesitatea reparațiilor frecvente. Rezistența pereților la acțiunea erozivă a apei de ploaie este încă un subiect controversat, unii cercetători susținând că ploaia nu are un efect eroziv dacă intensitatea sa nu depășește un debit de 25 mm/m [50]. Oricum, majoritatea cercetătorilor în domeniu sunt de acord că durabilitatea depinde în mod substanțial de modul de întreținere și reparațiile efectuate [51].

Eco-turismul este una dintre variantele de turism cele mai accesibile și ofertante atât pentru furnizori cât și pentru consumatori. În România această ramură a turismului devine tot mai importantă datorită unor avantaje locale care pot fi valorificate: zone în care timpul pare că s-a oprit, arii naturale protejate datorită biodiversității, parcuri și rezervații naturale, zonele aflate în patrimoniul UNESCO, etc.

Strategia națională de dezvoltare a ecoturismului în România, 2009, indică faptul că Societatea Internațională de Ecoturism (TIES) a identificat o dezvoltare anuală de 20-34% a acestui tip de turism, începând cu anul 1990. De asemenea, se mai arată faptul că, la nivel mondial, din anul 2004 eco-turismul s-a dezvoltat de 3 ori mai mult decât industria globală a turismului. Se apreciază ca 87% din turiștii englezi consideră că vacanța lor nu ar trebui să dăuneze mediului; 53% dintre turiștii

americani consideră că experiența lor turistică este mai bogată când aceștia învață cât mai mult posibil despre obiceiurile și cultura locală; 95% din turiștii elvețieni consideră că respectul pentru cultura locală este foarte important atunci când aleg o locație de vacanță.

Construcțiile din elemente de zidărie de tip cărămidă nearsă contribuie la dezvoltarea eco-turismului prin mai multe caracteristici: permit o bună integrare în natură, păstrând nealterate caracteristicile zonei și un mare respect pentru integritatea peisajului, utilizând materiale locale și având în general un design traditional; reduc semnificativ cantitatea de deșeuri și poluarea ce rezultă în mod obișnuit la realizarea unei construcții; permit amplasarea în zone care nu sunt incluse în mediul urban; permit obținerea unor condiții de locuit / de cazare confortabile, sănătoase, cu costuri reduse.

Prin urmare, dezvoltarea construcțiilor de acest tip contribuie la menținerea și creșterea posibilităților de dezvoltare ale eco-turismului, ceea ce va conduce la creșterea numărului de locuri de muncă și stimularea economiei, în special rurală.

### ***2.1.6 Avantajele folosirii materialelor de construcții ecologice***

Primul designer și arhitect care a definit o casă ecologică este Philip Wenz – fondator și fost director al Programului de Design Ecologic din cadrul Institutului de Arhitectură din San Francisco. Wenz afirmă că o casă este ecologică dacă este în armonie cu natura și se integrează în mediu fără a-i produce pagube [52].

În ultimii ani, la nivel mondial, atenția tuturor se îndreaptă tot mai mult spre utilizarea materialelor naturale pentru construcții. Avantajele acestora sunt:

- utilizarea materiilor prime nepoluante, existe în cantități îndestulătoare,
- tehnologii prietenoase mediului pentru prelucrarea materiilor prime,
- mod de punere în operă ușor, adaptabil nevoilor pentru fiecare situație în parte, cu consum redus de energie, fara poluare fonică,
- crearea unei construcții plăcute, utilă, sănătoase, fara emisii toxice, care se adaptează nevoilor utilizatorilor,
- păstrarea proprietăților în timp,
- eficiență din punct de vedere energetic,
- rezistentă la atacul insectelor, rozătoarelor, mușcăiului, cutremurelor, incendiilor,

- costul redus și accesibil pentru multe categorii de utilizatori.

Un aspect important al folosirii materialelor ecologice este sănătatea locatarilor și siguranța lor. Materialele naturale cum ar fi pământul în combinație cu fibre vegetale sau baloți de paie presați, permit o ventilație naturală și eficientă a pereților, care are un rol foarte important în reducerea riscului bolilor respiratorii, alergiilor și multor alte boli. De asemenea, pereții din material natural sunt lipsiți de emisiile toxice care pot exista la pereții finisați cu diferite vopsele artificiale. Mediul interior al unei locuințe realizate din materiale naturale este mult mai sănătos și plăcut totodata. Cca 90% din timp, omul o petrece în spații închise, de aceea este importantă realizarea unui mediu interior confortabil dar și sănătos.

În timpul duratei de viață și de utilizare a unei construcții realizate cu materiale de construcție clasice, acestea pot degaja emisii toxice sau își pot pierde calitățile pentru care au fost utilizate. Pereții unei case construite cu materiale artificiale blochează circulația aerului, provocând condens în izolație, care nu are unde să se evapore, iar în timpul iernii îngheață, provocând astfel daune. Pereții devin mai reci datorită umezelii și astfel își pierde proprietățile materialul termoizolant. Se creează astfel condiții prielnice pentru formarea mușchii care afectează grav sănătatea. Aceste inconveniente nu apar în cazul pereților realizați din materiale naturale.

În ultimii ani s-a remarcat o renaștere a interesului pentru construcții din pământ și alte materiale naturale, din motive care pot fi grupate în trei categorii. În primul rând, a crescut gradul de conștientizare publică și implicarea în probleme de ecologie și de mediu ceea ce a determinat producătorii să-și reevalueze produsele și serviciile și să se îndrepte spre unele alternative mai ecologice. În al doilea rând, posibilitatea de obținere a pământului ca materie primă oferă independență față de politici și controale guvernamentale. În al treilea rând, construcțiile din pământ au proprietăți estetice, acustice și termice deosebite [53].

Materialele ecologice satisfac cele trei direcții etice enunțate de Mollison și Holmgren [54]:

- **grija pentru pământ** – extracția, prepararea, punerea în operă și evacuarea deșeurilor în cazul materialelor ecologice determină reducerea poluării apei aerului și solului; mai mult, de cele mai multe ori, deșeurile rezultate, cu un minim efort și

consum de energie, devin materie primă, aceste materiale putând fi, teoretic, utilizate la infinit; procesele tehnologice de la extracția materiei prime până la demolarea construcției are un impact mult mai redus, comparativ cu materialele de construcție sinterizate, asupra ecosistemelor naturale necesare păstrării biodiversității;

- **grija pentru omenire** – construcțiile realizate cu materiale ecologice răspund satisfăcător cerințelor de exploatare și durabilitate; ele satisfac nevoile de protecție, siguranță, confort, estetice și de durabilitate pe care le au în prezent utilizatorii; mediul de locuit realizat în construcții cu astfel de materiale, este îmbunătățit din punct de vedere fonic, al confortului termic și umidității relative a aerului și nu prezintă emisii toxice; nu este de neglijat nici factorul de accesibilitate, construcțiile din materiale ecologice fiind mai ieftine decât cele din materiale de construcție uzuale;
- **repartizarea etică și limitarea consumării resurselor** – principalele probleme în prezent sunt limitarea și neregenerabilitatea resurselor naturale care constituie materie primă pentru materialele de construcție sinterizate și consumul de energie; utilizând materiale de construcție ecologice, pe de o parte sunt protejate zăcăminte de materii prime neregenerabile, sunt utilizate ca materie primă deșeurile rezultate din alte activități (agricultura), iar pe de altă parte consumul energetic este redus semnificativ.

### **3 RETROSPECTIVĂ CRITICĂ A CERCETĂRII MATERIALELOR ECOLOGICE**

#### **3.1. Materiale ecologice folosite în construcții**

În prezent, există studii care atestă durabilitatea construcțiilor realizate cu materiale locale și cu tehnici autohtone [33] în condiții geografice și climatice diverse. Cu toate că interesul pentru astfel de materiale crește de la an la an, este semnalată încă o inerție a utilizatorilor de materiale de construcții care preferă materialele de construcții clasice, sinterizate, (ciment, beton, oțel, sticlă). Aceasta poate să fie datorată unor probleme specifice construcțiilor vernaculare: necesitatea realizării unor grosimi mari a pereților astfel încât să fie atinse condițiile de rezistență și siguranță în exploatare, respectiv cele de izolare termică, nevoia de întreținere periodică, nevoia de muncitori calificați pentru a lucra cu astfel de materiale, sensibilitate la eroziunea apei în cazul tratării inadecvate a suprafețelor exterioare și, de ce nu, timpul mai mare de construcție fiind un proces tehnologic care este greu de automatizat.

Unul dintre materialele vernaculare cel mai des utilizate este pământul argilos. Acesta este potrivit pentru realizarea corpurilor de zidărie în amestec cu nisip, var, uleiuri, rășini naturale, etc. Comportarea bună și durabilitatea satisfăcătoare a construcțiilor realizate din pământ bătătorit și corpuri de zidărie din pământ este documentată începând încă din secolul XIX [55][56]. Argila, sau lutul, este cunoscut ca material cu proprietăți aderente în stare proaspătă, cu rezistența mecanică în stare întărită și chiar de impermeabilizare după ardere. Sunt bine cunoscute, casele vechi din chirpici acoperite cu paie, iurtele popoarelor nomade din stepele Asiei Centrale, termoizolate cu lână, finisajele deosebite realizate cu bambus, împletituri din trestie sau alte fibre obținute din prelucrarea plantelor, toate frumos colorate cu vopsele obținute din măcinarea fină a unor minerale, etc. Privind în jurul nostru găsim cu ușurință materiale utile pentru fiecare etapă din construcția unei viitoare case: material structural necesar realizării fundației, pereților, stâlpilor, materiale izolante termic, la apă sau fonic, material pentru finisaje cu aspect plăcut. Cu un efort financiar, energetic și de manoperă redus, putem prelucra aceste materiale pentru a fi folosite la realizarea unei construcții durabile care să satisfacă nevoile actuale ale utilizatorului.

În prezent, aproximativ o treime din populația globului trăiește în locuințe construite din pământ, lut și/sau alte materiale naturale. În Franța, aproximativ 15% din populație locuiește în case din pământ [57].

Utilizarea pereților din pământ bătătorit și a corpurilor de zidărie din lut dă posibilitatea creerii unei construcții plăcute, utile, sănătoase, fără emisii toxice, care se adaptează nevoilor utilizatorilor; care asigură reglarea umidității relative a aerului din interior la  $50\pm 5\%$  și un coeficient de permeabilitate la vapori de apă cu valori cuprinse între  $156 \text{ ng/m}^2\text{sPa}$  și  $479 \text{ ng/m}^2\text{sPa}$ , în funcție de densitatea materialului, pe toată durata anului [58] rezistența la foc; rezistență la atacul insectelor, rozătoarelor, mușgaiului [56].

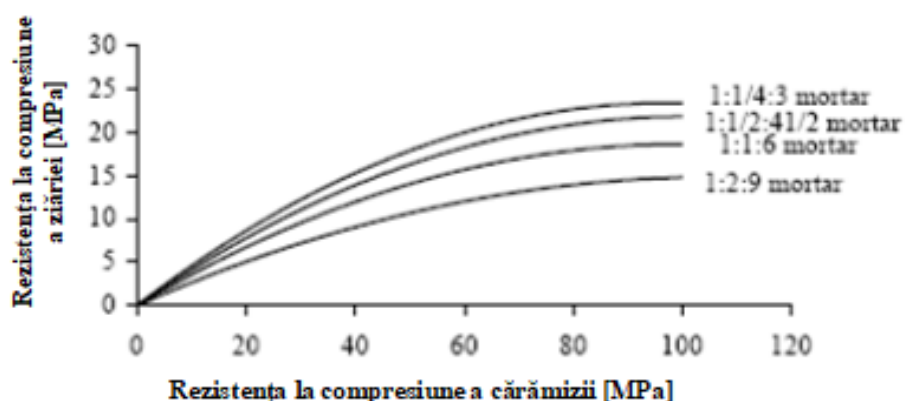
În prezent, la nivel mondial au fost efectuate numeroase studii în această direcție [59]. Multe țări dezvoltate au propus și implementat standarde care reglementează construcția de locuințe din pământ. Noua Zeelanda are o tradiție în acest domeniu începând încă din secolul XIX.

Prima țară care a reglementat construcțiile din pământ a fost Australia, în anul 1952. În Germania, în anul 1944 a fost stabilit primul Earth Building Code care a stat la baza realizării DIN 18951 [60], iar Noua Zeelandă are acest domeniu cel mai reglementat, prin cele trei normative: NZS 4297:1998 [61], NZS 4298:1998 [62] și NZS 4299:1998 [63]. În Singapore există Standardul SS 103, din 1974, care clasifică pereții de pământ în 3 clase funcție de rezistența la compresiune. Din analiza datelor bibliografice s-a stabilit că solul ideal pentru a fi utilizat în scopul propus trebuie să conțină minim 15-16% argilă [64][65]. De asemenea, pentru obținerea unei bune izolații termice, respectiv a unei bune inerții termice care să permită stocarea căldurii pe perioada caldă a anului și eliberarea sa în perioada rece, masa volumică a amestecului trebuie să se încadreze în limitele  $1800 - 2000 \text{ kg/m}^3$  [46].

Din punct de vedere a rezistențelor mecanice, Codul ASTM D1 633-00 New Mexico indică o rezistență la compresiune a materialului, minimă necesară pentru realizarea pereților din pământ, de  $2,07 \text{ N/mm}^2$ . Codul referitor la pereți din pământ bătătorit din Zimbabwe impune rezistența la compresiune minimă pentru pereți de 400 mm ai locuințelor cu un singur nivel, de  $1,5 \text{ N/mm}^2$  și de  $2,0 \text{ N/mm}^2$  în cazul locuințelor cu două niveluri. Standardul Australian indică o rezistență la compresiune de minim  $1,15 \text{ N/mm}^2$  iar ASTM International E2392/E2392M-10e1-2010 [66] indică

o valoare de  $2,068 \text{ N/mm}^2$ . ACI Material, Journal Committee indică valori ale rezistenței la compresiune în funcție de compoziția pământului, astfel:  $2,76 - 6,89 \text{ N/mm}^2$  în cazul pământului nisipos, și  $1,72 - 4,14 \text{ N/mm}^2$  pentru pământul argilos.

Relația dintre rezistența la compresiune a cărămidilor și a peretelui din cărămidă a fost studiată de către Hendry [55], rezultatele fiind sintetizate în Figura 3.1.



**Fig. 3.1** Rezistența la compresiune medie al peretelui de 102 mm în funcție de rezistență cărămidii din zidărie

În contextul actual, deși este evident interesul tot mai mare pentru astfel de construcții cu pereți din pământ bătătorit și / sau din corpuri de zidărie din pământ, există încă numeroase probleme neclarificate. Una dintre acestea este constanța calității materiei prime și a produsului finit: calitatea și compoziția pământului diferă în funcție de zona de extracție și este necesar o analiză chimică și granulometrică riguroasă în vederea evaluării posibilității utilizării tehnologiei potrivite materialului. Până în prezent nu există o metodologie general valabilă privind utilizarea pământului în funcție de caracteristicile specifice. Literatura de specialitate prezintă până în acest moment o clasificare a pământurilor în funcție de compoziția chimică, de conținutul de argilă și de granulometrie. Dintre acestea, pământul de tip argilă nisipoasă este recomandat să fie utilizat în construcțiile de tip vernacular [67][68]. De asemenea, literatura de specialitate nu acoperă în totalitate prin studii și cercetări specifice, influența adaosurilor anorganice și / sau organice care se utilizează în mod tradițional, asupra caracteristicilor fizico-mecanice ale elementelor realizate din pământ (rezistențe mecanice, rezistențe termice, comportare la apă și vapori de apă, etc). Din aceste motive sunt necesare studii și cercetări privind caracterizarea materiei prime,

amestecurilor de pământ cu alte adaosuri și a elementelor realizate din acestea, cu specificarea localizării geografice a zonei de extracție și a modului de punere în operă a pământului, astfel încât să se poată realiza o bază solidă pentru dezvoltarea studiilor ulterioare.

Metodele tradiționale de a construi cu pământ s-au adaptat la tehnicile contemporane, în scopul de a furniza clădiri moderne, confortabile, estetice, funcționale și în armonie cu mediul înconjurător.

Majoritatea clădirilor, în acest caz, au o structură de lemn, iar cele realizate din lut, pământ bătătorit, paie, etc. sunt considerate ca fiind metode alternative pentru lemn și este necesar ca să îndeplinească condiții impuse de normativele referitoare la clădiri din lemn. Pentru construcțiile din pământ sau alte materiale alternative, sunt implementate următoarele documente:

- NZS 4297:1998 Engineering Design of Earth Buildings [61] – tratează problemele structurale și cele privind durabilitatea clădirilor realizate din pământ sau cărămizi de pământ nearse;
- NZS 4298:1998 Materials & Workmanship for Earth Buildings [62] – prezintă metode de încercare pentru construcții și elemente de construcție din pământ și criterii pentru rezultate acceptabile;
- NZS 4299:1998 Earth Buildings not Requiring specific Designs [63] – oferă detalii privind proiectarea și execuția clădirilor din pământ care nu necesită proiectare specială;
- NZBC E2/AS2 2008 External Moisture [69] - criterii de admisibilitate.

Multe elemente structurale din materiale naturale au la bază principiul tasării pământurilor. Astfel au fost realizate fundații, pereți, stâlpi, bolți sau elemente de împrejmuire din pământ bătătorit, armat sau nu.

Blocurile din pământ se pot realiza în tipare de lemn cu dimensiuni în funcție de necesități și pot înlocui cu succes corpurile de zidărie de beton. Acestea sunt materiale cu proprietăți termo și fonoizolatoare, sănătoase, inalterabile, rezistente la ger și un ideal regulator hidrometric. Compoziția blocurilor de pământ poate fi realizată din proporții diferite de pământ și fibre vegetale de armare, în funcție de proprietatea dorită. Blocurile realizate cu proporție mai mare de fibre au o densitate



mai mica, ceea ce le face bune izolatoare termice și fonice iar o proporție mai mare de argilă determină o rezistență mecanică mai bună.

Polistirenul utilizat pentru termoizolare poate fi înlocuit cu succes, de către baloții de paie, de cânepă sau lână de oaie. Proprietățile de izolare termică a acestora se păstrează bine chiar și în mediu cu umiditate ridicată. Lâna absoarbe și cedează repede umiditatea și tocmai de aceea atenuează variațiile extreme de temperatură. Ea revine ușor la densitatea ei originală datorită fixării genetice a fibrelor.

De asemenea, se pot realiza pereți numai din baloți de paie bine presați printr-o tehnologie modernă. Aceasta tehnologie se practică pe o scară mai largă în Norvegia și Germania dar din fericire, în ultimii ani a început să fie cunoscută și în România.

Baloții de paie se pot realiza printr-o tehnologie puțin costisitoare, cu material local, sunt rezistente la seismicitate și sunt termo și fonoizolante. În plus, paiele sunt un material ușor de procurat în multe regiuni la nivel mondial și, de asemenea, în țara noastră. Casele din paie sunt de trei ori mai eficiente decât alte case pentru că într-un interval aproximativ de 30 de ani costurile pentru energie se reduc cu până la 75%. Fără mușcați și cu un aer curat, aceste locuințe oferă un mediu de trai sănătos.[70]

Casele construite din baloți de paie sau pământ cu paie sunt rezistente la furtuni, incendii și cutremure și pot fi construite cu costuri scăzute, într-un timp relativ scurt. O astfel de casă, deși ne-ar conduce eronat la imaginea unei colibe rudimentar realizate, poate fi confortabilă, estetică, funcțională, prezentând tot confortul unei case realizate cu materiale de construcții clasice.

Alegerea materialului de construcție, baloți de paie presați sau blocuri de pământ armat cu fibre vegetale, se face în funcție de climatul zonei respective. Baloții de paie sunt foarte buni izolatori termici, ei blochează căldura în interior în timpul iernii, iar vara ne oferă un climat plăcut, nelăsând să treacă căldura soarelui în interior. În schimb, blocurile de pământ absorb căldura, o păstrează, și apoi când a scăzut temperatura, cedează căldura reglând astfel temperatura mediului ambiant.

Ideal este ca pereții exteriori să fie construiți din baloți de paie care izolează perfect, iar pereții despărțitori din interiorul locuinței, din cărămizi de argilă care mențin constantă temperatura cu un consum minim de energie.

La construcțiile mai înalte, structura de rezistență ar putea fi realizată din

metal sau chiar din beton, și numai pereții să fie înlocuiți cu corpuri de zidărie naturali pentru ca să se reducă consumul de ciment și energie, precum și pentru un mediu mai sănătos.

Tencuiala la o casă din baloți de paie se poate realiza din argilă sau cob. Argila oferă o bună protecție la foc deoarece la temperaturi ridicate se vitrifică (se transformă în ceramică și la temperaturi și mai ridicate, în sticlă), se închid porii și datorită lipsei de oxigen arderea se întrerupe. Cobul este un amestec de paie, lut și nisip, care imbină armonios rezistența mecanică datorată armării cu paie, cu rezistența la uzură datorată nisipului și rezistența la foc a lutului. Utilizarea argilei pentru tencuiala de interior este soluția sigură pentru obținerea unui climat sănătos ce păstrează constant o umiditate relativă a aerului de 45-55%. [71]

Dezavantajul materialelor naturale față de cele clasice este ca dacă nu sunt întreținute o perioadă mai lungă de timp intră într-un proces de degradare. De asemenea, constanța calității și proprietăților lor este greu de păstrat deoarece, nefiind o prelucrare tehnologică intensă, cu parametri bine controlați, este puternic influențată de locul și momentul extracției, depozitării, prelucrării și punerii în operă precum și de factorul uman. În funcție de gradul de calificare, experiență și, de ce nu, conștiinciozitatea celor care pun în operă aceste materiale, rezultatele vor fi mai mult sau mai puțin satisfăcătoare.

Un studiu din Noua Zeelanda [51] a analizat trei construcții la realizarea cărora s-au folosit cărămizi din lut și pământ bătătorit:

- casa cu un etaj amplasată în orașul Helensville (Figura 3.2) proprietarul a implementat conceptul architectural și a construit casa cu o suprafață de 180 m<sup>2</sup> care a fost finalizată în 2005; pentru structură s-au folosit elemente din lemn reciclat, la construcția pereților s-au folosit cărămizi din lut, iar tavanul este din beton armat; finisajele interioare au fost realizate din lemn netratat, doar uns cu uleiuri naturale; grosimea mare a pereților (400 mm) asigură izolația termică necesară și nu a mai fost necesară izolarea termică suplimentară; costurile de realizare și utilizare au fost mai mici decât cele preconizate pentru realizarea acestei case din lemn, iar eficiența termică este superioară;



**Fig. 3.2** Prezentare exterioară și interioară a casei cu pereți din cărămizi de lut, Helensville, Noua Zeelanda [51]



**Fig. 3.3** Prezentare exterioară și interioară a casei cu pereți din pământ și baloți de paie, Warkworth, Noua Zeelanda [51]



**Fig. 3.4** Clădire cu două etaje, cu pereți din cărămizi de lut, Auckland-Noua Zeelandă [51]

- casa cu un etaj amplasată în orașul Warkworth, Noua Zeelandă (Figura 3.3) proprietarul construcției este proiectantul și executantul acesteia; pereții au fost realizați din pământ bătătorit, lut, cărămizi din pământ, mortar de var și baloți de paie; în partea sudică este construită o seră pe structura de oțel; plafonul este realizat din lemn reciclat și ramuri de copaci vechi șlefuite, iar podeaua din

pământ bătătorit;

- casă cu două etaje Auckland - Noua Zeelandă (vezi Figura 3.4), un proiect în valoare de 1.6 milioane dolari în curs de finalizare; zidurile groase sunt realizate din cărămizi de pământ și lut, învelișul exterior va fi din panouri de lemn iar podeaua din pământ bătătorit la nivelul inferior și din lemn la etajul superior.

Un studiu realizat în 2011 de către cercetătorul Samar Sheweka, de la departamentul de arhitectură al Universitatii britanice din Egipt a prezentat situația reconstrucției caselor afectate de războiul din Fasia Gaza. Concluziile acestuia au fost că, construirea cu cărămizi din pământ este o metoda ecologică, care elimină substanțele chimice, casele sunt rezistente la foc și se induce o izolație termică bună. De asemenea, este mai ieftin deoarece construcția unei case de 80 m<sup>2</sup> din materiale clasice ar costa în jur de minim 16.000 de dolari, pe când cu pământ și materiale locale costă doar 3.000 de dolari [72][73]. Avantajul cel mai mare este că utilizând aceste materiale locale, lut, pământ, nisip și apă în amestec cu paie, se pot face reparații și construcții noi în orice formă, culoare sau dimensiune.

Shukla, în 2009[74] a afirmat că structurile din pământ satisfac cerințele unei case verzi, din punct de vedere al consumului de energie pentru construcție și al întreținerii ei. A fost construită o casă întreaga din lut, nisip, păr de vacă și alte adaosuri neconsumatoare de energie. S-a găsit că aprox. 370GJ/an s-au economisit utilizând aceste materiale. Migrația de CO<sub>2</sub> în atmosferă s-a redus cu 101 tone pe an. Rezultate similare au obținut și Chel și Tiwai tot în anul 2009 [55].

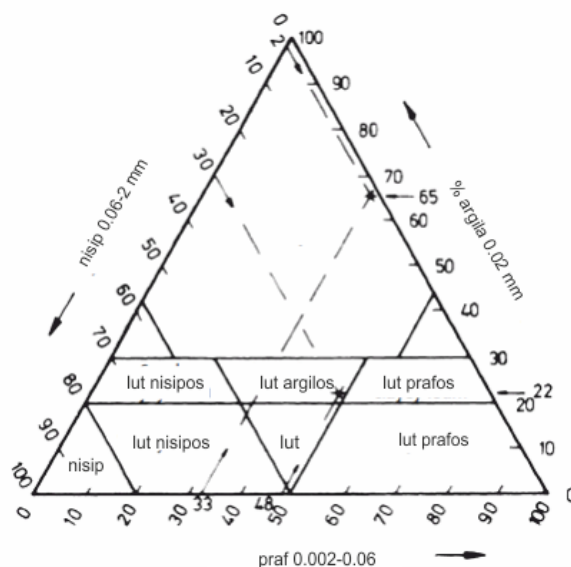
Martin în 2010[75] și Binci în 2009 [76] au declarat pe baza testelor experimentale că introducerea de fibre în cărămizile de lut face să reducă fluctuațiile de temperatură din mediul interior, în timpul iernii și verii, cu mult față de corpurile de zidărie din beton.

Porta Gandar și col. [77] au condus un studiu în La Paz, Baja California Sur Mexico și au arătat că pentru casele din lut, consumul de energie pentru menținerea unui mediu interior confortabil este mult redus față de casele din beton. Acest consum redus de energie, este în schimb invers proporțional cu grosimea pereților. Adică, la construcțiile din pământ, grosimea peretelui trebuie să fie mai mare pentru a manifesta proprietățile de bun izolator.[78]

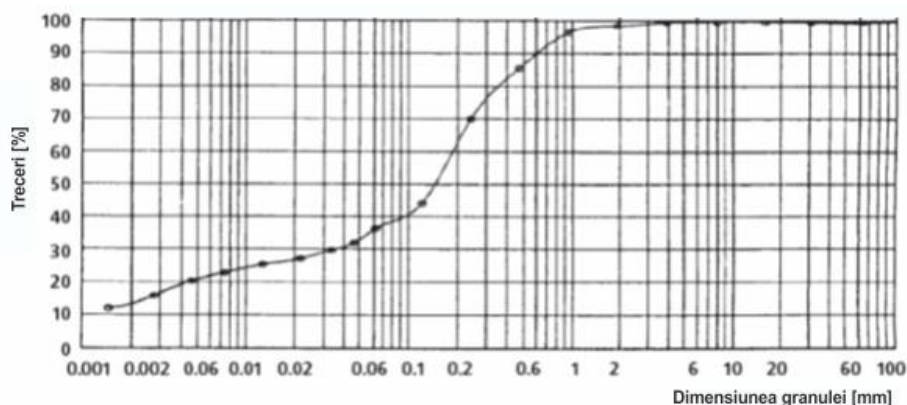
### 3.2 Corpuri de zidărie din lut

Cărămizile nearse din lut sunt definite de către Binci [76] și Demir [79] ca fiind un amestec de pământ cu 5 până la 10% paie.

Termenul uzual de lut nu reprezintă o compoziție standardizată. În funcție de locul de extracție, în compoziția acestuia se regăsesc cantități variabile de argilă, pământ, nisip, agregate, apă. În funcție de raportul acestora sunt definite mai multe tipuri de lut, așa cum se poate observa din Figura 3.5. Conform datelor bibliografice [12] o cantitate de min. 5% , dar maxim 50% argilă este necesară pentru asigurarea aderenței dar și pentru a avea o capacitate bună de a fi pus în operă. De asemenea, se recomandă un conținut de 45-80% nisip și 20-55% argilă (Figura 3.6).



**Fig. 3.5.** Caracterizarea lutului în funcție de raporturile nisip-praf (pulbere)-argilă [7]



**Fig. 3.6** Curba granulometrică recomandată pentru corpuri de zidărie [7]

O plasticitate și lucrabilitate bune sunt esențiale pentru obținerea unui produs finit, cărămida naturală, de calitate. La prepararea amestecului primar umiditatea este

necesară pentru a activa puterea de legare și pentru a realiza lucrabilitatea. Totuși, o cantitate prea mare de apă va dăuna datorită faptului ca la uscare va determina apariția fisurilor. S-a ajuns la concluzia că o contracție liniară între 3 și 12% pentru cărămizile din amestecuri moi sau o contracție liniară cuprinsă între 0,4 și 2% în cazul amestecurilor mai uscate este satisfăcătoare pentru obținerea unor elemente finite fără fisuri [7]. Reglarea lucrabilității și plasticității poate fi făcută cu ajutorul unor aditivi specifici, reducându-se astfel riscul apariției fisurilor.

Avantajele lutului și ale cărămizilor din lut nears sunt următoarele:

- lutul este ușor de obținut prin excavare;
- lutul este rezistent la foc, practic ignifug;
- punerea în operă nu necesită calificare deosebită și nici investiții mari pentru mașinile și uneltele folosite;
- tehnologia de fabricare este ieftină energetic: cimentul înglobează o energie reziduală de 5,6 MJ/kg iar cărămizile / pereții din pământ 0,7 MJ/gk energie reziduală [80];
- contribuie în mod deosebit la reglarea umidității atmosferice din încăperile unde se găsește; echilibrează umiditatea relativă a aerului la  $50 \pm 5$  % în încăperea pe durata întregului an, indiferent de temperatura și umiditatea din exterior [81]; cercetările efectuate la Universitatea din Kassel, Germania, Laboratorul pentru Cercetări în Construcții au demonstrat că blocurile de zidărie din lut au o capacitate de 30 de ori mai mare de absorbție a umidității decât cărămizile sinterizate [7];
- au o capacitate mare de înmagazinare a căldurii reglând confortul termic al încăperilor; pentru o capacitate bună de înmagazinare a energiei calorice, testele [82] arată că este necesară o masă volumică a materialului de 1800-2000 kg/m<sup>3</sup>;
- contribuie în mod eficient la economia de energie și reducerea poluării mediului; pregătirea, depozitarea și transportul necesită aproximativ 1% din energia necesară în cazul cărămizilor sinterizate sau betonului armat;
- pot fi reciclate și reutilizate la nesfârșit; lutul uscat și întărit poate fi ușor remodelat după amestecarea sa cu apă; astfel, contribuie la reducerea poluării mediului nefiind niciodată deșeu ci doar materie primă;
- conținutul de umiditate relativă a lutului (cantitatea maximă de apă pe care o poate

absorbi) este de 0,4 – 6%, ceea ce îl face un mediu bun pentru păstrarea lemnului și a elementelor vegetale care nu sunt atacate de mușegai, ciuperci, fungii, sau insecte; În amestec cu o cantitate prea mare de paie, la o densitate mai mică de 600 kg/m<sup>3</sup>, își poate totuși pierde aceste calități [83];

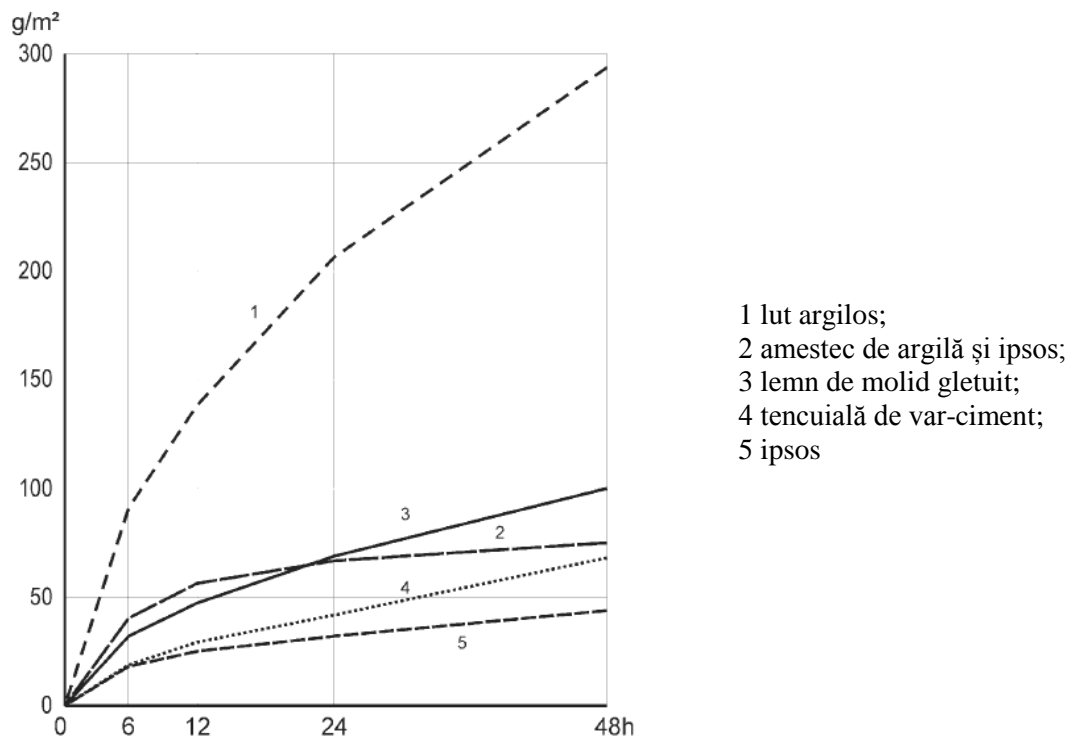
- lutul, în instalații specializate, poate contribui la depoluarea mediului, absorbind substanțele poluante din apă, precum fosfații pe care îi convertește în fosfat de calciu (îngrășământ agricol).

Dezavantajele lutului și a cărămizilor din lut uscat, nears, sunt:

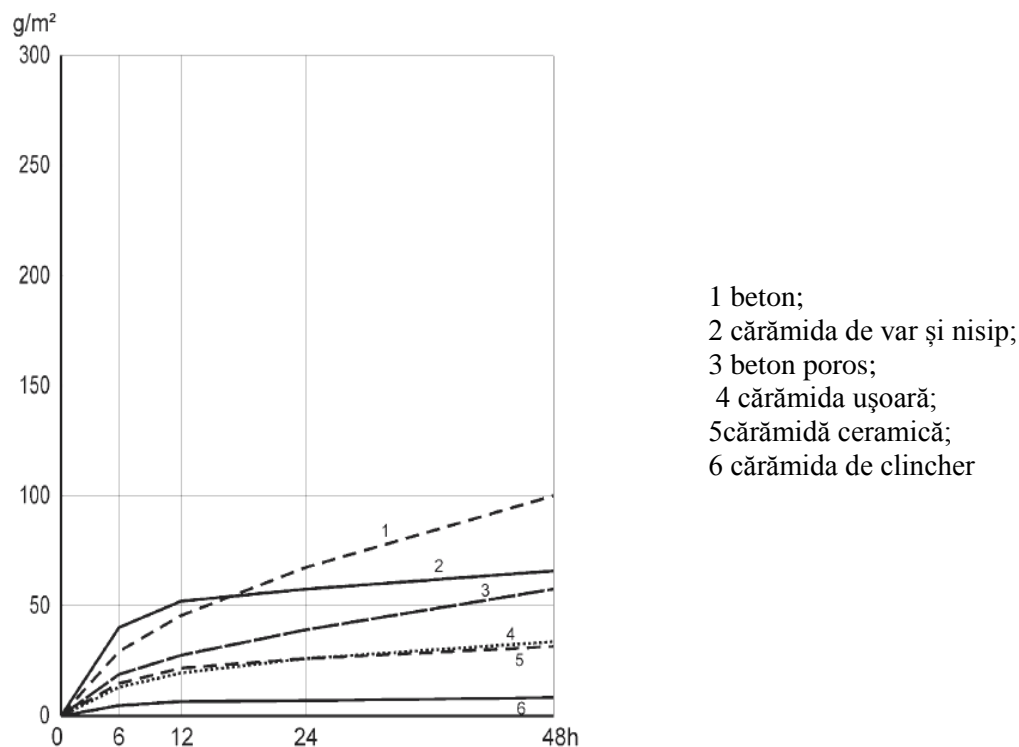
- nu rezistă în condiții de ploaie, lutul putând fi ușor spălat de șuvoaiele de apă și, astfel necesită protecție;
- compoziția, conținutul de apă, lucrabilitatea, plasticitatea necesită control riguros deoarece diferă în funcție de locul extracției, anotimp, etc.

Cercetările de laborator au indicat gradul mare de absorbție a apei pe care îl prezintă lutul și, implicit blocurile de zidărie din lut, ajungând la 300 g/m<sup>2</sup> apă absorbită în 48 de ore [84], așa cum se poate observa din Figura 3.7. Comparativ, în Figura 3.8 este prezentată absorbția de apă în 48 de ore pentru alte materiale de construcții uzuale. Toate determinările au fost efectuate în condițiile creșterii bruște a umidității relative a aerului de la 50% la 80%, la temperaturi de 21°C, utilizând epruvete cu grosimea de 15 mm. Aceleași cercetări au arătat că grosimea epruvetelor de lut influențează, de asemenea gradul de absorbție de apă. După cum se poate observa în Figura 3.9, o grosime mai mare a stratului de lut conduce spre o cantitate de apă absorbită mai mare în timp.

Cercetările experimentale efectuate de un colectiv de cercetatori din Maroc și Franța [85] asupra proprietăților termice ale cărămizii din lut nears produsă în Slaoui, Maroc, au indicat o comportare din punct de vedere termic și o capacitate de termoizolare bune. Tehnologia de construcție cu lut și cărămida de lut este relativ simplă. După extracția din zăcământul natural, de cele mai multe ori prin excavare, materialul este depozitat și transportat spre locul de preparare care deseori este foarte aproape de locul punerii în operă. Depozitarea și transportul nu sunt costisitoare și puțin consumatoare de energie, deoarece pot fi realizate cu mijloace la îndemână depozitare în halde eventual acoperite pentru a preveni uscarea; transport cu mijloace auto.

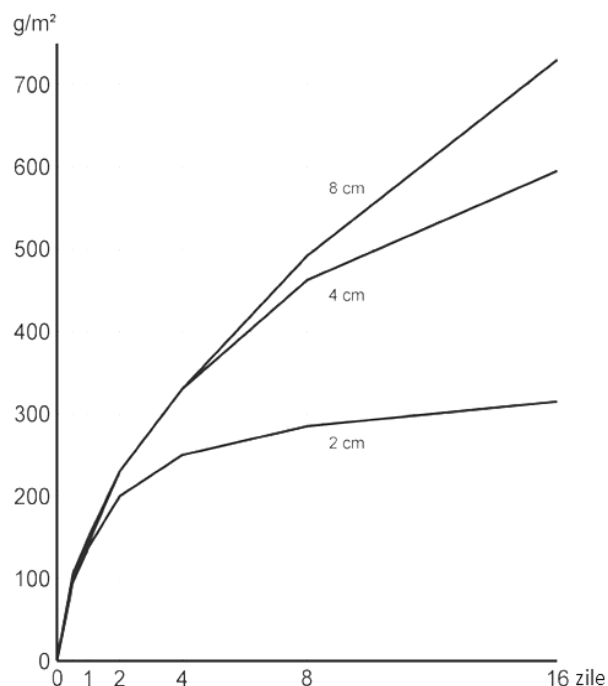


**Fig 3.7** Absorbția de apă pentru epruvete din diverse materiale de construcție, cu grosimea de 15 mm în condițiile creșterii bruște a umidității relative a aerului de la 50% la 80%, la temperatura de 21°C [85]



**Fig 3.8** Absorbția de apă pentru epruvete din materiale uzuale de construcție, cu grosimea de 15 mm în condițiile creșterii bruște a umidității relative a aerului de la 50% la 80%, la temperatura de 21°C [85]

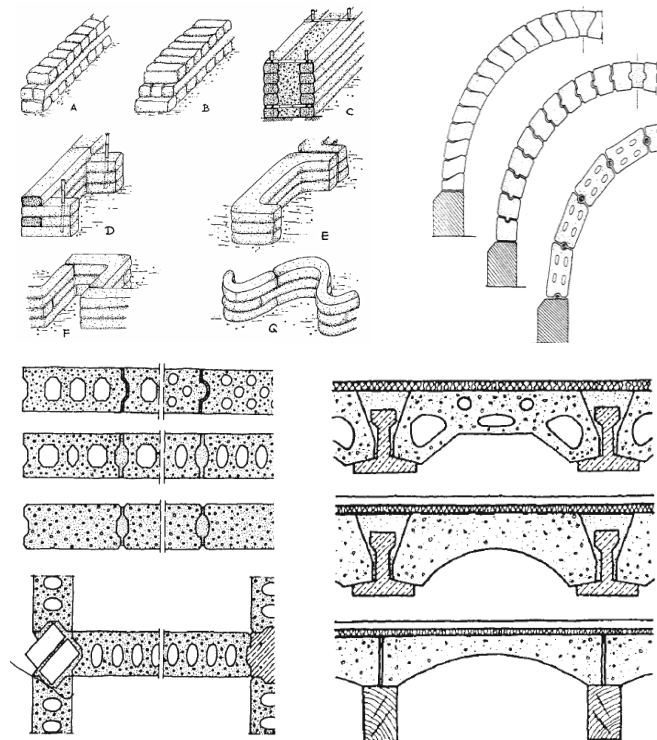




**Fig 3.9** Absorbția de apă pentru epruvete din lut, cu diferite grosimi, în condițiile creșterii bruște a umidității relative a aerului de la 50% la 80%, la 21 °C [85]

Prepararea constă în analiza compoziției materialului și, după necesități, amestecarea sa cu apă și aditivi. Analiza compoziției nu necesită tehnologii avansate și costisitoare. Pe baza unor caracteristici de analiză a sedimentării după amestecarea cu apă, lucrabilitate, plasticitate, umiditate, timp de întărire și vizual, se apreciază dacă materialul are un conținut mai mare de nisip, pământ sau argilă. După amestecarea cu apa și / sau aditivi, de cele mai multe ori se procedează la presarea lutului în tipare de lemn, care au formă și dimensiuni diverse și adaptabile, sau la extrudare. Se utilizează mai multe tehnici de presare: tehnici rudimentare de aruncare, prese manuale sau prese acționate mecanic / electric. Pot fi astfel realizate elemente de tipul cărămizilor, corpurilor mari de zidărie, stâlpilor, arcadelor, elemente decorative, etc. (Figura 3.10).

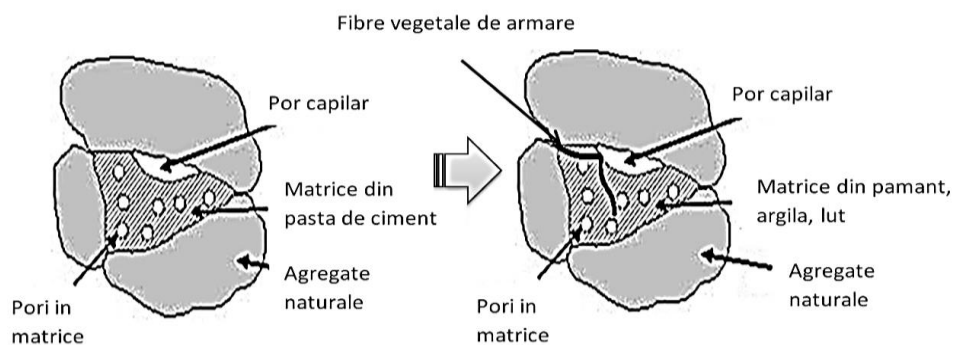
Pentru creșterea rezistențelor mecanice, în etapa de preparare a amestecului lutos se pot adăuga paie sau alte diverse materiale vegetale fibroase. Acestea vor avea rol de armare în matricea de lut. Elementele finite sunt uscate natural sau forțat, în cuptoare, după care sunt puse în operă, materialul adeziv dintre cărămizi fiind tot o pastă de lut. În funcție de modul de uscare, compoziția lutului utilizat este diferită: un lut mai argilos (24% argilă) pentru elementele care vor fi introduse în cuptoare și un lut mai uscat și nisipos (14% argilă) pentru elementele uscate prin ventilație naturală.



**Fig. 3.10** Diferite tipuri de elemente de zidărie din lut (cărămizi pentru pereți, elemente decorative, bolți, tavane, podele [85]

Marele dezavantaj al elementelor de zidărie din lut este lipsa de rezistență la acțiunea șuvoaielor de apă, a apelor pluviale. Din acest motiv, este recomandabil ca pereții interiori, podelele, elementele decorative interioare să fie confecționate din corpuri de zidărie din lut, iar pereții exteriori din corpuri de zidărie din lut tratat pentru creșterea rezistenței la apă.

Realizarea unor elemente de zidărie cu forma bine definite utilizează trei tipuri principale de material: material pentru matrice, material pentru rezistențe mecanice și pentru armare, așa cum este prezentat în Figura 3.11.



**Fig 3.11** Corespondența în compoziția elementelor din beton și materialele naturale

Așa cum la beton pasta de ciment este matricea înconjurătoare pentru agregate,

pământul, argila și lutul îndeplinesc rolul de matrice în cazul elementelor de zidărie din material natural. Argila recomandată pentru utilizarea în construcțiile de zidărie și pereți este de tip lateritic (conținând concentrații de oxizi și hidroxizi de fier) kaolinită, relativ stabilă, coeficientul de umflare la apă fiind de maxim 50% din volumul ei uscat. Nu se recomandă utilizarea argilelor de tip bentonită sau montmorilonită.

În cazul elementelor de zidărie din materiale naturale, armarea este realizată cu fire și fibre vegetale precum, paie, iarbă uscată, trestie sau bambus, în funcție de posibilitățile locale.

Utilizarea materialelor naturale pentru realizarea blocurilor de zidărie implică cunoașterea și controlul mai multor caracteristici esențiale pentru obținerea unui rezultat final satisfăcător. De exemplu un pământ cu conținut prea mare de argilă, deși este ușor lucrabil și are o plasticitate bună, datorită absorbției mare de apă pe care o induce argila, la uscare, poate genera fisurarea elementelor. Un conținut prea redus de argilă va influența în mod negativ caracteristicile plastice și de lucrabilitate ale materialului. Astfel, un pământ ideal în acest caz, trebuie să conțină 15-16% argilă [86].

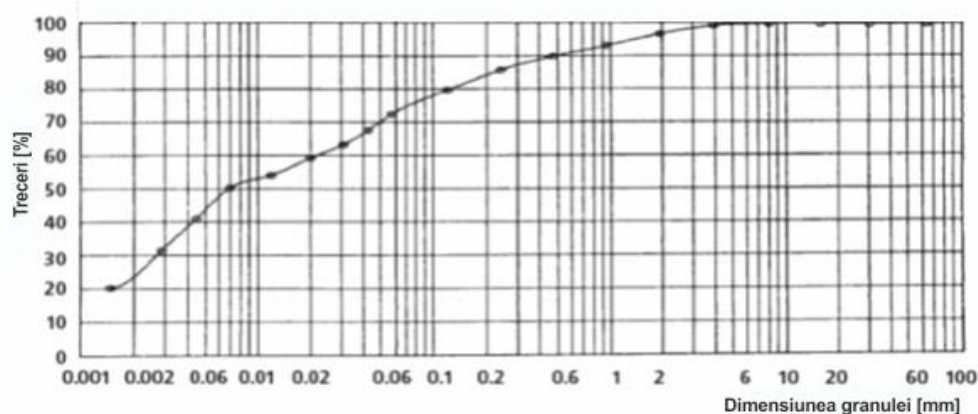
Din punct de vedere al comportării la cutremur, studiile au arătat că structurile din cărămizi de lut se distrug datorită rezistenței scăzute la încovoiere a mortarului. [65]. Mortarul narmat este slab, prin urmare și rezistența la aderență dintre mortar și cărămidă este slabă. Lutul este un material fragil chiar dacă are rezistența la compresiune destul de mare. Odată cu apariția crăpăturilor în material se pierde și din rezistența la aderență. Cercetările au arătat ca rezistența la cutremur se poate îmbunătăți prin adăugarea de fibre în material precum și îmbunătățirea proprietăților fizico mecanice a argilei (rezistențe mecanice, contracții). Numeroși cercetători au depus eforturi pentru a îmbunătăți rezistența la cutremur prin creșterea rezistențelor la solicitări mecanice a structurilor din argilă prin folosirea grinzilor de beton, prin introducerea tijelor de oțel orizontal și vertical, plase sudate din sârmă. [87]. Posibilitatea îmbunătățirii rezistențelor la solicitare mecanică a structurilor din argilă prin introducerea unor bastoane din lemn locale a fost studiată de către Arya, în 2000 [88]. Paola și Blondet au studiat eficiența introducerii unor plase cu ochiuri, din polimeră[20].

Îmbunătățirea rezistențelor la încovoiere a cărămizilor din argilă realizate

manual a fost studiată prin introducerea unor fibre vegetale naturale cum ar fi paie sau iarba uscată, în 1972 de către Hossein-Javaheri [89] și în 1973 de către Hammod.[90]. Paiele sunt un material natural, care se găsește ușor oriunde și este ieftin și nepoluant. Studiile făcute de către Vargas 1986 [91], Moris 1993[92], Warren 1999 [93], Islam 2002 [94], Binci 2005 [95] și Islam 2006 [96] pe amestec de argilă cu paie au arătat că acestea îmbunătățesc rezistența la încovoiere și elasticitatea argilei, ceea ce contribuie la reducerea fisurilor. Adăosul de fibre îmbunătățește și aderența. De asemenea, fibrele reduc densitatea aparentă a materialului ceea ce face să scadă conductivitatea termică, devenind mai bun izolator termic și fonic.

### **3.3 Pereți din pământ / lut bătătorit**

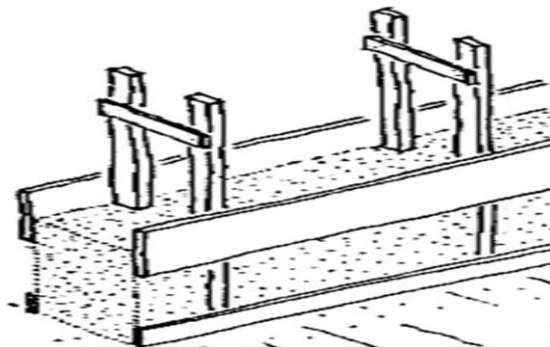
Pereți exteriori rezistenți din punct de vedere mecanic, dar și durabili pot fi realizați pe baza unui principiu relativ simplu: cofraje din materiale vegetale (împletituri de nuiele, trestie, bambus, scândură sau bârne din lemn), piatră, sau oțel (de preferință oțel zincat termic), sunt umplute cu pământ bătătorit, argila sau lut. Are loc astfel o îmbinare armonioasă a calităților de rezistență ale cofragului cu beneficiile aduse de utilizarea lutului și materialelor argiloase. Literatura de specialitate [7] specifică nevoia ca pământul să fie extras după ce s-au înlăturat un strat de pământ de minim 50 cm de la nivelul solului, pentru ca să existe siguranța că nu conține rădăcini, insecte, alte urme vegetale. O compoziție și granulometrie optime pentru pământul destinat realizării pereților prin tehnica bătătoririi sunt prezentate în Figura 3.12.



**Fig. 3.12** Curba granulometrică și compoziția materialului optim destinat realizării pereților din pământ bătătorit [7]

Cofragul se realizează de obicei din elemente verticale cu rezistențe mecanice

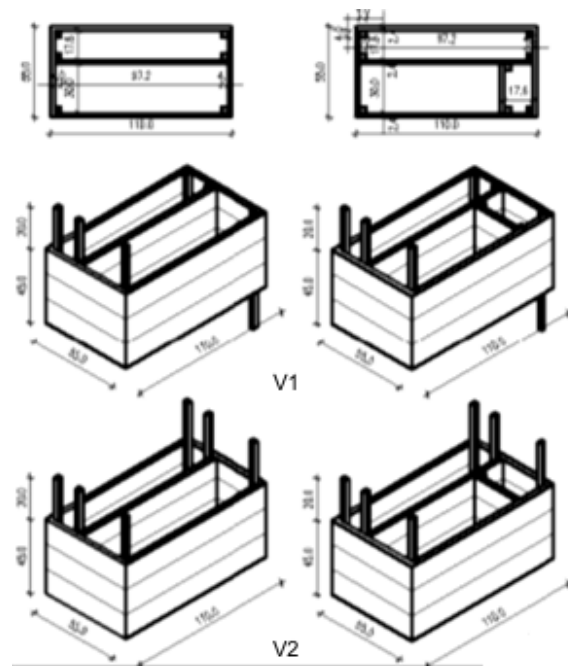
mari (stâlpi de lemn) și elemente orizontale (împletituri din materiale vegetale), cum se arată în Figura 3.13. Între acestea este introdus materialul de umplură, lutul amestecat de obicei cu paie tăiate.



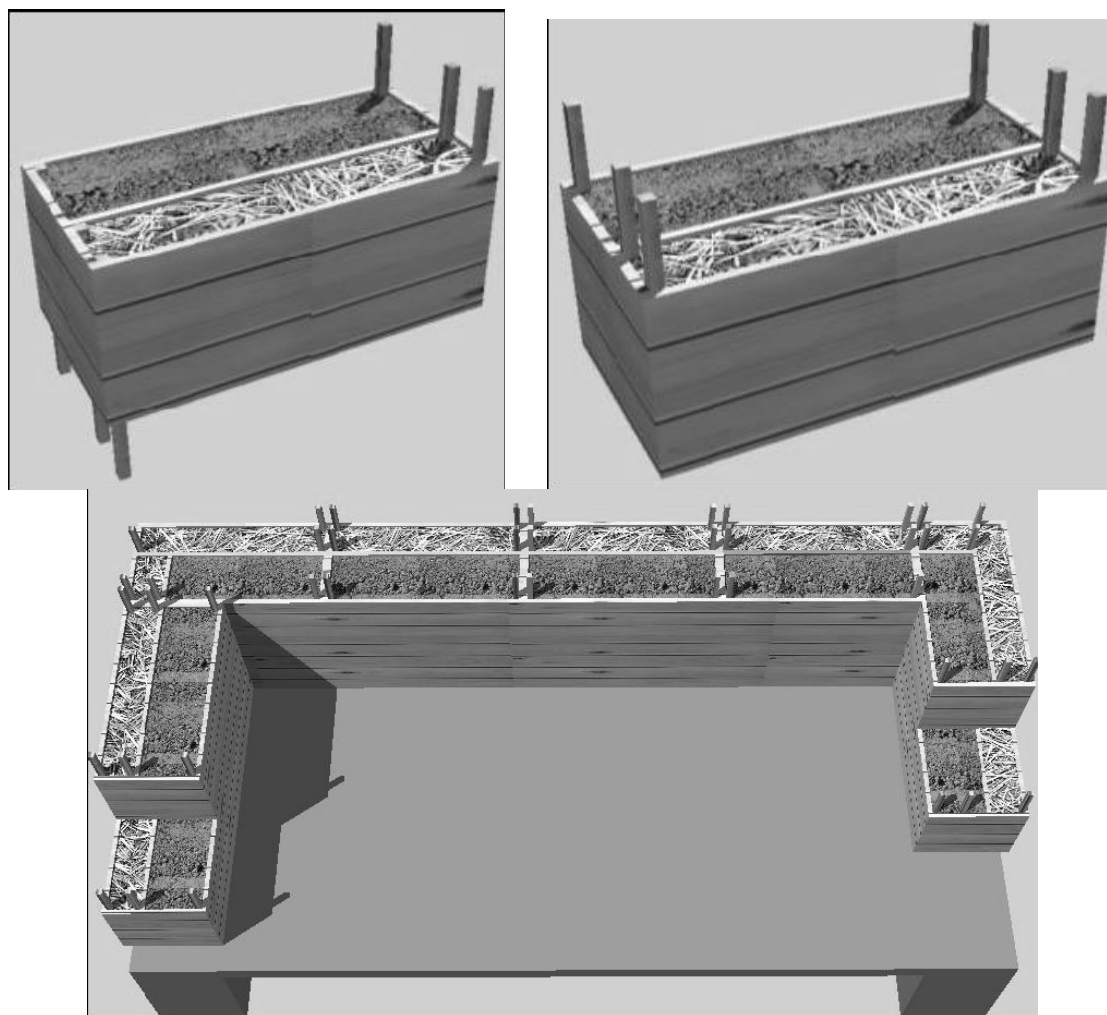
**Fig. 3.13** Structura pereților realizați din cofraj lemnos și umplutura de lut [7]

De cele mai multe ori pentru realizarea pereților se folosește tehnologia cu cofraje pierdute. Aceasta prezintă avantajul că se elimină pericolul ca, în cazul în care există zone mici în care pământul/lutul nu este tasat corespunzător, să se producă desprinderi ale materialului care generează fisurare, rupere, probleme de stabilitate, reducere a secțiunii peretelui și a rezistențelor mecanice locale.

Cofrajele pierdute de construiesc sub formă de cutii modulare din panouri din lemn, OSB, plastic reciclat perforate sau foi de metal, etc. (Figura 3.14). Modulul utilizat ca și cofrag pierdut, în general are două compartimente: unul pentru pământul bătătorit și unul pentru materialul izolan. Grosimea minimă pentru un perete structural realizat din pământ bătătorit este de 30 cm [7]. Din această cauză, compartimentul destinat umplerii cu pământ trebuie să aibă o grosime minimă de 30 cm. Grosimea celui de-al doilea compartiment, cel destinat termoizolației, va fi impusă de necesitatea realizării unui coeficient de transfer termic convenabil în condițiile locale specifice. Lungimea, în acest caz de 110 cm, și înălțimea modulului, în acest caz de 55 cm, este impusă de capacitatea plăcilor de lemn pentru a rezista presiunii induse de pământul bătătorit. Conexiunea între module, atât pe direcție orizontală cât și verticală se realizează cu lamele cu dimensiunea de 4x4x65 cm. În Figura 3.15, sunt prezentate exemple de pereți realizați prin îmbinarea cofrajelor pierdute modulare, umplute cu pamant batatorit si paie presate pentru izolare termica.



**Fig. 3.14** Exemple de module utilizate ca și cofrag pierdut [7]



**Fig. 3.15** Exemple de pereți realizați prin îmbinarea cofrajelor pierdute modulare, umplute cu pământ bătătorit și paie pentru izolare termică [97]

Umplerea cofragului necesită bătătorirea materialului de umplură folosind mijloace manuale, mai rudimentare, sau utilaje de compactare moderne. Se recomandă ca umplerea tiparelor să se realizeze în straturi successive de maxim 20 cm de material care este bătătorit până grosimea stratului scade la 50% din grosimea inițială. O tasare corectă va determina obținerea unor pereți rezistenți, durabili și cu o capacitate bună de înmagazinare a căldurii și umidității.

Tencuirea pereților se realizează de obicei cu un amestec de nisip, pământ și o cantitate redusă de argilă, doar atât cât este necesar pentru asigurarea omogenității și aderenței la suport (5-12%). Tencuirea poate fi făcută manual, mecanic sau prin pulverizare, procedeu impunând în general condiții de vâscozitate și lucrabilitate a amestecului.

O altă tehnică de punere în operă presupune acoperirea cu lut a unor plase din material vegetal și rularea acestora pe un suport rigid (lemn sau bară de oțel). Rulourile astfel obținute sunt clădite în poziție orizontală, una peste alta în cadre de lemn și eventual legate între ele cu funii sau sârmă. Plasele din materiale vegetale pot fi înlocuite cu plase din material plastic sau plase de oțel în scopul creșterii ușurinței de rulare. Cercetările efectuate la Universitatea Tehnică din Berlin au arătat că această tehnică reduce mult riscul apariției fisurilor [98].

Pereții realizați prin tehnica de bătătorire a pământului trebuie să aibă o grosime cuprinsă între 18 și 36 cm.

Cercetări experimentale au arătat ca pentru obținerea unor rezultate mai bune la construirea pereților din pământ bătătorit, în amestecul de pământ se pot introduce diverse alte adaosuri. Deseori se folosesc ca adaos materiale cu proprietăți hidraulice (var sau ciment), dar se pot folosi și materiale nehidraulice. Exemple de materiale de adaos utilizate în mod frecvent sunt nisipul, varul, sarea grunjoasă, soda, rășini și uleiuri naturale, cleiuri naturale.

Structura clădirii unei tipografii din Austria este o combinație din lemn și 160 elemente de zidărie din pământ bătătorit de dimensiuni 1.7x1.3x0.4m [99]. Această clădire are un sistem de reglare a temperaturii format din tuburi din pământ de-a lungul clădirii prin care circulă aerul proaspăt și are un efect răcoritor în timpul ierni și un efect de încălzire în timpul iernii, datorită proprietăților pământului (Figura 3.16).



**Fig. 3.16** Aspect interior al tipografiei și un exemplu de element de zidărie din pământ bătătorit [99]

Capela Reconcilierii din Berlin a fost construită din pământ bătătorit. Amestecul din pământ a fost realizat din argila în amestec cu agregate de diferite sorturi și fibre de in. Rezultatele obținute în urma încercărilor efectuate în laboratorul de la universitatea din Berlin, sunt redate în Tabelul 3.1.

**Tab. 3.1** Caracteristicile pământului folosit la construcția Capelei Reconcilierii din Berlin [7]

Umiditatea la locul punerii în operă	8,2%
Contrații axiale	0,15%
Rezistența la compresiune	3,3 N/mm <sup>2</sup>
Modulul de elasticitate la compresiune	650 N/mm <sup>2</sup>
Rezistența la încovoiere	0,63 N/mm <sup>2</sup>
Rezistența la forfecare	0,79 N/mm <sup>2</sup>

### **3.4 Pereți din saci umpluți cu pământ**

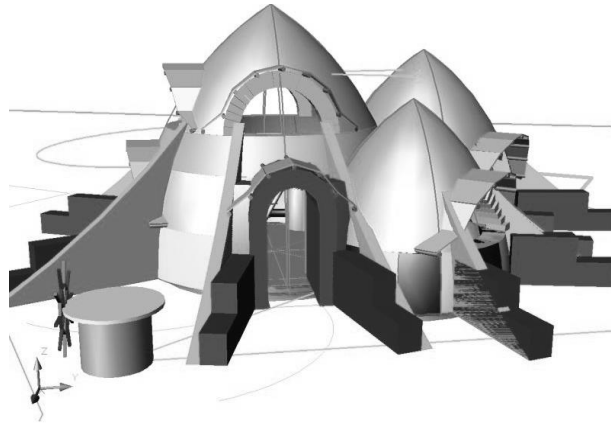
În lipsa cofrajelor, sau dacă se dorește eliminarea acestora, există posibilitatea realizării pereților din pământ printr-o tehnică de stivuire. Aceasta presupune umplerea unor saci cu pământ, saci care ulterior sunt așezați unul peste celălalt până la obținerea unei structuri de tip dom.

În Figura 3.17 este prezentată o locuință (Ulmoasa, Baia Mare, România) realizată prin această tehnică, în mai multe etape ale construcției.

Tehnica de realizare a zidurilor fără cofraje, din pământ bătătorit, este cunoscută încă de pe vremea construirii Marelui Zid Chinezesc. Cercetările recente au arătat că încorporarea unei cantități de ciment în pământul bătătorit aduce beneficii valoroase din punct de vedere al durabilității, dar atrage după sine povara producerii



CO<sub>2</sub> la fabricarea cimentului. Testele experimentale privind înlocuirea cimentului cu zgura de furnal nu au prezentat încă rezultate concludente, nefiind satisfăcătoare din punct de vedere al durabilității.



*a. proiectarea structurii*



*b. realizarea structurii prin stivuirea sacilor umpluți cu pământ bătătorit*



*c. imagine exterioară*



*d. imagine de interior*

**Fig. 3.17** Casa de locuit cu pereți realizați prin stivuirea sacilor umpluți cu pământ bătătorit[100]

Tehnologia construcției zidurilor din pământ bătătorit, fără cofraje, implică cunoașterea bună a caracteristicilor solului utilizat. Astfel, materialul folosit trebuie să conțină 50-75% nisip și să aibă o umiditate maximă de 10%. Este necesară cernerea pentru îndepărtarea eventualelor reziduuri vegetale și / sau animale. Cantitatea de ciment Portland care poate fi adăugată pentru impermeabilizare este de 3-10%. [101].

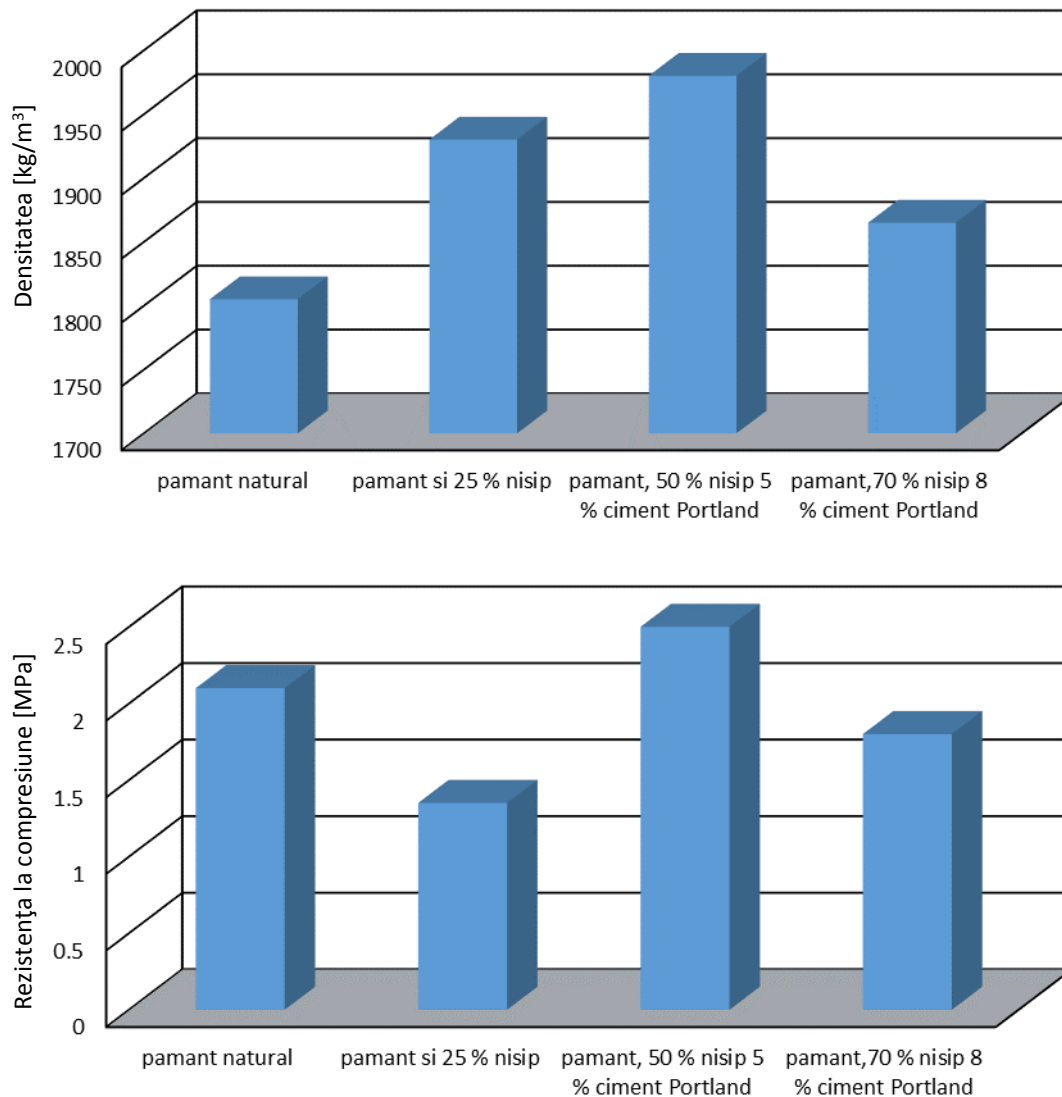
### **3.5 Aditivi (adaosuri) naturali**

Beneficiile pe care le aduc materialele de adaos asupra tehnologiei de fabricare sau a produsului pus în operă sunt numeroase și în continuă cercetare, în funcție de disponibilitățile locale. Exemple de material de adaos pot fi:

- nisipul și varul contribuie la reducerea contracțiilor axiale și reduc riscul apariției fisurilor la uscare. Suplimentar, varul, fiind un material liant aerian, contribuie și la îmbunătățirea rezistențelor mecanice dezvoltate pe termen lung, îmbunătățirea aderenței și creșterea rezistenței la acțiunea apei;
- NaCl reduce viteza de uscare și reglează umiditatea de echilibru, reducând astfel și riscul apariției fisurilor și contracția la uscare;
- NaOH îmbunătățește plasticitatea și lucrabilitatea amestecului;
- cimentul îmbunătățește rezistențele mecanice și contribuie la creșterea gradului de impermeabilizare, respectiv la creșterea rezistenței la apă.

Deși aceste materiale de adaos sunt indicate în literatura de specialitate, nu sunt specificate cantitățile recomandate pentru obținerea unor beneficii asupra materialului pus în operă, fără ca să fie induse și efecte secundare negative majore.

În cazul amestecului cu ciment experimental s-a observat că există o cantitate optimă de ciment care trebuie adăugat și care diferă de la un pământ la altul. În studiul realizat de T. Ciurileanu [12], folosind un pământ caracterizat prin compoziția 33% argilă, 42% parte fină și 25% nisip, extras din apropiere de localitatea Cluj-Napoca, pentru o apă de amestecare de 10%, cantitatea optimă de ciment care a determinat obținerea celei mai mari densități și a celei mai mari rezistențe la compresiune a fost de 5% ciment Portland 42,5 N, procente masice raportate la cantitatea de pământ, așa cum se observă din graficul prezentat în Figura 3.18.



**Fig. 3.18** Variația densității și a rezistenței la compresiune a epruvetelor din pământ bătătorit în funcție de adaosul de ciment Portland 42,5 N [12]

Mohamed Ali Bahobail a studiat îmbunătățirea proprietăților corpurilor din argilă prin diferite adaosuri [102]. El a clasificat adaosurile folosite în 4 categorii:

- aditivi minerali: nisip, puzzolană și cenușă;
- aditivi sintetici: ciment Portland, var hydraulic, var hidratat, ipsos, oxid de magneziu, săpun și bitum;
- aditivi vegetali: fibre vegetale, ulei, grăsimi, gumă Arabică, seva de copaci, latex, melasă;
- aditivi de proveniență animală: fibre, excremente, urină, sânge, casein, cleiuri de origine animală și grăsimi.

Comform studiilor lui Mohamed Ali Bahobail, compoziția optimă a amestecului

de argilă și nisip este : 15% pietriș, 50% nisip, 15 % lut și 20% noroi. Adaosul de nisip reduce contracțiile și apariția fisurilor, dar face să scadă rezistența la compresiune. Cu toate acestea clădirile tip Shebam's cu 8 nivele, dăinuie de secole. Pentru ca aditivii să fie buni, ei trebuie să : Crească rezistențele mecanice, rezistența la apă, permeabilitatea la vapori să rămână constantă, să fie ușor de utilizat, ieftini și non toxici.

Granulometria nisipului se recomandă a fi între 0,0625 mm și 2 mm. Amestecul dintre nisip și argilă trebuie să se facă omogen.

Materialul puzzolanic este o cenușă fină de origine vulcanică. Conține silicați de aluminiu care în reacție cu hidroxidul de calciu, în prezența apei, are proprietăți de liant. În trecut, romanii au folosit amestecul de 2 părți material puzzolanic cu o parte var, rezultând o piatră foarte rezistentă [103].

Cenușa este constituită în mare parte din dioxid de siliciu și oxid de calciu. Adaosul de cenușă se face în general în proporție de 10% din amestec. [104]. La adaosul de cenușă rezistențele mecanice cresc, se reduc contracțiile.

Cimentul Portland este un material hidraulic constituit 2/3 procente de masă, din  $3\text{CaOSiO}_2$  și  $2\text{CaOSiO}_2$ , iar a 3-a parte din aluminiu, fier și alte componente.

Varul hidraulic este carbonatul de calciu. Este un material pulverulent de densitate ușoară, care lasă pereții să respire și nu păstrează umiditatea în cărămidă. Varul hidraulic are modulul de elasticitate foarte mic ceea ce reduce apariția fisurilor în timpul uscării.

Varul hidratat este hidroxidul de calciu rezultat în urma reacției dintre de oxidul de calciu și apă. Varul hidratat are capacitatea de a absorbi  $\text{CO}_2$  din aer care în reacție gradată cu CaO se transformă din nou în  $\text{CaCO}_3$ . Varul este recomandat ca adaos, argilei cu conținut ridicat de lut, în proporție de 3% până la 10%, procente de masă.

Ghipsul este sulfatul de calciu hidratat. La încălzire, sulfatul de calciu pierde 0.75% din apă și se transformă din  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  în  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ . Ipsosul nu este rezistent la apă și se întărește rapid. Se folosește ca adaos pentru reducerea timpului de întărire în proporții de 10% până la 20%.

Oxidul de magneziu se folosește pentru a crește rezistența mecanică a cărămizii de argilă. Totodată, are capacitatea de a absorbi moleculele de apă din mediul înconjurător, de aceea oxidul de magneziu trebuie protejat de umiditate [105].

Săpunul este un agent de curățare rezultat din interacțiunea dintre grăsimi, uleiuri și alcalii. Grăsimile pot fi seu, unsoare, uleiuri vegetale sau de pește. Pentru a mări rezistența argilei la apă, săpunul se poate include în amestec sau se poate trata suprafața. Rezistența la apă este mărită cu 25%. În amestec, se recomandă a se adăuga 0.1 % până la 0.2% procente de masă din amestec. Dacă se aplică pe suprafață, trebuie repetată aplicarea pentru că se spală cu apa în timp [105].

Bitumul este o mixtură de lichide organice foarte vâscoasă, neagră, lipicioasă și se dizolvă în disulfid de carbon. Acum, se poate fabrica bitum din materii nonpetroliere cum ar fi zahăr, melasă, orez, și amidon de porumb sau cartofi [106]

Bitumul fiind foarte vâscos, este mai util a se dizolva în kerosen sau cu ajutorul unui emulsifiant, în apa. Adaosul de bitum la argilă face ca amestecul respectiv să fie mai rezistent mecanic și la apă. Cantitatea de bitum adăugată se recomandă a fi între 4 și 6%, la o argilă cu conținut ridicat de nisip, 7 și 12% pentru argile cu conținut redus de nisip și între 13 și 20% pentru lut [91].

Fibrele vegetale sunt folosite ca adaos la argilă pentru a îmbunătăți rezistența la încovoiere, reducerea contracțiilor, scăderea densității și creșterea vitezei de uscare. Adaosul de fibre recomandat este de pînă la 4% procente de masă. Cele mai folosite fibre sunt tulpinile de grâu, orz, sau orez. Alte fibre care pot fi utilizate sunt: fân, cânepă, mei. Un efect negativ al fibrelor asupra materialului este că scade rezistența la compresiune. [107].

Uleiurile vegetale sunt compuși chimici alcătuiți dintr-o moleculă de alcool trihidric și 3 acizi grași. Se folosește pentru creșterea rezistenței argilei la umiditate. Uleiurile care pot fi utilizate ca adaos la argila trebuie să îmbunătățească duritatea argilei și rezistența la apă. Astfel de uleiuri sunt: uleiul de cocos, untul de shea. În plus, untul de shea poate respinge termita. Cantitatea recomandată ca adaos este de 3%, dar se poate aplica și pe suprafață [108].

Tanina este o substanța prezentă în semințele și tulpinile strugurilor, în scoarța unor copaci și în frunzele de ceai. Se poate obține prin fierberea părții corespunzătoare a plantei. Utilizarea taninei face ca particulele de argilă să se fragmenteze în mai multe particule mici, așa încât argila devine capabilă să înconjoare grăunțele de nisip făcând amestecul mai consistent, cu porozitate redusă și mai rezistentă la apă [108].

Guma Arabică este o gumă naturală obținută din seva copacului de acacia. Guma Arabică în adaos, mărește aderența mortarului pe bază de argilă, rezistența la compresiune, scade absorbția la apă și reduce contracțiile. Guma Arabică este însă solubilă în apă, deci nu oferă rezistență la apă pe termen lung. Cantitatea recomandată de adaos este de 5 pînă la 10% [108].

Rășina obținută din arbori tropicali, îmbunătățește rezistența la apă a argilei. De obicei se adaugă între 3 și 8%, procente de masă [109].

Latexul este o sevă fluidă găsită în procent de 10% în plantele cu floare [109]. Latexul este o emulsie complexă constituită din proteine, alcaloizi, amidon, zahăr, uleiuri, tanine, rășini, gume, care devine vâscoasă, atunci când este expusă la aer. Latexul se obține decojind țesutul extern al plantelor. Poate avea culori diferite: alb (cel mai des), galben, portocaliu. Influența latexului ca adaos la argilă este de a reduce permeabilitatea ușor și crește densitatea. Se adaugă în procent de masă de 3 pînă la 15% [109].

Melasa se obține din trestia de zahăr prin zdrobirea și apoi fierberea părții favorabile din plantă. Se adaugă pentru a crește rezistențele mecanice și pentru a reduce permeabilitatea, în cantități de 5%, procente de masă din amestec [109].

Fibrele animale (păr, lână sau blană sunt fibre naturale care conțin în proporție mare proteine. Au rolul similar cu cel al fibrelor vegetale. Îmbunătățesc aderența mortarului de argilă și reduc considerabil apariția fisurilor [110].

Caseina în formă de zer se obține prin acrirea laptelui. Se folosește cu rolul de stabilizator. Caseina se folosește în amestec cu var la finisarea pereților din argilă [110].

Rezultatele experimentale a conductivității termice în funcție de diferite adaosuri în procente de 5, 10 și 15 %, ale lui Mohamed Ali Bahobail sunt redată în Tabelul 3.2.

**Tab. 3.2** Conductivitatea termică a cărămizilor din argilă la diferite adaosuri [ 111].

Tip cărămidă nearsă	Conductivitatea termică [W/mK]		
	5 %	10 %	15 %
cu păr de bovine	0.9006	0.9327	0.9405
cu săpun	0.9149	1.060	1.217
cu ulei de palmier	0.9972	1.127	1.330
cu cenușă	0.8677	0.8359	0.6906
fără aditivi	0.8469		

În anul 2008, Demir [79] a arătat că adaosul de rumeguș, reziduurile de tutun și iarba uscată îmbunătățesc proprietățile termoizolatoare ale cărămizilor din lut. Capacitatea de izolare crește odată cu creșterea porozității materialului. Adaosurile organice sunt eficiente pentru formarea porilor menținând totodată rezistența mecanică.

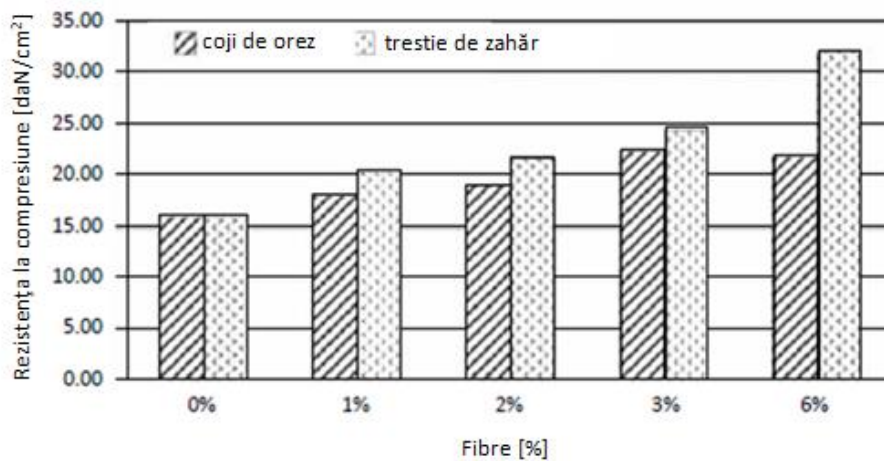
În 2010, Martin et al [75], au investigat comportarea termică a unei clădiri din Spania. Ei au comparat case din beton, case moderne din lemn și case din tradiționale din lut. Rezultatele au arătat condiții interne mult mai bune la casele tradiționale. În timpul verii s-au obținut temperaturi confortabile în casele tradiționale fără consum de energie, în schimb pentru casele moderne a fost nevoie de consum de energie pentru a obține o temperatură confortabilă. Iarna, confortul termic din casa tradițională s-a obținut cu un consum redus de energie față de casele clasice din beton.

Kumar, Singh și Mohan, [97], în 2006, au studiat compoziții diferite de argilă cu adaos de nisip în procente cuprinse între 10-12%. Creșterea procentului de nisip cu până la 10%, face să crească și rezistența la compresiune, dar la adaos de nisip mai mare de 10%, rezistența la compresiune scade.

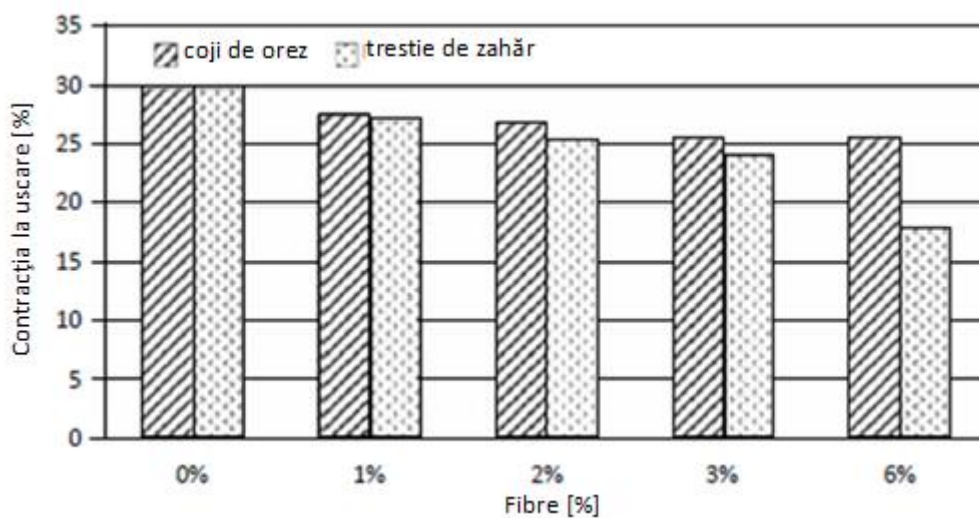
Adaosul de fibre influențează rezistența la compresiune prin cantitatea și lungimea fibrelor. Bouhicha, Aouissi și Kenai [106], în 2005, au constatat că fibrele cu lungime de 12 mm sunt cele mai optime din punct de vedere al reducerii contracțiilor și creșterii rezistenței la compresiune.

Letwattananuruk și Tungsirisakul, [107], în 2007, au cercetat efectul cojilor de orez și nucă de cocos, în amestecul de argilă în proporție de 1, 2, 3, 6 și 9% din masă, asupra rezistenței la compresiune a cărămizii din argilă. Ei au ajuns la concluzia că adaosul de acest tip de coji până la 3% din masă, îmbunătățește rezistența la compresiune și peste 3%, scade rezistența la compresiune.

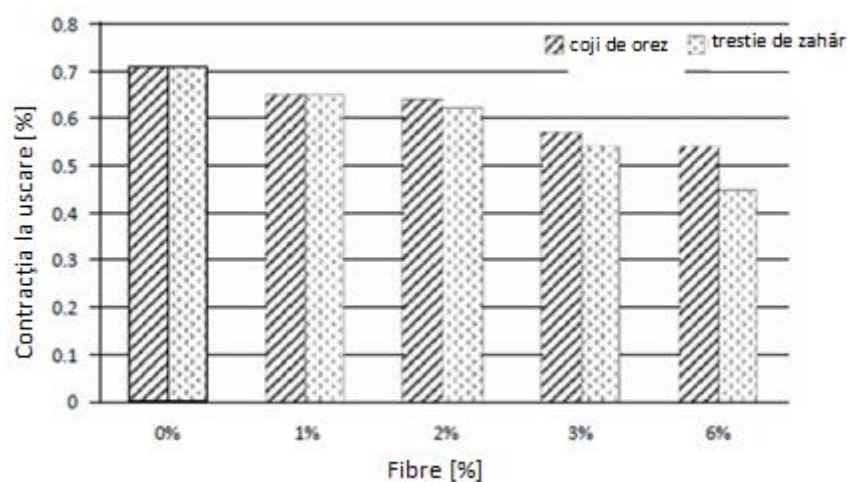
Pusit Lertwattananuruk și Choksiriwanna de la universitatea Thammasat din Thailanda [107], au testat rezistența la compresiune, contracțiile și conductivitatea termică pe amestecuri de argilă cu adaos de coji de orez și trestie de zahăr, în proporții de 1,2, 3 și 6 % din masă. Rezultatele obținute de ei sunt redată în Figurile 3.19-3.21.



**Fig. 3.19.** Rezistența la compresiune pe amestecuri de argilă cu coji de orez și trestie de zahăr [107]



**Fig. 3.20** Con tracția la usc are pe amestecuri de argilă cu coji de orez și trestie de zahăr [107]



**Fig. 3.21** Conductivitatea termică pe amestecuri de argilă cu coji de orez și trestie de zahăr [107]



În urma acestor teste s-au tras concluziile că resturile agricole provenite de la trestia de zahăr sunt mai eficiente pentru îmbunătățirea proprietăților cărămizilor din argilă, decât deșeurile de la orez. Conținutul optim de argilă, nisip și coji de orez este de 87% argilă, 10% nisip și 3% coji de orez, iar conținutul optim cu adaos de trestie de zahăr este de 84% argilă, 10% nisip și 6% trestie de zahăr. Amestecurile cu trestie de zahăr au capacitate de legare a particulelor de argilă între ele, mai mare decât amestecurile cu deșeu de orez. De asemenea, adaosul de trestie de zahăr în proporție mai mare de 1% crește capacitatea de înmagazinare a căldurii Trestia de zahăr, reduce absorbția de apă mai mult decât deșeu din orez [107].

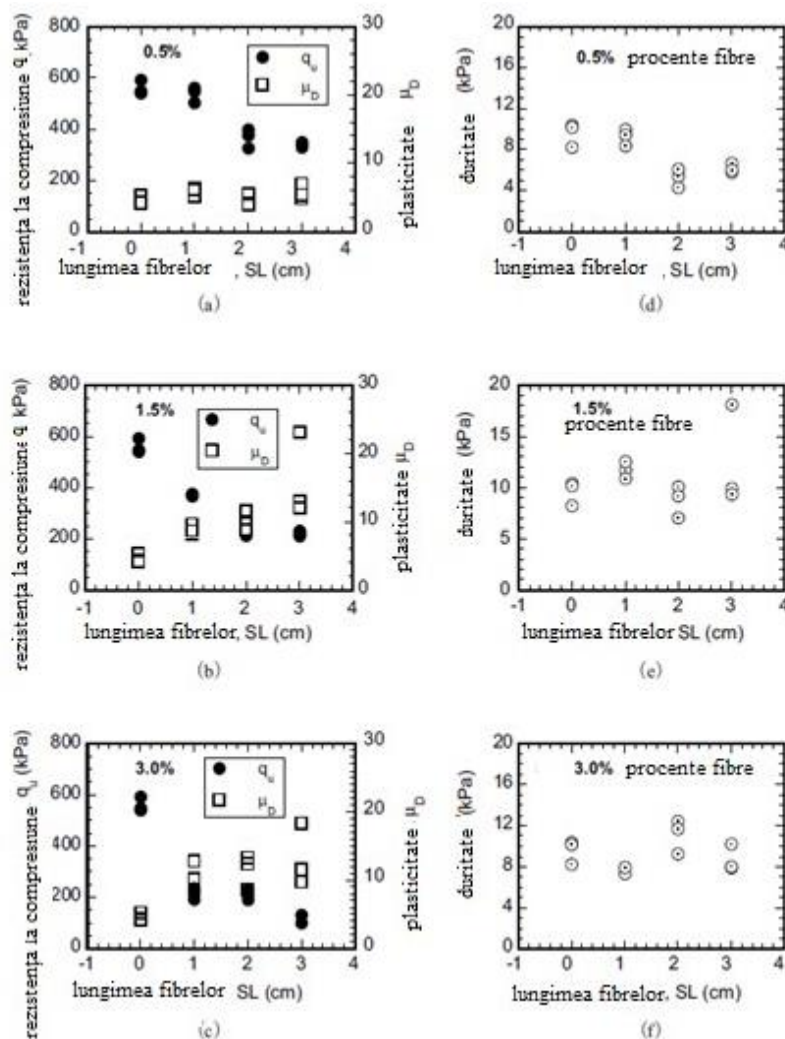
Efectul adaosului de cenușă și rumeguș la amestecul de argilă cu scopul de a fabrica cărămizi din argilă arsă, a fost studiat de către Emmanuel A.Okunade [112]. El a constatat că cenușa adăugată la argilă are o influență asupra densității cărămizii din argilă arsă. Densitatea cărămizii arse scade, rezistența la compresiune crește datorită efectului puzzolanic pe care îl are cenușa, absorbția la apă scade și conductivitatea termică scade. Deci toate proprietățile cărămizii arse sunt îmbunătățite.

Influența adaosului de ipsos în argilă a fost studiat de către Hammod 1973 [110] și Isik în 1999 [111]. Conform acestor studii, adaosul de ipsos reduce considerabil contracțiile argilei, datorită faptului că ipsosul își mărește volumul la uscare. De asemenea, se măresc și rezistențele mecanice, inclusiv aderența.

Mohammad Shariful Islam și Kazuyoshi Iwashita [102] au studiat influența adaosurilor de fibre vegetale (paie, iută și cânepă) și de ipsos și ciment asupra proprietăților cărămizii din argilă. Ei au studiat efectul adaosului de paie de diferite lungimi, de la 1 la 3 cm și în procente diferite de masă de la 0% la 3%.

Din graficele din Figura 3.22 se observă că rezistența la compresiune scade cu creșterea conținutului de paie, în schimb elasticitatea crește. Îmbunătățirea elasticității odată cu creșterea conținutului de paie are un trend crescător pînă la 1.5% conținut de paie după care devine aproximativ constantă. Cea mai bună duritate se observă tot la conținutul de 1.5% paie, după care duritatea scade odată cu creșterea conținutului de paie.

Rezistența la compresiune scade odată cu creșterea lungimii firelor de paie, în schimb elasticitatea crește, pentru 1.5% conținut de paie. Duritatea crește odată cu creșterea lungimi fibrelor de paie, dar numai la un conținut de 1.5% paie.



**Fig. 3.22** Proprietăți mecanice în funcție de conținutul procentual de paie, la lungimi de paie de 1-3 cm [102]

Rezultate mai bune s-au obținut pentru adaosul de iută, pentru că iuta este mai elastică. S-au folosit fibre de iută de lungimi cuprinse între 0,5 cm și 3 cm și în procente de adaos de la 0,5 la 4 % conținut de masă. Rezistența la compresiune scade odată cu creșterea conținutului de iută, elasticitatea crește până la adaosul de 2% iută după care creșterea este nesemnificativă, iar duritatea crește până la adaos de 2%, după care scade. Odată cu creșterea lungimii firului de iută, rezistența la compresiune nu este influențată, elasticitatea și duritatea cresc până la lungimea fibrelor de 2 cm după care scad.

În urma cercetărilor lui Mohamed rezultă că adaosul de ipsos îmbunătățește numai rezistența la compresiune a blocului de argilă. Adaosul de ciment crește de asemenea rezistențele mecanice, dar elasticitatea nu crește.

### **3.6 Materiale ecologice termo și fonoizolatoare**

O problemă majoră a construcțiilor, mai ales a celor vechi, este ineficiența energetică. În cazul tuturor clădirilor diminuarea pierderilor de energie prin pierderea de căldură este o necesitate.

Cel mai răspândit sistem de termizolare al construcțiilor destinate pentru locuit, dar nu numai, este cel cu polistiren. De-a lungul timpului utilizarea acestuia a provocat numeroase discuții din mai multe puncte de vedere:

- poluarea produsă în urma procesului de fabricare al materialelor componente;
- eficiența;
- costurile;
- modul de punere în operă;
- posibilitatea unor eventuale emanații toxice și influența asupra sănătății clădirilor și a oamenilor care locuiesc în ele;
- comportarea la incendiu.

Conform raportului din 2007 al Organizației Mondiale a Sănătății, polistirenul este catalogat ca un posibil material cancerigen, fiind cuprins în grupa 3 de risc. Cu toate aceste caracteristici nocive, polistirenul expandat se utilizează frecvent ca material izolator, datorită faptului că este un produs a cărui coeficient de conductivitate termică se încadrează în intervalul 0.036 - 0.046W/mK [112]. Studiile referitoare la capacitatea de izolare termică a compozitelor utilizate în construcții sunt relativ numeroase, ceea ce demonstrează că cercetătorii s-au orientat în crearea de noi structuri utilizând diverse materiale de natură ecologică (așchii de lemn, fibre textile, puzderie de cânepă, lână de lemn, iută, stuf, fibre de bambus etc.), precum și alte materiale ca de exemplu fulgii de polietilenă. Astfel s-a constatat că prezența polietilenei în structura compozitelor nu influențează în mod spectaculos capacitatea de izolare termică a acestora. Utilizarea materialelor ecologice în procesul de fabricație al compozitelor, au demonstrate că în cazul folosirii fibrelor de bambus, o creștere a densității acestora determină și creșterea valorii coeficientului de conductivitate termică. Ținând cont că materialele utilizate la izolarea termică a clădirilor, trebuie să aibă o densitate cât mai redusă, o serie de studii efectuate au demonstrat că plăcile din fibre ultra ușoare ( $\rho = 56.3 \text{ kg/m}^3$ ), au înregistrat o valoare

mică a coeficientului de conductivitate termică ( $\lambda = 0.035\text{W/mK}$ ). Cercetările efectuate în cazul compozitelor biodegradabile, au arătat că cele mai mici valori ale coeficientului de conductivitate termică ( $\lambda = 0.0412\text{W/mK}$ ) s-au obținut pentru panourile ce conțin în structură aşchii de lemn, fibre textile și fibre de lemn. [ 113]

Țări precum Italia și Ungaria au refuzat utilizarea polistirenului pentru izolarea fațadelor în cazul blocurilor și a clădirilor publice. În Germania sunt reguli foarte stricte privind utilizarea polistirenului la clădirile publice, datorită faptului că prezintă un pericol major în caz de incendii.

În prezent, România, Franța și Germania sunt printre primele țări care au abordat posibilitatea izolării clădirilor utilizând materiale ecologice. Aceste izolații, în funcție de necesități, pot fi din fibră de lemn, fibră de cânepă, stuf sau lână de oaie.

Termoizolațiile din fibră de lemn, cunoscute și sub denumirea de plăci Gutex (Figura 3.23) sunt fabricate și utilizate în Germania de mai mult de 75 de ani. În Germania, Elveția, Italia sau Franța, produsele Gutex sunt utilizate pentru recondiționarea clădirilor patrimoniale și pentru realizarea caselor pasive. Utilizarea acestor plăci din fibră de lemn prezintă următoarele avantaje:

- materie primă și tehnologie de fabricare ecologice;
- protecție termică ridicată atât în timp rece cât și cald;
- produsul finit este o placă omogenă, cu densitate ridicată, tratată și ignifugată pentru izolarea fațadelor;
- mod de punere în operă ușor.



**Fig. 3.23.** Plăci termoizolante din fibră de lemn, Gutex [113]

Pentru termoizolarea acoperișului, a pereților interiori, termoizolarea pereților de tip sandwich la case din lemn, izolarea fonică a pereților și a podelelor, dar și pentru izolarea și realizarea fațadelor ventilate, se recomandă utilizarea termoizolațiilor din cânepă, Thermo-Hanf. Avantajele utilizării acestui produs sunt:

- fabricat din materii prime naturale, utilizând tehnologii moderne și prietenoase cu mediul
- montare ușoară;
- nu irită pielea;
- prelucrare cu minimă emanație de praf;
- nu conține substanțe periculoase mediului sau sănătății;
- nu se tasează în timp, și nu se mucegăiește;
- nu conține albumină, prin, urmare, nu este atacată de molii sau gândaci;
- capacitatea excelentă de difuzie și permeabilitate la vapori de apă, ceea ce determină reglarea umidității;
- eliminarea riscului de producer a condensului și mucegaiului.

Stuful este un material ușor, stabil și accesibil. Aerul din și dintre firele de stuf asigură o izolație termică și fonică bună. Plăcile termoizolante din stuf sunt obținute prin asamblarea tulpinilor de stuf uscat. Asamblarea se realizează prin legarea strânsă a pachetului de stuf, prin intermediul legăturilor din sârmă din oțel zincat. Fixarea se poate realiza cu dibluri din plastic (Figura 3.24) iar aceste plăci pot fi tencuite foarte ușor cu tencuială de argilă, cob sau tencuială de var.



**Fig 3.24.** Izolarea cu pachete de stuf [113]

Utilizarea pachetelor din stuf prezintă următoarelor avantaje:

- eliminarea punților termice;
- reglarea umidității, deci o casă fără mușegai;
- reglarea umidității, deci o casă fără mușegai;
- eliminarea apariției unor fisuri sau de prejudiciu, care constituie cauza majoră de degradare a fațadelor;
- ușor de montat;
- se poate tencui ușor cu orice material natural.

Lâna de oaie, produs natural și ecologic, cu calități termoizolante cunoscute de sute de ani, din 2003 este recunoscută oficial ca material de construcții în Uniunea Europeană sub denumirea de lână Alchimea (Figura 3.25), datorită unui producător german, Alchimea Naturwaren, care a inventat un proces de tratare datorită căruia lâna de oaie s-a îmbunătățit, devenind ignifugă și rezistentă la carii și molii.



**Fig. 3.25.** Lâna de oaie folosită pentru termo și fonoizolare [113]

Avantajele prezentate de acest produs sunt:

- 100% ecologică;
- se procură ușor deoarece în urma tunderii oilor, lâna se regenerează;
- accesibilă utilizării de către persoane alergice și cu afecțiuni pulmonare;
- costuri comparabile cu cele pentru materialele clasice, precum polistirenul sau vata minerală;
- suprafața încrețită a fibrelor de lână face ca termoizolația să devină și un excelent

suport fonoizolant;

- se fabrică în diferite lățimi și grosimi, sub formă de role de fibră omogenă și foarte ușor manevrabile;
- montajul este foarte ușor.

Un alt material de izolare care a devenit foarte cunoscut în ultimii ani sunt baloții din paie. Din punct de vedere chimic, paiele au aceeași compoziție chimică cu lemnul. În Tabelul 3.3 se pot observa valorile rezistențelor termice a mai multor material de izolație [113].

**Tab. 3.3** Rezistența termică a diferite materiale termoizolatoare [113].

Material	Rezistența termică [m <sup>2</sup> K/W]
lână de oaie	2.1-2.7
fibră de sticlă	2.0
vată minerală	2.5
celuloză	2.3
poliester	2.3
polisiren extrudat	3.5
polistiren expandat	2.6
baloți de paie	5.6

Inconveniențele întâlnite la baloții de paie sunt rozătoarele și insectele și umiditatea. Pentru înlăturarea acestor inconveniențe baloții de paie se pot tencui cu un strat gros de tencuială din argilă și streășina acoperișului trebuie să fie la cel puțin 75 cm distanța de perete [113].

### **3.7 Materiale pentru finisaje**

Tencuielile și zugrăvelile sintetice pot fi înlocuite cu vopseaua de var, colorată cu coloranți naturali, sau cu vopseaua structurată pe bază de argilă. Materialele de finisaj clasice sunt fabricate din compuși chimici care sigilează peretele și nu îl lasă să respire acumulându-se în spatele acestuia umezeala care duce la deteriorarea materialului de finisare. Spre deosebire, gletul din var natural pur, este poros, lasă peretele să respire, este antibacterian și fungistatic, e un amestec moale, ușor de aplicat, rezistent la compresiune și se poate aplica atât în interior cât și la exterior.

Tencuielile din argilă și nisip constituie un substrat ideal pentru toate sistemele de acoperire, se prelucrează ușor, sunt deschise la difuziunea aburilor, au capacitate mare de absorbție, reglează climatul locuinței, au rezistența mare la uzură și pot fi

folosite și ca mortar de zidărie.

Pentru tencuirea pereților din pământ, în Germania a fost dezvoltată o tehnică de pulverizare a lutului concomitent cu rumeguș uscat. Se obține astfel un strat compozit cu proprietăți de izolare termică îmbunătățite.

Zugrăveala poate fi realizată din hume colorate cu pigmenți naturali rezultați din măcinarea mineralelor naturale colorate și pastă selecționată de var pur. Cu această zugrăveală se pot finisa și decora tencuielile prezentate anterior, obținându-se un efect rustic deosebit. În Figura 3.26 sunt prezentate două exemple de utilizare a tencuielilor natural decorate cu vopsele și zugrăveli obținute din materii prime ecologice și prin tehnologii prietenoase mediului. Se poate observa cu ușurință multitudinea posibilităților de colorare precum și aspectul deosebit, culorile vii, în armonie cu natura, obținute prin utilizarea zugrăvelilor ecologice. Aceste case, precum și altele peste 20, pot fi admirate în sudul Poloniei, în satul Zalipie, vestit pentru armonia sa cu natura.



**Fig 3.26** Case decorate cu vopsele naturale [9]

Există soluții naturale chiar și pentru încăperile cu aer umed cum ar fi bucătării sau băi, unde este nevoie de un material rezistent la aburi, care să nu permită apariția mucegaiului. Faianța și gresia pot fi înlocuite de un var special, foarte hydraulic, cu o compoziție aparte, originar din Maroc. Acest var, prelucrat corespunzător, după ce se aplică ca o tencuială, se compactează cu o piatră ceramică și se finisează cu săpun și ceara. Se obține o suprafață cu o impermeabilitate foarte ridicată, cu un spect deosebit de frumos și un luciu ridicat. Inițial acest material a fost utilizat pentru etanșarea cisternelor pentru apa de băut, apoi în băile orientale la hammam. Acest material și



tehnica sa de aplicare deosebită a devenit cunoscut în Europa în ultimii 20 de ani sub denumirea de Tadelakt. Figura 3.27 prezintă exemple de pereți finisați cu Tadelakt.

Avantajele finisării pereților cu Tadelakt sunt următoarele: produs mineral, fără adaosuri sintetice, fără miros, stratul obținut este deschis pentru difuziune, rezistent la murdărie, rezistent la apă, hidrofug, rezistent la pete de grăsime și dezinfectant



**Fig. 3.27** Baie în stil marocan finisată cu Tadelakt [11]

Stucul, un amestec de ipsos cu praf de marmură, clei și substanțe minerale colorante, care, prin uscare și lustruire, capătă aspect de marmură, este foarte utilizat în decorarea și amenajarea proiectelor cu inspirație mexicană, atât pentru interior cât și pentru exterior. Teracota ceramică, foarte variată în nuanțe, face un apel la căldura designului rustic mexican și o regăsim cel mai frecvent în accesoriile decorative.

## 4 ELEMENTE DE CHIMIA ARGILELOR

Argilele sunt alcătuite din diferite minerale care se găsesc în stare polidispersă. Un factor important de caracterizare a argilelor, pe lângă compoziția mineralogică, este compoziția granulometrică. Argilele sunt alcătuite din minerale argiloase precum hidrosilicații de aluminiu și minerale accesorii precum: cuarț, mică și feldspat, carbonați alcalino- pământoși de calciu și magneziu, compuși alcalini, ghips, compuși cu fier, silicați complecși și compuși organici. Cuarțul se găsește sub formă de nisip cu dimensiuni mai mari de 0,2micrometri. Feldspatii și mica sunt compuși alcalini. Alți compuși alcalini care pot fi găsiți în argilă sunt: clorurile de sodiu și de potasiu, carnalitul ( $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ), mirabilitul ( $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ ), thenaritul ( $Na_2SO_4$ ) și mai rar azotați alcalini. Ghipsul și substanțele organice de obicei se află în cantități foarte mici și nu afectează proprietățile argilelor.

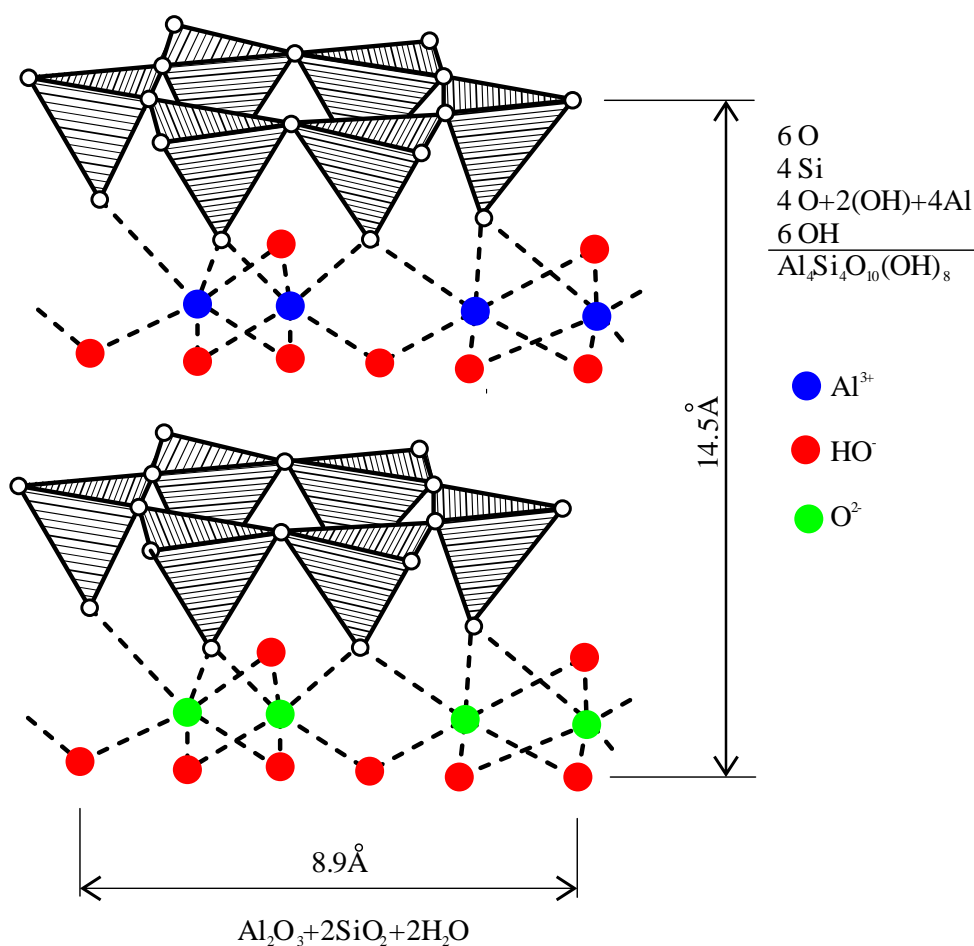
Fierul este un component important din argile și se găsește sub formă de oxizi și hidroxizi sau sub forma de sulfuri și săruri ale oxiacizilor (sulfat, fosfat, carbonat), sau în minerale argiloase feruginoase (biotit feruginos, hidrosilicat de fier  $Fe_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ).

Hidrosilicații de aluminiu pot fi pseudocristalini sau cristalini. Pseudocristalini sunt Alefan  $Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$  și colyrit  $2Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot mH_2O$ . Hidrosilicații cristalini se împart în 2 categorii în funcție de habitusul lor, și anume filitici, cu habitus tubular și fibroși cu habitus fibros, care sunt de interes secundar din punct de vedere al compoziției argilelor.

Mineralele filitice sunt alcătuite din foi elementare reunite în cristale prin forțe Van der Waals. Mineralele argiloase filitice sunt caolinitul, haloisitul, montmorilonitul și ilitul. Acestea sunt principalele minerale conținute de argilă.

Mineralele caolinitice și haloizitice au un tip de foaie elementară alcătuită din tetraedri de  $[SiO_4]^{4-}$  cu bazele în același plan, iar pe fața formată din vârfurile tetraedrilor este legat stratul de octaedri de  $[AlO_2(OH)_4]^{5-}$ , rezultând astfel o foaie elementara de tip diformic. În Figura 4.1 se poate vedea structura caolinitului  $2SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot 2H_2O$ . Așezarea

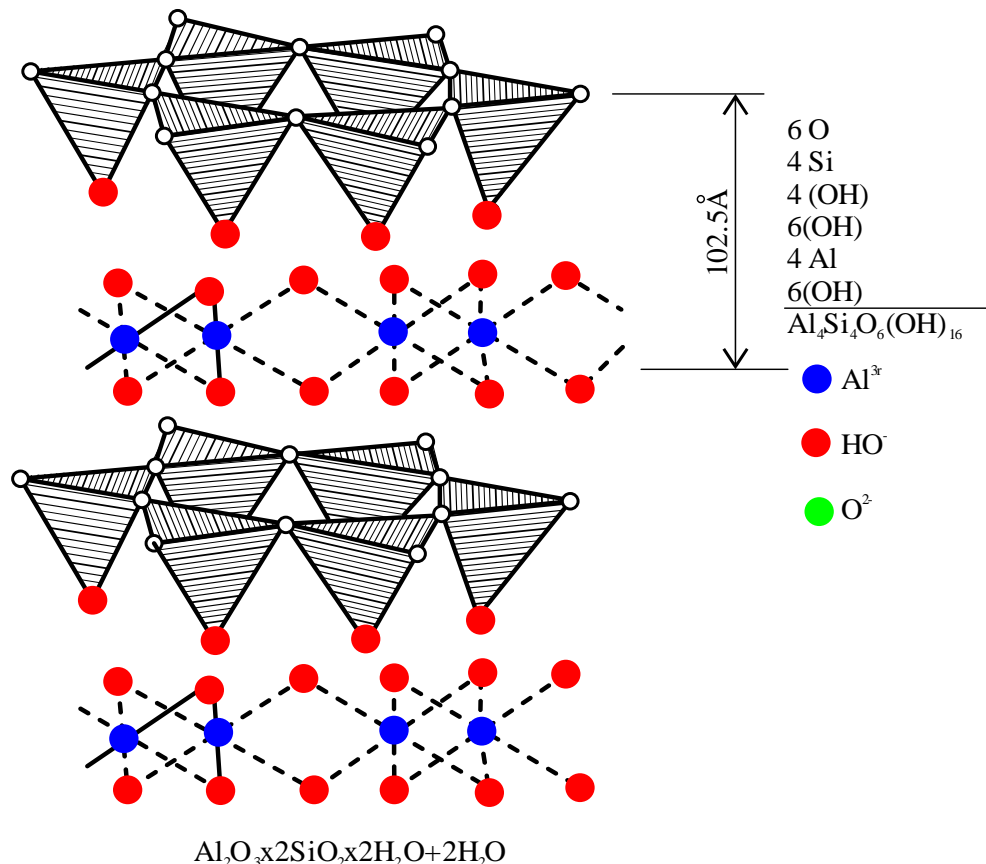
straturilor unele sub altele aranjează pachetul structural sub o anumită înclinare în funcție de care este data stabilitatea diferită a legăturilor. De exemplu, caolinitul cu o înclinare între planurile structurale de  $100^{\circ}12'$ , se dehidroxilează la  $400-500^{\circ}\text{C}$ , iar dichitul cu o înclinare între planuri de  $96^{\circ}50'$  și care face parte din același tip de minerale argiloase, se dehidroxilează la  $510-575^{\circ}\text{C}$ .



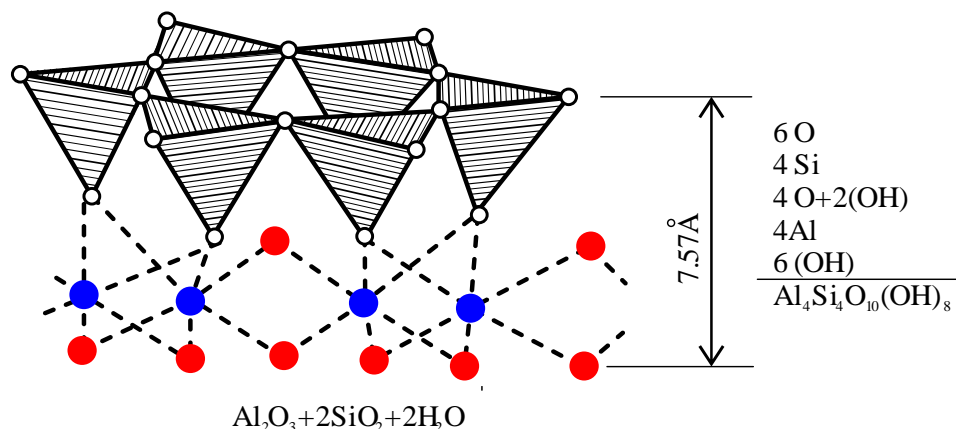
**Fig. 4.1** Structura caolinitului [114]

Haloizitul –  $2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$ , are între foile elementare apă zeolitică legată prin legături de hidrogen care se elimină la  $50-100^{\circ}\text{C}$ . În Figura 4.2 este redată structura haloizitului nedeshidratat iar în Figura 4.3 este structura haloizitului deshidratat.

Mineralele ilitice și montmorilonitice au foaia elementară formată din 3 straturi coordinative formând o structură de tip triformic. Structura montmorilonitului ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{O}$ ) se poate observa în Figura 4.4.

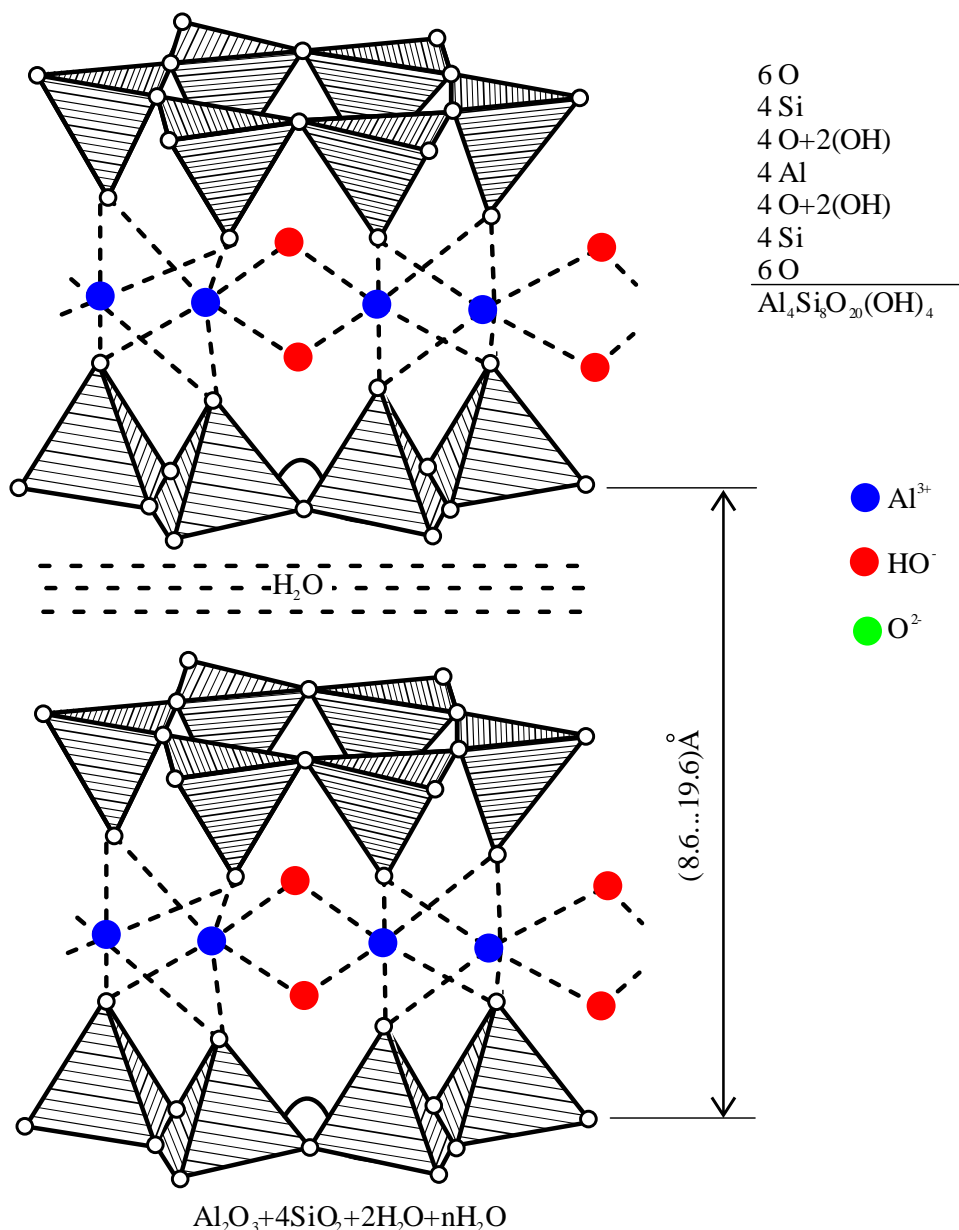


**Fig. 4.2** Structura haloizitului nedeshidratat[114]



**Fig. 4.3** Structura haloizitului deshidratat[114]

Foia elementară este formată din 2 straturi de tetraedri de  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  care sunt dispuși în plan în formă hexagonală, legate între ele prin octaedri de  $[\text{AlO}_4(\text{OH})_2]^{7-}$ . Argilele montmorilonitice absorb apa între foile elementare, în pachete, cu moleculele dispuse hexagonal. Această apă nelegată de foile elementare este variabilă și se elimină



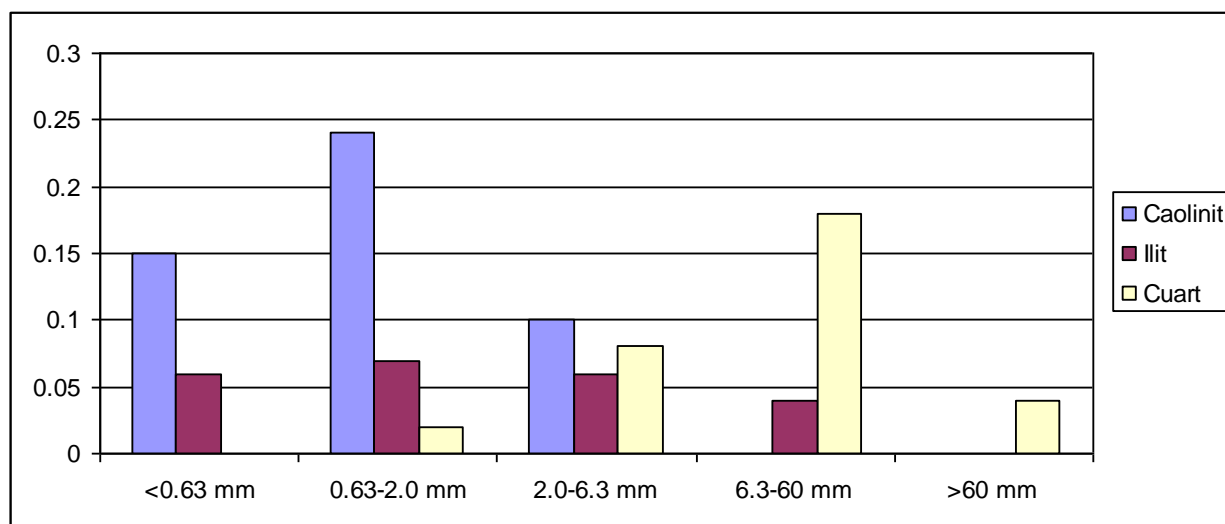
**Fig. 4.4** Structura montmorilonitului[114]

ușor prin încălzire. Apa legată în rețea se elimină mai greu decât la caolinit. Argilele montmorilonitice sunt foarte plastice datorită structurii lor. Aceasta plasticitate se datorează ordonării apei intercalate între foile elementare, care de la o anumită grosime se comportă ca un lubrifiant. Argilele montmorilonitice conțin mai mult  $\text{SiO}_2$  decât caolinitul și haloizitul.

Ilitele se încadrează în grupa hidromicaceelor. Acestea sunt minerale derivate din muscovite. Structura lor este apropiată cu cea a montmorilonitului cu deosebirea că în

ilite, un sfert din ionii de  $\text{Si}^{4+}$  sunt substituiți în tetraedri cu ioni  $\text{Al}^{3+}$ , creându-se astfel sarcini negative suplimentare, neutralizate de ioni  $\text{K}^+$ , plasați între foile elementare. Curba de analiză termică a ilitelor indică un efect endoterm la  $50\text{-}300^{\circ}\text{C}$  corespunzătoare eliminării apei de strat și tot un efect endoterm la  $500\text{-}700^{\circ}\text{C}$  datorită dehidroxilării. Ilitele sunt minerale argiloase foarte plastice și care conțin cantități mari de alcalii.

Mineralele argiloase se găsesc în stare polidispersă iar compoziția lor chimică și mineralogică diferă de la o fracțiune la alta. Ele predomină în fracțiunea fină. În Figura 4.5 se prezintă compoziția chimică a argilelor în funcție de fracțiuni.



**Fig. 4.5** Compoziția chimică a argilelor[114]

Se poate observa conținutul ridicat de  $\text{SiO}_2$  în fracțiunea mai mare de  $6 \mu\text{m}$ , datorită prezenței cuarțului precum și de  $\text{K}_2\text{O}$ , determinat de o proporție mai mare de ilit raportată la mineralele argiloase conținute.

Argilele se înmoaie ușor în apă și se desfac prin deleiere. Umiditatea argilelor variază în funcție de compactitatea sa, natura argilei, de condițiile atmosferice, putând avea valori între 8 % și 25%. Densitatea variază între  $1800 \text{ kg/m}^3$  și  $2000 \text{ kg/m}^3$  în stare umedă iar în stare uscată între  $1400 \text{ kg/m}^3$  și  $1600 \text{ kg/m}^3$ .

## 5 CERCETĂRI EXPERIMENTALE PE COMPONENTE DE PEREȚI

### 5.1 Programul experimental

Dezvoltarea programului de cercetare experimentală este detaliată în Figura 5.1.

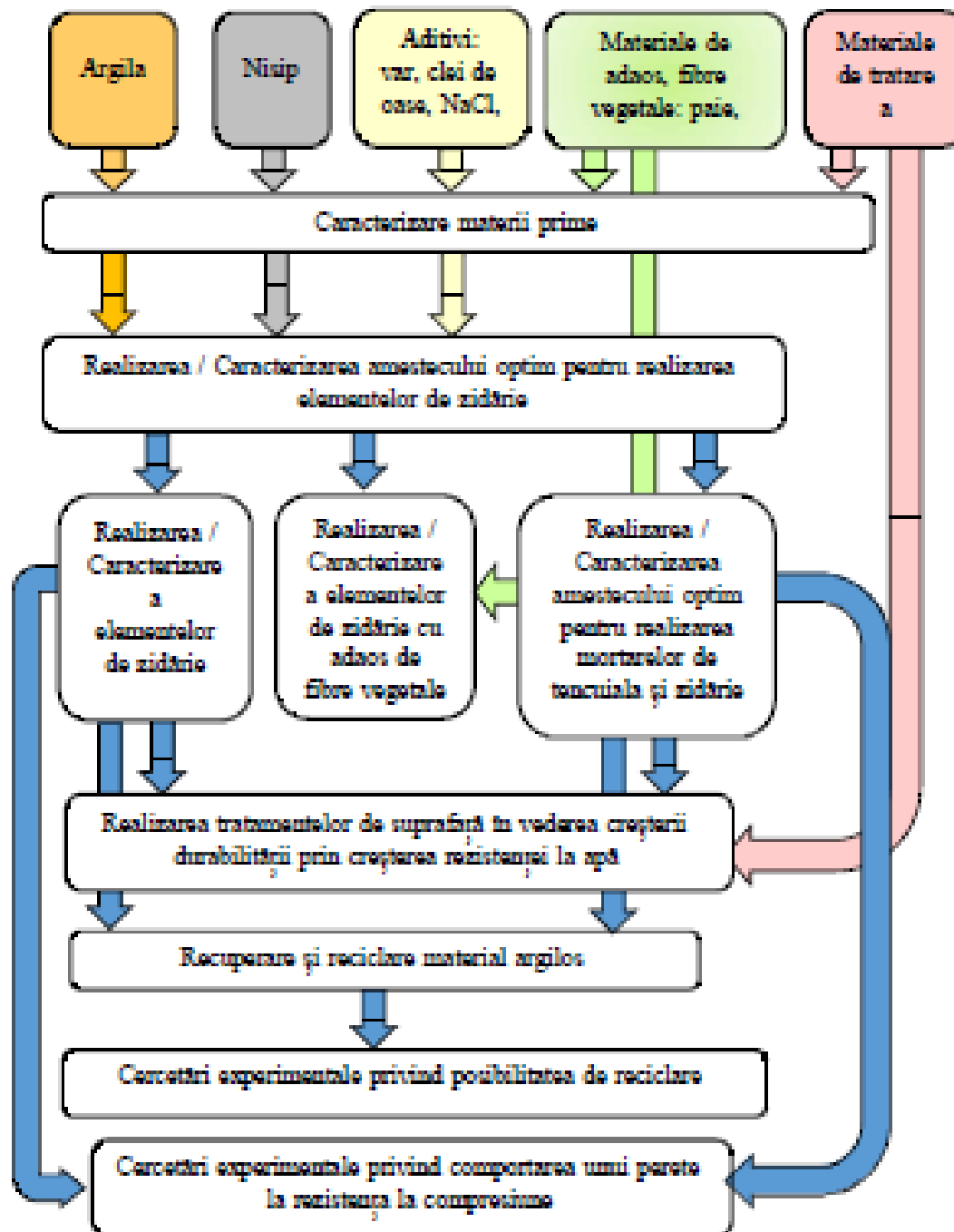


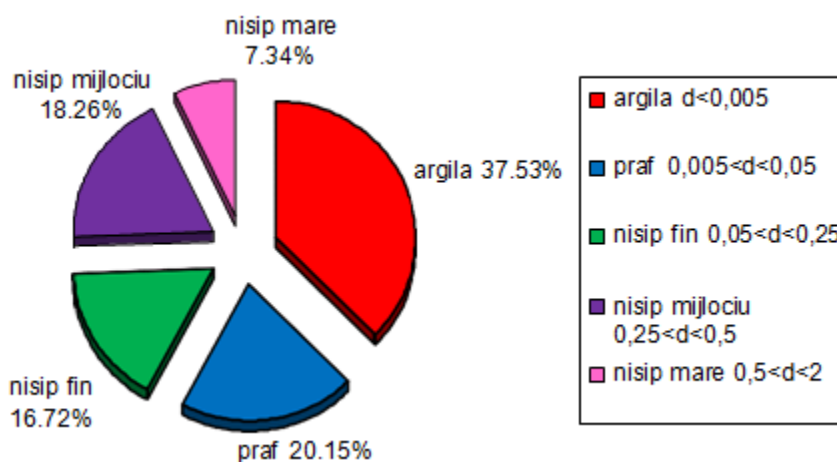
Fig. 5.1 Diagrama de realizare a cercetărilor experimentale

## **5.2 Materiale**

### **5.2.1 Argila**

Termenul uzual de lut nu reprezintă o compoziție standardizată ci semnifică materialul argilos extras din depozitul natural. În funcție de locul de extracție, în compoziția acestuia se regăsesc cantități variabile de argilă, pământ, nisip, agregate, apă. În funcție de raportul acestora sunt definite mai multe tipuri de așa numitul lut. Conform datelor bibliografice o cantitate de min. 5%, dar maxim 50% argilă în materialul extras din depozitul natural este optimă pentru realizarea cărămizilor din argilă nearsă. Argila propriu-zisă este caracterizată ca fiind totalitatea mineralelor argiloase în stare polidispersă din materialul extras din depozitul natural. Aceste minerale argiloase sunt hidrosilicați de aluminiu dispuși în foi elementare caracteristice. Plasticitatea argilelor se datorează în mare parte apei intercalate între foile elementare, care funcționează ca un lubrifiant.

Pentru realizarea amestecurilor experimentale s-a utilizat pământ extras din Valea Drăganului. Determinarea granulometriei s-a efectuat în laboratorul INCERC conform STAS 1913/5-85 [115] prin metoda cernerii. Caracteristicile de granulozitate, în corelare cu datele din literatura de specialitate au indicat ca acest pământ este potrivit scopului ales, adică are o compoziție de tip argilă nisipoasă (Figura 5.2).



**Fig. 5.2** Caracterizarea pământului de tip argilă nisipoasă utilizat

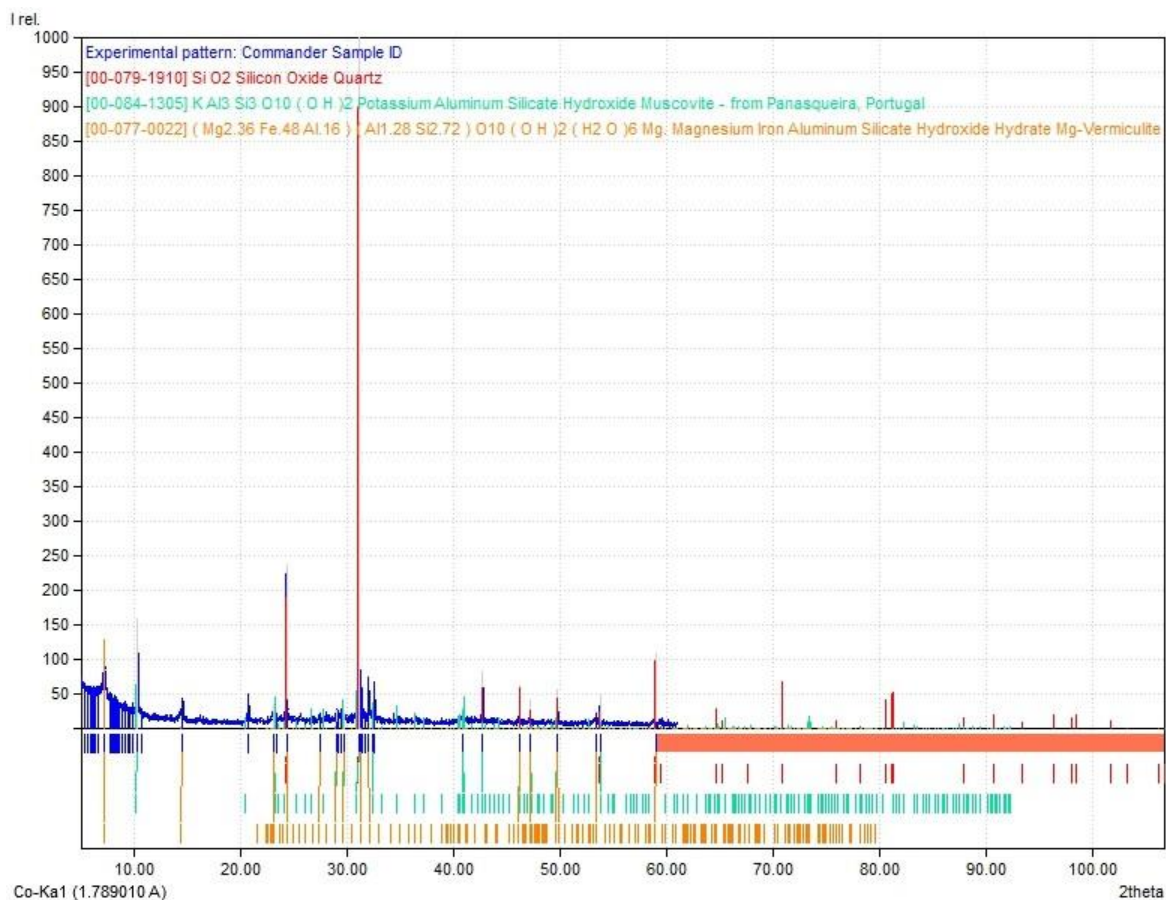
**Tab. 5.1** Compoziția oxidică a argilei

Oxizi	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	PC
Conținutul [%]	74,17	12,74	4,38	0,7	1,0	1,43	0,73	0,05	4,78



Compoziția oxidică a argilei s-a realizat în laboratorul institutului de cercetări și proiectări miniere, MINESA S.A. conform STAS 9163 [116] și corespunde Tabelului 5.2.

Acești oxizi sunt legați între ei formând minerale, care dau proprietățile argilei. Compoziția mineralogică a fost efectuată în laboratorul Facultății de chimie, Universitatea Babeș Bolyai, și este prezentată în Figura 5.3. Conform acesteia, mineralele preponderente sunt: cuarț 66%, muscovit 32,4 % și vermiculite 1,6 %.



**Fig.5.3** Compoziția mineralogică a argilei extrase

După cum s-a arătat la capitolul precedent, argilele montmorilonitice sunt foarte plastice datorită structurii lor. Aceasta plasticitate se datorează ordonării apei intercalate între foile elementare, care se comportă ca un lubrifiant, prin urmare acest tip de argila este potrivit pentru construcții. Scopul studiului din această teză, este de a analiza folosirea argilei ca material de construcții sub formă de corp de zidărie, mortar

de zidărie, tencuială și finisaj.

### **5.2.2 Nisipul**

Nisipul (agregate naturale clasa 0/4 mm) a fost caracterizat prin analiza granulometrică prezentată în Tabelul 5.2. Granulometria nisipului s-a făcut în laboratorul INCD URBAN INCERC Cluj Napoca, conform SR EN 933-1:2002 [117].

**Tab. 5.2** Analiza granulometrică a nisipului

<b>Dimensiunea ochiurilor sitei (mm)</b>	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8
<b>Treceri [%]</b>	0,5	1,6	8,8	28,5	56,9	82,4	98,0	100,0

### **5.2.3 Aditivi și materiale de adaos**

Materialele de adaos utilizate cu rol de aditiv au fost varul pastă, clei de oase, NaCl, NaOH. S-au preparat și amestecuri cu borș în loc de apă, dar pentru ca epruvetele ajunse la umiditate de echilibru au prezentat mucegai, s-a renunțat la utilizarea acestui material.

Varul pastă utilizat a fost analizat conform standardului SR EN 459-2:2011[118] și este caracterizat de datele prezentate în Tabelul 5.3.

**Tab. 5.3** Caracteristicile varului pastă

<b>Finețea de măcinare</b>		<b>Timpul de priza</b>		<b>Apă liberă</b>	<b>Rezistențele mecanice</b>	
<b>rest pe sita de 0,2 mm [%]</b>	<b>rest pe sita de 90 μm [%]</b>	<b>început de priză</b>	<b>sfârșit de priză</b>	<b>[%]</b>	<b>R<sub>f</sub> [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>R<sub>c</sub> [N/mm<sup>2</sup>]</b>
0,84	0,40	120 ore	168 ore	52,9	0,5	1,6

R<sub>f</sub> - rezistența la întindere prin încovoiere R<sub>c</sub> - rezistența la compresiune

NaCl și NaOH utilizate au fost substanțe de puritate maximă, utilizate în mod curent în laborator. Prin dizolvarea în apă a substanțelor cristalizate au fost realizate soluții apoase de concentrație prestabilită.

Cleul de oase utilizat a fost achiziționat din comerț, sub formă granulară și dizolvat în apă.

### **5.2.4 Materiale vegetale**

Paiele sunt un produs agricol. Față de materialele de construcții obișnuite, des folosite, nici producerea lor, nici folosirea lor ca material de construcție dar nici măcar

după demolare nu dăunează mediului înconjurător sau asupra sănătății noastre. S-au folosit paie de grâu. Compoziția lor chimică de bază este de celuloză, la fel ca și copacii.

Paiele, având o absorbție mare de apă, au fost utilizate după ce, în prealabil, au fost imersate în apă timp de o ora, pentru ca să se evite fenomenul de absorbție de apă din matricea argiloasă.

Tulpina de cânepă din care se extrag fibrele este dreaptă și prezintă ramificații la partea inferioară. Lungimea ei este cuprinsă între 1 și 3 m, iar grosimea variază de la 4 la 8 mm. Țesuturile anatomice din coajă sunt mai complexe în comparație cu inul.



*a. fibre de cânepă*



*b. paie de grâu*

**Fig. 5.4** Fibrele utilizate în prepararea amestecurilor

Cânepa este printre primele plante care a fost procesată și folosită de oameni, în urmă cu peste 12000 de ani. Cânepa este o varietate a cannabis-ului care este crescută în special pentru fibre și semințe. Este una dintre plantele cu ritmul de creștere cel mai rapid din lume, în fiecare an obținându-se circa 20 de tone de produs uscat pe hectar. În plus, cânepa este complet ecologică. Cânepa are cea mai mare capacitate de

industrializare dintre toate plantele tehnice: nimic nu se aruncă, totul e valorificat. Ea ne poate oferi multe din materiile prime care sunt necesare funcționării societății noastre. Printre numeroasele caracteristici ale fibrei de cânepă se numără duritatea și durabilitatea ei superioară și rezistența uimitoare la putrezire. În forma compozită cânepa este de 2 ori mai puternică decât lemnul.

### ***5.2.5 Material argilos reciclat***

Materialul argilos reciclat a fost obținut prin recuperarea, sfărâmarea și mărunțirea unor epruvete realizate din amestecul argilos optim, care au fost utilizate anterior în cadrul altor încercări experimentale care nu au necesitat tratarea suprafeței epruvetei cu diverse soluții de impregnare (ulei de in, ceară de albine dizolvată în petrol, ceară de albine dizolvată în ulei de in sicativat, var pasta, var hidraulic, grăsime animală). După ce materialul argilos recuperat a fost adus la un grad de mărunțire satisfăcător, a fost cernut printr-o sită cu dimensiunile ochiurilor de 4 mm. Aceasta sită a fost aleasă deoarece granula maximă a nisipului utilizat la realizarea amestecului inițial (optim) a fost de 4 mm. Astfel s-a considerat că prin sitare nu se vor modifica fracțiunile granulometrice.

## **5.3 Metode de analiză**

### ***5.3.1 Metode de testare amestecuri argiloase pentru cărămizi***

Pentru determinarea parametrilor fizico-mecanici urmăriți au fost realizate epruvete astfel:

- epruvete prismatice 40x40x160 mm pentru determinarea densității aparente, rezistențelor mecanice (rezistența la compresiune  $R_c$  și rezistența la întindere prin încovoiere  $R_f$ ) și contracțiilor axiale conform SR EN 1015-10 [119], SR EN 1015-11 [120];
- epruvete prismatice 300x300x40 mm pentru determinarea conductivității termice,  $\lambda$ , prin metoda termofluxmetrică.

Materialul a fost preparat prin amestecarea manuală a materiilor prime. După

preparare acesta a fost introdus într-un tipar metalic, în straturi succesive, după fiecare strat bătătorindu-se până la reducerea grosimii la jumătate. După decofrare, epruvetele au fost păstrate în condiții de laborator (23°C și 50% URA) până la atingerea umidității de echilibru.

Densitatea aparentă a amestecurilor preparate și întărite s-a determinat conform SR EN 1015-10 [119], ca raportul dintre masa la umiditatea de echilibru și volumul epruvetelor. Umiditatea de echilibru s-a considerat că se obține după 40 zile de păstrare a epruvetelor în condiții de laborator.

Contrația axială a amestecurilor preparate și întărite s-a determinat conform STAS 2634 [121], cu ajutorul aparatului Graff, raportând variația lungimii epruvetei în momentul atingerii umidității de echilibru, la lungimea inițială.

Rezistențele mecanice ale epruvetele din diversele amestecuri realizate s-a făcut conform SR EN 1015-11 [120]. Metoda constă în determinarea rezistențelor la compresiune și încovoiere a epruvetelor de formă prismatică cu dimensiunile de 40x40x160 mm. Ulterior, epruvetele sunt rupte în două jumătăți prin încovoiere și fiecare jumătate este supusă încercării la compresiune. Pentru determinarea rezistenței la încovoiere se utilizează metoda sarcinii concentrate la jumătatea distanței (Figurile 5.5 și 5.6), rezistențele la încovoiere și compresiune calculându-se cu relațiile:

$$R_f = \frac{1,5Fl}{b^3} \quad N/mm^2 \quad (5.1)$$

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad N/mm^2 \quad (5.2)$$

unde:

$R_f$  - rezistența la încovoiere (N/mm<sup>2</sup>);

$b$  – latura secțiunii pătrate a prisme (mm);

$F_f$  – sarcina aplicată la rupere în mijlocul prisme (N);

$l$  – distanța dintre reazeme (mm);

$R_c$  - rezistența la compresiune (N/mm<sup>2</sup>);

$F_c$  – sarcina maximă în momentul ruperii (N);

$1600 = 40 \times 40 \text{ mm}$  – aria platanelor sau a plăcilor auxiliare (mm<sup>2</sup>).



*a. rezistența la încovoiere*



*b. rezistența la compresiune*

**Fig. 5.5** Epruvete în dispozitivele de încercare



**Fig. 5.6** Aspectul epruvetelor după determinarea rezistenței la compresiune

Conductivitatea termică a fost determinată prin metoda termofluxometrică cu diferența de temperatură dintre platane de 10 °C. Proba, uscată pînă la masă constantă, a fost așezată în aparatul pentru determinarea conductivității termice (Figura 5.7). Grosimea probei a fost măsurată automat de către aparat. S-a înregistrat conductivitatea termică a epruvetei.



**Fig. 5.7** Determinarea conductivității termice prin metoda termofluxometrică

### ***5.3.2 Metode de testare amestecuri argiloase pentru mortare***

Pentru determinarea parametrilor fizico-mecanici urmăriți au fost realizate epruvete prismatice 150x150x50 mm din materialul destinat realizării cărămizilor, pe care s-a aplicat un strat de mortar de zidărie și tencuială cu grosimea de 10-20 mm. Determinarea aderenței la suport s-a efectuat prin metoda smulgerii în conformitate cu SR EN 1015-12 [122].

### ***5.3.3 Metode de testare amestecuri argiloase destinate protecției suprafeței pereților din argilă***

După stabilirea compoziției optime pentru realizarea cărămizilor din argilă, din amestecul preparat s-au confecționat epruvete de 2 tipuri: tip cilindru cu diametrul de 75 mm și înălțime de 28 mm și tip dală cu latura de 150 mm și grosime 50 mm. Epruvetele au fost păstrate în condiții de laborator pentru uscare, până la atingerea umidității de echilibru. Ulterior suprafața acestora a fost tratată în vederea impermeabilizării la apă prin două tipuri de tratamente: impregnare și/sau acoperire peliculară, respectiv tratament termic în flacără deschisă (Figura 5.8). Impregnarea suprafețelor s-a realizat utilizând 6 tipuri de soluții: ulei de in, ceară de albine dizolvată în petrol, ceară de albine dizolvată în ulei de in siccativat, var pastă, var hidrolic, grăsime animală. Pentru fiecare tip de epruvete a fost păstrată o serie de epruvete martor a căror suprafață nu a fost tratată în vederea impermeabilizării la apă. Testele experimentale au fost efectuate după 14 zile de la tratarea suprafeței epruvetelor, perioada în care acestea au fost păstrate în condiții de laborator.



**Fig. 5.8** Aspectul epruvetei după tratament termic în flacără deschisă

Pentru investigarea eficacității soluțiilor de creșterea a durabilității prin creșterea rezistenței la acțiunea apei, pe epruvetele astfel pregătite s-au determinat penetrația apei sub presiunea vântului conform NE 001/96[123] și permeabilitatea la vapori de apă conform SR EN ISO 7783-2[124]. Pe durata testelor s-a urmărit vizual apariția modificărilor de aspect.

Permeabilitatea la vapori de apă s-a determinat utilizând epruvetele cilindrice, conform EN 1015-19,[125]. Prin cântăriri succesive la intervale regulate de timp, 24 ore, s-a determinat fluxul vaporilor de apă  $\Delta G/\Delta t$  (kg/s), iar când acesta a ajuns la un regim staționar, s-au calculat conductanța la vapori de apă,  $\Lambda$  ( $\text{kg}/\text{m}^2 \text{sPa}$ ), permeabilitatea la vapori de apă  $W_{vp}$  ( $\text{kg}/\text{msPa}$ ) și factorul de rezistență la vapori de apă  $\mu$  ca fiind egal cu inversul conductanței la vapori de apă, valoare adimensională.

Penetrația apei sub presiunea vântului s-a determinat conform NE 001/96 [123], utilizând epruvetele de tip dală. Pe suprafața acestora s-a aplicat un cilindru gradat cu diametrul 50 mm, în care s-au introdus 140 ml apă. La intervale regulate de timp, 24 ore, s-a înregistrat cantitatea de apă absorbită în epruvetă, și s-a completat apa astfel încât să fie menținut un volum constant de 140 ml, timp 7 zile. Pe baza valorilor înregistrate, s-a calculat coeficientul de penetrație a apei sub presiunea vântului,  $p$  ( $\text{g}/\text{dm}^2 \text{zi}$ ).

#### ***5.3.4 Metode de testare amestecuri argiloase pentru material argilos reciclat***

Pentru îndeplinirea obiectivului propus, acela de a analiza posibilitatea de reciclare a materialului argilos recuperate din elemente de zidărie de tip adobe bricks, s-au realizat, prin turnare în tipare metalice, două tipuri de epruvete:

- epruvete prismatice (40x40x160 mm) pentru determinarea densității aparente a materialului ajuns la umiditate de echilibru, a contracțiilor axiale, a rezistenței de întindere prin încovoiere, și a rezistenței la compresiune;
- epruvete prismatice (300x300x40 mm) pentru determinarea coeficientului de conductivitate termică prin metoda fluxmetrică.

Materialul utilizat pentru pentru realizarea epruvetelor martor a avut inițial o



compoziție stabilită ca fiind optimă prin cercetări experimentale preliminare, și a inclus argilă nisipoasă, nisip 0-4 mm, clei de oase și pastă de var. În acest amestec 35% a reprezentat cantitatea de nisip și 65% cantitatea de liant compus din 97% argilă nisipoasă, 1% clei de oase și 2% var pastă. Cantitatea de apă necesară a fost stabilită tot pe baza unor cercetări preliminare și a fost de 33% raportată la masa materialului uscat.

Distribuția granulometrică a fost considerată ca fiind un parametru deosebit de important deoarece în cazul tuturor argilelor, mineralele componente (hidrosilicații de aluminiu) se află în stare polidispersă .

Compoziția acestui amestec argilos primar a fost modificată ulterior, prin introducerea de fibre vegetale (paie sau fibre de cânepă). Prin cercetări experimentale s-a determinat cantitatea optimă de fibre vegetale introduse, astfel încât să fie obținute performanțe fizico- mecanice cât mai bune: 9-10 % procente de volum fibre de cânepă și 30-40% procente de volum paie. Pentru cercetările efectuate și prezentate în această lucrare s-au utilizat limitele inferioare ale adaosurilor optime de fibre vegetale, respectiv 9% fibre de cânepă și 30% paie, procente de volum. Fibrele de cânepă au fost utilizate ca atare. Paiele, având o absorbție mare de apă, în prealabil, au fost imersate în apă timp de o oră, pentru ca să se evite fenomenul absorbției de apă din matricea argiloasă.

Prin urmare, au fost realizate 3 seturi de epruvete martor: amestec optim, amestec optim cu adaos de paie și amestec optim cu adaos de fibre de cânepă.

Materialul argilos reciclat a fost amestecat cu apa, în aceleași proporții ca și în cazul epruvetelor martor. Ulterior, au fost realizate 3 seturi de epruvete astfel: epruvete din material argilos reciclat, epruvete din material argilos reciclat cu adaos de paie și epruvete din material argilos reciclat cu adaos de fibre de cânepă. Cantitățile de adaosuri vegetale introduse de această dată, au fost egale cu cele utilizate la realizarea epruvetelor martor.

Toate epruvetele au fost lăsate ca, prin uscarea naturală, să atingă umiditatea de echilibru. Pe parcursul uscării au fost urmărite aspectul, apariția fisurilor și contracțiile axiale. Ulterior, au fost determinate celelalte caracteristici fizico-mecanice: densitate

aparenta, rezistențe mecanice și conductivitate termică.

Datorită caracterului specific neomogen al materiilor prime, pentru compararea rezultatelor s-a considerat ca fiind satisfăcătoare o variație de  $\pm 10\%$  a valorii parametrului înregistrat pentru probele din material reciclat, comparativ cu epruvetele martor.

#### **5.4 Stabilirea cantității optime de nisip din amestecurile argiloase**

În acest scop au fost realizate amestecuri de pământ cu nisip și apă, așa cum se arată în Tabelul 5.4. Din amestecurile prezentate s-au confecționat epruvete prismatice 4x4x16 mm pentru o serie de cercetări experimentale preliminare. Acestea au fost efectuate în scopul stabilirii unei compoziții optime din punct de vedere a rezistențelor fizico-mecanice.

**Tab. 5.4** Compoziția amestecurilor testate experimental

<b>Nr. epruvetă</b>	<b>Pământ [% din cantitatea totală de material uscat]</b>	<b>Nisip [% din cantitatea totală de material uscat]</b>	<b>Apă [% raportat la cantitatea de material uscat]</b>
1	100	0	33
2	70	30	33
3	67	33	33
4	65	35	33
5	60	40	33
6	55	45	33
7	50	50	33
8	45	55	33
9	35	65	33
10	30	70	33
11	25	75	33
12	20	80	33

În Figura 5.9 sunt prezentate imagini ale epruvetelor realizate, uscate până la atingerea umidității de echilibru.

Valorile densităților aparente și contracțiile axiale sunt prezentate în Tabelul 5.5 și în graficul din Figura 5.10.



Fig. 5.9 Exemple de epruvete realizate din amestecurile de pământ – nisip - apă

Tab. 5.5 Densitatea aparentă și contracțiile axiale ale epruvetelor de argilă, nisip și apă

Nr. epruvetă	Pământ [% din cantitatea totală de material uscat]	Nisip [% din cantitatea totală de material uscat]	Densitatea aparentă [kg/m <sup>3</sup> ]	Contracții axiale [mm/100mm]
1	100	0	1600	9,20
2	70	30	1865	6,78
3	67	33	1880	6,70
4	65	35	1880	6,51
5	60	40	1895	5,72
6	55	45	1910	5,34
7	50	50	1940	4,61
8	45	55	1960	4,57
9	35	65	2080	3,18
10	30	70	2090	2,05
11	25	75	3005	1,31
12	20	80	3020	0,54

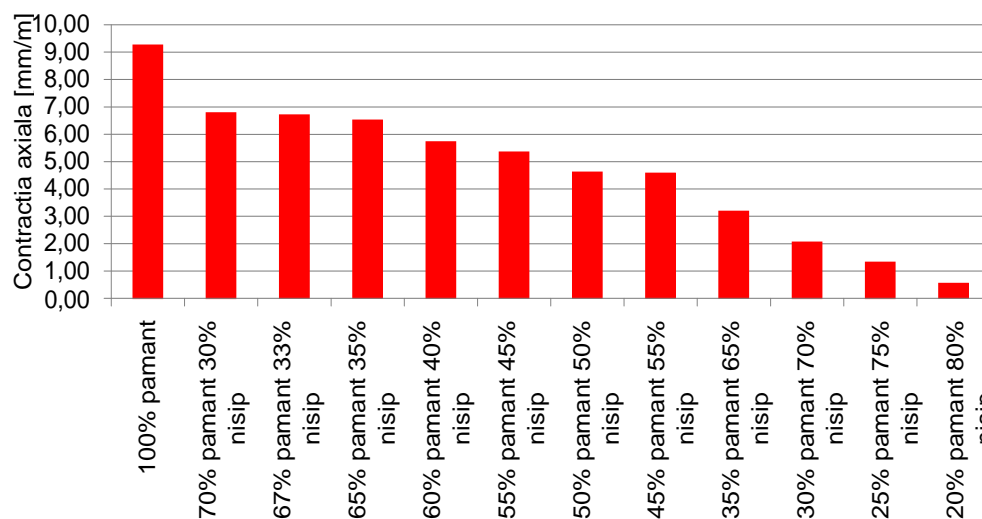


Fig. 5.10 Contracția axială a amestecurilor întărite la umiditate de echilibru

S-a constatat că din punct de vedere a contracțiilor axiale, toate amestecurile testate se încadrează în limitele indicate ca fiind admisibile în literatura de specialitate. Analizând aspectul epruvetelor aflate la umiditatea de echilibru și valorile contracțiilor axiale ale acestora, se poate spune că, cantitatea de apă utilizată la prepararea amestecului a fost suficient de multă pentru asigurarea lucrabilității pe de o parte, dar și îndeajuns de puțină astfel încât să nu determine apariția fisurilor.

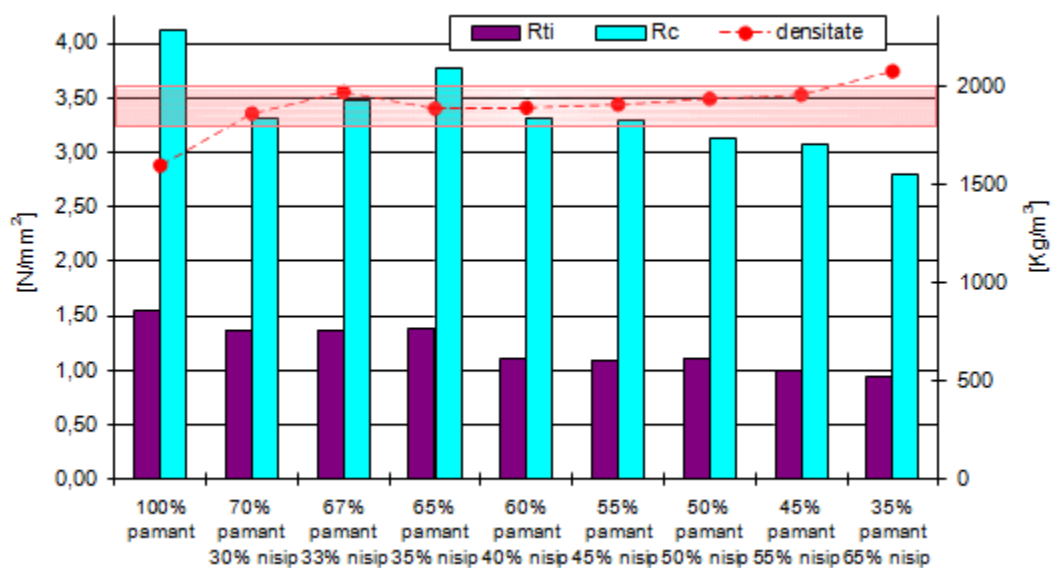
Pe baza rezultatelor prezentate în grafic, se mai poate spune și că nisipul introdus în amestec are o influență mare asupra contracțiilor axiale. Cu cât cantitatea de nisip este mai mare, cu atât contracțiile axiale sunt mai reduse. Mai precis, amestecul conținând 30% nisip are o contracție axială de 6,78 mm/ 100 mm, iar amestecul care conține 80% nisip, a prezentat doar 0,54 mm / 100 mm contracție axială.

Epruvetele realizate din amestecul cu 35% nisip au prezentat contracții axiale cu 42% mai reduse decât epruvetele realizate din pământ fără adaos de nisip.

**Tab. 5.6** Rezistențele mecanice ale epruvetelor din argilă și nisip

Nr. epruvetă	Pământ [% din cantitatea totală de material uscat]	Nisip [% din cantitatea totală de material uscat]	Rezistența la încovoiere [N/mm <sup>2</sup> ]	Rezistența la compresiune [N/mm <sup>2</sup> ]
1	100	0	1,54	4,13
2	70	30	1,37	3,31
3	67	33	1,36	3,37
4	65	35	1,39	3,77
5	60	40	1,11	3,32
6	55	45	1,09	3,30
7	50	50	1,11	3,13
8	45	55	0,99	3,07
9	35	65	0,97	2,79
10	30	70	0,95	2,70
11	25	75	0,92	2,05
12	20	80	0,89	1,22

În graficul din Figura 5.11 sunt prezentate variațiile rezistențelor mecanice și a densității în funcție de procentul de nisip din amestecul de argilă și nisip.



**Fig. 5.11** Rezultate exepimentale privind rezistența la întindere prin încovoiere ( $R_{ti}$ ), rezistența la compresiune ( $R_c$ ) și densitatea epruvetelor din amestecurile întărite la umiditate de echilibru

Așa cum se observă în grafic, o cantitate prea mare de nisip poate influența în mod negativ rezistențele mecanice ale epruvetelor. Astfel, se observă o creștere a rezistențelor mecanice la compresiune și întindere prin încovoiere pe măsură ce cantitatea de nisip din amestec crește de la 30% la 35%. Amestecul cu 65% pământ și 35% nisip prezintă cele mai mari rezistențe la compresiune și întindere prin încovoiere. O creștere peste 35% a cantității de nisip din amestec determină reducerea rezistențelor mecanice. Astfel:

- rezistența la întindere prin încovoiere a amestecului cu 35% nisip este cu 1,4% mai mare decât valorile înregistrate pentru amestecurile cu 30% și 33% nisip și cu valori cuprinse între 20% și 30% mai mare față de a amestecurilor cu 40-65% nisip.
- rezistența la compresiune a amestecului cu 35% nisip este cu 12%, respectiv cu 8% mai mare decât a amestecurilor cu 30%, respectiv 33% nisip și cu valori cuprinse între 11% și 26% mai mare față de a amestecurilor cu 40-65% nisip.

Pe de altă parte, o cantitate de nisip în amestec mai mare de 35% va determina

creșterea densității aparente a epruvetelor la umiditatea de echilibru.

Literatura de specialitate indică o densitate optimă cuprinsă în intervalul 1800 – 2000 kg/m<sup>3</sup>. Amestecurile de argilă cu valorile densităților cuprinse în intervalul respectiv au proprietatea foarte importantă de a înmagazina căldura și apoi de a o ceda, cu cel mai bun randament. După cum se poate vedea în graficul din Figura 5.11, majoritatea amestecurilor testate se încadrează în aceste limite, excepție făcând pământul fără nisip a cărui densitate aparentă a fost de 1600 kg/m<sup>3</sup> și amestecul format din 35% pământ, 65% nisip a cărui densitate aparentă este de 2080 kg/m<sup>3</sup>.

Amestecul cu 35% nisip, care a prezentat cele mai mari rezistențe mecanice, are o densitate aparentă la umiditatea de echilibru de 1890 kg/m<sup>3</sup>, cu puțin peste limita inferioară a intervalului recomandat în literatura de specialitate.

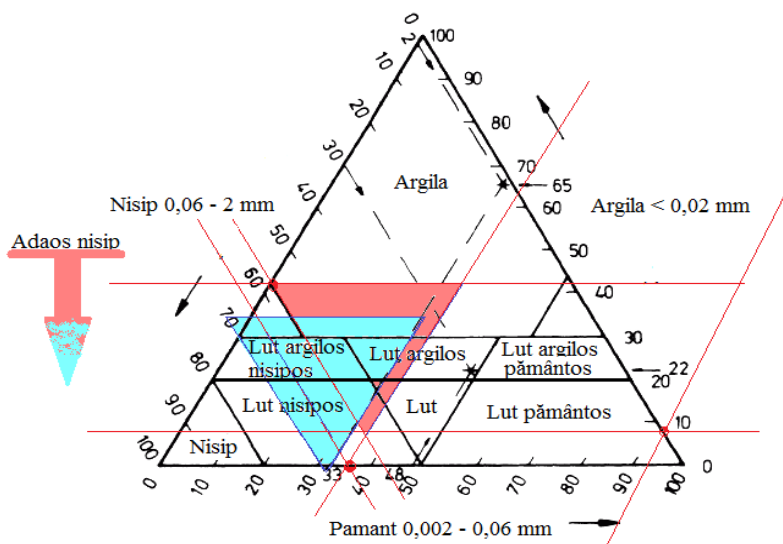
S-au preparat și amestecuri de argilă cu nisip și agregate sort 4/8 mm și 8/16 mm. La amestecurile cu sorturi de granulometrie mai mare s-a obținut rezistențe mecanice mai mici față de cele în care s-a adăugat numai nisip, sort 0/4 mm. Aceasta se explică prin faptul că pasta de argilă nu interacționează și nu aderă la suprafața granulelor, precum betonul, granulele de piatră întrerup matricea pastei de argilă ceea ce o face să devină mai casantă.

Pe baza rezultatelor obținute experimental, ținând cont de faptul că nu s-a variat cantitatea de apă, s-au constatat următoarele:

- adaosul de nisip are influențe pozitive reducând contracțiile axiale și astfel, riscul apariției fisurilor;
- toate amestecurile de pământ – nisip – apă s-au încadrat în limitele maxime recomandate de literatura de specialitate referitoare la contracțiile axiale;
- cantitatea de apă utilizată a asigurat lucrabilitatea necesară realizării epruvetelor din amestecurile de pământ și nisip;
- analiza vizuală a epruvetelor în momentul atingerii umidității de echilibru nu a pus în evidență apariția fisurilor;
- rezistența la compresiune și rezistența la întindere prin încovoiere a epruvetelor testate la umiditatea de echilibru a fost influențată de cantitatea de nisip introdusă în amestec;

astfel, inițial se observa o scădere a rezistențelor mecanice ale amestecurilor cu nisip, comparative cu cele ale epruvetelor din pământ 100%, scădere care este mai mică sau mai mare, în funcție de cantitatea de nisip din amestec;

- în cazul epruvetelor realizate din amestecuri de pământ – nisip – apă, valorile maxime ale rezistențelor mecanice sunt obținute pentru varianta 65% pământ – 35% nisip, valori care satisfac condițiile limită impuse de diversele standarde, așa cum au fost prezentate în prima parte a lucrării; deși inițial s-a contatat un trend crescător a valorilor rezistențelor mecanice în intervalul 30-35% nisip, creșterea cantității de nisip peste 35% determină reducerea rezistențelor mecanice cu atât mai mult cu cât cantitatea de nisip este mai mare;
- densitatea aparentă este influențată în mod pozitiv de adaosul controlat de nisip; epruvetele din pământ 100% au prezentat o densitate aparentă sub limita admisibilă indicată în literatura de specialitate ( $1600 \text{ kg/m}^3$  față de  $1800 \text{ kg/m}^3$ ); cu toate acestea, densitatea aparentă crește ușor odată cu creșterea conținutului de nisip al amestecului, ajungând să depășească valoarea limită maxim admisibilă indicată în literatura de specialitate ( $2080 \text{ kg/m}^3$  față de  $2000 \text{ kg/m}^3$ ); densitățile aparente obținute pentru amestecurile analizate sunt comparative cu densitățile aparente ale cărămidzilor ceramice pline.



**Fig. 5.12** Diagrama cu granulometria argilei pure (triunghi roz) și amestecului de argilă cu 35% nisip (triunghi albastru). Se observă deplasarea triunghiului la adaosul de nisip

În urma acestui studiu s-a identificat că amestecul cu 35% conținut de nisip este cel mai favorabil deoarece îmbină următoarele performanțe: densitate aparentă suficient de mare pentru asigurarea unei inerții termice satisfăcătoare, lipsa fisurilor și contracții axiale suficient de reduse concomitent cu rezistențe mecanice satisfăcătoare pentru domeniul de utilizare preconizat.

Conform diagramei din Figura 5.12 se poate observa deplasarea granulometriei compoziției optime a argilei față de argila extrasă, prin deplasarea triunghiului roz la triunghiul albastru.

### **5.5 Influența aditivilor și a materialelor de adaos. Identificarea amestecului argilos optim**

Scopul acestui studiu a fost de a analiza potențialul pe care îl au diverse materiale utilizate ca adaos (nisip, var pastă, clei de oase, NaCl, NaOH), de a îmbunătăți proprietățile fizico- mecanice a pământului de tip argilă nisipoasă (contracții axiale, densitate, rezistențe mecanice).

Obiectivul major al acestui studiu a fost de a stabili o compoziție a amestecului argilos în care prin controlarea cantităților de argilă, nisip și materiale de adaos introduse să fie atinse contracții axiale cât mai reduse și rezistențe mecanice cât mai mari. Suplimentar dar obligatoriu, s-au impus condiții de lipsă a fisurilor și o densitate aparentă a materialului, uscat până la atingerea umidității de echilibru, care să se încadreze în limitele specificate de literatura de specialitate ca fiind potrivită pentru realizarea pereților din cărămizi de pământ eficienți din punct de vedere termic.

În acest scop, au fost realizate amestecuri de pământ cu materiale de adaos, fiecare codificate, așa cum se arată în Tabelul 5.7. Din aceste amestecuri s-au confecționat epruvete prismatice 40x40x160 mm pentru o serie de studii experimentale. Acestea au fost efectuate în scopul stabilirii unui raport optim de pământ – material de adaos, din punct de vedere a rezistențelor mecanice, densității, contracțiilor axiale.



**Tab. 5.7** Compoziția amestecurilor testate experimental

<b>Nr. epruvetă</b>	<b>Pământ [% din cantitatea totală de material uscat]</b>	<b>Nisip [% din cantitatea totală de material uscat]</b>	<b>Var pastă [% din cantitatea totală de material uscat]</b>	<b>Lichid de amestec [33 % raportat la cantitatea de material uscat]</b>
1	100	0	-	apă
2	70	30	-	apă
3	67	33	-	apă
4	65	35	-	apă
5	60	40	-	apă
6	55	45	-	apă
7	50	50	-	apă
8	45	55	-	apă
9	35	65	-	apă
10	30	70	-	apă
11	25	75	-	apă
12	20	80	-	apă
15	100	-	-	soluție 3% NaCl
16	100	-	-	soluție 13% NaCl
17	100	-	-	soluție 3% NaOH
19	100	-	-	soluție 0,7% clei de oase
33	100	-	-	soluție 1,25% clei de oase
20	100	-	-	soluție 3% clei de oase
21	100	-	-	soluție 0,6% clei de oase și 2,6% NaOH
22	100	-	-	soluție 1% clei de oase și 1,5% NaOH
23	100	-	-	soluție 1,5% clei de oase și 2% NaOH
24	100	-	-	soluție 3% clei de oase și 1% NaOH
25	99	-	1	apă
26	98	-	2	apă
27	97	-	3	apă
28	96	-	4	apă
29	95	-	5	apă
30	94	-	6	apă
31	93	-	7	apă

În Figura 5.13 sunt prezentate exemple de epruvete realizate din amestecurile de pământ – adaosuri, conform Tabelului 5.7.

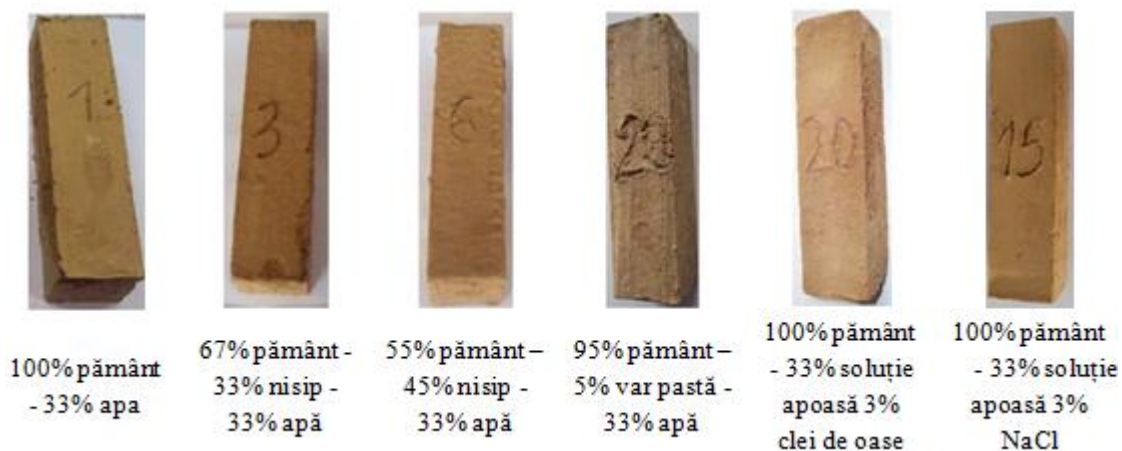
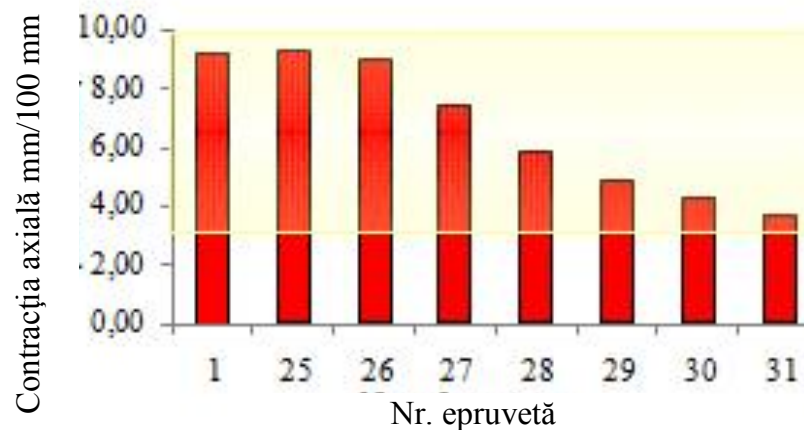
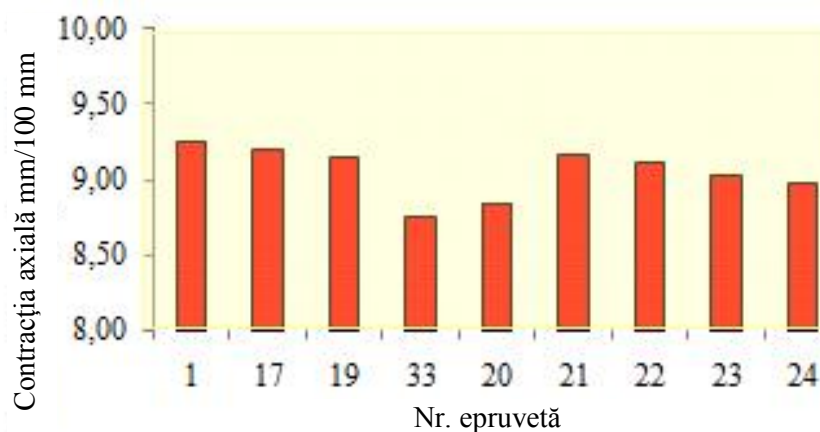


Fig. 5.13 Exemple de epruvete realizate din amestecurile de pământ cu diferite adaosuri



a. argilă nisipoasă cu var pastă



b. argilă nisipoasă cu clei de oase și/sau NaOH

Fig. 5.14 Contrații axiale ale amestecurilor

În graficele din Figura 5.14 sunt prezentate rezultatele experimentale obținute pentru determinarea contracțiilor axiale.

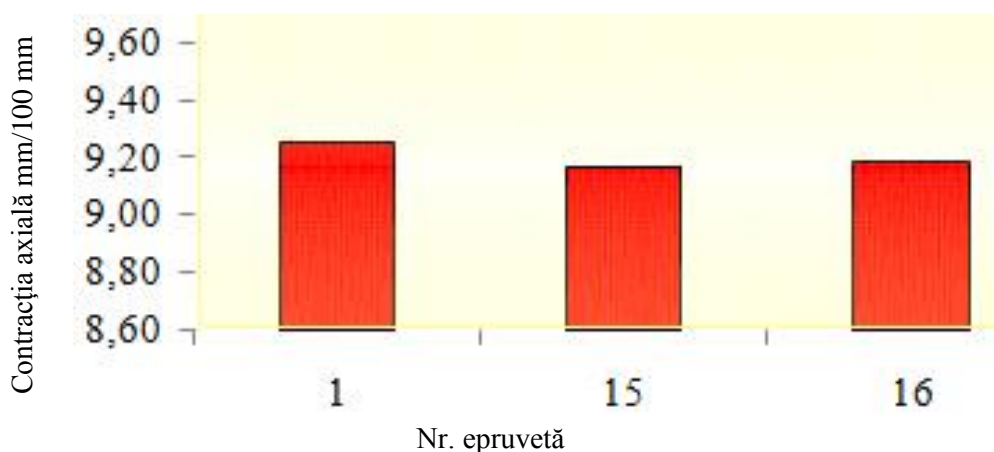
Așa cum este prezentat în graficul din Figura 5.14.a, creșterea adaosului de var pastă contribuie la reducerea contracțiilor axiale, dar în mai mică măsură decât nisipul. Astfel, adaosuri de 1-2 % var pastă (amestecurile 25 și 26) nu contribuie în mod semnificativ la reducerea contracțiilor axiale ale amestecului, acestea având valori apropiate de cele ale probelor martor (amestec 1). Cantități de 3-9% (amestecurile 27-31) var pastă adăugate în amestec contribuie la reducerea contracțiilor axiale, cu atât mai mult cu cât cantitatea de var pastă este mai mare.

Introducerea NaOH și cleiului de oase s-a realizat atât separat, cât și simultan. Substituirea apei de amestec cu soluție 3% de NaOH (amestec 17) a contribuit semnificativ la creșterea lucrabilității și plasticității materialului, epruvetele obținute având suprafețe mai netede comparativ cu amestecul martor (amestec 1), dar nu a influențat semnificativ contracțiile axiale înregistrate, așa cum se poate observa din Figura 5.14.b.

Utilizarea unei soluții de clei de oase dizolvat în apă în locul apei de amestec a contribuit de asemenea la creșterea lucrabilității și plasticității materialului, dar, o concentrație de aproximativ 1,25% clei de oase în apă (amestecul 33) a determinat cele mai bune reduceri a contracțiilor axiale, comparativ cu proba martor (amestec 1) dar și comparativ cu probele similare preparate cu soluții cu concentrația de 0,7% și 3% clei de oase (amestecul 19 și 20), așa cum este prezentat în Figura 5.14.b. Se poate spune în acest caz că, concentrația cea mai potrivită de clei de oase dizolvat în apa de amestecare este de aproximativ 1,25%, concentrații mai mici sau mai mari determinând un trend crescător a contracțiilor axiale.

Deoarece dizolvarea cleiului de oase a fost dificilă (de lungă durată și impunând încălzirea apei), în continuare s-a analizat posibilitatea îmbunătățirii acestui aspect prin reducerea timpului necesar pentru dizolvarea completă și eliminarea necesității încălzirii solventului (apei). Astfel, au fost realizate 4 amestecuri (amestecurile 21-24) la care apa de amestecare a fost substituită cu soluții de NaOH în care s-a dizolvat cleiul de

oase. Acest procedeu a fost ales datorită influențelor similare pe care le au NaOH și cleiul de oase asupra lucrabilității și plasticității amestecului. Pe baza rezultatelor prezentate în Figura 5.14.b s-a putut spune că, un echilibru între ușurinta dizolvării cleiului de oase și reducerea contracțiilor axiale a fost realizat pentru un amestec la care apa de amestecare a fost substituită cu o soluție cu cantitate mică de NaOH și mai mare de clei de oase, respectiv o soluție de 1% NaOH și 3% clei de oase (amestecul 24). Valori comparative ale contracțiilor axiale au fost înregistrate și pentru amestecul 23 la prepararea căruia apa de amestecare a fost substituită cu o soluție de 2% NaOH și 1,5% clei de oase. În acest context, s-a considerat că sunt necesare studii mai amănunțite pentru stabilirea compoziției finale de NaOH și clei de oase care să substituie apa de amestecare astfel încât rezultatele obținute să fie optime.

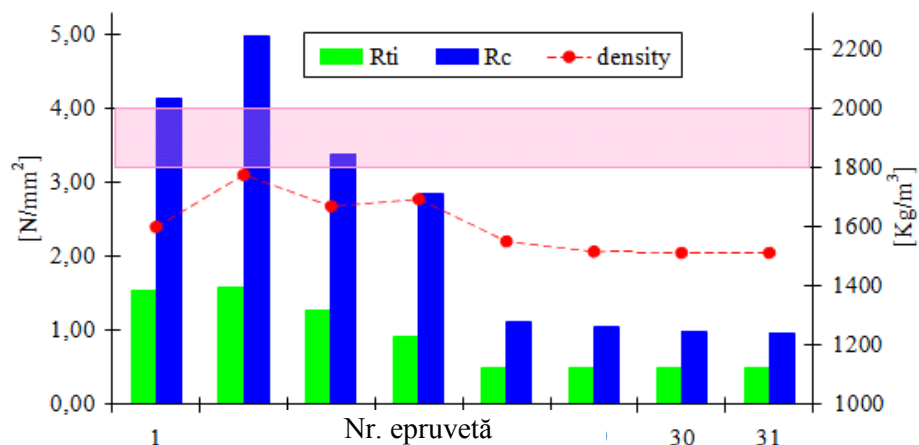


**Fig. 5.15** Contrații axiale ale amestecurilor argilă nisipoasă cu NaCl

Utilizarea soluțiilor de NaCl în locul apei (amestecurile 15 și 16) nu influențează în mod semnificativ contracțiile axiale ale amestecurilor, comparativ cu proba martor (amestec 1), așa cum se poate observa și din Figura 5.16. Într-adevar, odată cu substituirea apei cu soluțiile de NaCl s-a observat o reducere a vitezei de uscare a epruvetelor comparativ cu viteza de uscare a probei martor, fără beneficii semnificative însă din punct de vedere a reducerii contracțiilor axiale. Deoarece nu au fost semnalate vizual fisuri nici la epruvetele martor (amestec 1), nu se poate consemna dacă utilizarea soluțiilor de NaCl contribuie pozitiv la îmbunătățirea acestui aspect, dar se poate

consemna apariția fenomenului negativ de “înflorire” (depozite de NaCl cristalizat la suprafața epruvetelor) în cazul amestecului pregătit cu soluție mai concentrată de NaCl (amestec 16 cu 13% sare).

Odată cu introducerea varului pasta alături de argila nisipoasă, păstrând cantitatea de apă de amestec constantă, așa cum este prezentat în Figura 5.16, s-a observat o ușoară creștere a densității pentru epruvetele realizate cu 1% var pasta (amestecul 25). Aceasta a fost urmată de un trend continuu descendent al densității aparente, odată cu creșterea cantității de var pastă din amestec (amestecurile 26-31). Nici unul din amestecurile realizate nu s-au încadrat în limitele de densitate aparentă recomandate în literatura de specialitate, valorile înregistrate fiind sub limita minimă de 1800 kg/m<sup>3</sup>.



**Fig. 5.16** Densitate aparentă în stare întărită și rezistențe mecanice ale amestecurilor de pământ tip argilă nisipoasă cu var pastă

Rezistențele mecanice înregistrate pentru epruvetele cu var pastă (Figura 5.16) se încadrează într-un trend descendent asemănător densității aparente corespunzătoare. Se remarcă o ușoară creștere a rezistenței la întindere prin încovoiere (2,6%) și o creștere mai mare a rezistenței la compresiune (20,5%) corespunzătoare amestecului cu 1% var pastă, comparativ cu cele înregistrate pentru amestecul pământ – apă, considerat martor (amestecul 1). Această creștere a rezistențelor mecanice este urmată însă de o reducere a lor cu valori cuprinse între 17% și 68% pentru rezistența la încovoiere și 18% - 76% pentru rezistența la compresiune, în cazul amestecurilor realizate cu adaos de 2-9% var

pastă (amestecurile 26-31).

Cumulând rezultatele experimentale obținute privind contracțiile axiale, rezistențele mecanice și densitatea aparentă, se poate spune că, în cazul utilizării varului pastă ca și material unic de adaos, rezultatele nu sunt satisfăcătoare deoarece contracțiile axiale sunt reduse pentru adaosuri de peste 2% var pastă, ceea ce însă induce reducerea mare a rezistențelor mecanice. O posibilă explicație a rezistențelor mecanice mai reduse pentru amestecurile cu var pastă poate fi faptul că epruvetele au fost testate odată ce au atins umiditatea de echilibru. Varul pastă fiind un liant aerian, este posibil să dezvolte rezistențe mecanice mai mari după perioade mai îndelungate de timp.

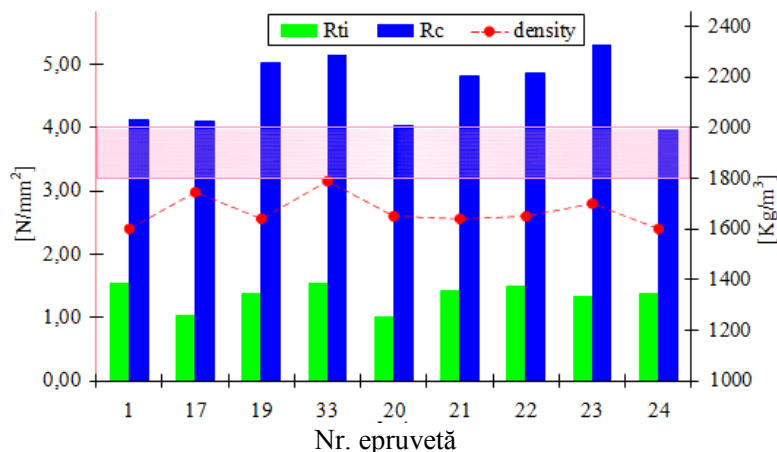
Comparând rezultatele experimentale obținute pentru amestecurile de pământ cu var pastă cu valorile limită admisibile indicate în documentația de specialitate s-a constatat că un adaos de maxim 3% var în amestec păstrează rezistența la compresiune în limite care să satisfacă condițiile impuse de Codul ASTM D1 633-00 New Mexico[126], Codul referitor la pereți din pământ bătătorit din Zimbabwe[127], Standardul Australian, ASTM Internațional E2392/E2392M-10e1 [128] și în valorile indicate de ACI Material.

Deoarece în literatura de specialitate există informații privind avantajele utilizării acestui material de adaos, se consideră că sunt necesare studii suplimentare care să fie realizate asupra unor amestecuri de pământ de tip argilă nisipoasă – nisip – var pastă în proporție de 2-3%, combinând astfel avantajele nisipului (reducerea contracțiilor axiale, creșterea densității aparente și rezistențe mecanice dezvoltate în timp scurt la valori satisfăcătoare) cu avantajele varului pastă (îmbunătățirea aderenței, dezvoltarea unor rezistențe mecanice după perioade mai mari de la punerea în operă și îmbunătățirea comportării la apă).

Conform rezultatelor obținute, se poate spune că celelalte materiale de adaos utilizate în acest studiu nu influențează densitatea aparentă a amestecului întărit în așa fel încât aceasta să se încadreze în limitele specificate de literatura de specialitate.

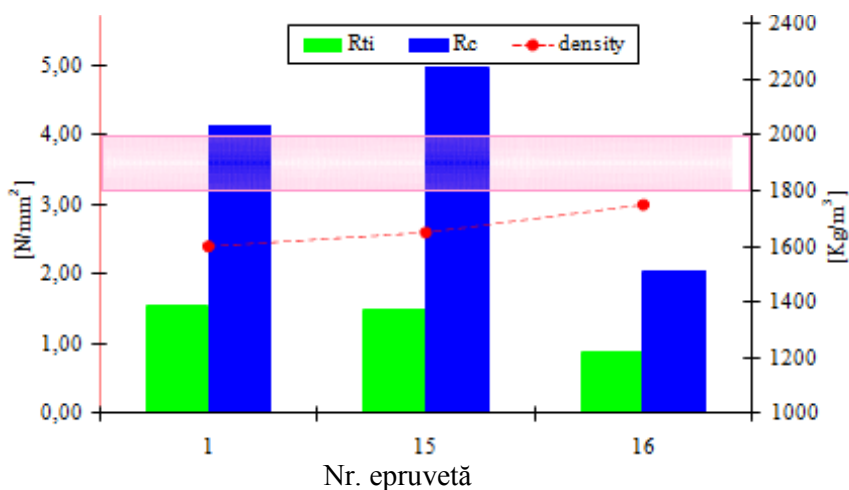
S-a observat o variație neregulată a densității aparente a amestecurilor realizate prin substituirea apei de amestec cu soluții de NaOH și / sau clei de oase,

Figura 5.17, variație care a fost pusă pe seama influenței pe care acestea o au asupra lucrabilității materialului și, prin urmare a gradului de compactare a epruvetelor, respectiv reducerea sau nu a cantității de aer oclus.



**Fig. 5.17** Densitate aparentă în stare întărită și rezistențe mecanice ale amestecurilor de pământ tip argilă nisipoasă cu clei de oase și/sau NaOH

În cazul substituirii apei de amestec cu soluție de NaCl (amestecurile 15, 16), așa cum se prezintă în Figura 5.18, densitatea aparentă crește ușor odată cu creșterea concentrației soluției de NaCl. Acest efect nu este satisfăcător pe de o parte datorită apariției fenomenului de “înflorire” semnalat la epruvetele cu soluție mai concentrată de NaCl (amestecul 16), iar pe de altă parte datorită poziționării valorilor înregistrate sub limita minimă a densității aparente recomandată de literatura de specialitate.



**Fig. 5.18** Densitate aparentă în stare întărită și rezistențe mecanice ale amestecurilor de pământ tip argilă nisipoasă cu NaCl

Din punct de vedere a rezistențelor mecanice înregistrate în cazul substituiri apei de amestecare cu soluții de NaOH și / sau clei de oase, se poate spune că, în general, s-a constatat o îmbunătățire a acestora, cu maxime pentru amestecurile realizate cu 0,7% și 1,25% clei de oase (amestecurile 19 și 33) și pentru amestecul realizat cu soluție 1,5% clei de oase și 2% NaOH (amestecul 23). Comparând rezultatele experimentale obținute cu valorile limită admisibile indicate în documentația de specialitate s-a constatat că toate variantele de amestec analizate în acest caz sunt mai mari decât minimele de rezistență la compresiune specificate în literatura de specialitate, ceea ce indică ca fiind potrivite pentru scopul ales.

Pe de altă parte, amestecul cu 1,25% clei de oase (amestecul 33) prezintă și densitatea aparentă cea mai apropiată de limita inferioară specificată în literatura de specialitate și cele mai reduse contracții axiale (Figura 5.17). Toate acestea indică posibilitatea realizării unui amestec, cu argilă nisipoasă – soluție 1,25% clei de oase și adaos mic de nisip, care să se încadreze din punct de vedere a rezistențelor mecanice și a contracțiilor axiale, dar care să satisfacă și cerințele de rezistență termică relativ la densitatea aparentă.

Având în vedere dificultatea dizolvării cleiului de oase în apă, așa cum a fost arătat în această lucrare, amestecul realizat prin substituirea apei de amestecare cu soluție 1,5% clei de oase și 2% NaOH (amestecul 23) prezintă avantajul unor rezistențe mecanice comparative cu cele înregistrate pentru amestecul cu soluție 1,25% clei de oase împreună cu reducerea efortului tehnologic. În acest caz contracțiile axiale sunt mai mari decât cele înregistrate în cazul amestecului 33 (9,02 mm/100mm față de 8,75 mm/100mm), dar se încadrează în limitele indicate de literatura de specialitate (3-12 mm/100mm), iar densitatea aparentă este mai redusă ( $1700 \text{ kg/m}^3$  comparativ cu  $1745 \text{ kg/m}^3$ ), dar aceste aspecte pot fi de asemenea îmbunătățite prin utilizarea nisipului.

În acest caz s-a considerat că, pentru ca aceste adaosuri să poată fi utilizate pentru beneficiile pe care le aduc, va fi necesar un nou studiu având ca obiectiv analiza amestecurilor realizate din pământ de tip argilă nisipoasă – nisip – soluții de NaOH și /



sau clei de oase care substituie apa de amestecare.

Rezultatele experimentale privind rezistențele mecanice și densitatea aparentă, înregistrate pentru amestecurile în care apa de amestecare a fost substituită cu soluție de NaCl ( Figura 5.18) cumulate cu cele referitoare la contracțiile axiale (Figura 5.15) și cu observațiile vizuale, au indicat posibilitatea utilizării soluției saline cu o concentrație de maxim 3%, dar în alte scopuri decât cele de îmbunătățire a parametrilor urmăriți în acest studiu și nu ca adaos unic. Adaosul de NaCl, reduce apariția fisurilor.

Rezultatele experimentale obținute confirmă parțial ipotezele care au sta la baza definirii scopului acestui studiu. Astfel, s-a demonstrat că, în cazul pământului de tip argila nisipoasă, adaosul de nisip poate să contribuie la reducerea contracțiilor axiale, iar din observațiile vizuale s-a pus în evidență lipsa fisurilor. Varul pastă introdus ca adaos în amestecul de argilă nisipoasă și apă, poate să determine reducerea contracțiilor axiale, dar nu s-au confirmat îmbunătățiri ale rezistențelor mecanice. Aceasta poate fi pusă pe seama modului de testare, respectiv epruvetele au fost testate la atingerea umidității de echilibru, fără ca să fie testat încă un set similar de epruvete păstrate o perioadă mai lungă de timp. Pe baza observațiilor înregistrate în timpul confecționării epruvetelor, s-a constatat o îmbunătățire a lucrabilității materialului odată cu substituirea apei de amestec cu soluții de NaOH, clei de oase sau combinații ale acestora. Totodată, rezistențele mecanice înregistrate în aceste cazuri au fost îmbunătățite comparativ cu cele ale amestecului martor de argilă nisipoasă și apă. Testele efectuate în acest studiu nu au pus în evidență îmbunătățirea rezistenței la apă în urma utilizării soluțiilor de NaOH, clei de oase sau combinații ale acestora. Substituirea apei de amestec cu soluție de NaCl nu a indus beneficii privind caracteristicile care au facut obiectul acestui studiu (densitate aparentă, contracții axiale, rezistențe mecanice). Beneficiul soluției de NaCl s-a observat a fi reducerea totală a fisurilor.

Din punct de vedere a rezistențelor mecanice înregistrate experimental, majoritatea amestecurilor utilizate au satisfăcut condițiile impuse de diverse coduri și normative și se încadrează în domeniul de valori raportate de literatura de specialitate.

În urma analizei rezultatelor obținute se apreciază că în cazul argilei nisipoase utilizate este recomandabil ca, pentru identificarea unei compoziții optime pentru realizarea corpurilor de zidărie destinate structurilor vernaculare, să se aibă în vedere utilizarea ca adaos nisipul și varul pastă, cu posibilitatea substituirii apei de amestec cu o soluție de clei de oase și NaOH. Această combinație a mai multor materiale de adaos creează posibilitatea identificării unui amestec care să răspundă cel mai bine atât criteriilor de rezistență termică printr-o densitate aparentă satisfăcătoare, cât și criteriilor de rezistență și durabilitate (rezistențe mecanice, contracții axiale și rezistența la acțiunea apei), totodată satisfăcând și nevoia unei puneri în operă ușoară, cu efort energetic minim.

În cazul amestecurilor pământ – var pastă s-au constatat următoarele:

- adaosul de var pastă are influențe pozitive reducând contracțiile axiale și astfel, riscul apariției fisurilor, odată cu creșterea cantității de var pastă utilizat în amestec; toate amestecurile realizate au prezentat contracții axiale care se încadrează în intervalul de valori recomandate în literatura de specialitate;
- densitatea aparentă nu este influențată în mod pozitiv în acest caz; nici unul dintre amestecurile testate nu a atins limita minimă a densității aparente indicate în literatura de specialitate;
- rezistențele mecanice înregistrate se încadrează într-un trend descendent pe măsură ce crește cantitatea de var pastă din amestec; se remarcă o ușoară creștere a rezistenței la întindere prin încovoiere (2,6%) și o creștere mai mare a rezistenței la compresiune (20,5%) corespunzătoare amestecului cu 1% var pastă, comparativ cu cele înregistrate pentru amestecul pământ – apă, considerat martor; în cazul amestecurilor realizate cu adaos de 2-9% var pastă, această creștere a rezistențelor mecanice este urmată însă de o reducere a lor cu valori cuprinse între 17% și 68% pentru rezistența la încovoiere și 18% - 76% pentru rezistența la compresiune; această evoluție a rezistențelor mecanice a fost pusă pe seama posibilității ca varul să dezvolte rezistențe mecanice mai mari după perioade mai îndelungate de timp;
- cumulând rezultatele experimentale obținute, se poate spune că, în cazul utilizării

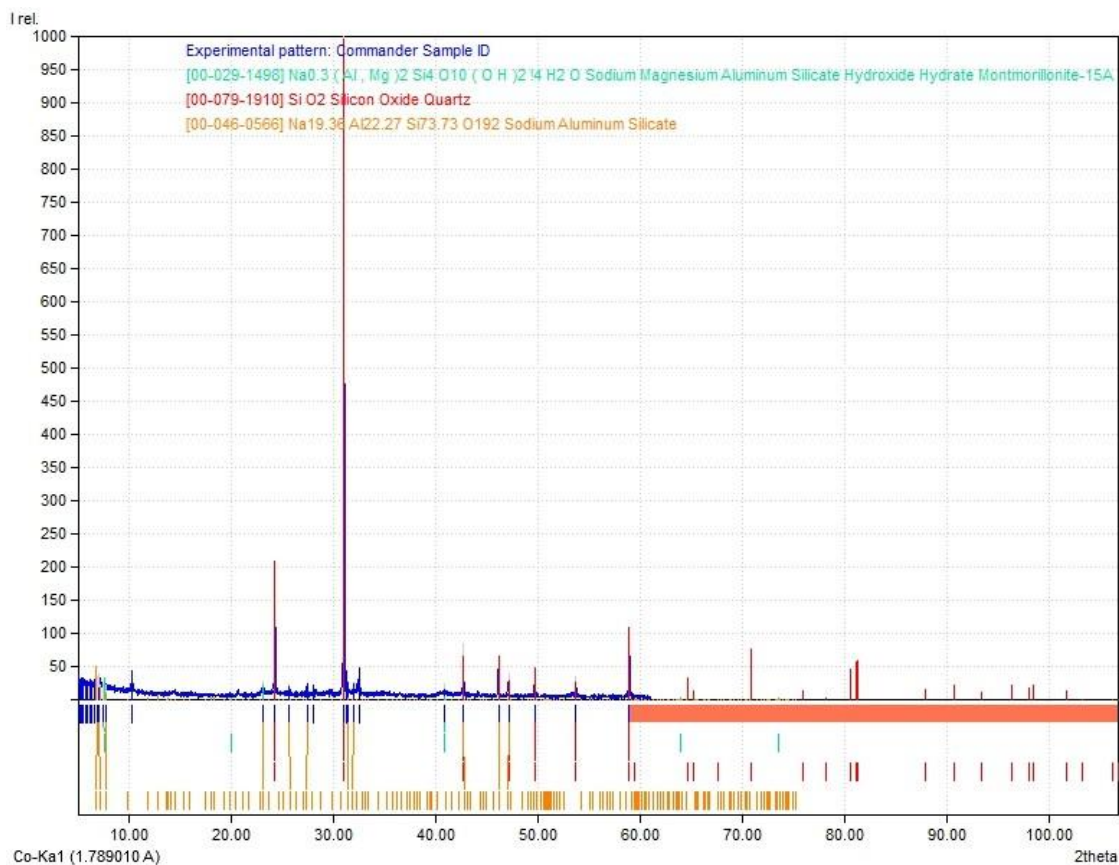
varului pastă ca și material unic de adaos, rezultatele nu sunt satisfăcătoare deoarece contracțiile axiale sunt reduse pentru adaosuri de peste 2% var pasta, ceea ce însă induce reducerea mare a rezistențelor mecanice.

În cazul amestecurilor pământ – soluții apoase de NaOH și / sau clei de oase s-au constatat următoarele:

- substituirea apei de amestecare cu soluții apoase de NaOH și / sau clei de oase contribuie în mod eficient la creșterea lucrabilității și plasticității amestecului, epruvetele realizate prezentând suprafețe mai netede;
- concentrație de aproximativ 1,25% clei de oase în apă a determinat cele mai bune reduceri a contracțiilor axiale; valori comparative ale contracțiilor axiale au fost înregistrate și pentru amestecul la prepararea căruia apa de amestecare a fost substituită cu o soluție de 2% NaOH și 1,5% clei de oase;
- din punct de vedere a rezistențelor mecanice înregistrate, se poate spune că, în general, s-a constatat o îmbunătățire a acestora, cu valori mari pentru amestecurile realizate cu 0,7% și cu 1,25% clei de oase și pentru cel realizat cu soluție 1,5% clei de oase și 2% NaOH;
- amestecul cu 1,25% clei de oase a prezentat și densitate aparentă cea mai apropiată de limita inferioară specificată în literatura de specialitate și cele mai reduse contracții axiale, o densitate apropiată de aceasta înregistrându-se și pentru amestecul la care s-a utilizat soluție 1,5% clei de oase și 2% NaOH; acesta din urmă a prezentat însă și avantajul reducerii efortului tehnologic;
- cumulând rezultatele experimentale obținute, se poate spune că, există posibilitatea realizării unui amestec din argilă nisipoasă - soluție de NaOH și clei de oase și o cantitate mică dar suficientă de nisip, pentru reglarea densității aparente, astfel încât să fie satisfăcute toate criteriile impuse în acest studiu.

În cazul amestecurilor pământ – soluții apoase de NaCl s-a constatat că rezultatele experimentale au indicat posibilitatea utilizării soluției saline cu o concentrație de maxim 3%, dar în alte scopuri decât cele de îmbunătățire a parametrilor urmăriți în acest studiu și nu ca adaos unic.

Amestecul optim final cu care se continuă studiul a fost ales cel cu următoarea compoziție: 35% nisip, 2% var pastă și substituirea apei cu soluție de 1,25 % clei de oase. Acest amestec are o densitate de  $1900 \text{ kg/m}^3$ , rezistența la compresiune  $4,1 \text{ N/mm}^2$  și rezistența la încovoiere  $1,4 \text{ N/mm}^2$ . S-a păstrat adaosul de var în idea că acesta îmbunătățește rezistențele mecanice în timp, precum și rezistența la apă. Pentru prepararea mai rapidă a soluției de clei de oase, fără încălzire, se poate adăuga 2% NaOH. Hidroxidul de sodiu îmbunătățește și lucrabilitatea amestecului, dar având în vedere că scopul acestui studiu este de a folosi materiale naturale iar aportul NaOH nu este foarte semnificativ s-a ales amestecul optim amintit mai sus fără NaOH.



**Fig. 5.19** Compoziția mineralogică a amestecului de argilă cu adaosuri, considerat optim

În urma analizei mineralogice (Figura 5.19) a amestecului optim, în care s-a substituit apa cu soluție 1.25 % clei de oase, cu adaos de nisip de 35% și pasta de var

2%, s-a observat modificarea compoziției mineralogice a amestecului de argilă. Conform diagramei de mai sus mineralele preponderente în acest amestec sunt: cuarț 66%, muscovit 32,4 % și vermiculite 1,6 %.(asta este după adaos de nisip și var și clei de oase) față de: montmorilonit, cuarț, și într-o cantitate mai mică aluminosilicat de sodiu care era compoziția mineralogice a argilei extrase.

### **5.6 Posibilitatea de utilizare a cenușii zburătoare ca material de adaos în amestecul argilos**

În cadrul acestor cercetări au fost realizate amestecuri de argilă cu cenușă de Govora, cu următoarele compoziții: 90% argila cu 10% cenușă, 90% argila cu 5% cenușă și cu 5% var. Din aceste amestecuri s-au confecționat epruvete prismatice 40x40x160 mm pentru studii experimentale. Acestea au fost efectuate în scopul determinării rezistențelor fizico-mecanice, densității, contracțiilor axiale, conform metodelor prezentate la cap. 5.3. Rezultatele sunt sintetizate în Tabelul 5.8.

**Tab. 5.8** Valorile proprietăților fizico mecanice ale epruvetelor de argilă cu cenușă

<b>Determinarea / tip epruvetă</b>	<b>Contracții axiale [mm/100mm]</b>	<b>Densitatea aparentă [Kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Rezistența la încovoiere [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Rezistența la compresiune [N/mm<sup>2</sup>]</b>
90% argilă + 10% cenușă	8,5	1630	1,46	4,6
90% argilă + 5% cenușă + 5% var	5	1455	1,00	1,70
Martor: 100% argilă	8,5	1600	1,58	5,14

Analizând rezultatele de mai sus, se observă că adaosul de cenușă nu influențează pozitiv caracteristicile acestui tip de argilă. Contractia rămâne constantă, rezistențele mecanice scad, iar densitatea crește cu 1,8 %. Pe baza rezultatelor experimentale obținute, în situația dată, se poate aprecia că prin adaosul de cenușă la amestecul argilos nu se obțin beneficii din punct de vedere a contracțiilor axiale, densității și rezistențelor mecanice.

### **5.7 Influența materialelor de adaos de tip vegetal**

Acest capitol are drept scop determinarea adaosului optim de materiale vegetale, fibre de cânepă sau paie, luând în considerare concomitent principalii factori care trebuie

urmăriți la realizarea cărămizilor din argilă nisipoasă: contracții axiale, lipsa fisurilor, densitatea aparentă, rezistențe mecanice și performanța termică. Astfel, contribuie la completarea informațiilor în domeniu raportate până în prezent în literatura de specialitate și indică posibilitatea reducerii dimensionale a pereților din pământ, păstrând caracteristicile de siguranță în exploatare și eficiența termică.

În acest scop, în matricea argiloasă au fost introduse materialele vegetale, în diverse cantități, exprimate ca procente de volum raportate la amestecul argilos. Astfel, s-au introdus 3%, 8%, 9%, 10%, 12% sau 15% procente volumice de fibre de cânepă, respectiv 10%, 20%, 30%, 40%, 50% sau 60% procente volumice de paie. Fibrele de cânepă au fost utilizate ca atare. Paiele, având o absorbție mare de apă, au fost utilizate după ce, în prealabil, au fost imersate în apă timp de o ora, pentru ca să se evite fenomenul absorbției de apă din matricea argiloasă.

Din fiecare amestec astfel realizat, au fost confecționate câte un set de 3 epruvete prismatice, 40x40x160 mm, pentru determinarea densității aparente, contracțiilor axiale și rezistențelor mecanice și un set de 3 epruvete tip dală, 300x300x40 mm, pentru determinarea conductivității termice. Epruvetele au fost păstrate în condiții de laborator până la atingerea umidității de echilibru. Lucrabilitatea amestecului a fost urmărită pe durata preparării amestecurilor și confecționării epruvetelor. S-a urmărit apariția și evoluția fisurilor. Rezultatele testelor efectuate pe epruvetele cu adaos de cânepă sunt prezentate în Tabelul 5.9. În Fig. 5.20 sunt prezentate imagini ale epruvetelor cu fibre de cânepă în zona de rupere.

**Tab. 5.9** Valorile rezistențelor mecanice, densitatea aparentă, contracțiile axiale și conductivitatea termică la cărămizi de argilă cu fibre de cânepă

Procent de fibre de cânepă	Rezistența la compresiune [N/mm <sup>2</sup> ]	Rezistența la încovoiere [N/mm <sup>2</sup> ]	Densitatea aparentă [Kg/m <sup>3</sup> ]	Contracții axiale [%]	Conductivitatea termică [W/mK]
0 (martor)	2.05	1.68	1701.3	6.51	0.3818
3	2.10	1.87	1698.5	6.50	0.3582
8	2.25	2.1	1684.6	6.28	0.3086
9	2.37	2.3	1682.1	6.20	0.2907
10	2.58	2.95	1680	6.12	0.2734
12	2.5	3.1	1674.8	5.89	0.2532
15	2.48	3.11	1669.7	5.62	0.2291



*a. epruvete după solicitare la încovoiere*



*b. detalii zona fisurare*

*c. detaliu suprafața în zona ruperii*

**Fig. 5.20** Epruvete realizate cu adaos de fibre de cânepă

Rezultatele testelor efectuate pe epruvetele cu adaos de paie sunt prezentate în Tabelul 5.10.

**Tab. 5.10** Valorile rezistențelor mecanice, densitatea aparentă, contracțiile axiale și conductivitatea termică la cărămizi de argilă cu paie

Procent de paie	Rezistența la compresiune [N/mm <sup>2</sup> ]	Rezistența la încovoiere [N/mm <sup>2</sup> ]	Densitatea aparentă [Kg/m <sup>3</sup> ]	Contracții axiale [%]	Conductivitatea termică [W/mK]
0 (martor)	2.05	1.68	1701.3	6.51	0.3818
10	1.82	1.72	1615.6	5.58	0.3026
20	1.69	1.98	1527.8	5.12	0.2442
30	1.53	2.54	1428.21	4.32	0.1805
40	1.02	2.25	1382.7	3.43	0.1673
50	0.82	2.08	1214.7	2.54	0.1435
60	1.82	1.72	1615.6	5.58	0.3026

În Fig. 5.34 sunt prezentate imagini ale epruvetelor cu paie în zona de rupere.



*a. epruvete după solicitare la încovoiere*



*b. detaliu zona fisurare*



*c. detaliu suprafața în zona ruperii*

**Fig. 5.21** Epruvete realizate cu adaos paie

Rezultatele experimentale privind densitatea aparentă și rezistențele mecanice ale materialelor, în funcție de tipul și cantitatea de materiale vegetale introduse în matricea argiloasă sunt prezentate în Figurile 5.22-5.24. Pe baza acestora se poate spune că:

- adaosul de paie, scade contracția la uscare, deci și apariția fisurilor, crește rezistența la încovoiere, scade conductivitatea termică, în schimb scade și rezistența la compresiune;
- adaosul de fibre de cânepă, are aceleași influențe ca și adaosul de paie, dar în măsură mai mică; caracteristicile care se îmbunătățesc cel mai mult sunt scăderea contracțiilor la uscare și creșterea rezistenței la încovoiere, în schimbul scăderii rezistenței la compresiune într-o mai mică măsură față de adaosul de paie.



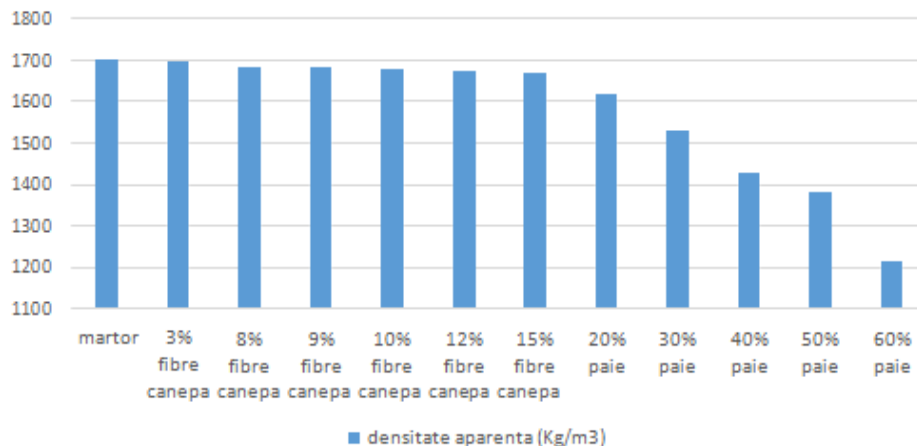


Fig. 5.22 Densitatea aparentă în funcție de adaosul de fibre vegetale

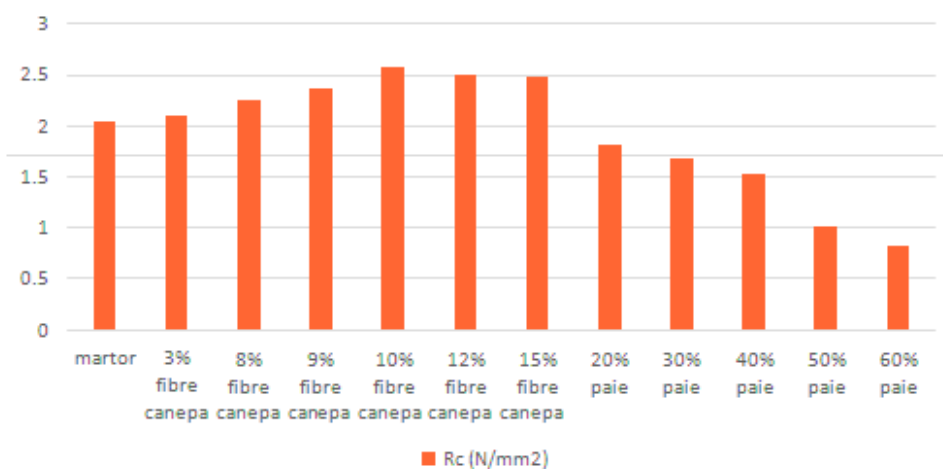


Fig. 5.23 Rezistența la compresiune în funcție de adaosul de fibre vegetale

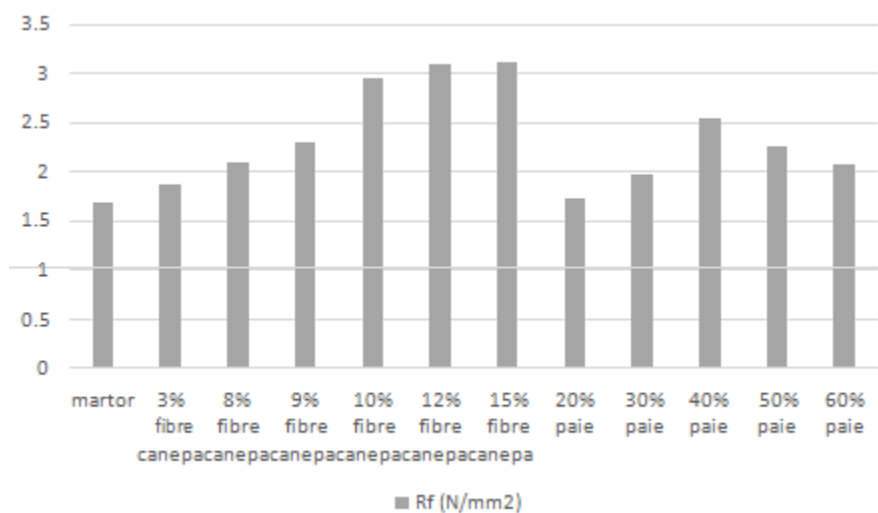
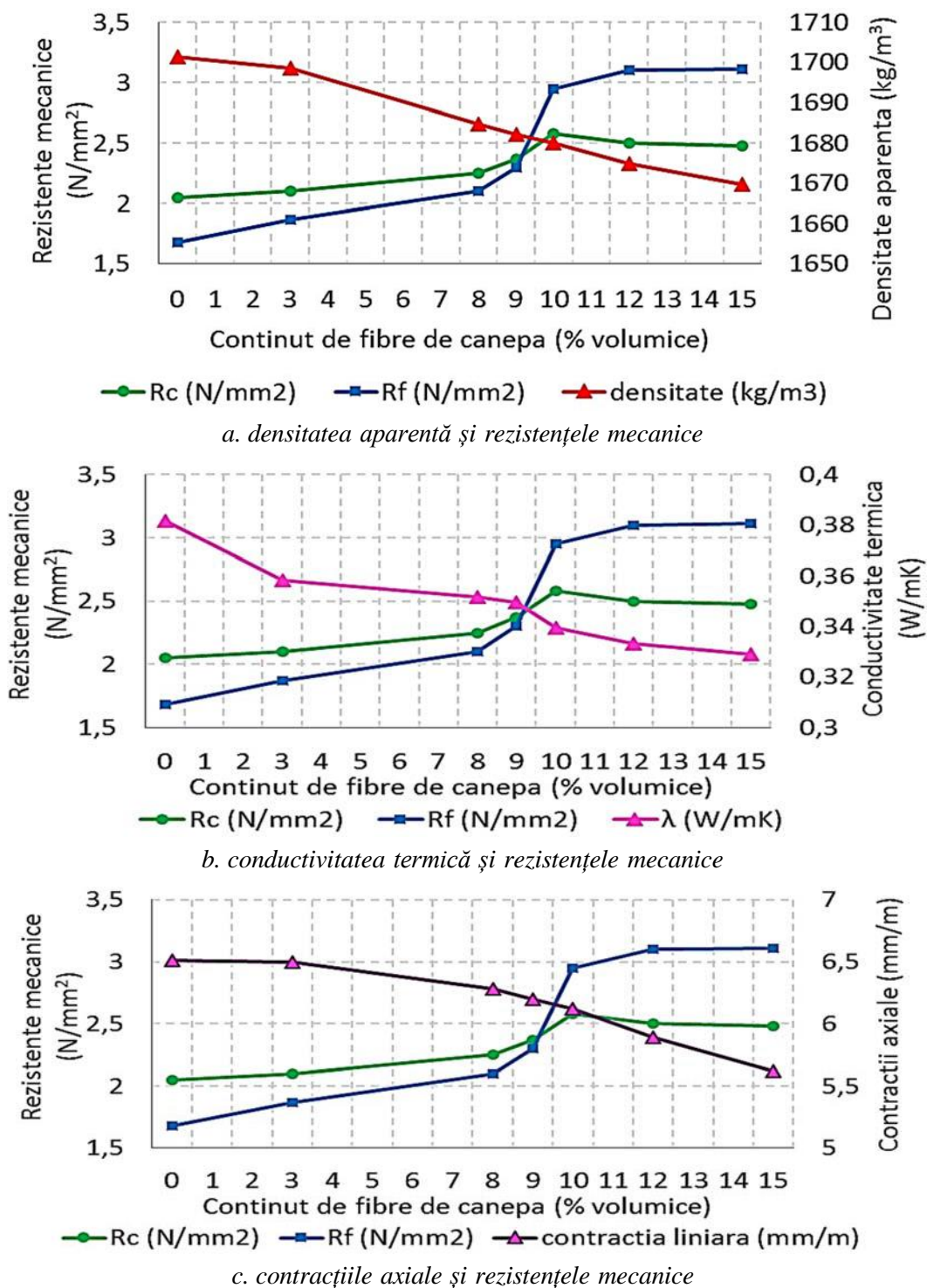


Fig. 5.24 Rezistența la încovoiere în funcție de adaosul de fibre vegetale

În graficele din Figura 5.25 se poate observa variația proprietăților caracteristicilor cărămizii din argilă și procente de cânepă adăugate.



**Fig. 5.25** Variația proprietăților cărămizii cu procentul de cânepă

Deoarece în matricea argiloasă au fost introduse adaosuri (clei de oase și pasta de var), masa volumică a acestuia s-a situat puțin sub limita minimă de  $1800 \text{ kg/m}^3$  indicată de literatura de specialitate ca fiind minimă recomandată pentru realizarea unei mase termice convenabile ( Figura 5.25.a). Acest inconvenient din punct de vedere al eficienței termice a fost compensat prin introducerea materialelor vegetale. Deși masa volumică scade odată cu creșterea conținutului de fibre de cânepă, rezistența la întindere prin încovoiere crește continuu, iar rezistența la compresiune are o evoluție gauss-iana. Compoziția cu conținut de 10% fibre de cânepă reprezintă un punct de inflexiune pe diagrama de evoluție a rezistenței la compresiune. Mai exact, un adaos de fibre de cânepă mai mare de 10% va determina nu o creștere ci o reducere a rezistenței la compresiune, deși rezistența la întindere prin încovoiere continuă să crească. Acest comportament a fost pus pe seama faptului că, probabil, pentru un conținut mai mare de fibre de cânepă, masa epruvetei suferă o diminuare a compactității, nefiind, suficientă matrice argiloasă care să acopere fibrele. Aceasta presupunere a fost susținută și de reducerea lucrabilității amestecului pe măsură ce cantitatea de fibre de cânepă din amestec a crescut. În intervalul 9% -10% adaos de fibre de cânepă s-a observat că rezistențele mecanice cresc mai brusc, iar reducerea densității aparente descrește constant.

Pe de altă parte, odată cu creșterea conținutului de fibre de cânepă, conductivitatea termică scade constant (Figura 5.25.b). Prin aceasta, se poate aprecia că, deși masa volumică se situează sub limita inferioară a intervalului indicat de literatura de specialitate, din punct de vedere termic comportamentul materialului se îmbunătățește prin adaosul de fibre de cânepă.

În mod similar, creșterea conținutului de fibre de cânepă din amestec determină îmbunătățirea performanțelor materialului din punct de vedere a reducerii contracțiilor axiale (Figura 5.25.c). Pentru stabilirea unui conținut optim de fibre de cânepă, au fost însumate rezultatele experimentale obținute pentru rezistențele mecanice, densitate, conductivitate termică și contracții axiale. Deoarece se doresc rezistențe

mecanice cât mai mari, conductivitate termică și contracții axiale cât mai mici, s-a apreciat că un adaos de 10% fibre de cânepă este maximul care poate fi introdus în acest tip de matrice argiloasă, cantități mai mari de fibre de cânepă determinând reducerea rezistenței la compresiune. Analizând pantele graficelor de descreștere a densității aparente, a conductivității termice și a contracțiilor axiale, și pantele graficelor de creștere a rezistențelor mecanice, în funcție de cantitatea de fibre de cânepă din amestec, s-a apreciat că adaosul optim de fibre de cânepă utilizat se încadrează în intervalul 9-10%, procente volumice. Epruvetele realizate din aceste amestecuri nu au prezentat fisuri în timpul uscării.

O analiză similară a fost efectuată și pentru cazul amestecurilor argiloase în care s-au introdus paie. Se observă scăderea masei volumice (Figura 5.26.a), reducerea coeficientului de conductivitate termică (Figura 5.26.b) și a contracțiilor axiale (Figura 5.26.c) odată cu creșterea conținutului de paie din amestec.

Spre deosebire de compozițiile argiloase cu adaos de fibre de cânepă, în cazul celor cu adaos de paie rezistența la compresiune scade continuu, odată cu creșterea conținutului de paie. Acest comportament s-a pus pe seama formei relativ tubulară și rigidă - casantă a paielor care a determinat un conținut mult mai mare de goluri în epruvetele testate, comparativ cu epruvetele martor sau cele din amestecuri cu fibre de cânepă. Pe graficul rezistenței la compresiune în funcție de conținutul de paie din amestec se observă un punct critic, la 40% conținut de paie. Deși și până la această valoare rezistența la compresiune a scăzut continuu, din acest punct, acest indicator suferă o scădere mult mai rapidă, indicată de panta mai abruptă a dreptei  $R_c = f(\% \text{ paie})$  pentru valorile 40%, 50%, 60%.

Rezistența la întindere prin încovoiere este îmbunătățită prin adaosul de paie în matricea argiloasă, atingând un maxim pentru compoziția cu 40% paie. Introducerea unei cantități de paie mai mare de 40% a determinat scăderea rapidă a rezistenței la întindere prin încovoiere.

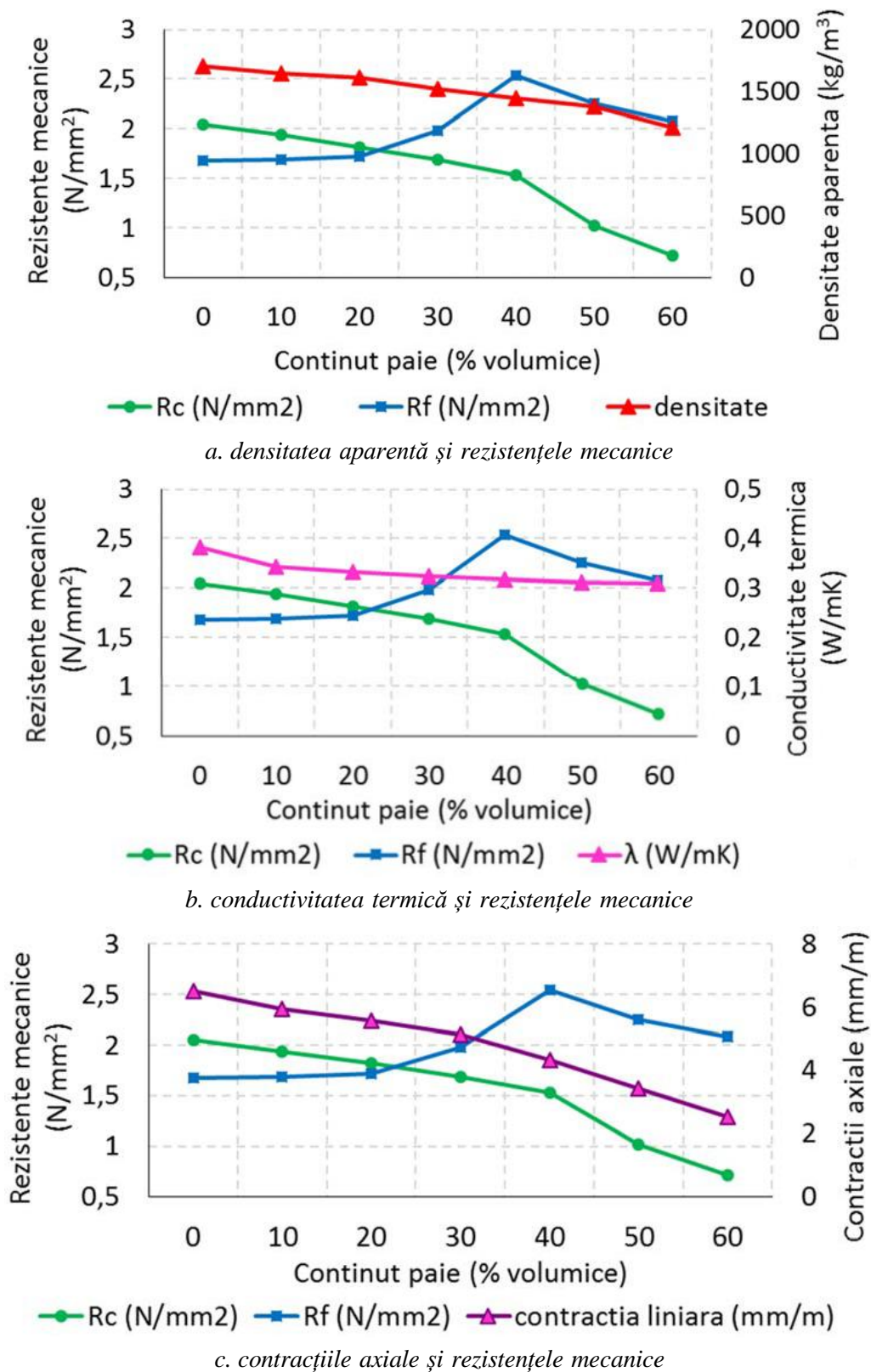
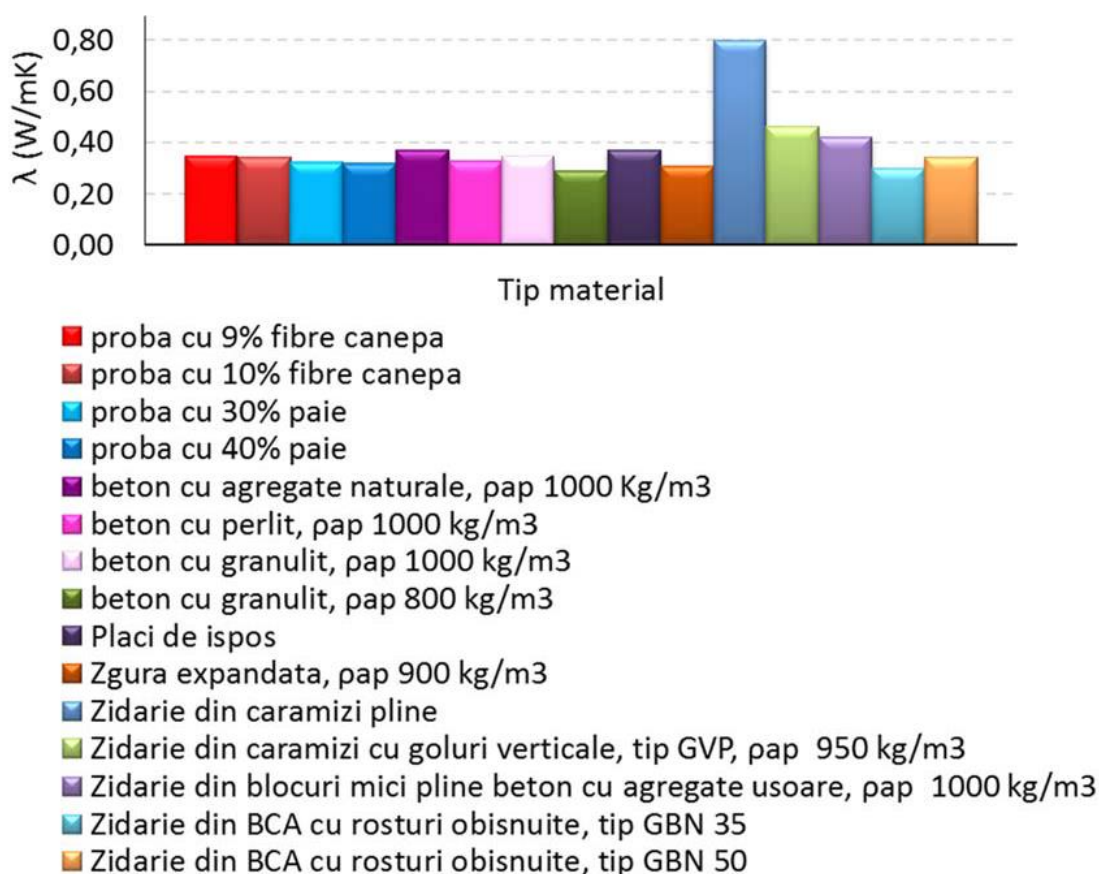


Fig. 5.26 Variația proprietăților cărămizii cu procentul de paie

Prin urmare, din punct de vedere a performanțelor la solicitări mecanice de compresiune și întindere prin încovoiere, s-a apreciat că 40% procente volumice de paie în amestecul argilos este cantitatea maximă indicată a fi utilizată în acest caz. Deoarece s-a dorit o densitate cât mai apropiată de limita indicată în literatura de specialitate, contracții axiale cât mai reduse dar și o conductivitate termică cât mai mică, în final, s-a apreciat că cantitatea recomandată de paie introduse în amestec este cuprinsă în intervalul 30% - 40% procente de volum, în această zonă înregistrându-se și creșterea cea mai mare a rezistenței la întindere prin încovoiere, dar și reducerea rezistenței la compresiune cea mai redusă. Stabilirea acestui interval a fost susținută și de lucrabilitatea bună a amestecului. Suplimentar, în timp, s-a observat că pentru cantități de paie mai mari de 40% are loc apariția fenomenului de putrezire a acestora. Epruvetele realizate din aceste amestecuri nu au prezentat fisuri în timpul uscării.



**Fig. 5.27** Reprezentare comparativă din punct de vedere a conductivității termice, cu diferite materiale de construcții, a amestecurilor argiloase considerate optime

Valorile înregistrate pentru conductivitatea termică a amestecurilor considerate optime, atât în cazul adaosului de fibre de cânepă, cât și în cazul adaosului de paie, au fost comparate cu conductivitatea termică a mai multor materiale de construcții [129], așa cum este prezentat în Figura 5.27. Astfel, pentru amestecurile argiloase cu 9-10% procente de volum adaos de fibre de cânepă, respectiv 30-40% procente de volum paie, s-a apreciat ca acestea sunt apropiate, din punct de vedere a conductivității termice, de betonul cu agregate naturale de betonul cu perlit sau betonul cu granolit cu densitatea de  $1000 \text{ kg/m}^3$ , sau de elementele de zidărie din BCA, tip GBN 50.

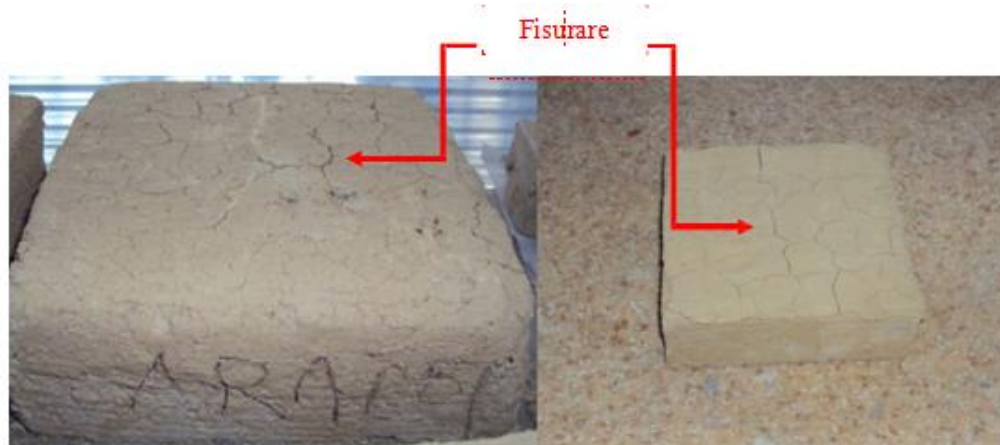
Rezultatele experimentale au indicat reducerea lucrabilității, contracțiilor axiale, riscului de fisurare, a densității aparente și conductivității termice, pe măsură ce cantitatea de materiale vegetale din amestec crește. Odată cu creșterea cantității de materiale vegetale din amestec, din punct de vedere a rezistențelor mecanice se observă o variație care nu poate fi definită de o tendință constantă. Astfel, creșterea conținutului de fibre de cânepă determină o variație gauss-iana a rezistenței la compresiune și o creștere continuă a rezistenței la întindere prin încovoiere. Creșterea conținutului de paie determină o reducere continuă a rezistenței la compresiune și o variație gauss-iana a rezistenței la întindere din încovoiere. Prin urmare, analizând concomitent toți parametrii, pentru amestecul argilos utilizat, s-a stabilit un interval optim de adaos a fibrelor de cânepă, ca fiind 9-10% procente de volum, respectiv un adaos optim de paie, 30-40% procente de volum.

Din punct de vedere a conductivității termice, s-a apreciat că aceste compoziții argiloase sunt comparabile, cu betonul cu agregate naturale de betonul cu perlit sau betonul cu granolit cu densitatea de  $1000 \text{ kg/m}^3$ , sau de elementele de zidărie din BCA, tip GBN 50 și sunt comparabile cu rezultatele experimentale raportate de alte studii din literatura de specialitate. Din punct de vedere a rezistențelor mecanice obținute experimental, acestea sunt comparabile cu rezultatele experimentale raportate de alte studii din literatura de specialitate [79,130].

## 5.8 Mortare de zidărie și tencuială

### 5.8.1 Mortare de zidărie și tencuială pentru cărămizi de argilă

Pentru obținerea unui mortar de tencuială pe bază de argilă, problema cea mai mare este apariția fisurilor. Din studiile efectuate până acum reiese că adaosul de nisip, var sau fibre vegetale reduce apariția fisurilor. De asemenea, adaosul în cantități mici de NaCl, reduce viteza de uscare până la umiditatea de echilibru, deci și adaosul de sare poate reduce apariția fisurilor. În baza acestor considerente, compoziția amestecului argilos primar stabilită prin cercetări preliminare a fost modificată prin creșterea conținutului de nisip și de var treptat și s-a observat vizual apariția fisurilor. Argila nisipoasă și nisipul au fost utilizate după ce anterior au fost cernute, păstrându-se doar fracțiunea fină cu granulație mai mică de 2 mm.



a. 35% nisip și aracet

b. 40% nisip,



c. 45% nisip

d. 50% nisip

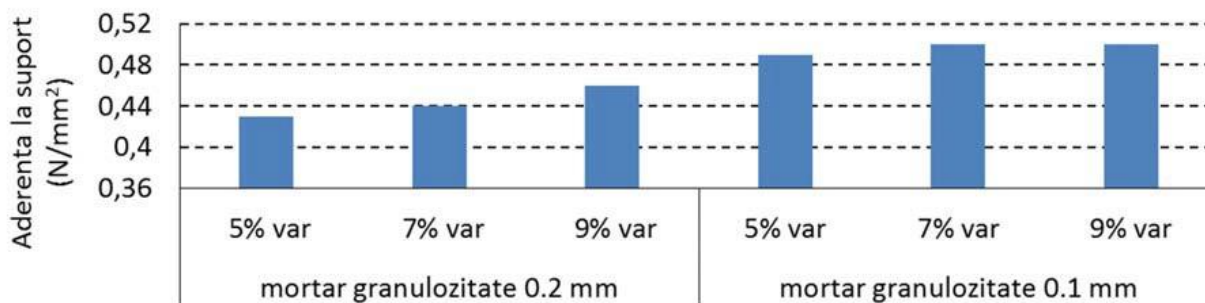
**Fig. 5.28** Tencuieli aplicate pe cărămidă de argilă, fisurate



În prima etapă, s-a crescut adaosul de nisip până s-a ajuns la amestecul cu 50% nisip și 50% argila la care nu s-au observat fisuri. Au fost eliminate compozițiile pentru care s-a înregistrat fisurare în timpul uscării. S-au realizat și amestecuri cu adaos de aracet sau tărâțe, dar nu s-au putut înlătura fisurile (Figura 5.28). Mortarul a fost aplicat pe o suprafață de cărămidă din argilă, umezită în prealabil.

După stabilirea procentului de nisip necesar pentru înlăturarea fisurilor, s-a continuat îmbunătățirea aderenței mortarului, prin adaos de var și NaCl.

Pentru aceste materiale a fost analizată aderența la suport (la cărămida de pământ). Pe baza rezultatelor experimentale (Figura 5.29) s-a apreciat că amestecul optim pentru mortarul de zidărie și de tencuială este cel pe bază de argilă și nisip cu granulații maxime 0.2 mm aditivat cu 9% var și 1% NaCl, prezentând o aderență satisfăcătoare la suport și riscul cel mai redus de fisurare. Dacă granulația argilei și nisipului este redusă la 1 mm, aditivarea cu var poate fi redusă până la 5% fără să existe riscul fisurării. Această variantă se recomandă pentru un aspect mai neted al tencuiei.



**Fig. 5.29** Aderența mortarului pe bază de argilă, nisip, var și NaCl la suport din argilă

S-a realizat și un amestec de mortar de tencuială de amestec optim conform studiilor efectuate, adică 45 % argila de granulație 1 mm, 45 % nisip de aceeași granulație, 9 % var hidraulic, 1% sare de bucătărie, la care s-a adăugat ulei de floarea soarelui (la 100 g amestec uscat, 5 ml ulei) în scopul creșterii rezistenței la apă a mortarului. Aspectul mortarului de tencuială cu adaos de ulei se poate vedea în Figura 5.30. Acest mortar are un aspect mai neted decât mortarele fără ulei, e mai lucrabil, aderă

bine la suprafața de cărămidă din argilă, deci la prima vedere se poate trage concluzia că uleiul nu afectează proprietățile mortarului de argilă, dar îmbunătățește rezistența la apă.



**Fig. 5.30** Tencuiala de argilă cu adaos de ulei în compoziția proaspătă.

### ***5.8.2 Mortare de tencuială pentru baloți de paie***

În continuare, s-a încercat stabilirea compoziției optime a unui mortar aplicat pe balot de paie. În acest caz, aplicarea mortarului cu compoziția găsită anterior nu este potrivită pentru că apar fisuri, așa cum se vede în Figura 5.31.

Pentru înlăturarea fisurilor, s-au adăugat paie în proporție de 40% volum. Restul de 60 % amestec este alcătuit din mortarul de compoziție găsită în urma studiilor: argilă 45%, nisip 45%, var 9% și sare 1%. Se poate vedea în Figura 5.32 tencuiala aplicată pe balotul de paie. Compatibilitatea balotului de paie cu mortarul cu paie este mult mai bună decât cu mortarul obținut numai din argilă nisip, var.

Peste acest prim strat de mortar cu paie, se poate aplica mortarul de tencuială, fără paie (Figura 5.33) fără să apară fisuri, și se poate astfel trata suprafața pentru îmbunătățirea rezistenței la apă. Al treilea strat de mortar de tencuială aplicat în strat subțire, dă un aspect mai neted, mai frumos.



**Fig. 5.31** Tencuială de argilă și nisip aplicată pe un balot de paie



**Fig. 5.32** Tencuială pe bază de argilă cu nisip, var și paie



**Fig. 5.33** Tencuială de argilă cu nisip aplicată peste primul strat de tencuială cu paie



**Fig. 5.34** Straturile de mortar aplicate pe balotul de paie

### **5.9 Cercetări privind tratarea suprafețelor în vederea creșterii durabilității prin creșterea rezistenței la apă**

O posibilitate de îmbunătățire a rezistenței argilei la acțiunea agenților agresivi de mediu, în special la acțiunea apei, este tratarea suprafeței acestora în vederea impermeabilizării la apă, păstrând totuși permeabilitatea la vapori de apă. Literatura de specialitate nu indică soluții de tratare a suprafeței, validate științific. Există rapoartări care indică beneficiile impregnării suprafețelor cu uleiuri animale, uleiuri vegetale, produse petroliere, etc., fără însă ca să fie validată o metodă eficientă de impermeabilizare și care să se bazeze cu precădere pe utilizarea materialelor naturale. Se cunosc diverse tratamente de impermeabilizare dar nici unul suficient studiat. Astfel, în Africa și în America de Sud s-a utilizat vopsirea cărămizilor cu suc de plantă *Euphorbia lactera* după uscare obținându-se un cauciuc natural. În Peru s-a utilizat pentru vopsire o pastă fluidă obținută din suc de cactus *Opuntia ficus indica*, în amestec cu argilă. În alte zone s-a folosit pentru impermeabilizare o soluție obținută prin fierberea

tulpinilor și frunzelor de bananier, *Musa paradisiaca*. În Ghana s-a folosit o soluție obținută prin fierberea și mixarea fructelor și semințelor unei specii de carruba, *Ceratonia silicua*. În Maroc se utilizează o tehnică tradițională de impermeabilizare prin frecarea suprafețelor pe care s-a aplicat o pastă de calcar cu o piatră ceramică, numită Tadelakt. Introducerea săpunului (0,1- 0,2%) în amestecul de materii prime utilizat la fabricarea caramizilor din argila poate îmbunătăți gradul de impermeabilitate la apă al acestora [79]. Vopsirea / spray-erea cu soluții pe bază de uleiuri vegetale, taninuri, guma arabică sau rășini naturale pot, de asemenea îmbunătăți rezistența la apă.

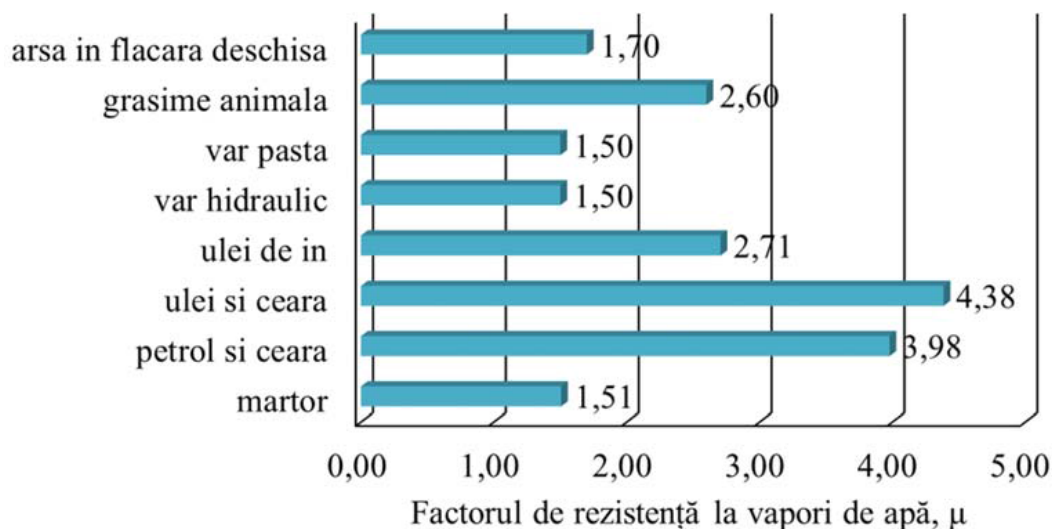
Stabilizarea cărămizilor din argilă prin expunerea acestora la temperaturi înalte (800°C- 1180°C) determină, prin modificările structurale, fuziunea compușilor oxidici de tip silice și alumină ai argilei, vitrifiere parțială a masei argiloase și implicit, îmbunătățirea rezistenței acestora la acțiunea apei, creșterea rezistenței la abraziune și compresiune [130].

Scopul acestui studiu este de a identifica posibile soluții de tratare a suprafeței caramizilor din pământ în vederea creșterii gradului de impermeabilitate și a rezistenței acestora la acțiunea apei, păstrând pe cât posibil permeabilitatea la vapori de apă. Având în vedere poziționarea geografică și rezervele naturale din zona de extracție a argilei nisipoase utilizate ca materie primă, pentru acest studiu au fost utilizate materii prime pentru prepararea soluțiilor de impregnat ușor de procurat: ulei de in, ceară de albine, petrol și var. S-a evaluat și posibilitatea tratării suprafeței prin modificări structurale a acesteia sub acțiunea temperaturii ridicată realizată cu flacără deschisă.

### **5.9.1 Determinarea permeabilității la vapori de apă**

Rezultatele experimentale referitoare la permeabilitatea la vapori de apă ai epruvetelor cu suprafața tratată sau nu, au fost analizate comparativ, pe baza factorului de rezistență la vapori de apă  $\mu$  (Figura 5.35). Conform referințelor din literatura de specialitate se cunoaște că, cu cât acest factor este mai mic, cu atât permeabilitatea la vapori de apă este mai mare. Pe baza indicațiilor normativului C107/6-02 [131], s-au identificat ca având o permeabilitate foarte mare la vapori de apă epruvetele a căror suprafață a fost tratată cu var hidraulic și var pastă, precum și

epruveta martor. Cu toate acestea, datorită caracterului specific al varului, acela de liant, s-a apreciat că, probabil, permeabilitatea foarte mare indicată în cadrul epruvetelor cu suprafața tratată cu var, poate fi o falsă permeabilitate. Prin caracterul său, varul este avid de apă atâta timp cât procesele de hidratare - hidroliză din structura sa nu s-au definitivat. Astfel, vaporii de apă parțial au traversat secțiunea epruvetei și parțial au fost consumați în procesele de hidratare-hidroliză.



**Fig. 5.35** Variația factorului de rezistență la vaporii de apă în funcție de modul de tratare a suprafeței epruvetelor

Epruvetele a căror suprafață a fost tratată cu ceara în ulei de în siccativat sau ceară în petrol au prezentat cea mai redusă permeabilitate la vaporii de apă, comparabilă însă cu cea a blocurilor de zidărie din beton celular autoclavizat sau a unor tipuri de cărămidă ceramică.

Valori intermediare ale permeabilității la vaporii de apă au prezentat epruvetele a căror suprafață a fost impregnată cu grăsime animală sau cu ulei de în și epruveta arsă în flacăra deschisă.

În cazul epruvetei tratate cu grăsime animală trebuie specificat însă un neajuns: în timp, suprafața își schimbă aspectul, devine albicioasă, cu aspect de grăsime răncedă, fenomen care nu are loc în cazul celorlalte tratamente de suprafață.

### 5.9.2 Determinarea penetrației apei sub presiunea vântului

Din punct de vedere a penetrației apei sub presiunea vântului, rezultatele experimentale au fost analizate pe baza evoluției în timp a fluxului de apă absorbită (Figura 5.36) și a coeficientului de penetrație a apei sub presiunea vântului  $p$  (Figura 5.37).

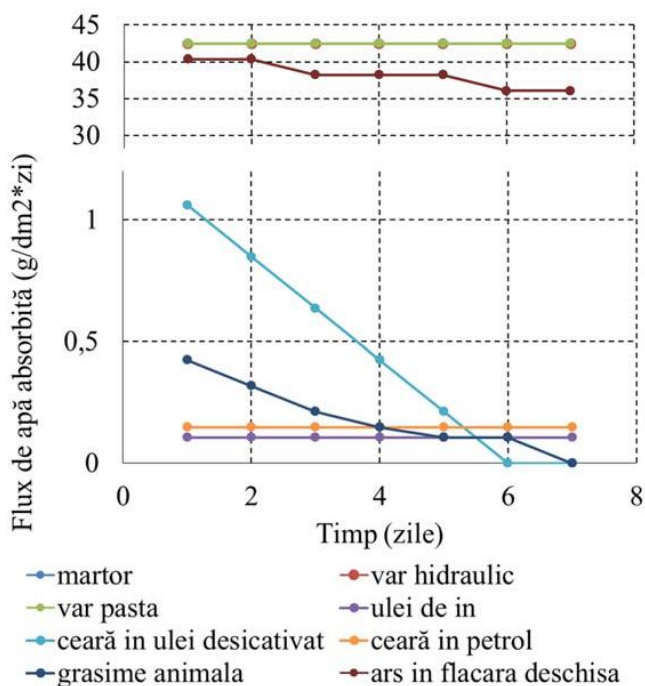


Fig. 5.36 Influența modului de tratare a suprafeței asupra fluxului de apă absorbită

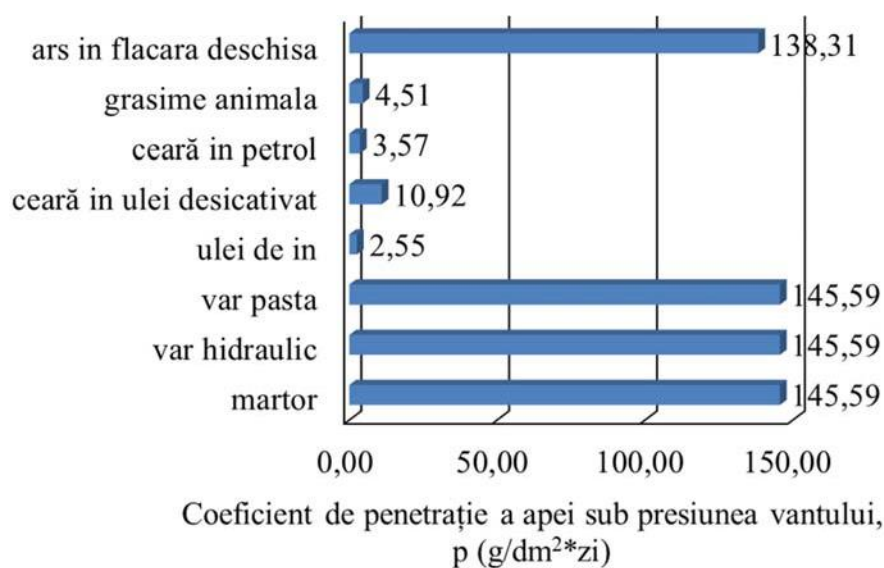


Fig. 5.37 Influența modului de tratare a suprafeței asupra coeficientului de penetrație a apei sub presiunea vântului

S-a observat că, pe durata testelor, în toate cazurile fluxul de apă absorbită a avut un trend descendent. Acest comportament s-a pus pe seama faptului că, chiar și în cazul în care epruvetele absorb apa, acestea au o capacitate limitată de absorbție, care probabil, în timp, se stabilizează.

Din nou, epruvetele a căror suprafață a fost tratată cu var pastă sau var hidraulic au prezentat valorile cele mai mari ale parametrilor urmăriți, semn că procesele de hidratare - hidroliză ale varului nu au fost definitive în perioada de păstrare în condiții de laborator, de la aplicarea tratamentului până la încercare (14 zile). Această presupunere este sprijinită și de suprapunerea celor două curbe caracteristice pentru epruveta cu suprafața impregnata cu var pastă, respectiv cu var hidraulic. Și în cazul epruvetei a cărei suprafață a fost arsă în flacără deschisă s-au înregistrat parametrii cu valori mari. Aceasta a fost pusă pe seama faptului că, probabil, datorită temperaturii insuficiente, în masa epruvetei nu au avut loc reacțiile de vitrificare ale silicailor argiloși, porii acesteia rămânând deschiși.

Epruvetele a căror suprafață a fost impregnată cu ceară dizolvată în ulei sicativat sau petrol, cu grăsime animală sau cu ulei de in au prezentat valori ale coeficientului de permeabilitate la vapori de apă care s-au încadrat în limita admisibilă impusă de NE 001/96 [123], care este maxim  $100 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{zi}$ .

Cel mai redus coeficient de penetrație a apei sub presiunea vântului, cu o evoluție relativ liniară a fluxului de apă absorbită pe durata testului, s-a înregistrat în cazul tratamentului cu ulei de in. Acest comportament, corelat cu permeabilitatea la vapori de apă (Figura 5.36) este un indicator al identificării tratamentului de suprafață cel mai potrivit pentru cazul epruvetelor din argilă nisipoasă studiate. Situația cea mai de dorit este ca tratamentul suprafeței să determine o rezistență bună la acțiunea apei, o absorbție de apă cât mai redusă și o permeabilitate la vapori de apă cât mai mare, pentru asigurarea unui climat interior sănătos și confortabil. Deși, și în cazul tratamentelor cu ceară dizolvată în petrol și în ulei sicativat s-au înregistrat coeficienți reduși de penetrație a apei sub presiunea vântului, în aceste situații s-au înregistrat și permeabilități la vapori de apă mai reduse, ceea ce indică o probabilitate de închidere a porilor.





*a. cu soluție de ceară dizolvată în petrol*



*b. cu ulei de in*



*c. cu soluție de grăsime animală, ceara în ulei de in desicativat*

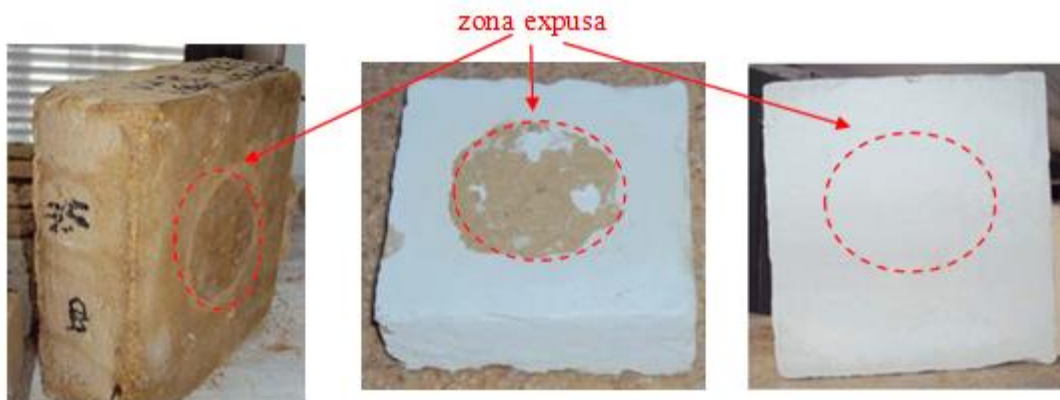


*d. cu var*



*e. prin expunere la temperaturi înalte în flacără deschisă*

**Fig. 5.38** Epruvete cu suprafața tratată supuse la testare



**Fig. 5.39** Aspectul epruvetelor după încercare

În fotografiile prezentate în Figurile 5.38 și 5.39 se pot vedea aspecte din timpul și după terminarea încercărilor.

Pe baza rezultatelor experimentale se poate afirma:

- în urma observațiilor vizuale rezultă că toate epruvetele, cu excepția matorului, au avut o comportare bună la apă pe durata testelor; suprafața acestora nu s-a înmuiat și nu s-a exfoliat;
- în toate cazurile analizate s-a înregistrat o permeabilitate bună la vapori de apă, comparabilă cu a betonului celular autoclavizat sau cu a unor tipuri de cărămidă ceramică;
- coeficientul de penetrație a apei sub presiunea vântului a fost determinat ca încadrându-se în condițiile admisibile indicate de normativul NE 001/96 [123] pentru toate tipurile de tratamente de suprafață, cu excepția matorului și a celei tratate prin ardere în flacără deschisă și a epruvetelor impregnate cu var pastă sau hidraulic; aceasta indică posibilitatea utilizării soluțiilor de ceară dizolvată în ulei siccativ sau în petrol, a uleiului de in și a grăsimii animale ca tratament de impregnare a suprafeței elementelor din argila expusă la exterior;
- rezultatele obținute pentru suprafețele tratate cu var pastă și var hidraulic au indicat probabilitatea ca procesele de hidratare-hidroliza ale varului să nu fie definitivate în decursul perioadei de păstrare a epruvetelor în condiții de laborator, de la tratare până la testare, respectiv 14 zile; în această situație se vor efectua teste care să indice durata minimă necesară păstrării epruvetelor astfel tratate, astfel încât tratamentul cu var să devină eficient;

- tratamentul de suprafață identificat ca fiind cel mai convenabil, care păstrează o permeabilitate la vapori de apă cât mai bună în condițiile unei penetrații a apei sub presiunea vântului cât mai redusă, este cel prin impregnare cu ulei de in; la epruvetele tratate cu ulei de in s-a realizat și testul de rezistență la îngheț-dezgheț și după efectuarea a 80 cicluri de îngheț dezgheț, epruvetele au rămas neafectate; un ciclu de îngheț dezgheț constă în 4 ore în apă la 20<sup>0</sup>C și apoi 4 ore în congelator la -20 C; aspectul epruvetelor înainte și după cele 80 cicluri sunt prezentate în Figura 5.40;
- tratamentul de impregnare a suprafeței cu grăsime animală a pus în evidență rezultate mulțumitoare, dar a prezentat inconvenientul modificării aspectului suprafeței în timp;
- impregnarea suprafeței cu soluții pe bază de ceară dizolvată în ulei siccativ, respectiv în petrol, au indicat o rezistență bună la penetrarea apei, dar au prezenta inconvenientul reducerii permeabilității la vapori de apă.



*a. epruveta tratată cu ulei de in, în apă*



*b. epuveta cu ulei de in, în congelator*



*c. epruveta cu ulei de in, înghețată*

**Fig. 5.40** Testarea la îngheț- dezgheț a epruvetei din argilă tratată cu ulei de in

În general, din punct de vedere a rezistenței la apă, se apreciază că elementele realizate din argilă nisipoasă extrasă din Valea Draganului, Romania, pot fi utilizate pentru realizarea pereților exteriori numai cu condiția tratării suprafeței în scopul impermeabilizării, cu păstrarea capacității de permeabilitate la vapori de apă. Această lucrare a prezentat câteva posibile metode de tratare a suprafeței argiloase, fiecare dintre ele cu avantaje și dezavantaje.

### **5.10 Încercarea la compresiune a zidăriei realizată din cărămizi de argilă**

Pentru a sublinia o linie de cercetare viitoare, pe care autoarea tezei o consideră esențială dar în același timp complementară din punctul de vedere al specializării, s-a confecționat un fragment de zidărie din cărămizi de argilă de dimensiuni 45x15 cm. Compoziția acestor cărămizi este cea aleasă ca fiind compoziția optimă pentru cărămida de zidărie, (35% nisip, 2% var pastă și substituirea apei cu soluție de 1,25 % clei de oase) la care s-au adăugat 40% în volum paie. Aspecte din timpul încercării sunt prezentate în Figura 5.41, iar principalele date sunt sintetizate în Tabelul 5.11.

**Tab. 5.11** Datele încercării pe zidărie la rupere

Forța (N)	Suprafața [mm <sup>2</sup> ]	Rezistența [N/mm <sup>2</sup> ]
140000	67500	2,0



**Fig. 5.41** Aspecte din timpul încercării

## 6. CERCEȚĂRI PRELIMINARE PRIVIND SUSTENABILITATEA ZIDĂRIEI DIN CĂRĂMIZI DE ARGILĂ

### 6.1 Posibilitatea de reciclare și reutilizare a cărămizilor din argilă

Deși cărămizile din argilă au fost mereu prezentate ca fiind un material sustenabil, multi-reciclabil, până în prezent, în literatura de specialitate nu sunt prezentate rezultatele experimentale ale unor cercetări privind performanțele elementelor de tip *adobe bricks* la fabricarea cărora s-a utilizat nu o argilă proaspăt extrasă, ci un material argilos rezultat din reciclarea unor vechi, utilizate, deteriorate, care necesită înlocuire. Prin urmare, scopul acestui subcapitol este de a analiza posibilitatea realizării corpurilor de zidărie utilizând material argilos reciclat din elementele de zidărie utilizate anterior în diferite scopuri. Mai exact, în cazul de față, materialul argilos a fost recuperat prin reciclarea unor epruvete anterior utilizate în laborator pentru diferite cercetări experimentale.

Amestecul argilos reciclat s-a obținut prin înmuierea resturilor de epruvete rezultate în urma încercărilor, în apă până la consistența necesară. Acest amestec argilos a avut o lucrabilitate mult mai bună decât amestecul inițial.

Rezultatele experimentale obținute sunt prezentate în Figurile 6.1-6.4.

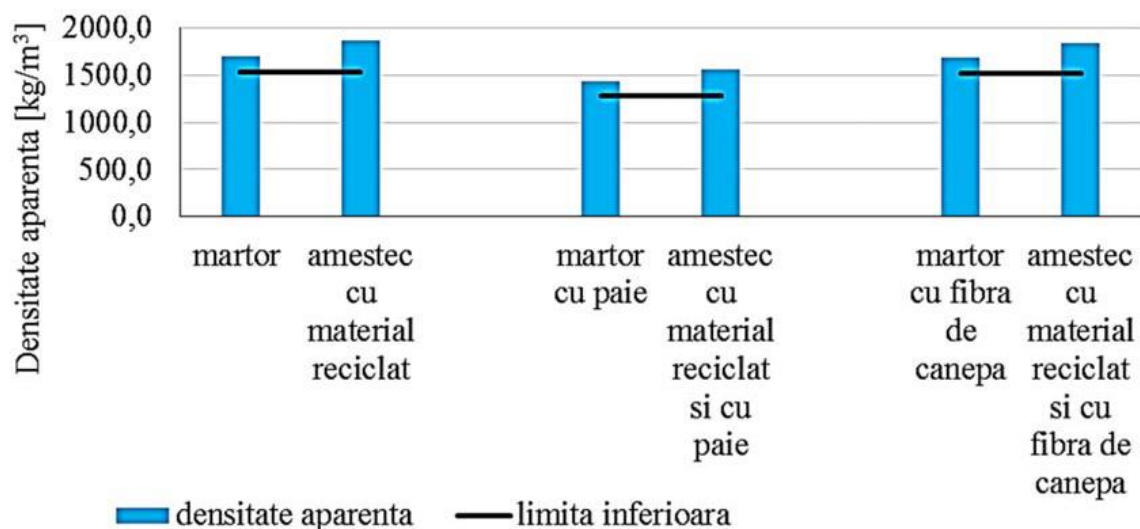


Fig. 6.1 Influența tipului de argilă utilizat asupra densității aparente

Din punct de vedere a densității aparente (Figura 6.1) s-a observat o creștere a acestui parametru, cu aproximativ 9% față de martorul corespunzător fiecărui tip de amestec argilos (fără adaosuri de materiale vegetale, cu conținut de paie, respectiv cu conținut de fibre de cânepă).

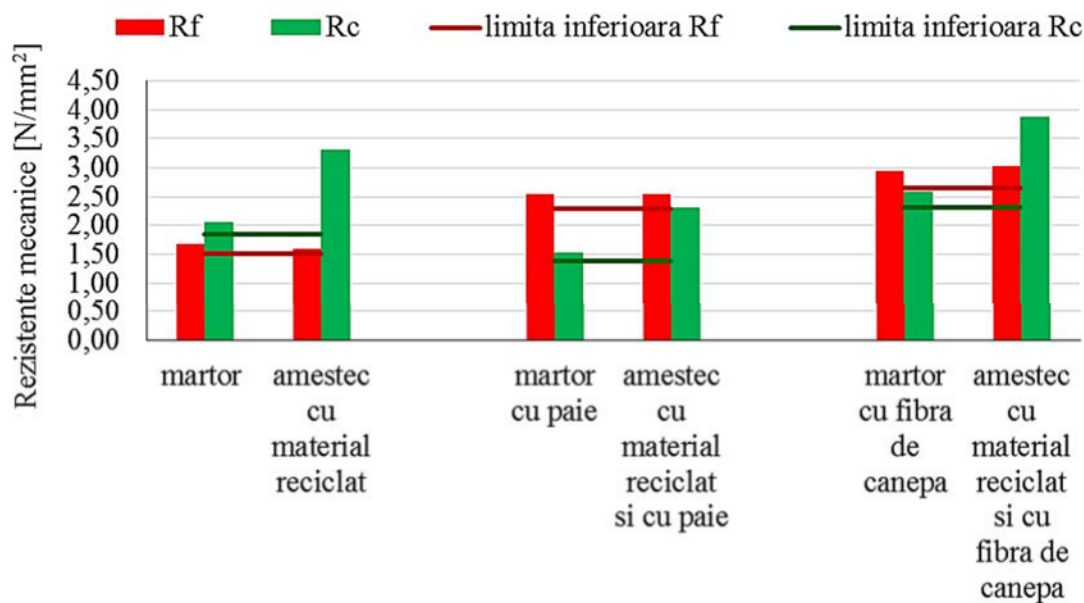
Se cunoaște că, foaia elementară a argilei este formată din 2 straturi de tetraedri de  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  care sunt dispuși în plan în forma hexagonală, legate între ele prin octaedri de  $[\text{AlO}_4(\text{OH})_2]^{7-}$ . Argilele montmorilonitice absorb apa între foile elementare, în pachete, cu moleculele orientate hexagonal. Aceasta apă nelegată de foile elementare este variabilă și se elimină ușor la uscare / încălzire. Apa legată în rețea se elimină mai greu. În general, argilele montmorilonitice sunt foarte plastice datorită structurii lor. Această plasticitate se datorează ordonării apei intercalate între foile elementare, care de la o anumită grosime se comportă ca un lubrifianț. Datorită faptului că în cazul utilizării materialului argilos reciclat argila suferă două procese de deleiere - uscare, primul atunci când argila a fost utilizată inițial și al doilea atunci când argila este utilizată ca material argilos reciclat, probabil că are loc o mai bună aranjare a moleculelor și foilor elementare.

Pe baza celor prezentate anterior, s-a apreciat că, probabil, epruvetele realizate cu material argilos reciclat au prezentat o mai bună lucrabilitate datorită ordonării apei intercalate între foile elementare. Prin urmare, la turnarea în tipare s-a putut realiza o mai bună compactare a materialului. Totodată, în urma procesului de uscare, eliminându-se apă intercalată între foile elementare ale argilei, s-a produs o legătură internă mai bună în material.

Totuși, având în vedere caracterul neomogen al materiilor prime, aceasta variație a densității aparente poate fi pusă și pe seama acestei eterogenități.

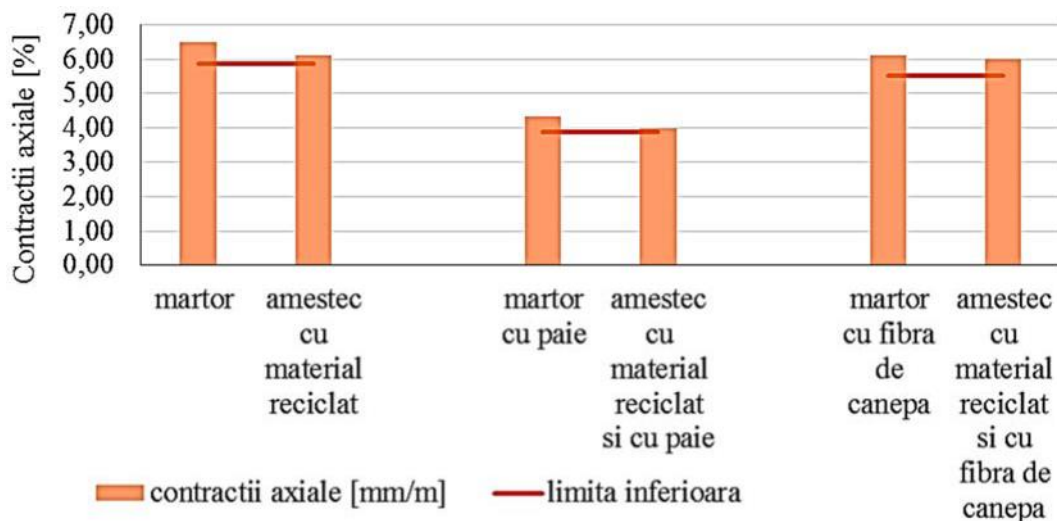
Din punct de vedere a rezistențelor mecanice (Figura 6.2) epruvetele realizate din materialul argilos reciclat au prezentat o creștere a rezistenței la compresiune cu peste 50%, în toate cele trei cazuri analizate: compoziție fără fibre vegetale, compoziție cu adaos de paie, respectiv compoziție cu adaos de fibre de cânepă. Rezultatele

surprinzătoare privind rezistența la compresiune mult îmbunătățită odată cu utilizarea materialului argilos reciclat ar putea fi puse pe seama pe seama dublului mecanism de deleiere urmată de uscare, fenomen ce determină întărirea legăturilor între foile elementare ale argilei. Aceste rezultate tind să confirme ipoteza întăririi legăturilor dintre foile elementare ale argilei odată cu dubla deleiere, ipoteza inițiată odată cu analiza rezultatelor experimentale privind densitatea aparentă.



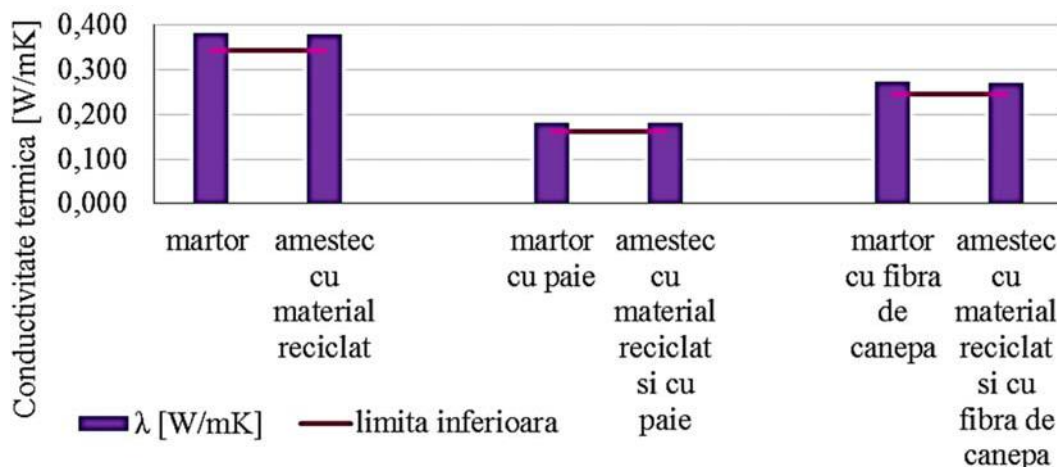
**Fig. 6.2** Influența tipului de argilă utilizat asupra rezistențelor mecanice

Analizând rezultatele experimentale privitoare la rezistența la întindere prin încovoiere (Figura 6.2), respectiv privitoare la contracțiile axiale (Figura 6.3) nu s-au observat modificări semnificative comparativ cu epruvetele martor corespondente, în nici una din cele trei variante de amestec (compoziție fără fibre vegetale, compoziție cu adaos de paie, respectiv compoziție cu adaos de fibre de cânepă). Variația rezultatelor experimentale obținute în cazul amestecurilor realizate cu material argilos reciclat nu au variat cu mai mult de 10% comparativ cu cele obținute în cazul amestecurilor realizate cu argila proaspăt extrasă. Analizând rezultatele experimentale privitoare la contracțiile liniare, se poate spune că acestea se încadrează în limitele indicate de literatura de specialitate (3% - 12% pentru cărămizile din amestecuri moi sau 0.4% - 2% în cazul amestecurilor mai uscate [131]).



**Fig. 6.3** Influența tipului de argilă utilizat asupra contracțiilor axiale

De asemenea, se remarcă influența fibrelor vegetale asupra îmbunătățirii rezistențelor mecanice și contracțiilor axiale a amestecurilor pe bază de argilă proaspăt extrasă. Aceasta influență este păstrată și în cazul înlocuirii argilei cu material argilos reciclat.



**Fig. 6.4** Influența tipului de argilă utilizat asupra conductivității termice

Din punct de vedere al conductivității termice (Figura 6.4) acest parametru prezintă variații mai mici de 1,5% pentru situația în care este utilizat material argilos reciclat, comparativ cu utilizarea argilei proaspete. Valorile înregistrate experimental se încadrează în limitele indicate de literatura de specialitate (0,180 - 0,420 W/mK [132]).



Prin urmare s-a considerat că utilizarea unui material argilos reciclat nu are influențe asupra conductivității termice a elementelor de tip adobe bricks. O mare influență asupra acestui parametru o are introducerea fibrelor vegetale în amestec, în special a paielor. Pe toată durata realizării, uscării și condiționării epruvetelor până în momentul testării, a fost urmărită apariția și evoluția fisurilor. Se poate spune că epruvetele realizate cu materialul argilos reciclat nu au dezvoltat fisuri pe suprafață. Acest comportament a fost așteptat încă din momentul punerii materialului proaspăt în tipare, acesta fiind foarte ușor lucrabil și omogen.

Pe baza rezultatelor cercetărilor experimentale, se poate aprecia că argila recuperată din deșeuri de elemente de zidărie de tip adobe bricks vechi poate fi reciclată și reutilizată în scopul realizării altor elemente de acest fel.

Performanțele fizico-mecanice ale adobe-bricks nou fabricate nu sunt afectate negativ de utilizarea materialului argilos reciclat. Pasta obținută pe baza materialului argilos reciclat permite armarea dispersă prin introducerea fibrelor vegetale (paie sau fibre de cânepă). Acestea sunt bine acoperite de matricea argiloasă, iar după uscare epruvetele prezintă performanțe fizico-mecanice similare cu cele înregistrate în cazul utilizării argilei proaspăt extrase.

Un rezultat mai puțin așteptat a fost creșterea rezistenței la compresiune cu aproximativ 50% față de cea a epruvetelor martor (realizate din pasta pe bază de argilă proaspăt extrasă). Analizând literatura de specialitate privitoare la caracteristicile generale ale argilelor, s-a apreciat ca această creștere a rezistenței la compresiune ar putea fi pusă pe seama fenomenului de rearanjare a foilor elementare ale argilei, întărirea legăturilor dintre acestea și rearanjare a moleculelor de apă dintre foile elementare, fenomen care are loc în urma amestecării argilei cu apă, urmată de uscare. Astfel, dacă în cazul pastei pe bază de argilă nereciclată acest fenomen se produce o dată, în cazul pastei pe bază de material argilos reciclat acest fenomen se produce de două ori.

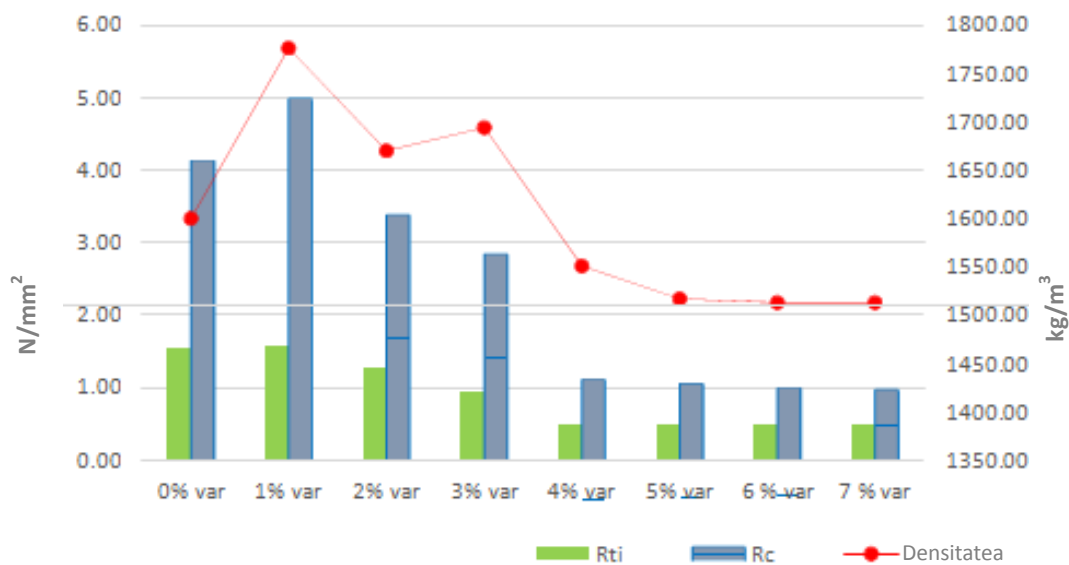
## 6.2 Evoluția caracteristicilor fizico-mecanice ale cărămizilor din argilă cu adaos de var, după 2 ani de la confecționare

S-au preparat amestecuri cu adaos de var în diferite procente conform tabelului (Tabelul 6.1). Aceste epruvete au fost încercate la 40 zile când s-a presupus că a ajuns la umiditate de echilibru și după 2 ani de la confecționare, pentru a se observa eventualele creșteri de rezistențe mecanice.

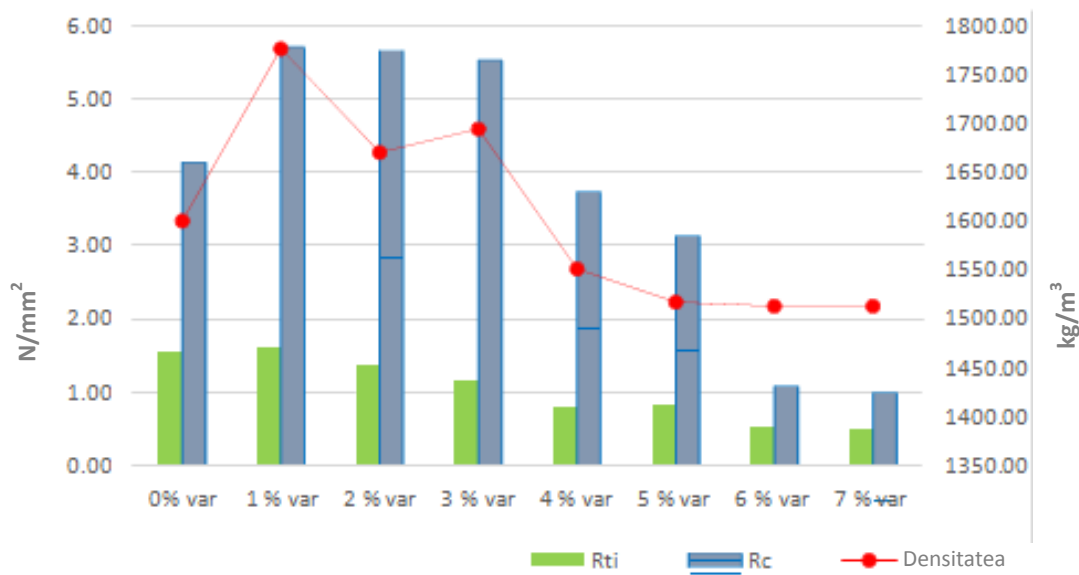
**Tab. 6.1** Compoziția amestecurilor realizate din argila reciclată testate experimental

Nr. epruvetă	Pământ [% din cantitatea totală de material uscat]	Var pastă [% din cantitatea totală de material uscat]	Lichid de amestec [33 % raportat la cantitatea de material uscat]
25	99	1	apă
26	98	2	apă
27	97	3	apă
28	96	4	apă
29	95	5	apă
30	94	6	apă
31	93	7	apă

Rezistențele mecanice obținute la 40 zile și la 2 ani de zile sunt redată în graficele din Figurile 6.5 și 6.6



**Fig. 6.5** Rezistențele mecanice la 40 de zile



**Fig. 6.6** Rezistențele mecanice la 2 ani de la confecționare

La toate amestecurile s-a observat o creștere a rezistențelor mecanice dar în proporții diferite. Amestecurile cu cea mai mare creștere a rezistențelor mecanice sunt amestecul cu 2 % și 3% var. Rezistența la încovoiere a crescut de la 1,27 N/mm<sup>2</sup> la 1,38 N/mm<sup>2</sup> iar rezistența la compresiune de la 3,38 N/mm<sup>2</sup> la 5,65 N/mm<sup>2</sup>, pentru epruveta cu 2 % var. Pentru epruveta cu 3% var rezistența la încovoiere a crescut de la 0,93 N/mm<sup>2</sup> la 1,17 N/mm<sup>2</sup>, iar rezistența la compresiune de la 2,84 N/mm<sup>2</sup> la 5,52 N/mm<sup>2</sup>. Epruvetele cu 6% var și cu 7% var au prezentat o creștere a rezistențelor dar mai puțin semnificativa. În urma rezultatelor se poate spune ca adaosul de var la argila face sa crească rezistențele mecanice în timp, dar trebuie ales procentul optim de adaos.

## **7 APRECIERI FINALE**

### **7.1 Concluziile cercetării**

Urmare a demersului de cercetare efectuat, decurg următoarele concluzii principale:

- argila în general, precum și mineralele argiloase locale pot fi utilizate cu succes la realizarea corpurilor de zidărie, a mortarelor de zidărie, tencuielilor și finisajelor ecologice, dar care să satisfacă exigențele de performanță și criteriile de admisibilitate specifice materialelor moderne reglementate;
- compoziția mineralogică a argilei diferă în funcție de locul extracției și în funcție de aceasta rezultă proprietăți diferite;
- amestecurile/rețetele de succes pentru produsele propuse (corpuri de zidărie, mortare de zidărie, tencuieli și finisaje ecologice) se individualizează în funcție de compoziția mineralogică a argilei utilizate;
- tipurile de adaosuri potrivite produselor argiloase sunt:
  - pentru corpuri neare de zidărie: nisip (0-4 mm), clei de oase, var, cenușă zburătoare, uree, fibre vegetale (câneapă și paie), hidroxid de sodiu (NaOH);
  - pentru mortare de zidărie și tencuieli: fibre vegetale (câneapă și paie), var, clei de oase, nisip (0-2 mm), sare (NaCl);
  - pentru tratarea suprafeței argiloase în vederea impermeabilizării: ulei de in, ceară dizolvată în petrol, ceară dizolvată în ulei de in sicativat, respectiv grăsimi animale și vegetale;
- adaosurile de var (în procent de 1 % din amestecul uscat) și clei de oase (în procent de 1.25 % din apa de adaos) cresc rezistențele mecanice ale corpurilor de zidărie;
- adaosul de nisip (33 % la corpurile de zidărie și 50 % la tencuieli) la argilă reduce contracția cu circa 30 %;
- fibrele vegetale în procent mai mare de 10 % scad rezistențele mecanice ale corpurilor de zidărie;

- fibrele vegetale (în procent de 40 % din volum) scad conductivitatea termică a corpurilor de zidărie cu circa 60 %;
- pentru impermeabilizare cel mai bun tratament îl asigură uleiul de in;
- lista de aditivi la argilă este deschisă și există o multitudine de posibilități, care merită să fie cercetate pentru că se obțin materiale extraordinare pentru construcții.

## **7.2 Contribuții originale**

Prin teză se aduc următoarele contribuții originale:

- abordarea unei tematici de cercetare de mare interes, cu două direcții:
  - descifrarea mecanismelor fizico-chimice care au loc în mineralul argilos și în interacțiunea sa cu o serie de adaosuri naturale;
  - concepția și realizarea unor compoziții inovatoare, optimizate, realizate cu materiale locale;
- individualizarea unor amestecuri cu funcțiuni diverse și complementare, cu proprietăți fizico-mecanice adecvate utilizării;
- concepția unui program experimental complex, având ca scop evaluarea multicriterială a soluțiilor propuse;
- fundamentarea preliminară prin demersuri experimentale a trei direcții de cercetare viitoare: reciclarea, evoluția în timp a performanței și comportarea la nivel de elemente structurale/structuri.

## **7.3 Direcții de cercetare viitoare**

Urmare a demersului parcurs decurg următoarele direcții:

- reciclarea produselor din argilă;
- studiul evoluției în timp a performanței produselor din argilă, în special a celor cu adaos de var;
- comportarea la nivel de elemente structurale/structuri realizate din produse argiloase;
- lărgirea listei de aditivi naturali (de exemplu caseina, latex, praf de marmură etc.) pentru produse argiloase;
- noi tehnologii de realizare și prelucrare a produselor argiloase.

## Bibliografie

1. Brundtland H., Report of the world Commission on Environment and Development, “*Our Common Future*”, WCED, Oxford University Press, New York (1987)
2. Suciu M.C., Suciu N., “*Dezvoltarea sustenabila - Problema cheie a secolului XXI*”, Buletinul AGIR 1:124-125 (2007)
3. Zarina Isnin, Sabarinah Sh. Ahmad, Zaharah Yahya, “*Challenges of the Unknown Building Material Substances for Greener Adaptation Projects*”, Elsevier, Procedia - Social and Behavioral Sciences 68 ( 2012)
4. J. L. Sullivan and J. Hu, “*Life Cycle Energy Analysis for Automobiles*,” SAE Paper No. 951829, SAE Total Life Cycle Analysis Conference, Vienna, Austria; October 16, 1995
5. F. Pacheco Torgal, A. Shasavandi and Said Jalali, “*Eco-Efficient Concrete Using Industrial Wastes: A Review*”, Materials Science Forum Vols. 730-732 (2013)
6. Vlad Hurduc, “*Studii privind obținerea și caracterizarea unor polimeri cu arhitecturi controlate, utilizați ca modificatori reologici în industria lacurilor și vopselelor*”, Teza de doctorat, Univ. Tehnica “Gheorghe Asachi”, Iasi (2012)
7. Gernot Minke, “*Building with earth. Design and Technology of a Sustainable Architecture, Birkhäuser*”, Publishers for Architecture Basel Berlin Boston (2005)
8. [www.ghiduri-turistice.info](http://www.ghiduri-turistice.info)
9. <http://www.natural-home4u.com/construiestesanatos.html>
10. <http://casedinbalotidepaie.ro>
11. [www.versoehnung-berlin.org](http://www.versoehnung-berlin.org)
12. Gabriela-Teodora Ciurileanu (Cioca), Ildiko Bucur Horvath, “*The new vernacular based architecture*”, JAES, Section Civil Engineering and Installations (2011)
13. Michael Moquin „*Ancient solutions for future sustainability: building with adobe, rammed earth, and mud*”, Tampa, florida, USA, november 6-9 (1994)
14. <http://www.earthsafedesign.com>
15. Tamer Abdel Aziz, Indjy M. Shawket, “*New strategy of upgrading slum areas in developing countries using vernacular trends to achieve a sustainable housing development*”, Elsevier, Energy Procedia 6 (2011)
16. Jong-Jin Kim, Brenda Rigdon, “*Qualities, Use and Examples of Sustainable Building Materials*”, Ed. National Pollution Prevention Center for Higher Education 430 E. University Ave., Ann Arbor (1998)
17. [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics\\_explained](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained)
18. Allen M. “*Out of the ground: Earthbuilding in New Zealand*”, Dunmore Press, Palmerston North (1997)
19. Samar Sheweka, “*Using Mud Bricks as a Temporary Solution for Gaza Reconstruction*”, Elsevier, Energy Procedia 6 (2011)

20. Blondet, Nicola Targue, Helen Croawley, Rui Pinho, H. Varum, "Seismic capacity of adobe dwellings", 2005
21. <http://www.probca.ro>
22. Morton T., "Earth masonry – design and construction guidelines", HIS BRE Press. (2008)
23. Hall M. R., "The enviromental performance of stabilised earth walls using a climatic simulation chamber", Building and Enviroment 42: 139-145 (2007)
24. Burroughs S., "Soil Property Criteria for Rammed Earth Stabilization", Journal of Materials in Civil Engineering 20, 3 (2008)
25. Marques F. M., Salgado M. S., "The building material selection. Importance at the building design. Process foi its sustainability", CIB World building Congress: 2384-2396 (2007)
26. Reffat, R., "Sustainable Development of Buildings and Environment", Proceedings of Second International Conference on Development and Environment, Assiut University, Egypt (2004)
27. Revuelta-Acosta J. D., Garcia-Diaz A., Soto-Zarazua G. M., Rico-Garcia E., "Adobe as a sustainable material: A Thermal performance", Journal of Applied Sciences 10(19): 2211-2216 (2010)
28. Pacheco-Torgal F., Jalali S., "Eart construction: Lesson from the past for future eco-efficient construction", Construction and Building Materials 29: 512-519 (2012)
29. Goodhew S., Griffiths R., "Sustainable earth walls to meet the buildings regulations", Energy and Buildings 37:451-459 (2005)
30. Parra-Saldivar M. L., Batty W., "Thermal behaviour of adobe constructions", Building and Enviroment 41:1892-1904 (2006)
31. Rees S. W., Zhou Z., Thomas H. R., "The influence of soil moisture content variations on heat losses from earth-contact structures: An initial assessmen", Building and Enviroment 36:157-165 (2001)
32. Viviancos J. L., Soto J., Perez I., Ros-Li J. V., Martinez-Manez R., "A new model base on experimental resulsits for the thermal characterizations of bricks", Building and Enviroment 44:1047-1052 (2009)
33. Bui Q.B., Morel J.C., Hans S., Meunier S., "Compression behaviour of non-industrial materials in civil engineering by three scale experiments: the case of rammed earth", Materials and Structures 42, 8, 1101-1116 (2009)
34. Pushplata, Kumar A., "Building regulations: as a means of ensuring sustainable development in hill towns", Journal of Environmental Research and Development 7A(1A): 553-560 (2012)
35. Moquin M., "Ancient solutions for future sustainability: Building with adobe, rammed eart and mud", CIB TG 16, Sustainable Construction, Tampa, Florida, USA, pp. 543-552 (1994)

36. Little B, Morton T., “*Building with earth in Scotland; Innovative design and sustainability*”, Scottish Executive Central Research Unit, Edinburgh, Scotland, UK (2001)
37. Kiroff L., Roedel H, “*Sustainable Construction Technologies: Earth Buildings in New Zealand*”, Second International Conference of Sustainable Constructions Materials and Technologies, Ancona Italia (2010)
38. Maniatidis V., Walker P., “*Structural Capacity of Rammed Earth in Compression*”, Journal of Materials in Civil Engineering, Volume 20, Issue 3 (March 2008)
39. Deboucha S., Hashim R.,”*A review on bricks and stabilized compressed earth blocks*”, Scientific Research and Essays 6(3):499-506 (2011)
40. Love S.,” *The geoarchaeology of mudbricks in architecture: A methodological study from Catalhoyuk, Turkey*”, Geoarchaeology: An International Journal 27:140-156 (2012)
41. Hall M. A., “*Analysis of the hygrothermal function properties of stabilised rammed earth materials*”, Building and Environment, 44, 1935-1942 (2009)
42. Rodriguez M. A., Saroza B.,”*Determination of the optimum compositions of adobe bricks for a school in Cuba*”, Materiales Construcción, 56:53-62 (2006)
43. Ogunye F. O., Boussabaine H.,”*Diagnosis of assessment methods for weatherability of stabilized compressed soil blocks*”, Construction and Building Materials 16:163-72 (2002)
44. Olărescu C.M., Cosereanu C., “*Research on the thermal insulation potential of some composites made of biodegradable materials*”, In PRO LIGNO 7(3):54-58 (2011)
45. Bui Q. M., “*Durability of Rammed Earth Walls exposed for 20 Years to natural weathering*”, Building and Environment, 1-8 (2002)
46. Burroughs S., “*Soil Property Criteria for Rammed Earth Stabilization*”, Journal of Materials in Civil Engineering, 20, 3 (2008)
47. Burroughs S.,”*Recommendations for the Selection, Stabilization, and Compaction of Soil for Rammed Earth Wall Construction*”, Journal of Green Building, 5(1), 101-114 (2010)
48. Hall M., Djerbib Y.,”*Rammed earth sample production: context, recommendations and consistency*”, Construction and Building Materials, 18, 4, 281–286 (2004)
49. Jayasinghe C., Kamaladasa N., “*Compressive strength characteristics of cement stabilized rammed earth walls*”, Construction and Building Materials, 21, 11, 1971-1976 (2004)
50. Karim Md. R., Zain Muhammad F. M., Jamil M., Lai Fook C., Islam Md. N., “*Use*



- of Wastes in Construction Industries as an Energy Saving Approach*”, Energy Procedia 12, 915-919 (2011)
51. Kiroff L., Roedel H., “*Sustainable Construction Technologies: Earth Buildings in New Zealand*”, Second International Conference of Sustainable Construction Materials and Technologies, Ancona Italia (2010)
  52. Vural N., Vural S., Engin N., Sumerkan M.R., “*Eastern Black Sea Region. A sample of modular design in the vernacular architecture*”, Building and Environment, 42, 2746–2761 (2007)
  53. Gonzalez J. R., “*Uniaxial deformation-stress behaviour of the rammed earth of the Alcazaba Cadima*”, Materials and Structures, 32, 70-74 (1999)
  54. Binici H., Aksogan O., Bak Bak D., Kaplan H., Isik B., “*Sound insulation of fibre reinforced mud brick walls*”, Construction and Building Materials, 23:1035-1041 (2009)
  55. Islam M.S., Iwashita K., “*Earthquake Resistance of Adobe Reinforced by Low Cost Traditional Materials*”, Journal of Natural Disaster Science, 32 (1), 1-21(2010)
  56. Chel, A. and G.N. Tiwari., “*Thermal performance and embodied energy analysis of a passive house: Case study of vault roof mud-house in India*”, Applied Energ., 86:1956-1969 (2009)
  57. Hendry A.W., “*Structural Design of Masonry Buildings*”, ISBN 0333497481 (1990)
  58. Taylor P., Luther M.B., “*Evaluating rammed earth walls: a case study*”, Solar Energy, 76, 1–3, 79–84 (2004)
  59. Călătan G., Hegyi A., Dico C., Mircea C., “*Additives Influence on the Earth Characteristics Used in Vernacular Construction*”, International Conference Environmental Legislation, Safety Engineering and Disaster Management ELSEDIMA 10th edition (2014)
  60. DIN 18951:1951 Earth Construction, Construction Regulations
  61. NZS 4297:1998 Engineering design of earth buildings
  62. NZS 4298:1998 Materials and workmanship for earth buildings
  63. NZS 4299:1998 Earth buildings not requiring specific design
  64. N. Laaroussi, A. Cherki, M. Garoum, A. Khabbazi, A. Feiz, “*Thermal properties of a sample prepared using mixtures of clay bricks*”, Elsevier, Energy Procedia 42 (2013)
  65. Boduroglu, M.H. “*Rural buildings in Turkey that have suffered damages in recent earthquakes that their main causes*”, Buil. Int. Inst. Seismol. Earthquake Engrg., 23, 359-380 (1989)
  66. ASTM International E2392/E2392M-10 *Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems* (2010)

67. Rodriguez M. A., Saroza B., “*Determination of the optimum compositions of adobe bricks for a school in Cuba*”, *Materiales Construcción*, 56:53-62 (2006)
68. Silvia Martín, Fernando R Mazarrón, Ignacio Cañas, “*Study of thermal environment inside rural houses of Navapalos (Spain): The advantages of reuse buildings of high thermal inertia*”, *Construction and Building Materials*, Volume 24, Issue 5, May 2010 (2010)
69. NZBC E2/AS2 New Zealand Building Code Clause E2 External Moisture (2008)
70. Cioca G.T., Bucur Horvath I., “*Reevaluation of vernacular architecture*”, *Proceedings of the International Scientific Conference CIBv*, Vol I, pp 79 – 86, Brasov, Romania(2010)
71. Ciurileanu G. T., Bucur Horvath I., “*The use of cement stabilized rammed earth for building a vernacular modern house*”, *Buletinul Institutului Politehnic din Iași, Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” Iași, Tomul LVIII (LXII), Fasc. 1, Secția, Construcții. Arhitectură* (2012)
72. Ciurileanu G. T., Bucur Horvath I., “*Modular Building Using Rammed Earth*”, *Acta Technica Napocensis: Civil Engineering & Architecture*, Vol. 55 No.2, 173-181 (2012)
73. Jayasinghe C., Kamaladasa N., “*Compressive strength characteristics of cement stabilized rammed earth walls*”, *Construction and Building Materials*, Volume 21, Issue 11, Nov. 1971-1976 (2007)
74. Shukla, A., G.N. Tiwari and M.S.Sodha, “*Embodied energy analysis of adobe house*”, *Renew Ener.*, 34:755-761 (2009)
75. Martin, S., F.R. Mazzaron, I. Canas, “*Study of thermal environment inside rural houses of Napalos (Spania), The advantages of reuse buildings of high thermal inertia*”, *Construct Build. Mater.*, 24:666-676 (2010)
76. Binici, H., O. Aksogan, D. Bakbak, H. Kaplan, B. Isik, “*Sound insulation of fibre reinforced mud brick walls*”, *Construct. Build. Mater.*, 23: 1035-1041 (2009)
77. Porta-Gandara, M.A., E. Rubio, J.L. Fernandez, “*Economic feasibility of passive ambient confort in Baja California dwellings*”, *Build. Environ.*, 37: 993-1001 (2002)
78. Kim J.J., Rigdon B., “*Qualities, Use, and Examples of Sustainable Building Materials*” Ed. National Pollution Prevention Center for Higher Education 430 E. University Ave., Ann Arbor (1998)
79. Demir, I., “*Effect of organic residues addition on the technological properties of clay bricks*”, *Waste Manage.*, 28: 622-627 (2008)
80. Karim Md. R., Zain Muhammad F. M., Jamil M., Lai Fook C., Islam Md. N., “*Use of Wastes in Construction Industries as an Energy Saving Approach*”, *Energy Procedia* 12, 915-919 (2011)
81. Priyanka Ohri, “*Alternative housing: Rammed Earth houses*” <http://www.homeqn.com/entry/alternative-housingrammed-earth-houses> (2009)

82. Norton, J., Michael Watson, "*Building with Earth, a handbook*", IT Publications (2004)
83. Abdu, M. A., "*Developing A Modern Technique for Clayey Construction*", Conference on: Technology & Sustainability in the Built Environment, College of Arch. & Planning, King Saud University, Riyadh (2010)
84. Mohammed Ali Bahobail, "*The mud additives and their effect on thermal conductivity of adobe bricks*", Journal of Engineering Sciences, Assiut University, Vol. 40, No 1, pp.21-34, January (2012)
85. Jurina , L., Righetti , M., "*Traditional Buildings in Peru*", Earthquake-Safe: Lesson to be Learned from traditional construction, International Conference on the Seismic Performance of Traditional Buildings, Istanbul, Turkey, Nov. (2004)
86. Browne, G., "*Stabilized Interlocking Rammed Earth Block: Alternatives to cement Stabilization*", Southampton Solent University, Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies (NOCMAT 2009)
87. Rautela, P., Joshi, G.C., "*Earthquake-safe Koti Banal architecture of Uttarakhand, India*" Curr. Sci. 95 (4), 475–481 (2008)
88. Arya, A.S., "*Non-engineered construction in developing countries – an approach toward earthquake risk prediction*", Proc. Of 12<sup>th</sup> World Conf. on Earthquake Engrg. Auckland, New Zealand, Paper No. 2824 (200)
89. Hossein-Javaheri, J., "*Sun-dried buildings in Khorasan and their resistance to earthquake*", Earth and Space Physics, 1 (2), 7-12 (1972)
90. Hammod A.A., "*Prolonging the life of earth buildings in the tropics, Building research and Practice*", 154-163 (1973)
91. Vargas, J., Bariola, J., Blondet, M. and Mehta, P. K., "*Seismic strength of adobe masonry*", Material and Structures, Vol. 19, pp. 253-258 (1986)
92. Morris, H. W., "*The strength of engineered earth buildings*", Proc. IPENZ, Annual Conf., Sustainable Development, Hamilton, 660-671 (1993)
93. Warren, J., "*Conservation of Earth Structures*", Butterworth-Heinemann: Oxford(1999)
94. Islam, M. S., "*Research on Earthquake Resistant Reinforcement for Adobe Structures*", PhD Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Saitama University, Japan (2002)
95. Binici, H., Aksogan, O., Shah, T., "*Investigation for fiber reinforced mud brick as building material*", Construction and Building Materials, 19, 313-318 (2005)
96. Islam, M. S, Honda, K., Iwashita, K., "*Improvement of earthquake resistance of adobe structures*", Journal of Natural Disaster Science, Volume 32, Number 1, (2010)
97. Kumar, A., Singh, B., & Mohan, J., "*Compressive strength of fiber reinforced highly compressible clay*", Construction and Building Materials, 20, 1063-1068 (2006)

98. Walker P., Keable R., Martin J., Maniatidis V., “*Rammed earth: design and construction guidelines*”, BREPress (2005)
99. Berhane, Z., “*The Traditional use of Millet (“teff”) Stalk as Reinforcement for Clayey Building Materials*”, Vegetable Plants and their fibers as Buildingmaterials, Proceeding of the second International RILEM Symposium, P. C-37 (1990)
100. Quagliarini W., Lenci S., Iorio M., “*Mecanical properties of adobe walls in a Roman Republican domus at Suasa*”, Journal of Cultural Heritage, 11(2): 130-137 (2010)
101. Schicker, A., Gier, S., “*Optimizing the mechanical strength of adobe bricks*”, Clays and Clay Minerals, The Clay Minerals Society, Volume 57, Number 4, pp. 494-501 (2009)
102. Mohammad Shariful Islam, Kazuyoshi Iwashita, “*Earthquake Resistance of Adobe Reinforced by Low Cost Traditional Materials*”, Journal of Natural Disaster Science, Volume 32, Number 1, pp1-21 (2010)
103. Agrawal, A., Konno, K., “*Latex, “A Model for Understanding Mechanisms, Ecology, and Evolution of Plant Defense Against Herbivory”*”, Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics Vol. 40: 311-331 (2009)
104. Browne, G., “*Stabilized Interlocking Rammed Earth Block: Alternatives to cement Stabilization*”, Southampton Solent University, Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Conference on Non-conventional Materials and Technologies (NOCMAT 2009), Bath, UK (2009)
105. Fulvio Parisi, Domenico Asprone, Luigi Fenu, Andrea Prota, “*Experimental characterization of Italian composite adobe bricks reinforced with straw fibers*” (2014)
106. Matts Myhrman, S. O. MacDonald, “*Build it with Bales*”, A Step-by-Step Guide to Straw-Bale Construction, Published by Out On Bale (1997)
107. Lertwattanakruk, P., & Chatveera, B., “*Properties of lightweight plastering cement containing biomass ash*”, Research and Development Journal of the Engineering Institute of Thailand, 19(1), 9-16 (2008)
108. Pusit Lertwattanakruk, Jarunsri Choksiriwanna, “*The Physical and Thermal Properties of Adobe Brick Containing Bagasse for Earth Construction*”, Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University, Pathumthani 12121, Thailand (2011)
109. Emmanuel A. Okunade, “*The effect of wood ash and sawdust admixtures on the engineering properties of a burnt laterite – clay brick*”, Department of civil engineering, University of Ado-Ekiti, P.M.B.5363, Ado-Ekiti, Nigeria (2013)
110. Hammod A.A., “*Prolonging the life of earth buildings in the tropics*”, Building research and Practice, 154-163 (1973)
111. Isik, B., Ozdemir, P. and Boduroglu, H., “*Earthquake aspects of proposing gypsum stabilized earth (alker) construction for housing in the southeast (gap) area of Turkey*”, Intl. workshop on recent earthquakes and disaster prevention management, Middle East Technical (1999)
112. Marland G, Brenkert A, Olivier J.G.J. “*CO<sub>2</sub> from fossil fuel burning: a comparison of ORNL and EDGAR estimates of national emissions*” Environmental Science and Policy **2**: 265-2749 (1999)

113. Yongqun X, Queju T, Yan C, Jinghong L, Ming L., “*Manufacture and properties ultra-low density fiberboard from woodfibre*”, *BioResources* 6(4):4055-4066 (2011)
114. Lucia Gagea, Eugenia Mirica, “*Chimia fizica si ingineria sistemelor oxidice*”, Editura Quo Vadis, Cluj Napoca (1998)
115. STAS 1913/5-85 Teren de fundare. Determinarea granulozitatii
116. STAS 9163 Produse miniere silico-aluminoase. Determinarea pH-ului
117. SR EN 933-1 Încercări pentru determinarea caracteristicilor geometrice a agregatelor. Partea 1 Determinarea granulozității. Analiza granulometrică prin cernere
118. SR EN 459-2 Var pentru construcții. Partea 2: Metode de încercare
119. SR EN 1015-10 Metode de încercare a mortarelor pentru zidarie - Partea 10: Determinarea densitatii aparente a mortarului întarit
120. SR EN 1015-11 Metode de încercare a mortarelor pentru zidarie - Partea 11: Determinarea rezistenței la încovoiere a mortarului întarit
121. STAS 2634 Mortare obișnuite pentru zidărie și tencuieli. Metode de încercare
122. SR EN 1015-12 Metode de încercare a mortarelor pentru zidărie - Partea 12 Determinarea aderenței mortarului pentru tencuire și gletuire întărite pe suporturi
123. NE 001/96 Cod de proiectare și execuție pentru construcțiile fundate pe pământuri cu umflături și contracții mari
124. SR EN ISO 7783-2 Paints and varnishes – Coating materials and coating systems for exterior masonry and concrete. Part 2 Determination and classification of water vapour transmission rate(permeability)
125. SR EN 1015-19 Metode de încercare a mortarelor pentru zidărie – Partea 19 Determinarea permeabilității la vapori de apă a mortarelor pentru tencuire și gletuire
126. BS 3921: 1985. Specifications for clay bricks, (1998)
127. SAZ 724:Code of practice for rammed earth structures
128. ASTM E2392 / E2392M – 10e1 Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems(2010)
129. Chan CM., “*Effect of natural fibres inclusion in clay bricks: physico-mecanical properties*”, *International Journal of Civil Environmental Engineering* 3:1. 51-57 (2011)
130. Minke, G., “*Building with earth: Design and technology of a sustainable architecture*”, Birkhäuser, Basel (2006)
131. C107/6-02 Normativ general privind calculul transferului de masa (umiditate) prin elementele de constructive