

Zidăriile de cărămidă (și, mai rar, de piatră) reprezintă tehnica de construcție cu cea mai mare frecvență de utilizare în cadrul patrimoniului construit românesc vechi.

În ceea ce privește intervențiile de reabilitare a clădirilor din această categorie, un aspect tehnic important este cel legat de prezența umidității, una din principalele cauze de degradare a zidăriilor tradiționale, materialele puse în operă fiind în general poroase și/sau sensibile la umezeală (cărămizi, pietre calcaroase poroase, mortare de var, grinzi de lemn, profile metalice).

Degradările induse de umiditate includ aspecte multiple: efecte directe asupra **comportamentului static**<sup>1</sup> și a **capacității de izolare termică**<sup>2</sup> a elementelor de construcție; **alterări ale materialelor**, prin procese fizice, chimice și biologice, de la modificări ale straturilor superficiale, care în general afectează aspectul (culoarea, textura, luciul sau granulația suprafețelor, coeziunea superficială etc.) și până la modificări în structura internă a materialelor<sup>3</sup>; pe de altă parte, umiditatea conținută în elementele de construcție afectează direct **igiena încăperilor** delimitate, nu numai prin reducerea capacității de izolare termică, ci și prin evaporarea apei spre spațiul interior, având ca efect creșterea umidității relative a aerului dincolo de limitele igienice acceptabile, ca și reducerea temperaturii superficiale și condens succesiv, favorizând dezvoltarea de microfloră și faună specifică.<sup>4</sup>

O intervenție eficientă privind eliminarea degradărilor produse de umiditate presupune evaluarea corectă a fenomenelor în ceea ce privește **conținutul cantitativ și sursa umidității, precum și cunoașterea comportamentului materialelor puse în operă în raport cu umiditatea.**

<sup>1</sup> Înlocuirea aerului cu apă în porii unui material echivalează cu înlocuirea comportamentului elastic al aerului prin relativa incompresibilitate a apei. În momentul punerii sub sarcină a materialului, efectul de expulzare a apei interstițiale induce eforturi suplimentare care, adăugate compresiei verticale sau axiale din descărcarea firească a încărcărilor, determină apariția unor componente distructive, orizontale (zidărie) sau radiale și tangențiale (piese de lemn). Spre exemplu, pentru o piatră calcaroasă cu porozitate 36%, rezistența la rupere se reduce de la 126 kg/cmp pentru piatră uscată, la 48 kg/cmp pentru piatră saturată. Reducerea rezistenței mecanice a zidului este în plus agravată prin creșterea greutății sale proprii. Astfel, un zid cu o umiditate de 30% în volume trebuie să suporte un plus de greutate de 300 kg pentru fiecare metru cub de zidărie (o suprasarcină de cca 10% în cazul unei construcții P + 4). În general, un plus de 10% umiditate reduce rezistența mecanică a zidăriei cu 60%.

Pe de altă parte, trecerea unui material din stare uscată în stare umedă determină creșteri dimensionale, reduse în cazul pietrelor (35-180 micrometri/ml, funcție de capilaritate), dar relativ importante în cazul lemnului și diferite ca valoare pe cele trei direcții (pentru 1% variație de umiditate, variațiile axiale sunt de cca 0,01%, cele radiale cca 0,03-0,4% iar cele tangențiale cca 0,06-0,55%).

<sup>2</sup> Apa are o conductivitate de 25 de ori mai mare ca aerul. Ca atare conductivitatea termică a materialelor crește în funcție de procentul de umiditate conținută: față de valoarea conductivității materialului considerat uscat, o umiditate de 5% corespunde unei creșteri a conductivității termice cu 75% și care poate ajunge la 155% pentru o umiditate de 20%.

<sup>3</sup> Nici un mineral (nici cuarțul) nu este chimic inert la apă.

<sup>4</sup> După G. și I. Massari (*Risanamento igienico dei locali umidi*, Hoepli, Milano 1992), o încăpere de locuit poate fi declarată "insalubră" atunci când se încadrează în una din următoarele categorii:

- **umiditatea conținută în zidărie** depășește 3% în greutate dacă zidăria este din cărămidă și 6% dacă este din piatră poroasă cu greutate specifică mai mică de 1,9; este admisibil un maxim de 4%, respectiv 7% pentru încăperi la nivelul terenului ventilate direct, pentru încăperi nelocuite pe timpul nopții și pentru încăperi bine înșorite orientate Sud sau Sud-Vest chiar locuite pe timpul nopții;

- **protecția termică** este insuficientă și determină o predispoziție la condens, respectiv rezistență termică totală/mp a cel puțin unui perete de închidere este mai mică de 1 m<sup>2</sup>hC/Kcal, pentru zone climatice cu temperatura lunii celei mai reci sub 6°C.

Alți autori se limitează la a considera admisibilă o umiditate a zidăriilor de 3-4%.

### Sursa umidității

În general, umiditatea prezentă în construcțiile vechi este de **invazie** (provine din exterior)<sup>5</sup> și are **caracter cronic**, având un comportament substanțial diferit de umiditatea de construcție, cu caracter tranzitoriu din clădirile noi. Umiditatea din construcțiile vechi este distribuită neregulat și afectează numai o parte a clădirii; este staționară sau frecvent, progresivă în timp, este distribuită uniform în masa elementelor legate din zidărie.

După **sursele** de proveniență a apei, umiditatea prezentă în construcțiile vechi poate fi grupată în trei mari categorii:

1. umiditate din precipitații atmosferice, prin **infiltrații directe**, în special din ploaia asociată cu vânt;

2. umiditate din atmosferă, prin **condens** superficial sau interstițial;

3. umiditate din teren, prin **ascensiune capilară**, cu două categorii de surse posibile:

- 3a. din ape de suprafață dispersate în teren (ape meteorice sau scurgeri accidentale din conducte, puțuri, rezervoare);

- 3b. din pânza freatică.

Umiditatea din **precipitații atmosferice** nu ridică în general probleme speciale privind identificarea sursei și conținutului intervențiilor, fiind de obicei legată de neetanșeități (degradări ale învelitorii, rosturi deschise, fisuri) și/sau defecțiuni ale dispozitivelor de colectare (gheaburi, burlane), fenomenele fiind accentuate de menținerea timp îndelungat a condițiilor umede în lipsa unei întrețineri corespunzătoare.

Un interes special în cadrul intervențiilor de reabilitare prezintă umiditatea din **condens** și cea provenită din teren, prin **ascensiune capilară**, cauzele exacte fiind mai dificil de identificat. Uneori, în cazul clădirilor vechi, cele două fenomene sunt asociate.

**Condensul** se manifestă ca un fenomen discontinuu, ce decurge din răcirea locală a aerului în contact cu o suprafață rece, și este legat de condiții meteorologice momentane sau periodice (sezoniere), asociate unei protecții termice insuficiente, unor elemente de construcție cu alcătuire neomogenă, inerției termice mari a elementelor de construcție masive și în contact cu pământul, umidității relative crescute a aerului stagnat prin evaporarea unor suprafețe umede sau prin condițiile de utilizare etc.<sup>6</sup>

În cazul zidăriilor tradiționale, lipsite de hidroizolații orizontale și alcătuite din materiale poroase, fenomenul **ascensiunii capilare** a apelor din teren supreficiale sau de profunzime, constituie una dintre problemele majore ale reabilitării. Conținutul ascensiunii capilare este astăzi amplificat de folosirea unor finisaje interioare și exterioare impermeabile care limitează evaporarea apei din zidărie, de modificări ale regimului higrotermic al construcțiilor legate

<sup>5</sup> Cu excepția construcțiilor cu zidării foarte groase de piatră unde este posibil ca priza mortarelor de var din straturile interne să nu fie completă chiar după un secol.

<sup>6</sup> În zidăriile constituite din materiale capilate (cărămidă, calcare poroase etc.) un condens limitat nu este dăunător, atât timp cât apa, migrând prin perete către suprafața exterioară, se poate evapora liber. Calitatea pereților de închidere de a permite "respirația" se referă, deci, la capacitatea anumitor materiale de a absorbi apa din condens și a o transfera prin capilaritate către zona mai uscată, respectiv fața exterioară a peretelui, unde evaporarea împiedică materialul să devină saturat și menține activă forța de capilaritate. Conform unor studii experimentale (I. S. Cammerer, cf. G. e I. Massari, op. cit.), zidăria care evacuează cel mai bine condensul este cea din cărămizi obișnuite; tencuielile ideale sunt cea de ipsos, foarte absorbantă, pentru fața interioară a zidului, și cea de mortar de var pentru exterior. Este evidentă în acest sens eroarea de a finisa la exterior peretele cu o tencuială de ciment sau alt finisaj impermeabil, ceea ce conduce la împiedicarea evaporării spre exterior și acumularea umidității în interiorul peretelui. Apariția mușgaiului pe fața interioară a peretelui semnalează prezența apei în tencuiala interioară, apă pe care evaporarea către spațiul interior nu reușește să o elimine total, valoarea de echilibru cu umiditatea relativă a aerului ambiant fiind la un moment dat depășită. Dacă finisajul interior al peretelui este impermeabil, apa de condens se prelinge pe parament. Ambele situații conduc, în ultimă instanță, la condiții de locuire insalubre.



de exigențe de utilizare contemporane (modificări ale regimului de încălzire și ventilare a spațiilor interioare), de modificări ale nivelului pânzei freatice prin diverse lucrări subterane, de prezența în sol a numeroase trasee de echipare edilitară susceptibile de defectiuni și posibile surse de infiltrații, de folosirea de fertilizanți în agricultură cu consecințe privind concentrația salină a apei etc.

## Evaluarea cantitativă a umidității

Pentru o evaluare corectă a fenomenelor și o intervenție eficientă, este necesară o *apreciere cantitativă a umidității prin măsurători cu instrumente adecvate*<sup>7</sup>, în laborator sau în situ, simptomele vizibile și "bunul simț" nefiind pe deplin concludente. În acest sens, dăm în continuare câteva exemple.

În cazul clădirilor vechi, petele prezente pe tencuială pot fi reminiscențe ale unui fenomen încheiat, ca și semne ale unei umidități actuale. Prezența eroziunilor pe paramente exterioare este legată de uscări și umeziri alternate datorită variațiilor meteorologice, în timp ce, într-un spațiu închis, rece și neventilat, cu procente mari de umiditate constantă lipsesc de obicei

<sup>7</sup> Fără a intra în amănunte, amintim că, pentru definirea cantitativă a umidității unei încăperi, sunt necesare două categorii de măsurători:

a. **Măsurarea umidității relative a aerului** - cu higrometrul sau cu psihometrul, cu grade diferite de precizie; în linii mari, aerul se consideră excesiv de uscat când u.r. este sub 50%, uscat când u.r. nu depășește 65% și umed când u.r. depășește 70%.

b. **Măsurarea umidității elementelor de închidere** (zidării și pardoseli) - printr-unul din cele două procedee posibile și funcție de gradul de precizie dorit:

- metoda electrică - de măsurare superficială (15-20 mm) a umidității, *in situ*, cu aparate electrice portabile; măsurătorile nu sunt foarte precise; măsurătorile în grosimea zidului presupun deschiderea unor "ferestre" în cazul aparatelor obișnuite sau utilizarea unei tehnici mai laborioase și sofisticate, bazată pe aparate cu microunde;

- metoda ponderată - de măsurare în profunzime a umidității (15-20 cm unde efectul umidității atmosferice nu mai operează), în laborator, pe bază de probe prelevate (min. 3 pe verticală, la cca 1m distanță), în recipiente bine închise; este inoportună în cazul unor zidării nesigure din punct de vedere static; pentru stabilirea cantității de apă sunt posibile două metode: cea ponderată (diferența de greutate între proba umeză și uscată) și cea cu alcool (proprietatea alcoolului de a scoate din probă umiditatea și calcularea cantității acesteia prin diverse metode); conținutul de apă, exprimat în procente din greutatea probei (umiditate gravimetrică), poate varia de la 0,5% la 30%; dacă raportarea se face la volum (umiditate volumetrică), cifrele cresc funcție de greutatea specifică a zidăriei, de 1,5-2 ori ( $\varphi_v = \varphi_g \times \gamma$ , unde  $\varphi_v$  = umiditatea volumetrică,  $\varphi_g$  = umiditatea gravimetrică și  $\gamma$  = greutatea specifică).

În practică este utilă confruntarea rezultatelor obținute prin măsurători superficiale și profunde.

simptomele de eroziune, încât în cazurile cele mai grave tencuiala nu acuză nici o alterare. Prezența efflorescențelor impresionante de salnitru (nitrat de potasiu) este legată de prezența și particularitățile acestor săruri solubile, și nu implică o umiditate mai mare a respectivului perete față de un altul cu mai puține efflorescențe. Mușcăturile, care au nevoie de umiditate minimă, asociată lipsei oricărei mișcări de aer, lipsei luminii și prezenței unui suport organic, nu pot constitui o indicație privind nivelul de umiditate a încăperii și nici în ceea ce privește originea apei.

Măsurătorile - de altfel, simple ca procedură - oferă o expresie numerică graduală a conținutului fenomenului, referindu-se la diverse aspecte ale acestuia, între care de maximă importanță este determinarea cantității de apă din zidărie ce permite deducerea distribuției umezelii în zid (*diagrama secțiunii umeze*) și, ca atare, a căii sale de acces (fig. 1).

## Comportarea materialelor în raport cu apa

Cu referire la comportarea materialelor în raport cu apa, tratatele tehnice de specialitate iau în general în considerare trei caracteristici, verificate experimental:

a. cantitatea de apă absorbită de proba integral scufundată, respectiv **coeficientul de imbibare**;

b. viteza sau puterea de absorbție a probei integral scufundate, denumită uneori putere de **absorbire capilară**;

c. **viteza de evaporare** a probei extrase din apă.

În ceea ce privește studiul umidității zidărilor însă, coeficientul de imbibare are un interes relativ, întrucât în realitate, cu excepția unor cazuri rare, materialul nu se găsește scufundat integral în apă. De mult mai mare interes este, în acest caz, cantitatea de apă pe care materialul o poate acumula fiind în contact cu lichidul numai printr-o porțiune limitată a suprafeței sale, respectiv cantitatea de apă absorbită de partea uscată, aflată deasupra nivelului apei (în emersiune). O astfel de situație studiată în laborator reproduce destul de fidel cazul zidăriei în elevație care absoarbe apa din teren și furnizează date esențiale pentru clasificarea materialelor de construcție în raport cu umiditatea zidărilor. Cercetările efectuate în acest sens de Giovanni și Ispolito Massari<sup>8</sup> introduc două noi caracteristici ale materialelor în relație cu apa:

- cantitatea de apă absorbită în emersiune, exprimată

<sup>8</sup> Cf. G. e I. Massari *Risanamento dei locali umidi*, Hoepli, Milano, 1992

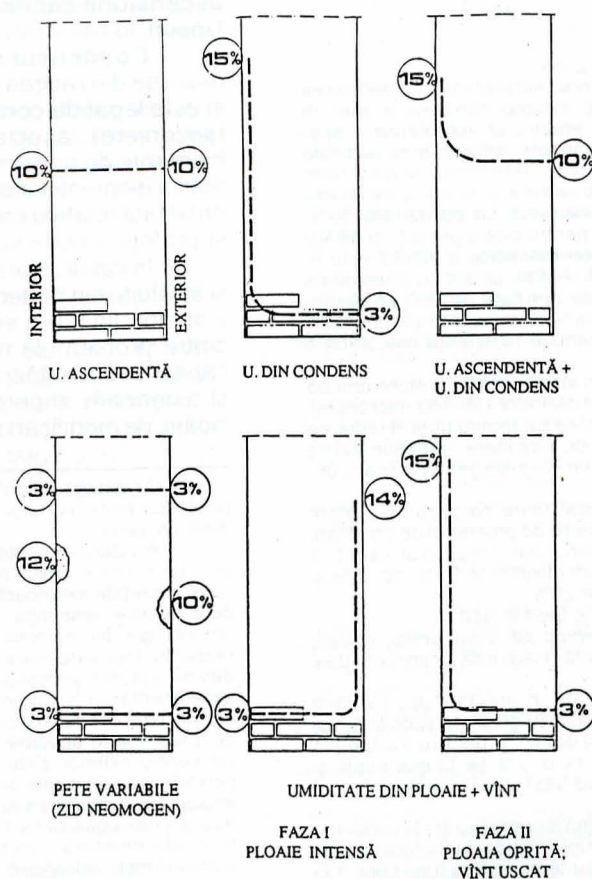


Fig. 1 Diagrama de distribuție transversală a umidității pe fețele unui zid cu proprietăți de conductibilitate capilară, funcție de originea apei. După G.e.I. Massari, *Risanamento dei locali umidi*, Milano, 1992, p. 54.



în procente raportată la volum sau greutate, denumită "coeficient de atracție";

- cantitatea de apă, în grame, absorbită în unitatea de suprafață, denumită *putere de "atracție"*.

În cazul anumitor pietre naturale, există o mare diferență între cantitatea de apă acumulată în imersiune și cea reținută atunci când materialul vine în contact cu apa doar prin intermediul unei suprafețe, respectiv este o mare diferență între coeficientul de îmbibare și cel de atracție: este cazul pietrelor cu goluri relativ mari, ca travertinul, care, scufundate, se încarcă cu apă în goluri, pentru ca apoi, extrase parțial, să nu aibă nici o putere de atracție asupra apei.

Absorbția în emersiune, respectiv proprietatea materialelor ce se propune a fi denumită "atracție", este specifică materialelor poroase și permeabile, cu granulație fină și omogenă, cum ar fi: ceramica poroasă, tufurile, calcarele poroase, unele conglomerate.

### Absorbția în imersiune (îmbibarea)

Redăm mai jos o posibilă clasificare generală a materialelor de construcție în funcție de cantitatea de apă cu care se îmbibă atunci când sunt integral scufundate în apă (procente din volumul probei, respectiv umiditate volumetrică)<sup>9</sup>:

0%-0,1% pietre foarte compacte: granit, marmură și calcar zaharoide;

0,1%-5% pietre mai puțin compacte: calcar obișnuit compact etc.;

5%-20% conglomerate, calcar semidur, travertin, mortar de ciment mortar de var; cărămizi compacte și de parament;

20%-35% calcar moale, tuf de bună calitate, mortar de var cu puzzolană, cărămizi obișnuite de mașină;

35%-55% tuf calcaros sau vulcanic, cărămizi de mână, ipsos.

După cum era de așteptat, materialele naturale cu cea mai mare capacitate de îmbibare sunt cele mai ușoare, respectiv cele cu greutate specifică cuprinsă între 1 și 2, frecvent utilizate în zidării datorită calităților lor termoizolante și bunei aderențe la mortar care, datorită porozității, fac ușor obiectul unor invazii ale umezelii.

### Absorbția în emersiune ("atracția")

În sensul definițiilor date anterior, orice material aflat parțial în contact cu apa este caracterizat de două mărimi care exprimă cantitatea și viteza cu care acesta absoarbe apa. Experiențele de laborator conduse de G. și I. Massari și reproducând la scară mică situația zidărilor în mediul natural, au condus la următoarele observații:

- înălțimea până la care se ridică umezeala (înălțimea de "atracție") diferă de la un material la altul, funcție de tipul și diametrul capilarelor în cadrul structurii materialului: este maximă în cazul mortarelor hidraulice de puzzolană (umiditate volumetrică 31%) și al cărămizilor foarte poroase, deschise la culoare (umiditate volumetrică 30,4%); urmează calcarul poros, tuful, mortarul de var; pot fi considerate a nu manifesta practic fenomenul de absorbție pietrele naturale compacte din trei categorii: granituri, calcar zaharoide, bazalturi, ceea ce le face optime pentru fundații;

- cantitatea de apă absorbită în imersiune și în emersiune este aceeași în cazul cărămizii și foarte diferită în cazul altor materiale, ca unele tufuri și conglomerate calcaroase, ca betonul poros artificial, care absorb mult mai mult în imersiune decât în emersiune; materialele cavernoase și compacte, ca travertinul, nu absorb apa în

emersiune;

- mortarul de var-nisip absoarbe mai puțin decât cel de var-puzzolană, dar mai rapid; adaosurile hidrofuge obișnuite în mortar reduc aproximativ la jumătate absorbția, dar nu o anulează; în schimb, se reduce mult viteza de absorbție: de 10 ori în cazul mortarului de var și de 6 ori în cazul mortarului de ciment;

- în grupul de materiale examinate, viteza maximă de absorbție o are cărămida foarte poroasă, gălbuie, cca 1/2 cărămida roșie, cca 1/4 mortarul de var-nisip și cca 1/5 mortarul hidraulic de puzzolană;

- având în vedere diferențele între diverse materiale în ceea ce privește viteza de absorbție, zidării la fel de uscate venite în contact cu apa vor prezenta manifestări de umezeală în intervale de timp diferite (dacă un perete din cărămizi gălbui se umezește după un an, unul din tuf se umezește după 7 ani);

- viteza de absorbție este mai mare în cărămidă decât în mortarul aderent acesteia, iar mortarul absoarbe în final aproximativ aceeași cantitate;

- în mortarul de ciment absorbția este de 10 ori mai lentă față de mortarul de var (de 6-70 de ori dacă este hidrofugat) și de cca 50 de ori față de cărămidă gălbuie.

O observație interesantă este cea făcută de Ketternacher<sup>10</sup>, conform căreia în cărămidă cantitatea de apă absorbită este uniform repartizată în masa probei pe toată înălțimea umedă, în timp ce în probele de piatră naturală straturile superioare conțin întotdeauna mai puțină apă decât cele inferioare. Acest fapt se poate explica în legătura cu prezența capilarelor de diametre diferite în structura pietrei naturale (un conglomerat calcaros în cazul experimentului efectuat de Ketternacher), ceea ce determină înălțimi diferite de ascensiune a apei, spre deosebire de capilarele de diametru constant ale cărămizii, care determină o distribuție uniformă a apei la înălțimea maximă de ascensiune. Această constanță a diametrelor capilarelor constituie și explicația comportamentului identic al cărămizii în imersiune și emersiune.

În ceea ce privește caracteristicile de capilaritate, materialele umede pot prezenta **capilaritate pozitivă**, atunci când evaporă apa cu aceeași ușurință cu care o absorb (cărămida, mortarul de var, panourile din fibre lemnoase), sau **capilaritate negativă**, atunci când o evaporă doar la suprafață și o rețin în nucleu (betonul celular, tuful, vata minerală).

Adsorbția poate fi considerată un caz particular al fenomenului general de absorbție a umidității de către un material poros-capilar aflat în contact cu un mediu ce conține o anumită cantitate de apă.

Cazul cel mai semnificativ este cel al contactului cu aer umed. Adsorbția are loc în două faze distincte: condens în microcapilare și condens în macrocapilare.

Dacă valoarea umidității materialului este inferioară celei de echilibru cu aerul, se generează un fenomen de adsorbție: moleculele vaporilor de apă sunt atrase de pereții capilarelor și formează pelicule subțiri, ce îmbracă acești pereți; peliculele devin din ce în ce mai consistente, până când ocupă complet spațiul disponibil. În aceste condiții se formează *meniscul*, cu fenomenele de capilaritate de decurg.

La temperatura constantă, presiunea vaporilor  $p_v$  deasupra meniscului este inferioară presiunii de saturație  $p_s$  și se diferențiază considerabil în cazul capilarelor cu diametru foarte mic. Având în vedere că în condiții de echilibru  $p_v = p_{va}$  (unde  $p_{va}$  = presiunea vaporilor în aer), se poate deduce că, în microcapilare se produce condens chiar pentru valori ale umidității relative a aerului mult sub valoarea de saturație.

La creșterea umidității pentru temperatură constantă,

<sup>9</sup> Cft. G. e I. Massari, op. cit., p. 26

<sup>10</sup> Cf. G. e I. Massari, op. cit.



crește și umiditatea materialului în condiție de echilibru. În apropierea valorii de saturație a aerului, umiditatea crește foarte rapid: în acest caz, lichidul umple și capilarele de dimensiuni mai mari.

### Capilaritatea materialelor poroase

După cum rezultă din cele de mai sus, procesele care conduc la o creștere a conținutului de umiditate în materialele poroase pot fi sistematizate astfel:

- absorbție în prezența aerului umed;
- absorbție în emersiune;
- absorbție în imersiune (îmbibare).

Materialele poroase, aflate în contact cu apa lichidă sau cu vaporii de apă conținuți în atmosferă, absorb umiditatea datorită fenomenelor de atracție intermoleculară ce se dezvoltă la nivelul suprafețelor de contact.

Structura poroasă a materialelor este complexă: pentru unele dintre ele, o reprezentare schematică și simplificată poate fi cea a unei rețele de capilare ce leagă porii mai mari, deci o succesiune de "cavități" de diametre, lungimi și poziții variabile.

Descrierea fenomenului de propagare a umidității în structura materialelor pe baza fenomenului de **capilaritate** este utilă în specia cu referire la ascensiunea apei provenite din teren.

Fenomenul fizic cunoscut sub numele de capilaritate constituie o abatere de la principiul vaselor comunicante, manifestată în cazul lichidelor aflate în tuburi de diametru comparabil cu al unui fir de păr, numite capilare<sup>11</sup> (sau între două plane paralele, la o distanță de același ordin de mărime).

În cadrul dinamicii fluidelor, fenomenul este explicat pe baza acțiunii combinate a forțelor de atracție moleculară ce se manifestă în macrosopie ca forțe de *adeziune*, respectiv atracția exercitată de moleculele pereților vasului și de *coeziune*, dintre moleculele lichidului, precum și ca fenomene de tensiune superficială.

Când un lichid se află în contact cu suprafața unui solid, moleculele sale sunt atrase de cele ale solidului și se dezvoltă o forță de adeziune. Dacă lichidul "udă" solidul (cazul apei), forțele de adeziune depășesc pe cele de coeziune (datorate atracției moleculelor interne asupra celor superficiale), iar suprafața lichidului prezintă o curbă concavă (menisc concav). Introducând un tub de diametru foarte mic (capilar) într-un vas cu apă, se constată formarea unui menisc concav la contactul dintre lichid și peretele tubului și ridicarea apei în tub. Echilibrul este atins atunci când diferența de presiune dintre aerul exterior și apa din interiorul capilarului este compensată de presiunea hidrostatică a coloanei de apă.

Din expresia *legii fundamentale a ascensiunii capilare* formulată în fizică rezultă că:

- înălțimea de ascensiune este invers proporțională cu densitatea lichidului și raza tubului capilar;
- înălțimea de ascensiune este direct proporțională cu tensiunea superficială, care, la rândul ei, crește temperatura.

Prin analogie cu câmpul gravitațional, se poate defini "potențialul capilar" (energia potențială pe unitate de masă), invers proporțional cu densitatea lichidului și raza capilarului. Un lichid care "udă" (apa) se deplasează dinspre configurații cu potențial capilar mic (deci, cu rază mare) către configurații cu potențial mare (rază mică). Altfel spus, într-un lanț de capilare comunicante cu raze diferite, deplasarea se va produce *de la capilarul de diametru mai mare spre cel de diametru mai mic, și nu invers*.

Cantitatea de apă absorbită și înălțimea de ascensiune depind într-adevăr *de distribuția capilarelor, ca poziție și diametru*. Influența omogenității capilarelor este evidențiată de compararea rezultatelor probelor de absorbție în imersiune și în emersiune: în cazul unei distribuții neomogene, există o diferență importantă între conținutul de apă după cele două probe în cazul unei distribuții relativ omogene, rezultatele variază nesemnificativ (cazul cărămizii).

Răspândirea în zidărie a apei conținând săruri minerale dizolvate include și fenomene *de difuzie*. Reținem, din fizică, faptul că masa substanței difuzate este direct proporțională cu diferența

concentrațiilor și coeficientul de difuzie, respectiv cu *temperatura și natura soluției*<sup>12</sup>.

Fenomene de difuzie pot avea loc nu numai prin contact direct, ci și prin membrane de separare permeabile sau semipermeabile (*osmoză*), constatându-se trecerea preferențială și cu viteză mai mare a dizolvantului către soluție; se produce în acest caz o presiune, orientată spre dizolvant care se numește *presiune osmotică*. În cazul soluțiilor bune conducătoare de curent (cazul soluțiilor saline), presiunile osmotice au valori extrem de mari. La concentrații molare egale, *presiunea osmotică a soluțiilor saline este mai mare*, până la dublu, față de soluțiile rău conducătoare; valorile ridicate ale presiunii osmotice sunt consecință disocierii electrolitice a moleculelor în particule mai mici, măbind concentrația molară.

Fenomenul ridicării și răspândirii apei în zidării include și *acțiuni de natură electrodinamică*.

Este cunoscut faptul că între terenul de construcție și zidărie există o *diferență de potențial de contact*, (efect Volta<sup>13</sup>) pământul constituind polul pozitiv, iar zidăria polul negativ, ceea ce, în prezența unui electrolit, generează forțe electromotoare suplimentare, care variază în funcție de temperatură.

Similar, discontinuitatea de concentrație salină a apei din zid, face ca acesta să fie, în fapt, un *complex de mici pile electrice* capabile să producă forțe electromotoare.

Transportul de electricitate în electroliți este un *curent de convecție*: are ca vehicul ionii, care își asociază un număr oarecare de molecule solventului (apei), trăgând după ei întregul cortegiu. Acest transport este amplificat proporțional cu *creșterea temperaturii*.

În ceea ce privește vasele capilare prin care circulă un electrolit, reținem faptul că, în cadrul electrodinamicii, se definește fenomenul de *electrocapilaritate*<sup>14</sup>; acest fenomen este legat de modificarea tensiunii superficiale în urma aplicării unei forțe electromotoare, modificare ce produce o deplasare a meniscului.

Sintetizând, vom reține faptul că fenomenul de conductibilitate capilară în zidării este invers proporțional cu *diametrul porilor și densitatea lichidului* și este accentuat de *concentrația salină a apei și de creșterea temperaturii*.

### Ascensiunea capilară în zidării

Dacă în ceea ce privește experiențele de laborator pe probe din diverse materiale se constată diferite înălțimi de absorbție a apei în emersiune, în cazul zidăriilor puterea de absorbție tinde către cea specifică materialului de bază: cu cât rosturile sunt mai subțiri și, deci, cantitatea de mortar mai redusă, cu atât comportamentul global al zidăriei va fi mai apropiat de cel al materialului de bază. Este cazul zidăriilor de cărămidă, cu asize regulate și rosturi relativ subțiri, în opoziție cu zidăriile din pietre neregulate și mult mortar.

Din punct de vedere al comportamentului față de invazia umedă, elementele legate pot avea în raport cu mortarul o relație activă, de cooperare, sau pasivă: activă, atunci când elementele legate transmit umiditatea cu viteză mai mare sau egală cu cea a mortarului; pasivă, atunci când umiditatea este basorbită de mortar.

În general, umiditatea ascensională urmează calea cea mai scurtă posibilă. Într-o zidărie de cărămidă, transportul de umiditate se produce în linie dreaptă, având în vedere puterea de absorbție similară a cărămidilor și a mortarului, umiditatea atingând într-un timp scurt înălțimi mari. În schimb, o zidărie din pietre anticapilare acceptă pe ansamblu cu greu pătrunderea de umiditate, întrucât aceasta se poate produce numai prin intermediul mortarului, deci pe o cale lungă, sinuoasă și mult mai lentă. Practic, o invazie umedă ascendentă datorată *exclusiv* mortarului de var este imposibilă.

Sensul ascendent al umidității este determinat de coexistența a două condiții:

- a. continuitatea alimentării din teren a zidului;
- b. capilaritatea materialului legat de mortar.

Întreruperea continuității de alimentare face ca umiditatea să devină descendentă.

<sup>12</sup> Substanțele cu molecula mică difuzează mai repede ca substanțele cu molecula mai mare.

<sup>13</sup> Diferențe de potențial de contact, prin schimburi de electroni sau de ioni, între solide, solide-lichide, solide-gaze sau două lichide cu proprietăți fizice sau chimice diferite.

<sup>14</sup> Fenomen descoperit și studiat de fizicianul francez Gabriel Lippmann, în 1873.

<sup>11</sup> Sub 0,2 mm.



În cazul zidărilor de piatră, cooperarea activă a materialelor la transportul umidității depinde de *tipul de piatră și de dimensiunile* elementelor legate. Dacă este vorba de pietre sau blocuri de asemenea dimensiuni, încât, luate izolat și puse în contact cu apa, se umezesc integral, pe toată grosimea, atunci fiecare element de acest fel va transmite umiditatea, având aceeași funcțiune activă ca și cărămida, dar cu viteză mult mai mică. Invers, dacă înălțimea elementului legat depășește considerabil înălțimea de absorbție, respectivul element nu va contribui la transmiterea umidității și va tinde să rețină apa absorbită din mortarul adiacent, păstrându-și nucleul uscat sau aproape uscat; în acest caz, avansarea umidității în zid este extrem de lentă, iar înălțimea maximă ce poate fi atinsă este foarte redusă. Se explică astfel situația, constatată frecvent, a două ziduri aflate în aceleași condiții de amplasament în raport cu apa, realizate din același material de bază, dar sub forma unor elemente de dimensiuni net diferite și care rezultă, practic, unul ostil și celălalt favorabil ascensiunii umidității.

Funcție de raza capilarelor materialului în condiții de perfectă verticalitate, se poate determina *înălțimea de ascensiune capilară*. În realitate însă rareori înălțimea de ascensiune capilară a unui material atinge valorile teoretice ce nu țin cont de caracteristicile de salinitate ale apei, variabile în funcție de amplasament, și nici de evaporare, fenomen influențat de o serie de factori contextuali.

Viteza de ascensiune a umidității în zid scade progresiv, fiind contrabalansată de evaporarea superficială: dincolo de un anumit nivel, ascensiunea, devenită foarte lentă, nu mai este continuă, ci în salturi, favorizate de anumite condiții ocazionale (cum ar fi reducerile temporare ale însoțirii), ce fac să varieze conținutul evaporării superficiale.

Zidul în care se ridică umiditatea poate fi considerat o conductă capilară, iar cantitatea de apă absorbită, în unitatea de timp, de secțiunea orizontală a zidului la ieșirea din pământ, poate fi considerată *debitul secțiunii de absorbție*. Pentru o anumită înălțime de absorbție stabilizată, există pentru orice zid un echilibru hidric conform căruia *debitul secțiunii inferioare de absorbție egalează evaporarea totală a pereților*<sup>15</sup>. Din aceste motive, *înălțimea de ascensiune a umidității este mai mică pe fațadele bine însoțite și ventilate*.

*Orice reducere a suprafeței de evaporare determină reluarea (accentuarea) ascensiunii umidității*.

În cazul zidărilor de același fel și în aceleași condiții de amplasament, secțiunea de absorbție și, deci, debitul cresc direct proporțional cu grosimea zidului. Ca atare, pentru a echilibra absorbția mai mare, zidul mai gros are nevoie de o suprafață de evaporare mai mare, ceea ce face ca umiditatea să se ridice mai sus. Deci, în condiții egale de materiale și amplasament, *conținutul de umiditate și respectiv înălțimea de ascensiune sunt proporționale cu grosimea zidului*.

**Raportul dintre suprafața de evaporare și cea de absorbție**, dedus din diverse observații asupra unor zidării umede, este în medie următorul:

- la stâlpi izolați:  $Se/Sa = 2...3$
- la pereți exteriori:  $Se/Sa = 3...8$
- la pereți interiori:  $Se/Sa = 4...10$

Raportul dintre înălțimea maximă de ascensiune a umidității ( $h_a$ ) și grosimea zidăriei ( $d$ ) este denumit în literatura de specialitate *indice de ascensiune*  $= h_a/d$  și ia următoarele valori:

- la stâlpi izolați:  $h_a/d = 1$
- la pereți exteriori:  $h_a/d = 1,5...4$
- la pereți interiori:  $h_a/d = 2...5$

În practică *cele mai mari înălțimi de ascensiune se întâlnesc în legătură cu următoarele condiții: ziduri de cărămidă, iarna, expunere la Nord, apă cu conținut salin mare, aer saturat sau aproape de saturație*.

## Uscarea materialelor umede

Un zid umed din ascensiune capilară și în care acest proces s-a stabilizat la o anumită înălțime, este caracterizat de un bilanț hidric conform căruia o anumită cantitate de apă intră pe la baza zidului și o alta iese prin evaporare la nivelul suprafețelor expuse la aer.

Cunoașterea coeficienților de evaporare superficială ale diverselor tipuri de zidării ar permite calcularea cantității medii de umiditate transmise mediului ambiant în unitatea de timp de un perete umed, în condiții date de temperatură și grad higrometric al aerului. Deși condițiile se modifică progresiv, s-ar putea determina și numărul de schimburi de aer necesare pentru a coborî umiditatea aerului dintr-o încăpăre până la limitele admise de exigențele de igienă. În prezență, observațiile în domeniu sunt extrem de reduse și un calcul ce se dorește precis nu ar reuși să țină cont de variabilitatea condițiilor exterioare.

În practică, în cazurile curente de pereți și pardoseli umede, evaporarea unitară are valori cuprinse între 4 și 10 g/m<sup>2</sup>h. Evaporarea unitară crește de 3-5 ori sub acțiunea unui vânt slab (cca 8km/h) și de 2-3 ori sub acțiunea soarelui, mai mult, în aceste condiții evaporările unitare ale diverselor materiale saturate cresc aproape paralel.

Cercetări interesante în ceea ce privește uscarea materialelor de construcții au fost realizate de Kröll, Krischer și Görling<sup>16</sup>. Vom încerca, în continuare, o expunere succintă a rezultatelor acestor cercetări, ce pot aduce o contribuție practică în problema asanării zidărilor.

În uscarea unui material umed se disting *două faze*:

- în prima fază, eliminarea apei de către suprafața materialului este constantă, pe măsură ce procentul de umezeală conținută în masa acestuia scade progresiv; evaporarea se produce cu viteză la temperatură constantă; suprafața este saturată;

- după un anumit punct, numit *punct de inflexiune* și corespunzând unui anumit procent de umezeală, caracteristic fiecărui material, are loc o cădere bruscă a evaporării.

Acest comportament pare a fi caracteristic tuturor materialelor poroase și diferit de la material la material; el poate fi exprimat grafic printr-o **diagramă de uscare** (diagrama Krischer-Görling, fig. 2), ce cuprinde o porțiune aproape orizontală (evaporare constantă) și o a doua porțiune, ce tinde spre verticală (evaporare în declin rapid).

Explicația se bazează pe observația că, în prima fază, atunci când suprafața materialului este saturată, *viteza de evaporare depinde numai de deficitul de saturație a aerului și este independentă de proprietățile materialului* în curs de uscare. Într-un anumit moment al procesului de uscare (*punctul de inflexiune*), când suprafața nu mai este saturată, o nouă cantitate de apă vine din straturile interne ale materialului, dar cu viteză mai mică decât cea care ar fi necesară pentru alimentarea evaporării constante. În acest moment intervin *caracteristicile de conductibilitate capilară* specifice fiecărui material în parte, ce determină o rezistență mai mare sau mai mică pe care apa o întâmpină pentru a ajunge la suprafață în această fază viteza de evaporare depinde deci, de structura specifică a materialului.

Este evident că, în ceea ce privește efectele zidărilor umede asupra microclimatului interior, prima fază este cea mai periculoasă prin puterea considerabilă și constantă de evaporare a zidului saturat, în timp ce în faza a doua puterea de evaporare scade rapid.

Experimentele efectuate (în Italia și Marea Britanie) au dovedit faptul că *evaporarea unitară are valori aproximativ egale pentru diverse materiale atunci când suprafața lor se menține saturată, valori cuprinse între 3 și 2 g/m<sup>2</sup>h*. Din punct de vedere practic, acest fapt conduce la concluzia că, atunci când sunt

<sup>15</sup> Rezultă, de aici, două principii de intervenție contra umidității din ascensiune capilară: reducerea secțiunii de absorbție și creșterea suprafeței de evaporare.

<sup>16</sup> Cf. G. e I. Massari, op. cit.



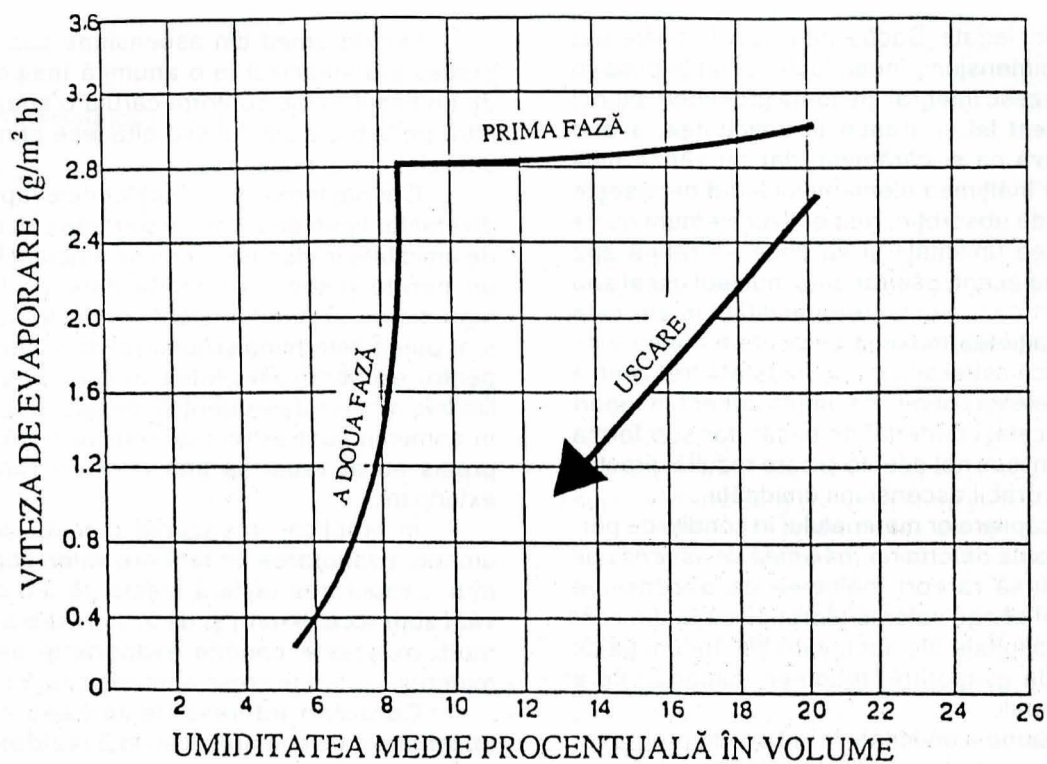


Fig. 2 Diagrama Krisher-Görling. Cele două faze de uscare ale unui material poros umed: prima, cu evaporare aproximativ constantă, a doua, cu declin rapid.  
După G.e.I. Massari, Risanamento dei locali umidi, Hoepli, Milano, 1992, p.33

foarte umede (în prima fază de evaporare), zidării din materiale diverse produc aceeași evaporare superficială și, deci, aceleași efecte nefaste asupra microclimatului interior.

Diagrama celei de-a doua faze este cu atât mai apropiată de verticală, cu cât structura materialului este mai omogenă (ex.nisipul, v.fig.3).

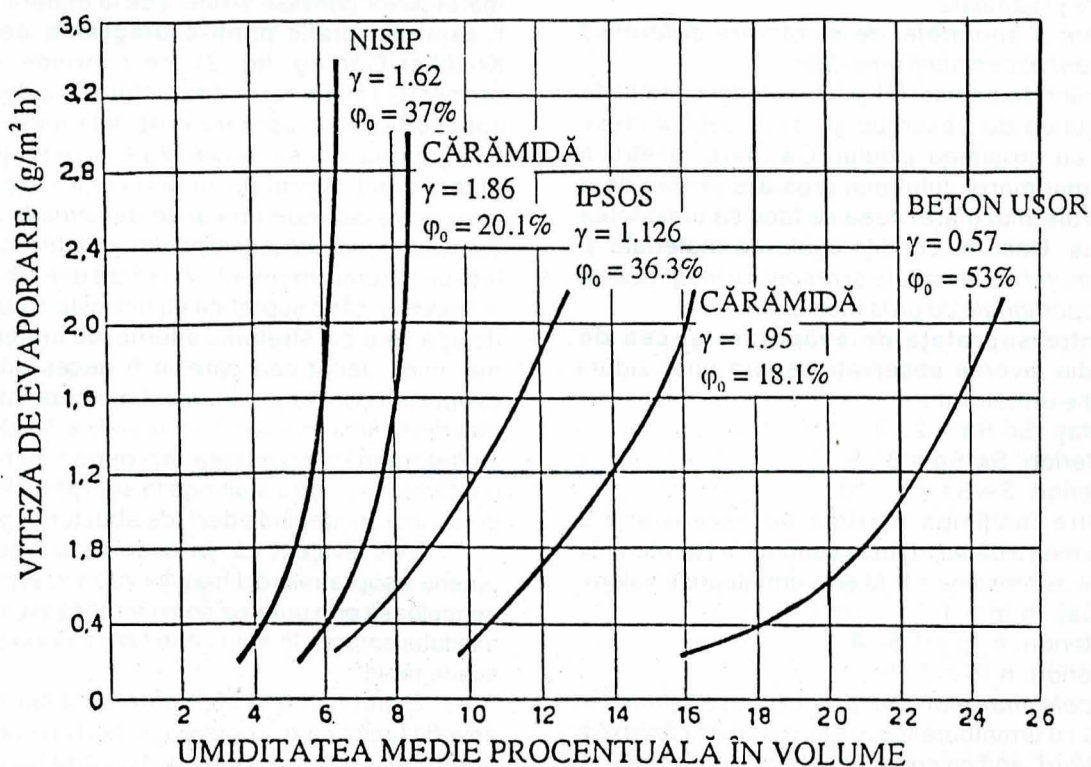


Fig. 3 Diagrama Krisher-Görling. A doua fază de uscare, specifică fiecărui material. Diagrama tinde către verticală cu cât structura materialului este mai omogenă.  $\gamma$ =greutatea specifică a materialului uscat;  $\varphi_0$ =umiditatea inițială.  
După G.e.I. Massari, Risanamento dei locali umidi, Hoepli, Milano, 1992, p.34



Se poate deduce de aici că, în cazul zidărilor de materiale cu granulație foarte fină și omogenă, prima fază va avea o durată sensibil mai lungă decât în cazul zidărilor din material discontinuu și eterogen, în timp ce faza a doua va fi rapidă și scurtă.

Cu alte cuvinte, un zid umed din cărămidă de bună calitate și mortar cu agregate fine, construit, îngrijit, cu asize regulate, va continua să aibă o evaporare unitară superficială ridicată și constantă chiar dacă conținutul său procentual de umiditate se reduce progresiv; numai după ce procentul de umiditate atinge o anumită valoare (spre exemplu, 6-8,8% în volume, pentru cărămida cu greutate specifică  $\gamma = 1,86$ ), evaporarea superficială se reduce considerabil și începe uscarea efectivă.

Dimpotrivă, un zid din diferite pietre brute poroase, cu mortar grosier, cu agregate necernute, va avea o primă fază de evaporare unitară constantă relativ scurtă, când încă există un conținut procentual de umezeală ridicat (de exemplu 15-20% în volume), începe a doua fază, respectiv un lent declin al evaporării superficiale.

Din punct de vedere al efectelor asupra condițiilor de igienă, *zidăria de cărămidă este în general mult mai periculoasă decât zidăriile de piatră*, întrucât, chiar la valori joase ale conținutului procentual de umezeală, transmite mediului ambiant apa pe care o conține printr-o evaporare ridicată și constantă, lucru ce nu se petrece în cazul zidărilor din pietre ușoare, și în special din tuf, care conservă în ei apa chiar în procente ridicate (de remarcat faptul că zidăriile de acest fel au o inerție mai mare și de acumularea apei, dar și la eliminarea ei, o dată acumulată în masa zidului).

Din aceste considerente, rezultă următoarea clasificare din punct de vedere igienic a zidărilor, în funcție de umiditatea procentuală în greutate, propusă de G. și I. Massari:

| Tipul zidăriei                                 | Perfect uscat   | Igienic uscată                      | Igienic tolerabilă                  | Umedă   | Foarte umedă |
|--|---|-------------------------------------|-------------------------------------|---------|--------------|
| Cărămidă                                       | 1%  | $\leq 3\%$                          | $\leq 4\%$                          | 3...9%  | >9%          |
| Piatră ușoară și absorbantă ( $\gamma < 1,9$ ) | $\leq 4\%$  | $\leq 6\%$                          | $\leq 7\%$                          | 6...15% | >15%         |
| Orice alt material                             | umiditatea proprie se determină după uscare materialului în aer liber | $\leq 2\%$ peste umiditatea proprie | $\leq 3\%$ peste umiditatea proprie |         |              |

\* pentru încăperi ocupate numai ziua

În consecință, putem afirma că, o premisă fundamentală a oricărui studiu privind condițiile de umiditate ale unei zidării, ar fi stabilirea fazei în care se află procesul de evaporare, întrucât, așa cum s-a mai spus, un perete umed este mult mai periculos din punct de vedere igienic dacă se

află în prima fază de evaporare.

Spre exemplu, pentru o zidărie umedă din cărămidă având punctul de inflexiune la o umiditate de 88% în volume, o intervenție de asanare are efecte reale de ameliorare numai dacă reușește să reducă umiditatea sub această valoare, ceea ce corespunde unei reduceri considerabile a evaporării superficiale.

Din diversele experimente efectuate, s-a dedus faptul că trecerea dintr-o fază în cealaltă se verifică în corespondență cu următoarele valori ale umidității gravimetrice, în funcție de material:

- pentru cărămida obișnuită ( $\gamma = 1,86$ ) - între 4,7 și 3,2%;

- pentru tuf - între 14 și 8%;

- pentru ipsos - între 9,5 și 5,3%

Rezultă că zidăriile pot avea o evaporare superficială în scădere sub acțiunea căldurii și/sau ventilării atunci când conținutul lor de apă coboară sub următoarele valori ale umidității gravimetrice:

- 5% pentru cărămida obișnuită;

- 14% pentru tuf;

- 9,5% pentru ipsos.

Constatările de mai sus constituie doar *elemente orientative privind o posibilă metodă de cuantificare a asanării zidărilor*. Procentele indicate cu caracter ilustrativ se referă la materiale izolate și nu la ansamblul unei zidării alcătuite din mai multe materiale.

Cunoscând cu precizie *punctul de inflexiune al fiecărui tip curent de zidărie*, inclusiv tencuiala, conținutul de umezeală corespunzător punctului de inflexiune este cel care *marchează pragul unei asanări efective*; abia dincolo de acest prag devin eficiente măsuri de tipul încălzirii și ventilării (întrucât abia în această a doua fază pot accelera în mod real uscarea zidului și a aerului ambiant), precum și orice alte procedee care ar putea coborî, cât de puțin, umiditatea zidului.

O observație particulară în ceea ce privește efectele umidității elementelor de construcții asupra igienei încăperilor, rezultă din experimente efectuate, se referă la faptul că aerul staționar ajunge la saturație în zona de contact cu peretele umed, chiar dacă umiditatea peretelui este relativ joasă (pentru 17% sau 4,5% umiditate gravimetrică, efectul este același), într-un timp mai lung sau mai scurt, în funcție de viteza de evaporare, respectiv în funcție de faza de uscare în care se află materialul, conform diagramei Krischer-Görling. Influența evaporării peretelui umed asupra aerului interior încetează la 6-8 cm distanță, unde umiditatea aerului se echilibrează cu cea din centrul încăperii. Dacă încăperea nu este ventilată, după un anumit timp o umiditate minimă a zidărilor poate produce efecte spectaculoase (mușgai) în zona imediat vecină peretelui. Rezultă, din aceste observații, explicația eficienței dublajelor de pereți ca intervenție rapidă în ceea ce privește asanarea climatului interior și locuibilitatea imediată a unor încăperi delimitate de pereți umezi.

În ceea ce privește comportarea materialelor în raport cu umiditatea, mai trebuie reținute următoarele concluzii de interes practic:

- comparând comportamentul cărămizii cu cel al mortarului, cu care se asociază, se remarcă faptul că acesta din urmă are o mai mare inerție atât în ceea ce privește



absorbția, cât și în ceea ce privește evaporarea; de aceea, în asanarea zidărilor de cărămidă umede, este foarte utilă, ca practică accelerativă a uscării, îndepărtarea provizorie a tencuiei;

- între mortar și elementele legate dintr-o zidărie, diferențele de conținut de apă sunt mai mari sau mai mici în funcție de umiditatea zidului: într-un perete foarte umed, componentele au aproximativ același conținut de apă; într-o zidărie cu umiditate medie, componentele au conținut diferit de umiditate; într-o zidărie puțin umedă sau foarte bine ventilată, diferența este și mai mare. În practică, se recurge frecvent la o medie;

- materiale diverse, saturate sau cu procente mari de umiditate, evaporă cantități aproximativ egale pe unitatea de suprafață; în schimb, la valori mici ale umidității conținute, comportamentul materialelor se diferențiază, evaporarea unitară tinzând să devină proporțională cu viteza de absorbție ("atrakție") a materialului uscat (absorbție în emersiune); atribuind valoarea 1 evaporării unitare cantitative a cărămidii foarte poroase (gălbuie), evaporarea unitară a cărămidii obișnuite (roșii) este cca 1/2, cea a mortarului de var este cca 1/5, a tufului 1/7, a mortarului de ciment 1/50; *dintre zidăriile umede, cea mai dăunătoare este cea din cărămizi moi și mortar de var, atunci când este aprovizionată constant cu apă, așa cum se întâmplă în cazul umidității ascensionale din pânza freatică;*

- cantitatea de apă pe care un zid umed o poate absorbi din teren variază între limite largi și depinde, între altele, de evaporarea superficială: cu cât este forțat să evapore mai mult în zona supraterană, cu atât va absorbi mai mult la nivelul fundațiilor; dacă fundațiile vin în contact cu pânza freatică, ventilarea, chiar foarte accelerată, nu va putea avea un efect de uscare; în schimb, dacă umiditatea provine din acțiunea directă a ploii sau din condens, ventilarea are ca efect sigur uscarea completă.

Un punct de vedere similar privind cele două faze distincte în uscarea materialelor formulează în studiile sale fizicianul P.H.Vos<sup>17</sup>. După Vos, toate materialele poroase, deci inclusiv zidăriile, au un punct critic propriu, corespunzând unui anumit conținut procentual de apă, deasupra căruia este posibilă difuzia, deci deplasarea apei sub acțiunea unei forțe adecvate, în timp ce sub acel punct apa se deplasează doar prin evaporare. Acest punct critic corespunde ca semnificație cu așa-numitul punct de inflexiune din diagrama Krischer-Görling. Cu referire la zidăriile de cărămidă din Veneția, Vos atribuie punctului critic valoarea 18% umiditate volumetrică.

#### Caracteristicile de absorbție și evaporare ale cărămidii. Hidrofilia cărămidii

După unele studii, suprafața cărămidii este caracterizată de un *dublu strat electric* cu o dispoziție de sarcini negative spre interiorul cărămidii și pozitive spre exterior, ceea ce favorizează atracția moleculelor de apă prezente în mediul ambiant cu formarea de legături de hidrogen (hidrofilia cărămidii).

Pe de altă parte, structura cărămidii fiind poroasă, apa este atrasă în pori prin *sucțiune capilară*. În masa cărămidii

apa tinde să se distribuie în așa fel, încât întregul sistem să prezinte energia totală minimă posibilă în raport cu distribuția diverselor diametre de pori. Astfel, *procesul de pătrundere a umidității în masa cărămidii* poate fi descris ca fiind structurat pe următoarele niveluri:

- nivel 1: materialul este complet uscat;
- nivel 2: apa pătrunde în porii mici, cei mari (peste 0,25  $\mu$ ) rămânând uscați;
- nivel 3: o peliculă din molecule de apă îmbracă suprafața porilor mari;
- nivel 4: toți porii sunt plini de apă.

Conform acestui model, propus de Giorgio Torraca<sup>18</sup>, rezultă că, la un anumit moment, masa cărămidii nu este în mod obligatoriu toată afectată de același nivel de pătrundere a apei.

Absorbția (spre interior) și uscarea (spre exterior) implică procese complexe de migrație a moleculelor de apă și frecvente schimbări ale stării de agregare (lichid/vapori).

În privința *absorbției*, porii cei mai apropiați de suprafață tind să se umple cu apă (cei mai mici) sau să fie acoperiți de o peliculă superficială (cei mai mari), corespunzător nivelului 3, în timp ce masa internă rămâne relativ uscată (nivelurile 2 și 1). Absorbția avansează de la exterior spre interior fie printr-un transfer progresiv de molecule lichide (difuzie lichidă), fie prin evaporare în porii uzi, difuzie de vapori și condens succesiv în porii uscați. Migrările de absorbție a umezelii sunt facilitate de prezența sărurilor higroscopice.

În privința uscării, hidrofilia superficială a cărămidii face ca eliminarea și evaporarea umidității să aibă loc mai dificil ca absorbția. Evaporarea ar trebui teoretic să se activeze la valori ale umidității aerului ambiant mai mici de 100% și să fie facilitată de o bună ventilare. Dar singura suprafață a cărămidii disponibilă pentru uscare este cea expusă la exterior, iar dacă porii interni se pot satura rapid de vapori de apă, evaporarea încetează. În procesul de uscare, când conținutul de apă scade sub nivelul 3 și pelicula de apă ce acoperă porii mari nu mai este continuă, migrația de apă spre exterior se poate petrece numai prin difuzie de vapori, fenomen mult mai lent ca migrația lichidă (ceea ce ar corespunde cu cea de-a doua fază de uscare, dincolo de punctul de inflexiune conform diagramei Krischer-Görling sau punct critic Vos). În plus, întrucât cărămida tinde să se mențină în echilibru cu umiditatea mediului, o anumită cantitate de apă tinde să rămână în interiorul său.

#### Limitele "electroosmozei" în uscarea zidărilor

În cele arătate anterior, găsim o posibilă explicație a limitelor constatate experimental în utilizarea pentru asanarea zidărilor a procedeelor de tip electroosmotice<sup>19</sup>, limite concretizate în insuccesul total al procedurii în anumite situații, sau stoparea procesului de eliminare a umidității la un anumit prag, în alte situații<sup>20</sup>.

<sup>18</sup> Cfr. Valerio Di Battista, *Degrade dei laterizi*, în *Technologia del recupero edilizio*, UTET, 1991.

<sup>19</sup> Cu referire la metoda electroosmotice, larg comercializată pe baza unor procedee brevetate sub diferite denumiri, trebuie subliniat faptul că nu este vorba niciodată de un remediu împotriva umidității, ci doar de o metodă de uscare a zidărilor. Pentru o rezolvare efectivă a problemei umidității, electroosmoza trebuie asociată depistării și eliminării prealabile a sursei de apă.

<sup>20</sup> Insuccese experimentale și rezerve privind acest sistem sunt menționate de G. și I. Massari, op.cit. și de P. și L. Mora/P. Philippot în *Conservarea picturilor murare*. Aceiași autori exprimă rezerve și privind procedeul de uscare a zidărilor cu "sifoane atmosferice" (Knappen).

<sup>17</sup> B.H. Vos, *Studies in Conservation*, vol.16, I.I.London, cf.G.e I. Massari, op.cit.



Termenul de electroosmoză, definește în general un principiu fizic conform căruia, prin trecerea unui curent electric continuu printr-un electrolit, (soluții saline) se poate efectua un transport de lichid prin membrane poroase sau semiporoase, cu o viteză independentă de grosimea membranei.

Diferența de potențial existentă în mod natural între straturile profunde ale terenului (anod) și zidăriile în elevație (catod), cu valori cuprinse între 10 și 100 mV, uneori chiar 500 mV, în funcție de caracteristicile amplasamentului și zidăriei, generează forțe electroosmotice care tind să transporte apa către catod, deci spre zidărie, însumându-se cu forțele hidrodinamice de capilaritate.

Procedeele de uscare electroosmotice se bazează pe principiul inversării artificiale a polarității, (cu generator de curent continuu, efect de pilă voltaică, sau câmp electromagnetic), ceea ce are drept consecință inversarea sensului de migrare a apei.

Principiul și-a găsit cu succes aplicații industriale diverse (deshidratări, extrageri de sucuri, uscarea parțială a argilei și turbei), cea mai apropiată de domeniul construcțiilor fiind consolidarea provizorie a săpăturilor în argile umede.

Limitele sistemului constau însă în faptul că respectivul principiu fizic este valabil numai în cazul unor materiale cu conținut mare de umiditate, (materiale umede în *prima fază* de uscare conform diagramei Krischer-Görling) când migrația apei se produce prin transfer progresiv de molecule lichide (difuzie) către suprafața de evaporare, proces ce poate fi activat sub acțiunea unor forțe de tip electroosmotice introduse artificial; este cazul argilelor și turbelor, unde conținutul inițial de umiditate volumetrică este 90-70%, iar o reducere până la 25% este un succes.

Procedeele nu funcționează la valori mici ale umidității, dincolo de *punctul de inflexiune* (sau punct critic Vos), respectiv în faza a doua de uscare, când deplasarea apei se face mult mai lent, prin evaporare și condens succesiv, și nu prin osmoză, de unde blocarea practică a procesului de eliminare a umezelii prin electroosmoză la un prag ce corespunde punctului de inflexiune, este cazul zidăriilor umede, cu umidități volumetrice ce rareori depășesc 30% și unde o asanare efectivă (însemnând coborârea umidității la nivelul acceptabil din considerente de igienă, deci sub 5% în volume în cazul zidăriei de cărămidă) nu se poate obține decât prin scăderea umidității sub punctul critic, respectiv în faza de scădere bruscă a evaporării. În plus, se pare că fenomenul electroosmotice este frânat progresiv de rezistența electrică în creștere pe care masa de zidărie o opune curentului electric pe măsură ce se usucă.

### Uscarea zidăriilor umede. Ipoteza Ketternacker

În general, evaporarea apei conținute de o zidărie este evident facilitată de expunerea la soare și aer uscat, în mișcare. În condiții egale de expunere, evaporarea depinde de calitatea zidăriei, respectiv de un așa-numit coeficient de uscare <sup>21</sup> (p) caracteristic fiecărui tip de zidărie, și

<sup>21</sup> Redăm mai jos câteva valori medii și cu caracter orientativ ale coeficientului de uscare (p):

|                          |      |
|--------------------------|------|
| cărămizi                 | 0,28 |
| piatră de calcară        | 1,2  |
| mortar de var gras       | 0,25 |
| beton cu agregate ușoare | 1,4  |
| beton celular            | 1,2  |
| beton greu               | 1,6  |

\*după G.Cigni/B.Codacci-Pisanelli, *Umidità e degrado negli edifici*, Edizioni Kappa, Roma, 1987).

grosimea acesteia (s); timpul de uscare (t) variază cu pătratul grosimii, respectiv:  $t = p \times s^2$ .

În ceea ce privește umiditatea din ascensiune capilară, evaporarea superficială frânează și în cele din urmă, oprește ascensiunea umidității; s-ar putea crede că ventilarea și acțiunea directă a soarelui produc o uscare uniformă pe toată suprafața zidului. Se pare însă (conform ipotezei formulate de Ketternacker<sup>22</sup> că în realitate uscarea se produce într-un mod diferit.

Cu ocazia experiențelor efectuate pe probe de materiale izolate umede, s-a constatat că efectul ventilării și înșoririi este cel de a forța evaporarea superficială și că unei evaporări amplificate îi corespunde o creștere egală a absorbției la bază.

Un fenomen similar se produce și în cazul zidăriilor: o creștere a vitezei de evaporare determină o creștere egală a vitezei de ascensiune a apei și, în consecință o creștere a rezistenței pe care apa trebuie să o învingă în capilarele zidului. Considerând zidul o conductă capilară, are loc o pierdere de presiune similară celei ce se produce atunci când crește viteza de deplasare a apei într-un tub. De aceea, *înălțimea la care umiditatea ajunge în zid tinde să descrească pe măsura creșterii vitezei de evaporare superficială*. După Ketternacker, uscarea începe, deci, la partea superioară și se produce complet, în timp ce sub linia de separație între umed și uscat zidăria își menține umiditatea inițială. Inițierea uscării se datorează numai pierderii de presiune prin frecare, ca urmare a masei sporite de apă care tranzitează zidul "atrasă" către suprafața de evaporare crescută. Rezultă că, *cu cât un zid evaporă mai multă apă, cu atât se reduce nivelul de ascensiune a umidității*. Înălțimea maximă posibilă se atinge în condiții de aer saturat (evaporare nulă) și depinde, în acest caz, doar de caracteristicile de alcătuire a zidului.

În legătură cu cele de mai sus, trebuie făcute unele observații cu caracter practic.

1. Modificarea regimului termic și de ventilare într-o construcție veche (de exemplu, reutilizarea unei clădiri degradate și mult timp nelocuită, deci neîncălzită și puternic ventilată natural) poate determina evidențierea unor fenomene legate de ascensiunea umidității din teren.

Fenomenul de conductibilitate capilară este amplificat de creșterea temperaturii, ceea ce determină un transport de umiditate majorat către suprafața caldă. Mai mult, în cazul unui perete cu capacitate de izolare termică redusă, încălzirea interioară determină o creștere a temperaturii în toată grosimea zidului și, deci, o accentuare a conductibilității capilare în toată masa peretelui, dificil de echilibrat de către evaporarea superficială și având drept urmare vizibilă majorarea cotei de ascensiune a umidității.

Încălzirea accentuează într-adevăr evaporarea, căreia îi corespunde însă o creștere egală a absorbției, cu sursă ineputabilă. În ceea ce privește uscarea, nu trebuie uitat că aceasta se manifestă numai dacă viteza de evaporare depășește viteza de ascensiune, fapt posibil pe suprafața exterioară a peretelui sub acțiunea asociată a soarelui și vântului, dar greu de realizat în cazul unui spațiu interior. În special în condițiile unei ventilări insuficiente și ale împiedicării - din diverse motive - a evaporării spre exterior,

<sup>22</sup> Cfr. G.Cigni/B.Codacci-Pisanelli, *Umidità e degrado negli edifici*, Edizioni Kappa, Roma, 1987.



în funcție de condițiile de utilizare, aerul interior poate atinge ușor valoarea de saturație, cu consecințe evidente privind microclimatul interior: evaporarea este astfel stopată, iar înălțimea de ascensiune capilară va tinde către valoarea maximă determinată de caracteristicile materialului.

2. În ceea ce privește umiditatea din ascensiune capilară, ventilarea și încălzirea spațiului interior au doar efectul unei imediate și provizorii ameliorări a condițiilor igienice, ameliorare valabilă doar atâta timp cât ventilarea funcționează corespunzător, împiedicând saturarea aerului.

3. Tradiționalele canale perimetrale sunt doar în mică măsură eficiente în ceea ce privește umiditatea ascensională absorbită prin talpa inferioară a zidului, evaporarea unitară superficială către canal fiind inferioară evaporării aceluiași perete în zona supraterană<sup>23</sup>; din acest punct de vedere, o funcționare eficientă a acestor canale perimetrale presupune o adâncime suficientă și o ventilare energetică a lor dificil de obținut practic. Canalele perimetrale constituie o soluție eficientă împotriva ascensiunii capilare din ape de suprafață.

\*

Concluzionând, trebuie subliniat faptul că *nu există un răspuns univoc și absolut care să poată rezolva problemele de umiditate în toate formele sub care aceasta se manifestă; fiecare caz reprezintă un episod ce trebuie studiat și rezolvat independent*, identificând cauzele care au indus patologia și stabilind conținutul intervenției în raport cu caracteristicile construcției.

Cu referire la materialele utilizate în intervențiile de asanare a zidărilor tradiționale, considerăm că este posibil a contribui substanțial la rezolvarea unor astfel de probleme utilizând mortare și tencuieli care, prin caracteristicile lor intrinsece, au o bună comportare în raport cu umiditatea, sunt compatibile cu suportul și nu alterează comportamentul original al zidărilor ca "bariere permeabile", și sistem de control al relației între mediul interior și cel exterior.

<sup>23</sup> De 4-5 ori mai mică, după G. și I. Massari, op. cit., ceea ce, pentru o cotă de ascensiune capilară deasupra nivelului terenului de 1 m, ar determina o adâncime necesară a canalului de 4-5 m.