

Karl Prodinge

Procedee de reabilitare a clădirilor afectate de igrasie

Stabilirea cauzelor și alegerea celor mai eficiente metode
de stopare, de la caz la caz
Ghid practic

Cuprins

Prefață	11
Structura cărții.....	11
I Funcția unui perete	13
Cauzele problemelor legate de umiditate	14
Modelul cu fitil	16
Transportul capilar și de umiditate	17
Capilarele și transportul umidității prin aer.....	18
Tipuri de construcții ale pereților	21
Zidul de cărămidă cu tencuială exterioară și interioară	21
Peretele de piatră realizat din pietre naturale	21
Peretele de piatră din pietre naturale cu mortar de etanșare rezistent la apă	22
Pereți de protecție, clădiri prefabricate, construcții din paie	22
Modernizarea sau izolarea termică exterioară suplimentară	23
Influența temperaturilor de radiație	25
Tencuieli	29
Tencuieli de nisip cu var.....	29
Tencuieli din ciment	29
Tencuieli din argilă	30
Tencuieli din gips	30
Straturi de vopsea, straturi de suprafață	30
Sărurile în zidărie	32
Evaluarea proceselor de pătrundere a umidității	34
II Analiza	37
Măsurătorile de temperatură	37
Temperatura și umiditatea aerului	37
Temperatura componentelor, temperatura între straturi și în componente	38
Înregistrarea datelor	38
Profiluri de temperatură prin metoda secțiunii transversale	38
Măsurători nedistructive pe structura clădirii	39
Măsurătorile tehnice	39
Măsurătorile naturale	42
Procedeele cu mâner pentru determinarea umidității	45
Măsurarea distructivă a umidității în materialul de construcție	48
Analiza chimică	51
Sărurile	51

Măsurarea secțiunii transversale	53
Rezistența la difuzie – Determinare prin comparație	54
Copia de rezervă a datelor	56
III Căile de refacere a infrastructurii	57
Geologie, ingineria fundațiilor și a pivnițelor	57
Pivnița de vinuri în pantă	57
Cauzele penetrării umidității în sol	57
Structura unui sol, din punctul de vedere al mecanicii solului	58
Examinările simple	59
Respectul pentru mediul natural	61
Pivnița	62
Distribuția forțelor într-o pivniță de pământ, în loess	63
Fundațiile și solul	64
Ziduri de fundație, fundații	65
Renovarea suprafețelor exterioare	66
Izolație de argilă	67
Uscarea pereților, drenaj, ventilație	67
Izolațiile pe perete	68
Pivnițele și umezeala	69
Placarea suprafețelor interioare	69
Straturile de protecție	71
Barierele fizice	71
Barierele chimice	72
Procese electrofizice – Osmoza	73
Ventilație spate pentru drenaj	73
Barierele termice	74
Fluxuri de căldură, cu o barieră termică de umiditate	77
Surse de căldură pentru o barieră termică de umiditate	78
Sisteme de încălzire cu apă caldă	78
Energia solară	78
Încălzirea cu energie electrică	78
Economia surselor de căldură	78
Încălzire cu energie electrică	79
Straturile de barieră și măsurile structurale	80
Renovarea termică a interiorului pereților	81
Renovarea termică a exteriorului pereților	83
Metode alternative	83
Proprietăți ale diferitelor procese	83
IV Temperatura și umiditatea	85
Temperatura	85
Umiditatea și aerul umed	85
Încălzirea și răcirea în diagrama Mollier (Fig. 4-2)	86
Confortul (Fig. 4-3)	87
Umidificarea și dezumidificarea aerului (Fig. 4-4)	87
Aburul pentru umidificare	88
Uscarea	89
Recondiționarea	89

V Procesele vitale și umiditatea	91
Schimbul natural de aer	93
Aparatele de încălzire	93
Calculul stoichiometric al combustiei	93
Conductele de evacuare a aerului	94
Ventilația ferestrelor	95
Experiment: umiditatea aerului din încăpere	95
Efectele aerului umed pe și în perete	95
Remedii pentru daunele cauzate de umiditate în construcții	97
Sursele de umiditate subestimate: Coșurile de fum și conductele de evacuare a aerului	98
Șemineurile	98
Condensul în conductele de evacuare a aerului	99
Încălzirea	99
Cerințele pentru ventilație sau dezumidificare	100
Camerele umede	100
Pivnițele	102
Soluri în contact cu pardoseala	102
Camerele de zi și de recreere	103
Umiditatea insuficientă în aer	103
Ventilația în muzee și obiectele de importanță culturală și istorică	104
Planificarea ventilației și a evacuării	104
VI Deteriorările provocate de umezeală din cauza condensării	105
Chimia condensatului	105
Construcții de pereți și tavane	105
Conexiuni pentru uși și ferestre	107
Punțile termice	109
Instalațiile	110
Curțile interioare	111
Camerele utilizate temporar	112
Camerele neîncălzite	112
Camerele încălzite temporar	113
Camerele încălzite complet	113
Efectul sistemelor de încălzire asupra pereților umezi	114
Încălzirea cu o singură sobă (imaginea 6-23)	114
Soba de teracotă (Poza 6-24)	114
Încălzirea centrală cu radiatoare (Poza 6-25)	114
Încălzirea cu plăci de bază (figura 6-26)	115
Încălzirea prin pardoseală (Poza 6-27)	115
Încălzirea prin perete (imaginea 6-28)	115
Conducta de încălzire sau de căldură pentru drenaj (Fig. 6-29)	116
Încălzirea cu aer cald (Fig. 6-30)	116
Suprafețele de încălzire radiantă (Fig. 6-33)	117
Aerul condiționat complet (Fig. 6-34)	118
Note privind sursele de energie	118
VII Energia de mediu pentru a preveni deteriorarea umidității	119
Politica în domeniul energiei	119
Consecințele „economisirii energiei”	121

Cauze	121
Soluții	121
Căldură pentru renovarea clădirilor umede	122
Posibilitățile de renovare cu ajutorul soarelui	124
Varianta clasică a energiei solare termice	124
Varianta cu antigel în întregul sistem	125
Conexiunile simple la o rețea de încălzire existentă	125
Varianta cu panouri fotovoltaice	126
VIII Exemplele de abordare ale umidității	129
Serviciile interne pentru problemele legate de umiditate	129
Primul pas: înregistrarea pagubelor	129
Al doilea pas: evaluarea cauzelor	130
Al treilea pas: selectarea soluțiilor și a companiilor	130
Al patrulea pas: abordarea primelor soluții	130
LISTA DE VERIFICARE	131
Studiu de caz 1: arhiva de imagini din Viena	132
Activitate	132
Evaluare	132
Excursiune: gânduri și experiențe cu clădiri istorice	133
Proiectarea unei reamenajări durabile	134
Studiu de caz 2: pivniță umedă și plictisitoare 1	134
Sarcină	134
Evaluare	134
Măsuri	134
Studiu de caz 3: pivnița 2 umedă și plictisitoare și limitele	135
Sarcină	135
Evaluare	135
Rezultat	135
Studiu de caz 4: conductele de evacuare a aerului pentru pereții umezi	135
Sarcină	135
Evaluare	136
Efect	136
Problemele de umiditate într-o renovare	136
Domenii cu probleme	136
Propunere de remediere	138
Efortul pentru remediere	140
Așteptări	140
Pagube neclare cauzate de umiditate la o casă	140
Model de deteriorare	140
Evoluția daunelor 141	
Alte deteriorări cauzate de umiditate	142
Umiditate ascendentă în fundație	142
Măsurarea conținutului de umiditate conform metodei Darr	142
Cursuri suplimentare	142
Restaurarea unui loc	142
Amplasarea în loc	142
Evaluarea afecțiunii	144
Măsuri	145
Relocarea instalației de încălzire	145

Evacuarea umidității în exterior	146
Încălzire	146
Ventilație	147
Deteriorări cauzate de umiditate la un zid de sprijin	147
Determinarea conținutului de umiditate	149
Metodologia și obiectivele analizei daunelor	149
Date climatice esențiale pentru acest sit	150
Murdărirea în locuri neperturbate din jurul sitului	150
Evaluare	151
Efectele precipitațiilor asupra zidăriei	151
Capacitatea de stocare a apei în sol	152
Răspândirea apei în sol și uscarea	152
Remedii	153
Tehnologie de control	153
Proiectarea grădinii	153
Măsuri structurale	153
Injecții cu straturi de etanșare	153
Infiltrare și hidrofobizare	153
Căldură pentru uscare	153
Renovarea unei case de locuit cu o pivniță umedă	154
Stare	154
Îmbunătățiri în zona subsolului	154
Încălzirea pardoselii subsolului	155
Peretele de la subsol	155
Ventilarea pivnițelor	156
Utilizarea încăperilor din pivniță	157

I. Funcția unui perete

Funcțiile unui perete sau, mai degrabă, cerințele pe care constructorul sau proprietarul le impune peretelui, sunt foarte variate și contrastante: peretele ar trebui să protejeze interiorul cât mai bine posibil de climatul exterior, dar funcțiile individuale sunt întotdeauna în contradicție cu ideile:

- ▶ Peretele, ar trebui să mențină căldura și o umiditate suficientă în cameră.
- ▶ Peretele ar trebui să aibă un efect de răcire în timpul verii, adică o masă mare de stocare a căldurii.
- ▶ În timpul verii, aerul exterior este mai umed decât peretele, astfel încât asta va absorbi, prin urmare, apă prin condensare în timpul verii.
- ▶ În timpul iernii, aerul din interior este foarte uscat din cauza încălzirii, iar peretele ar trebui să elibereze umiditatea lipsă.
- ▶ Peretele ar trebui să aibă un efect de echilibrare: dacă există multă umiditate în aerul din cameră, ar trebui să absoarbă apa, iar dacă este puțină, ar trebui să o elibereze în interior. Peretele clasic de cărămidă poate îndeplini această sarcină foarte bine datorită numeroșilor săi pori.
- ▶ Peretele este proiectat pentru a transporta excesul de apă din interior spre exterior prin difuzie. Un zid de cărămidă pură poate face acest lucru destul de bine, dar cu fiecare schimbare, în interior și/sau în exterior, acest transport este serios afectat.
- ▶ Peretele ar trebui să se usuce de la sine dacă primește apă din interior sau din exterior. Acest proces este necesar pentru a evacua umiditatea din clădire, motiv pentru care o structură ar trebui să rămână uscată până la un an. La urma urmei, mai mulți metri cubi de apă ar trebui să se evapore.
- ▶ Un perete modern, „activat”, este proiectat să încălzească și să răcească în același timp. Odată cu acesta, toate procesele au loc într-o formă mult mai intensă, procesele pasive de până acum sunt modificate masiv de căldură sau frig, întregul sistem trebuie reevaluat.

Peretele unei clădiri determină climatul interior. Clădirile vechi cu ziduri de cărămidă – dacă sunt

sănătoase – au un climat echilibrat. Termenul de „clădiri vechi” a fost ales în mod intenționat, deoarece aceste clădiri aveau foarte des un raport între suprafața de podea și suprafața ferestrelor de aproximativ 10:1. Astfel, proporția de pereți exteriori era relativ mare, spre deosebire de clădirile moderne cu multă sticlă pe fațada exterioară. Sticla nu stochează căldura sau umiditatea, așa cum se întâmplă în cazul multor materiale de construcție moderne.

Materialele de construcție poroase, cum ar fi cărămizile, pot stoca cantități considerabile de apă, ceea ce are un efect multiplu:

- ▶ Dacă umiditatea din aer este absorbită de perete, atunci și căldura este eliberată de condens (căldura produsă de condens²). Această dezvoltare a căldurii nu este foarte pronunțată în cazul cărămizilor din cauza proceselor lente, dar în cazul zeoliților, creșterea temperaturii poate depăși 100 °C.
- ▶ Dacă peretele eliberează din nou umezeală, atunci apa are nevoie de căldură pentru procesul de evaporare. Peretele răcește încăperea atunci când este prezent aerul uscat și cald – și astfel provoacă umidificarea aerului cu o ușoară răcire.

Alte materiale de construcție care nu pot înmagazina apă, cum ar fi sticla sau diverse panouri, pot avea valori excelente de izolare termică datorită diverselor construcții – de exemplu, mai puțin de 0,2 Watt, pe m² și grad Kelvin – dar climatul din spatele lor, din încăpere, rămâne neplăcut.

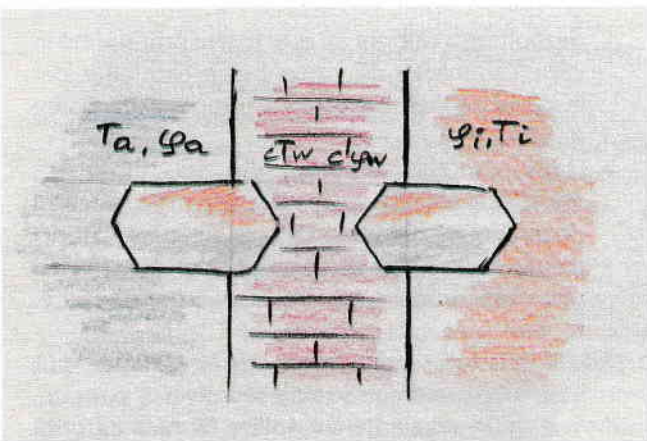
N.E. Să reținem că trecerea lichidului în stare de vapori se face cu absorbție de căldură iar condensarea vaporilor în lichid se face cu eliberarea de căldură.

²Toți cei care găsesc cunosc căldura de condensare care se degajă când aburul este destul de fierbinte, și condensează în apă pe piele și, de obicei, se evită fluxul de abur dintr-o oală care fierbe. Din punct de vedere medical, aburul este foarte important pentru inhalare, deoarece o cantitate de căldură poate fi adusă în tuburile bronșice – cu umezirea suplimentară a membranelor mucoase, prin condensare.

Deși transmisia de căldură, denumită în trecut valoarea k , numită astăzi valoarea u (pentru tehnicieni: măsurată în wați pe m^2 și diferența de temperatură Kelvin), poate fi redusă sub valorile unui perete de cărămidă modern prin straturi izolatoare și reflectante, efectele de stocare a căldurii și a umidității lipsesc.

Fiecare modificare în alimentarea cu energie a încăperii, ca încălzirea, soarele, lumina, aparatele electrocasnice etc., afectează imediat temperatura; umiditatea nu este stabilizată sau echilibrată. Acest lucru se numește „climat de cazarmă”.

Un „climat de cazarmă” se caracterizează prin stocarea umidității și a căldurii. Interiorul se încălzește foarte repede, dar se răcește la fel de repede. Umiditatea aerului este în funcție de condițiile de afară, vara foarte ridicată iar iarna, la încălzire, extrem de uscată, cu valori în jur de 20 % umiditate. Pereții clasici cu o capacitate de stocare a căldurii și a apei compensează de obicei aceste procese într-o zi sau pe parcursul mai multor zile, în cazul clădirilor istorice putând fi vorba și de câteva săptămâni.



11 Funcțiile unui perete exterior: denumirile T și ϕ se referă la condițiile de aer din exterior (indice a) și din interior (indice i). Peretele dintre ele servește, de asemenea, ca un depozit de căldură (cTw) și de umiditate ($c'\phi w$). Datorită capacității de depozitare a unui perete adecvat, există un echilibru de temperatură și umiditate, ceea ce este foarte avantajos în interior, ca un climat de viață plăcut.

Cele mai importante funcții ale unui perete exterior sunt: protecția împotriva climatului exterior și crearea unui climat interior plăcut.

Conținutul de umiditate într-un perete – și, de asemenea, distribuția temperaturii – raportează întotdeauna, toți factorii de influență, în total. Expertul este cel care trebuie să recunoască influențele esențiale și să propună măsurile necesare. Simbolurile formulelor sunt destinate să indice efectele asupra

temperaturii T și a umidității relative ϕ fiind cunoscute de tehnician.

Consecința acestor proprietăți poate fi observată în domeniul ingineriei serviciilor de construcții: în clădirile cu o bună capacitate de stocare, tehnicile clasice de încălzire și, într-o mai mică măsură, de răcire sunt suficiente, în timp ce în clădirile moderne, foarte bine izolate, este necesar un efort considerabil pentru climatizare. Încălzirea și mai presus de toate, răcirea, sunt acum preluate în cea mai mare parte de sisteme mari consumatoare de energie și care necesită multă întreținere.

Prin urmare, filosofile diferite din domeniul construcțiilor conduc la două direcții contrastante:

- clădiri ultramoderne, cu multă tehnologie pentru a menține un climat plăcut, sau
- clădiri cu tehnologie redusă și materiale naturale precum piatra, cărămidă, lemnul și lutul.

Desigur, este tentant să folosim elemente de construcție foarte izolante pentru a reduce necesarul de energie și, prin urmare, costurile de încălzire. Numai că rezultatul pentru climatul interior nu corespunde întotdeauna așteptărilor, iar tehnologia suplimentară trebuie să compenseze deficiențele. Detalii cu privire la intervalul climatic pot fi găsite în capitolul privind procesele de viață și umiditatea.

După această introducere la funcțiile unui perete în locuințe, vom trece acum la subiectul propriu-zis.

Cauzele problemelor legate de umiditate

Cauzele pătrunderii umidității sunt foarte diverse: pot fi legate de probleme ale instalațiilor, de scurgeri cu infiltrații sau ruginite, de conducte sparte, de rădăcini care au crescut în conducte, de izolații care nu mai există sau care sunt defecte, de creșterea umidității solului, de fluctuația nivelului apelor subterane, cu defecte de izolație termică, cu condens, cu o izolație termică prea mică, cu aer excesiv de umed în interior, cu lipsă de schimb de aer, cu lipsa de canalizare pentru aerul umed, cu prea multe plante de apartament sau cu gătit sau spălat rufe în exces. Daunele pot varia de la petele de mucegai de pe pereți, la tencuiala desprinsă sau căzută, până la deteriorarea mobilierului, deși cauzele pot fi complet diferite.

Pentru a înțelege aceste daune, trebuie descoperite cauzele care stau la baza lor. Și sunt multe, după cum reiese din următoarea prezentare generală:

- Creșterea umidității solului, care provoacă adesea pete întunecate cu depuneri de sare.
- Punțile frigorifice, în cazul defectelor de izolație termică din cauza instalării defectuoase a

ferestrelor și ușilor, sau datorită deteriorării sau defecțiunilor izolației termice.

- ▶ Umiditatea excesivă a încăperii care duce la efecte de condensare, pe părțile mai reci.
- ▶ Condensul, de-a lungul ferestrelor și a ramei ferestrelor sau pe ușile exterioare.
- ▶ Defecțiunile și deteriorările instalațiilor cauzate de scurgerile defecte, de condensul de pe conductele de apă rece sau de conexiunile care prezintă scurgeri.
- ▶ Condensarea în conductele pentru sisteme electrice, de exemplu, cabluri de antenă, iluminat exterior.
- ▶ Condensarea în conductele de evacuare a aerului.
- ▶ Transportul umezelii, prin plante sau ciuperci.
- ▶ Scurgerea apei.
- ▶ Umiditatea din precipitații, cum ar fi ploaia, zăpada, umezeala, ceața, ploaia torențială sau grindina.
- ▶ Poate apărea împrășcarea cu apă, cum ar fi de la marginea acoperișului, sau din cauza streșinilor defecte, a traficului sau a irigațiilor.
- ▶ Apă de irigare, jgheaburi de plantare în rețeaua de construcție: aici, defecte în jgheab, drenaj defectuos al excesului de apă, pe partea inferioară, sau probleme de obturare a apei.
- ▶ Acoperișuri plate, care pot avea scurgeri, sau de asemenea, lipsa de ventilație din spate și formarea de condens pe partea inferioară.
- ▶ Bariere de vapori instalate defectuos.
- ▶ Transmiterea umezelii și umidității în conductele de instalare ale instalației electrice, care aduce adesea cu sine umiditatea de condens, care poate fi întâlnită de ex. la un capăt interior, incomod, vizibil.

Chiar și această listă incompletă arată multiplele probleme de umiditate cu care trebuie să ne confruntăm în fiecare clădire. Multe dintre daune și efecte apar doar intermitent în timpul anumitor tipuri de utilizare, în condiții meteorologice speciale sau în sezonul rece. În plus, există proprietățile materialelor de construcție și posibilele slăbiciuni ale acestora, cauzate, de exemplu, de depozitarea sau utilizarea incorectă.

Consecințele problemelor de umiditate nerecunoscute sau netratate sunt grave pentru clădire: natura degradează toate părțile organice în zona de umiditate: lemnul, hârtia, țesăturile, adezivul pentru vopsele, totul se descompune în substanțele originale cu ajutorul unor organisme mici și a ciupercilor. După câțiva ani, deteriorarea se poate extinde la zonele portante, lemnul este devorat de ciuperci

sau bureți, iar grinzile de tavan își pot pierde funcția portantă. Chiar și cărămizile arse și pietrele naturale extrase din carieră, pot fi foarte afectate. Numai materialele de construcții cele mai dense, cum ar fi pietrele metamorfice sau magmatice, foarte dense sau clincherul ars foarte dens, supraviețuiesc acestor procese de-a lungul deceniilor și secolelor.

Locuitorii și utilizatorii sunt, de asemenea, afectați masiv: umiditatea crește cererea de energie pentru încălzire, deoarece apa trebuie să se evapore din pereți și din alte componente ale clădirii și pentru aceasta consumul de căldură este crescut, cu câteva sute de procente. Pereții umezi sunt, de obicei, pereți reci, astfel încât clădirea nu se încălzește niciodată cu adevărat. Întotdeauna rămâne impresia că există un „curent de aer”, chiar dacă toate ferestrele și ușile sunt etanșe. Acest fenomen, numit și „**curent de radiație**”, reduce considerabil confortul.

Clădirile cu pereți umezi au adesea o temperatură ridicată a aerului din încăpere atunci când se încălzesc, pentru a compensa acest curent de radiație cu aer cald. Cu toate acestea, acest lucru creează efectul că, deși capul este cald, picioarele rămân reci. În plus, aerul cald absoarbe multă umiditate și apoi o eliberează din nou în diferite locuri.

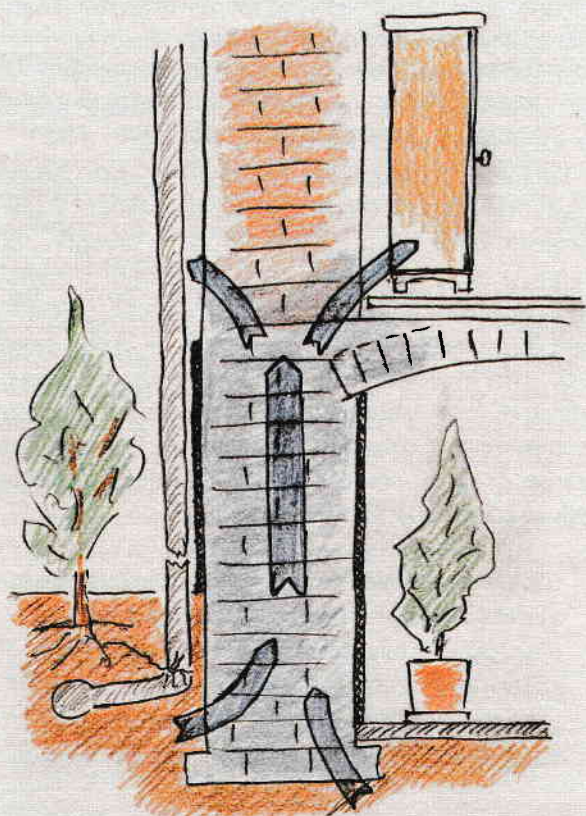
În același timp, aerul cald din zona de locuit determină o evaporare sporită a apei de pe pereți. Umiditatea se ridică, creând o impresie de căldură chiar și în timpul iernii. Ca o caracteristică, se poate observa că geamurile ferestrelor prezintă deja condens la temperaturi pozitive, de la 10°C în exterior.

Mucegaiurile și ciupercile, inclusiv algele, preferă acest climat umed și cald. În ciuda încălzirii, mucegaiul crește pe pereți. Alimentele se strică mai repede, iar locuitorii, chiar și cu căldură suficientă, suferă consecințele acestor procese.

În interesul dumneavoastră, orice problemă de umiditate ar trebui să fie clarificată imediat. Nu există nicio îmbunătățire dacă ne uităm în altă parte.

Săgețile albastre din Fig. 1-2 arată umezeala ascendentă într-un zid de cărămidă. Deteriorarea datorită umidității apare chiar și la etajul superior, în favoarea subsolului. Cauzele sunt ușor de recunoscut:

- ▶ Burlanul acoperișului este întrerupt, iar apa de ploaie se poate infiltra prin pereți.
- ▶ Rădăcinile cresc în țeava corodată din pământ, blocând scurgerea apei.
- ▶ O barieră de umiditate a fundației, nu mai există de mult timp; este pur și simplu, putredă.



1-2 Procese tipice într-un perete umed.

Apa și sărurile, favorizează creșterea umidității într-un material de construcție poros.

Apariția umidității pe un perete poate avea mai multe cauze.

Izolarea termică a pereților umezi este redusă masiv. Efectele se amplifică de la sine dacă nu se iau măsuri.

- ▶ Ca protecție împotriva apei de ploaie, la exterior a fost aplicată o tencuială de barieră (hașurare în cruce).
- ▶ Pentru că se umezea și în pivniță, s-a aplicat o tencuială protectoare.
- ▶ Umiditatea se ridică acum, ca într-un canal, până la etajul superior deoarece se poate evapora doar deasupra tencuielii de barieră.
- ▶ Având în vedere că pivnița este folosită adesea și pentru depozitarea plantelor, în continuare aici există o altă sursă de umiditate.
- ▶ Umiditatea urcă până la tavanul pivniței și pune în pericol construcția prin coroziune.

- ▶ La etajul superior apare mucegai, în special în spatele mobilierului, deoarece peretele exterior este prea umed.
- ▶ Climatul interior este neplăcut din cauza mucegaiului, a frigului din zona umedă, iar costurile de încălzire cresc deoarece peretele umed conduce căldura la fel de bine ca un perete de beton fără izolație termică.
- ▶ Pe perețele exterior pot fi observate urmele obișnuite de umezeală, cu arcadele caracteristice și tencuiala înclinată deasupra stratului de barieră.
- ▶ Umiditatea aerului din camerele de zi crește din cauza pereților umezi.
- ▶ Iarna, pe geamurile ferestrelor se produce condens.

Modelul cu fitil

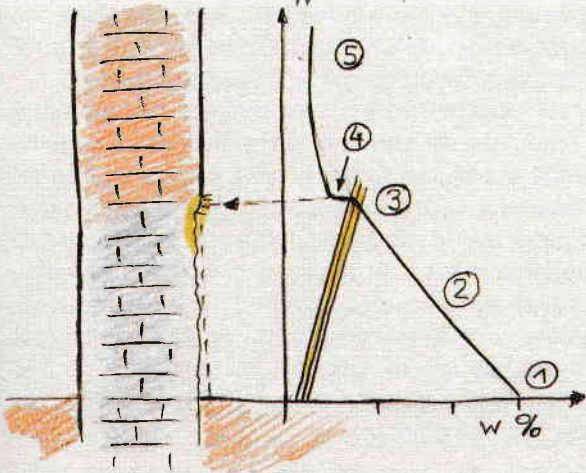
Pentru a explica problemele legate de umiditate, se folosește un model de fitil, așa cum este prezentat în **Fig. 1-3**, în care fitilul se află pe fundul apei. Apa este transportată prin efect capilar iar la partea superioară, lichidul se evaporă. Nu este nevoie de forțe necunoscute pentru a explica acest lucru, plantele folosesc acțiunea capilară încă de când au început să crească pe uscat.

Imaginile cu daunele provocate de umiditate indică o regularitate: în zona umedă, unde tencuiala este de obicei deja deteriorată, un conținut mai mare de apă în zidărie poate fi detectat cu toate tehnicile de măsurare. Investigațiile arată o scădere a umidității odată cu creșterea distanței față de sol. În același timp, conținutul de sare din apă crește până când se ajunge la un strat de depuneri cu eflorescențe. Deasupra, conținutul de umiditate este semnificativ mai mic, deoarece sarea poate lega cantități considerabile de apă.

Peretele de exemplu, are o penetrare mare a umidității (1) în sol cu un conținut ridicat de apă (w) în procente de greutate.

Pe măsură ce înălțimea (h) deasupra solului crește, conținutul de umiditate este mai mic, deoarece cantitatea de apă transportată prin capilare este redusă prin uscare (2). Pe măsură ce apa se evaporă, conținutul de sare din apă care se ridică crește, indicat aici prin trei linii. Din cauza pierderii de apă, sarea se concentrează în sus până când precipită în următoarea zonă de salinizare (3).

În zona de salinizare (3), apa nu mai poate reține sărurile dizolvate întrucât acestea formează cristale la suprafață și în interstiții sau în pori. Deasupra zonei de



1-3 Deteriorarea pereților, transportul apei și depunerile de sare

salinizare (3), conținutul de umiditate este mult mai mic, deoarece sarea (4) leagă cantități considerabile de apă atunci când revine în soluție.

Această limită poate fi determinată cu ușurință cu ajutorul unui termometru cu radiație fără contact. **Temperatura în zona umedă** de sub zona de sare este de obicei cu 1-2 grade mai mică decât în partea superioară a peretelui. Acest efect poate fi observat numai dacă pătrunderea umidității a avut loc pentru o perioadă lungă de timp și dacă în zidărie sau în tencuială s-au depus cantități suficiente de sare.

Deasupra zonei de sare, începe umiditatea de compensare (5), care se produce între perete și aer. Valoarea umidității din perete depinde acum doar de condițiile din aerul înconjurător.

Chiar și după o drenare reușită, sărurile sunt încă prezente în zidărie. Ele își dezvoltă propria „viață” cu ajutorul umidității aerului sau a apei de ploaie pentru o lungă perioadă de timp.

Degradarea sărurilor poate fi realizată foarte costisitor prin înlocuirea tencuiei mergând până la o zidărie nouă. Ocazional, este posibil să se dizolve sărurile cu ajutorul unui pachet umed și să se scoată sărurile din pereți pe măsură ce se usucă ambalajul. Această metodă are avantajul de a păstra clădirea intactă. Desalinizarea osmotică prin intermediul polului pozitiv trebuie planificată foarte bine din cauza posibilei electrolize.

Creșterea umezelii

Creșterea umidității depinde de capacitatea de transport a capilarelor. Stratul cel mai de jos într-o



1-4 Un stâlp independent, a fost placat cu gresie în urmă cu aproximativ 20 de ani din cauza deteriorării cauzate de umiditate. Acum, umezeala se vede deasupra gresiei și este pe cale să ajungă la podeaua de deasupra.

zidărie, asigură puterea maximă de aspirare dacă există o cantitate suficientă de apă. În cazul în care apa este transportată în sus prin orizontul solului, aceasta se poate evapora în atmosferă. Prin urmare, înălțimea de ascensiune depinde de capacitatea capilară de transport a apei și de posibilitatea de evaporare în aer. Dacă aerul este foarte uscat, umiditatea nu crește mult deoarece apa se evaporă mai repede. Dacă, pe de altă parte, evaporarea este împiedicată de straturi dense, apa se poate ridica foarte bine la câțiva metri.

Modelul cu fitil explică, de asemenea, în mod adecvat efectul barierelor de umiditate. Acestea nu sunt altceva decât niște blocaje artificiale pentru apa în urcare, oricare ar fi aceste straturi. Acest lucru schimbă echilibrul dintre transportul apei și evaporarea la suprafață, iar peretele devine mai uscat până la uscare completă – dacă bariera funcționează corect.

În ingineria electrică, există un model analog al așa-numitelor amprente de curent. În loc de apă, se furnizează un curent constant care, în condiții de altfel stabile, nu poate fi depășit. Acest model corespunde, de asemenea, observațiilor pentru pereții umezi.

Transportul capilar de umiditate

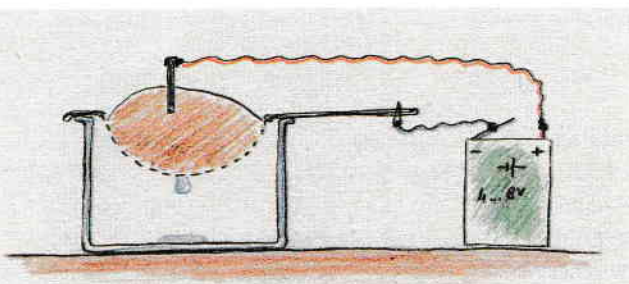
Transportul de umiditate are loc în capilare. Imaginea obișnuită a unui capilar cu umiditate, ca o expresie vizibilă a apei și a capilarelor, este legată de un fir de lichid. În modelele clasice, un potențial de suprafață, potențialul zeta, este desemnat drept cauza acestui transport capilar al apei.

De fapt, există efecte neașteptate atunci când apa dintr-un pahar este plasată într-un câmp de înaltă tensiune. Apa, se ridică pe peretele sticlei, acolo

unde intensitatea câmpului este cea mai mare. Acest macrosistem poate fi aplicat – în linii mari – la condițiile din capilar. Având în vedere sarcinile diferite de pe suprafața capilarului și de pe coloana de apă, acest câmp electric care acționează în domeniul molecular este considerat motorul care determină transportul apei.

Electroosmoza

Măsurarea potențialului zeta este un capitol separat în electrochimie sau în chimia fizică, și arată că acesta este supus multor factori de influență. Acest comportament al apei din capilar este exploatat în electroosmoză: atunci când se aplică un câmp electric, acest potențial zeta se suprapune, iar apa nu mai poate



1-5 Experiment Electroosmoză

Cauzele electroosmozei în materiale foarte dense cum ar fi argila.

Efectul se poate realiza cu o sită ca electrod negativ și un electrod pozitiv infipt în argilă.

adhera la pereții capilarului. Efectul poate fi observat doar în materialele cu pori foarte mici, cum ar fi argila sau cărămizile. În cazul materialelor cu pori grosieri, cum ar fi piesele prefabricate din beton, aproape că nu are loc niciun transport, în afară de faptul că cimentul are un efect izolator asupra curentului.

În cadrul experimentului, se utilizează argilă pură frământabilă sau lut pentru a demonstra mișcarea apei în acest material sub influența unui câmp electric: o cantitate de argilă sau de lut se presează într-o strecurătoare de ceai obișnuită, din plasă de sârmă. Suprafața sitei trebuie să aibă un bun contact cu argila. Un electrod confecționat din metal sau carbon este presat în centrul materialului. Electroodul din mijloc este conectat la polul pozitiv al unei surse de tensiune, iar sita însăși la electrodul negativ.

La electrozi se aplică o tensiune de 4...8 volți, iar curentul este de numai câțiva miliamperi.

După aproximativ 1-3 ore, prima picătură de apă ar fi trebuit să cadă în castron, iar mai multe picături ar trebui să atârne pe sită. Argila sau lutul, în zona

electrodului pozitiv, devine clar mai ușoară și mai fermă, nu mai poate fi frământată. În același timp, are loc o pierdere de masă; primele fisuri fine apar în jurul electrodului, deoarece apa din matrice lipsește.

Acest lucru perturbă potențialul zeta, deoarece apa din material este condusă către electrodul negativ, de unde scapă sub formă lichidă și chiar se scurge. Dezavantajul acestei metode este sensibilitatea la diverse săruri din materialele de construcție și degradarea masivă, în special a electrodului pozitiv, din cauza atacului electrochimic. Chiar și metalele prețioase sunt degradate, motiv pentru care numai modelele speciale de electrozi, materialele și sursele de energie pot garanta o funcționare sigură pe o perioadă lungă de timp.

Capilarele și transportul umidității prin aer

De fapt, condițiile sunt ceva mai complexe: fiecare suprafață a unui solid este acoperită cu atomi și molecule din aer. Deoarece apa are o capacitate foarte bună de umezire a multor materiale, pelicula de apă de pe solide joacă un rol important. Aderența poate fi atât de puternică încât, chiar și în spațiu, în vid, apa aderă la suprafețe. Numai prin aportul de energie (căldură), pot moleculele să părăsească³ suprafața. Dacă, totuși, există suficientă apă pe o suprafață, atunci moleculele de apă se desprind destul de ușor. Procesul se numește „evaporare”.

În cărțile de fizică, acest aport energetic se numește căldură de vaporizare. Două valori tehnice joacă un rol important în acest caz: **efortul de separare** a moleculelor de apă, de 2088 kJ pe kg, și **efortul de deplasare** de 1013 mbar, față de presiunea aerului (hPa), cu 169 kJ pe kg. În total, sunt necesari 2,257 MJ (627 Wh) de energie pentru evaporarea unui kg de apă. Dacă această cantitate de energie nu este furnizată, obiectul nu se va usca⁴ niciodată.

Pentru considerațiile noastre, cele două valori sunt interesante:

- ▶ Activitatea de separare trebuie efectuată pentru a transforma apa în molecule unice, sub formă de vapori (dacă este prezent aerul) sau sub formă de abur.
- ▶ Activitatea de deplasare se aplică atunci când apa urmează să fie evacuată dintr-o suprafață

³ Gazele pot adera foarte ferm la suprafețe. În producția de tuburi radio, întregul sistem de electrozi era recopț în vid la aproximativ 600 °C pentru a elimina ultimele urme de gaze perturbatoare din cauza căldurii.

⁴ În electroosmoză, apa este deplasată cu mult mai puțină energie, dar sub formă lichidă. În acest caz, aceste considerații energetice nu se aplică, deoarece se utilizează un mecanism diferit.

în atmosferă liberă. Acum, presiunea de vapori trebuie să fie cel puțin la fel de mare ca presiunea din atmosferă, în caz contrar, apa ar condensa pe cea mai apropiată suprafață, de exemplu, într-un capilar.

De ce atâta bătaie de cap pentru un capilar? Răspunsul este destul de simplu: într-un capilar, în cea mai mare parte a timpului prevalează condiții constante, adică conținutul de umiditate relativă și presiunea aerului sunt aceleași. Astfel, forța de deplasare pare să fie mai mică, după cum arată transportul foarte rapid al umidității sub influența unui flux termic slab. Energia de deplasare este consumată – sau eliberată sub formă de căldură – doar atunci când presiunea vaporilor de apă din aer se schimbă. Pentru a explica: în cazul evaporării apei, efortul de deplasare a fost deja efectuat și, prin urmare, acesta poate fi complet omis în cazul transportului de umiditate prin gaze. Când umiditatea condensează din nou, energia de deplasare este, de asemenea, eliberată din nou, sub formă de căldură.

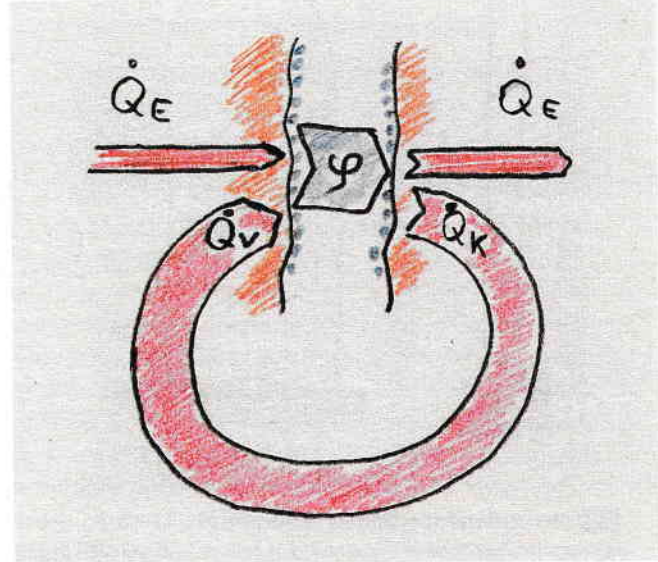
Experimentele privind uscarea pereților umezi (cu materiale de construcție capilare) cu căldură, au condus în mod repetat la efecte de uscare neașteptat de rapide: în cazul în care clădirile comparabile trebuie să stea fără tencuială timp de luni sau chiar ani pentru a reduce umiditatea, a fost posibil să se obțină o uscare suficientă în câteva luni prin aplicarea de căldură pe componentele clădirii, chiar și cu o tencuială existentă. Pe baza acestor observații, a fost dezvoltat modelul de transport termic al umidității: din cauza condițiilor aproximativ constante dintr-un capilar, fluxurile mici de căldură sunt aparent suficiente pentru a direcționa umiditatea în direcția fluxului de căldură.

Un **flux de căldură** poate avea loc numai dacă există o diferență de temperatură. Vaporii de apă condensează pe partea ușor mai rece a unui capilar – vorbim aici de miimi de grad – și se evaporă la fel de ușor pe partea ușor mai caldă. Acest proces face ca apa să fie „împinsă” prin materialul de construcție poros cu foarte puțină energie, parțial sub formă lichidă și parțial sub formă gazoasă.

Imaginea arată fluxul de căldură de la stânga la dreapta, cu denumirea obișnuită Q' ca mărime de debit. Decisivă pentru transportul neașteptat de rapid al apei este întoarcerea energiei de condensare Q'_{k} , înapoi în partea de evaporare Q'_{v} . În acest caz, un flux termic extern slab este suficient pentru a pune în funcțiune acest mecanism de transport intern, prin întoarcerea energiei de condensare. Fluxul termic extern Q'_{E} , furnizează doar energia auxiliară pentru

ca ciclul termic din materialul de construcție să se dezvolte sau să fie menținut.

Un test simplu, ca cel din figura 1-7, indică această deplasare a umidității printr-o componentă a clădirii. Dacă o sticlă PET este umplută cu o cantitate foarte mică de apă, închisă și așezată pe o fereastră rece –

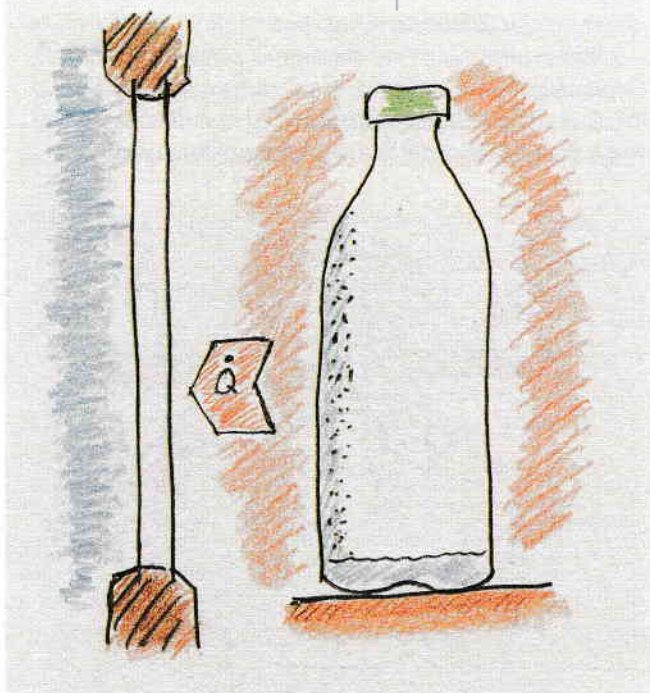


1-6 Transportul apei printr-un capilar, sub influența unui flux de căldură. Dacă umiditatea este transportată în aceeași direcție cu fluxul de căldură, atunci mișcarea este mult mai rapidă, în comparație cu evaporarea normală.

sau pe un perete mai rece – condensul va apărea în curând sub formă de broboane în direcția suprafeței reci. O sticlă de plastic este mai favorabilă pentru acest experiment decât o sticlă de sticlă, deoarece recircularea căldurii de condensare prin peretele sticlei este foarte redusă și se creează o imagine statică.

Condensul este produs la puteri termice care sunt mult sub un watt, ceea ce este de fapt prea puțin pentru a transporta cantitatea de apă.

Exact aceste procese au loc într-un capilar: acolo unde este mai cald, moleculele de apă se dizolvă mai ușor, iar presiunea vaporilor crește. Acolo unde este mai răcoare, acestea se acumulează din nou.

**1-7 Afișarea fluxului de căldură Q , într-o sticlă PET**

În locul unor dispozitive de măsurare foarte scumpe, o simplă sticlă de PET cu puțină apă poate arăta fluxul de căldură.

De asemenea, umiditatea din aer poate condensa pe suprafețele reci și dense. Condensul se scurge în picături.

Transportul de umiditate nu are nevoie de niciun capilar în cazul acesta, transportul transversal prin aer fiind suficient.

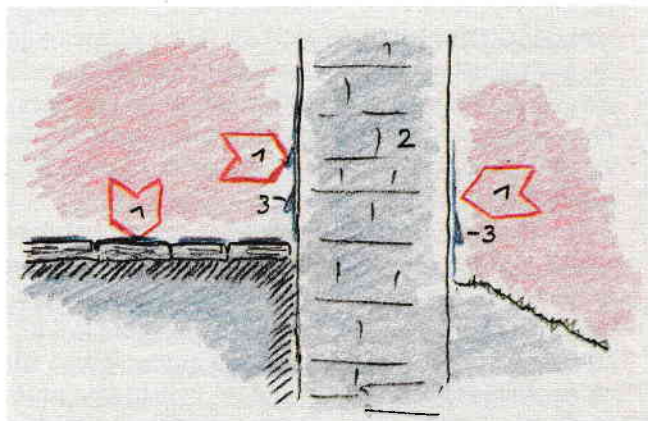
Dacă privim sticla ca pe un fel de capilar mare, atunci transportul de umiditate poate fi determinat de următoarele fenomene:

- ▶ În cazul în care căldura atinge un perete, apa se va evapora.
- ▶ Umiditatea din aerul din capilar se duce în zona cea mai rece și condensează acolo.
- ▶ Dacă fluxul de căldură este menținut, umiditatea este împinsă mai departe spre următorul nivel, condensează acolo și se va evapora din nou.
- ▶ În aceste procese, transferul de căldură joacă un rol important, prin intermediul radiațiilor infraroșii cu unde lungi, așa cum sunt emise de cazane, conducte, dar și de sistemele de încălzire.

⁵ http://www.hslausitz.de/fileadmin/user_upload/public/zentral/Wissenschaftstage/2010/Beitraege/Maschinenbau/RichterW_Infrarottechnik.pdf

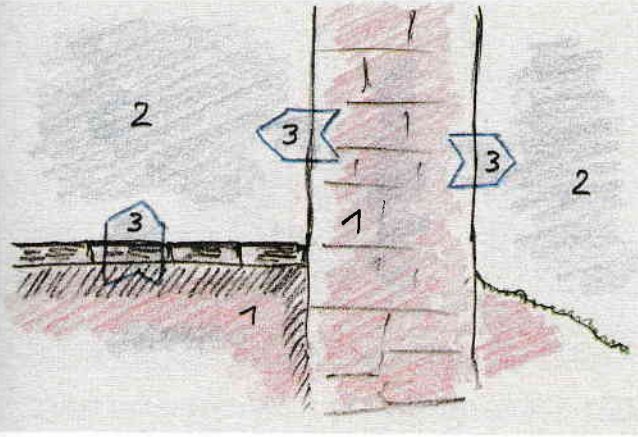
Din modelul simplu pot fi derivate, de asemenea, indicii esențiale pentru aplicarea metodei, după cum se arată în figura 1-8:

- ▶ Dacă căldura sub formă de aer cald (și de obicei umed) este adusă din atmosferă [1] către un perete rece [2], umiditatea va condensa pe suprafața [3] peretelui. Prin urmare, uscarea pereților umezi cu aer cald și de obicei umed în timpul verii nu va aduce rezultatele dorite, deoarece componentele clădirii vor deveni jilave spre umede dar nu complet uscate.
- ▶ În cazul în care solul sau suprafața de bază [1] a pereților unei clădiri sunt mai calde decât aerul din atmosferă [2], atunci există o reducere a umidității în componenta clădirii. Energia înmagazinată în interior (căldura) conduce umiditatea la suprafață [3].
- ▶ Primăvara, sistemul se schimbă: miezul peretelui este rece și, prin urmare, „absoarbe” umiditatea prin condensare din toate părțile. Astfel, aerisirea pentru a încălzi o clădire, în special clădirile mari, cultural-istorice, are exact efectul opus: umiditatea se concentrează în perete.
- ▶ Gestionarea controlată și deliberată a fluxurilor de căldură, într-un perete, poate obține în acest fel un efect deosebit cu puțin efort.

**1-8 Condensarea apei pe un perete rece de piatră**

Aceste reguli sunt cunoscute de mult timp pentru ventilarea corectă a pivnițelor: aerisiți iarna, astfel încât umiditatea să fie expulzată de căldura acumulată, iar vara aerisiți foarte moderat. Dacă respectați aceste reguli, puteți conta pe o pivniță uscată.

Același lucru este valabil și pentru clădirile cultural-istorice. De asemenea, manipularea atentă



1-9 Uscarea pereților calzi cu aer rece

a schimbului de aer ajută la prevenirea deteriorării. Structurile organice care sunt ușor de influențat, cum ar fi tablourile, construcțiile din lemn, țesăturile etc., reacționează imediat la influențele umidității prin umflare și contracție iar coeziunea elementelor se pierde de-a lungul secolelor.

Umiditatea de echilibru și umiditatea componentelor

Bineînțeles, transportul reacționează la suprafața secțiunilor, adică la diametrul unui capilar. Cu cât diametrul este mai mare, cu atât este mai dificil de transportat apa, deoarece aerul oferă o rezistență la difuzie μ . Aceste diferențe între diametrul porilor sau capilare, sunt responsabile pentru faptul că compensarea umidității într-un perete oferă doar informații limitate despre cantitatea reală de apă (măsurare absolută). Cu toate acestea, este totuși valoroasă ca o **afirmație relativă** în ceea ce privește posibilitatea componentei de a deveni mai uscată sau mai umedă. Și are un alt sens: comparația dintre umiditatea de echilibru pe un perete și umiditatea aerului oferă informații despre direcția de transport a umidității, și anume către interiorul sau în afara peretelui.

Atunci când se fac măsurători, trebuie reținut faptul că umiditatea de echilibru a materialelor de construcție, măsurată prin aer, variază de obicei între 80 și 100 % umiditate relativă. Tocmai în această zonă, senzorii electronici de umiditate devin inexacti. Prin urmare, măsurătorile comparative trebuie efectuate întotdeauna cu același dispozitiv de măsurare. Sau puteți măsura umiditatea cu un dispozitiv de măsurare capacitivă.

Înțelegerea proceselor este considerabil mai dificilă în cazul materialelor de construcție neomogene, cu temperaturi și caracteristici termice complet diferite. În acest caz, nu se poate crea un model simplu, fiecare metodă de construcție trebuie analizată individual.

Diferitele modele constructive de pereți au proprietăți complet diferite în ceea ce privește umiditatea.

Tipurile de construcție a pereților

Înainte de a aborda procesele din pereții umezi, trebuie prezentate câteva tipuri constructive de pereți și proprietățile acestora pentru o mai bună înțelegere.

Un zid de cărămidă cu tencuială exterioară și interioară

Peretele de cărămidă cu tencuială exterioară și interioară este utilizat la scară largă. Cărămizile și-au dovedit valoarea de-a lungul mileniilor datorită porozității lor și capacității mari de absorbție a umidității. Aerul umed din timpul verii este menținut mai uscat de către un perete de cărămidă pentru că umiditatea din aer condensează în capilarele sau porii cărămizii. Cărămizile cu un conținut de apă de 0 până la 6 % în greutate sunt considerate uscate, cărămida nu prezintă decolorare. De la 10 % umiditate, cărămida apare mai închisă la culoare iar praful de foraj cu burghiul nu mai rămâne în cărămidă. La conținuturi de umiditate mai mari, praful de foraj se lipește de burghiu, iar la valori și mai mari, se poate întâmpla să se formeze abur prin activitatea burghiului, iar o masă lipicioasă să fie scoasă din gaura de foraj.

Nu este clar din această descriere de unde provine umiditatea. Poate fi vorba de creșterea umidității solului, de o țevă spartă, apă din aerul umed din interior sau chiar din exterior dar și umiditatea de condensare. Înainte de a lua orice măsură, trebuie clarificate cauzele, apoi starea peretelui poate fi îmbunătățită.

De altfel, peretele de cărămidă ne va însoți pentru o perioadă mai lungă de timp, deoarece toate procesele pot fi arătate bine pe el.

Peretele de piatră realizat din pietre naturale

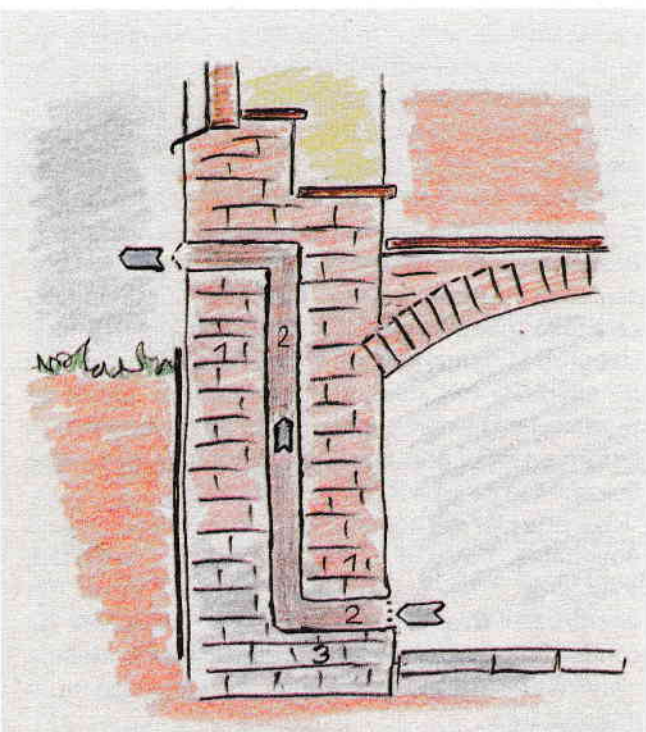
Pietrele au fost folosite de mai multe milenii ca material de construcție pentru clădiri și pivnițe. Multe pietre naturale, în special cele de origine magmatică sau care au fost transformate în adâncurile pământului, sunt foarte dense și nu absorb practic deloc apă. Conținutul de apă variază practic de la 0 la 2 %, corespunzând deja saturației cu apă. Pietrele, apoi au o suprafață umedă. Piatra naturală a fost foarte des folosită în subsoluri și în zona subsolului și a soclului,

deoarece acestea oferă o barieră naturală împotriva apei cu o înălțime și/sau o grosime de până la câțiva metri.

Cantitatea de apă care încă se ridică prin capilaritate este prea mică pentru a deteriora zidăria de deasupra, dacă lucrarea este efectuată în mod corespunzător.

În plus, conductele de ventilație [2] sunt adesea amplasate în interiorul zidăriei [1], ceea ce ar trebui, de asemenea, să elimine **umiditatea reziduală ascendentă** [3], așa cum se arată în **figura 1-10. Fig. 1-11** prezintă un grilaj de ventilație la capătul unei conducte de ventilație.

Clădirile mai vechi au adesea conducte de ventilație în mijlocul unui perete pentru a menține pereții uscați.



1-10 Conducte de ventilație în zidăria de cărămidă

Cu pietre naturale, este posibil să se construiască structuri foarte durabile, de exemplu conductele de apă ale romanilor, podurile sau castelele și clădirile care stau în apă. Dezavantajul lor este prețul ridicat și disponibilitatea regională adesea slabă. Deoarece piatra naturală poate fi foarte scumpă, chiar și în castele și clădiri ostentative, o zidărie de fațadă a fost, de asemenea, folosită pentru palate și clădiri magnifice: plăcile de piatră pretind o bază solidă, în timp ce în spatele ei un zid de cărămidă poartă



1-11 Grilaj de ventilație la o conductă de evacuare umiditate

greutatea. În cazuri extreme, acești pereți trebuie să fie văzuți ca o barieră care împinge umiditatea în sus.

Pietrele pe bază de calcar și amestecuri de calcar, sunt atacate de acizii prezenți în aer. Procedeele sunt descrise, într-un mod foarte simplificat, în capitolul referitor la tencuielile de nisip și var. (p. 29); în realitate, acestea sunt mult mai complexe. Aceste pietre trebuie să fie protejate de umiditate, altfel se vor dizolva și dezintegra. Un strat hidrofug aplicat pe suprafață are foarte des efectul opus asupra pietrelor calcaroase: descompunerea de dedesubt este accelerată pentru că apa și acizii nu se mai pot usca.

Perete de piatră realizat din pietre naturale, cu mortar de etanșare rezistent la apă

O variantă a pereților cu pietre naturale prevede mortar în rosturi. În locul unui montaj de înaltă calitate, fără rosturi, pietrele sunt așezate într-un pat de mortar. Din cele mai vechi timpuri, sunt cunoscute mortarele Trass, care nu absorb aproape deloc apă, sau cimenturile cu proprietăți similare. Mortarele moderne sunt adesea nepotrivite; acestea sunt adesea concepute pentru a transporta umiditatea prin capilaritate. În caz de deteriorare, mortarele ar trebui să fie examinate mai atent pentru a determina compoziția și proprietățile acestora.

Pereți înveliți, structuri prefabricate, structuri din paie

Datorită valorilor mai ridicate de izolare termică, se construiesc adesea pereți cu înveliș dublu: între două învelișuri dure din cărămidă, lemn, scânduri și alte materiale se află o izolație termică cu o grosime de până la câțiva decimetri, realizată din materiale minerale sau organice. Structurile pereților de protecție sunt construcții speciale și trebuie menținute uscate, în special în cazul materialelor de construcție organice.