

# Kondenzacija vlage u stambenim prostorima

---

Čizmar, Lucija

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:725889>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-24**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





# Sveučilište Sjever

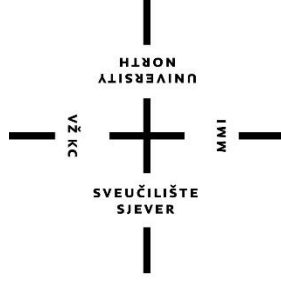
Završni rad br. 318/GR/2018

## Kondenzacija vlage u stambenim prostorima

Lucija Čizmar, 0145/336

Varaždin, kolovoz 2018. godine





# Sveučilište Sjever

Odjel za Graditeljstvo

Završni rad br. 318/GR/2018

## **Kondenzacija vlage u stambenim prostorima**

**Student**

Lucija Čizmar, 0145/336

**Mentor**

Mirna Amadori, dipl.ing.građ.

Varaždin, kolovoz 2018. godine



# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za graditeljstvo		
PRISTUPNIK	Lucija Čizmar	MATIČNI BROJ	0145/336
DATUM	8. VI. 2018.	KOLEGIJ	Organizacija građenja
NASLOV RADA	KONDENZACIJA VLAGE U STAMBENIM PROSTORIMA		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	CONDENSATION MOISTURES IN RESIDENTIAL PROPERTIES		
MENTOR	Mirna Amadori	ZVANJE	predavač
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. dr.sc. Božo Soldo, redoviti profesor		
	2. Mirna Amadori, predavač		
	3. dr. sc. Matija Orešković, viši predavač		
	4. dr. sc. Aniskin Aleksej, viši predavač		
	5. _____		

## Zadatak završnog rada

BROJ 318/GR/2018

### OPIS

Pristupnik u radu treba detaljno obraditi kondenzaciju vlage u građevinama i to u stambenim prostorima sa svim uzrocima i posljedicama, kao i sanacije istih.

U radu je potrebno obraditi slijedeće podnaslove:

1. Uvod
2. Vlaga u stambenim prostorima
3. Prijenos topline
4. Toplinski most
5. Uzroci i posljedice djelovanja vlage u građevinama
6. Dijagnostika i sanacija vlage u građevinama
7. Sanacija vlage
8. Zaključak
9. Literatura

ZADATAK URUČEN

29.06.2018.

POTPIS MENTORA



## **Predgovor**

Ovom prilikom zahvaljujem mentorici na ukazanom povjerenju i prilici za rad na ovoj temi.

Zahvaljujem se svojoj obitelji i bližnjima na neizmornoj podršci tijekom studija, a posebno se zahvaljujem mojoj baki Zori na velikoj podršci tokom mog studiranja koja mi je sa svojim savjetima i neizmjernom podrškom dala još više poticaja da ostvarim svoj cilj.

## **Sažetak**

Naslov rada: Kondenzacija vlage u stambenim prostorima

Mentor: Mirna Amadori, dipl.ing.građ.

Kandidat: Lucija Čizmar

U ovom radu detaljno je opisana kondenzacija vlage u stambenim prostorima, te kako ona uzrokuje građevinsku štetu. U više od 70% problema sa zgradama vlaga je jedan od glavnih uzročnika, ona smanjuje toplinsko izolacijsku sposobnost materijala, dugotrajna vlaga uzrokuje propadanje građevinskog materijala, oštećenja kao: korozija armature, truljenje drvenog materijala, a može doći do kristalizacije soli što uzrokuje ljuskanje, pucanje opeke, kamena, morta ili žbuke te ostali uzroci i posljedice djelovanja vlage koji su također opisani. Kondenzacija je prelazak vodene pare u tekuću fazu koji se očituje kao vodeni film na nekoj površini, nastaje kada je temperatura površine niža od rosišta okolnog zraka. Nakon kondenzacije na zidovima i pojave plijesni ostaju tamne mrlje po zidovima, plijesan se može uništiti raznim biocidnim sredstvima, međutim time nije otklonjen problem i izvor vlaženja pa će ubrzo doći do ponovne pojave plijesni. Pravilnom dijagnostikom i sanacijom vlage te održavanjem kondenzacija se neće ponovno pojaviti što je detaljno objašnjeno na kraju ovog rada.

**Ključne riječi: kondenzacija, vlaga, difuzija, toplinski most, rosište**



## Summary

Title: Condensation moisture in residential buildings

Mentor: Mirna Amadori, dipl.ing.grad.

Author: Lucija Čizmar

In this paper, condensation of moisture in dwellings is described in detail and how it causes building damage, in more than 70% of the problems with the buildings the humidity is one of the major causes. Moisture reduces the thermal insulation ability of the material, long-lasting moisture causes building material degradation, corrosion damage of reinforcement concrete, wood material rupture, salt crystallization that causes plastering, barking of brick, stone, mortar or plaster and other causes and effects of moisture action also described. Condensation is the transfer of water vapor into the liquid phase that is expressed as an aqueous film on a surface occurs when the surface temperature lower than the dew point of the surrounding air. After condensation on the walls and the appearance of the mold remain dark spots on the walls, the mold can be destroyed by a variety of biocidal means, however, the problem and the moisture source are not removed and the mildew occurs soon. Proper diagnostics moisture maintenance will not appear again, as explained in detail at the end of this work.

**Keywords: condensation, moisture, diffusion, thermal bridge, dew point**

# Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Vlaga u stambenim prostorima .....	2
2.1.	Vrste vlage i njihovi uzroci: .....	2
3.	Prijenos topline .....	11
3.1.	Difuzija vodene pare .....	11
4.	Toplinski most .....	15
4.1.	Konvekcijski toplinski most.....	16
4.2.	Geometrijski toplinski most .....	17
4.3.	Mješoviti oblici .....	17
5.	Uzroci i posljedice djelovanja vlage u građevinama .....	18
5.1.	Uzlazna vlaga .....	19
5.2.	Prodori kiše .....	20
5.3.	Kondenzacija indicirana higroskopnim solima u zidu .....	20
5.4.	Kondenzacija vlage nastale u proljeće u negrijanom prostoru.....	22
5.5.	Problem kondenzacije vlage u konstrukciji objekta izvedenih od prefabriciranih elemenata.....	22
5.6.	Štetni učinci zidne plijesni na zdravlje.....	23
6.	Dijagnostika i sanacija vlage u građevinama .....	24
6.1.	Određivanje poroznosti materijala od kojeg je građen zid.....	25
6.2.	Određivanje sadržaja vlage u zidu .....	25
6.3.	Mjerenje temperature i vlage u zraku.....	26
6.4.	Mjerenje zračnih strujanja.....	26
7.	Sanacija vlage .....	28
7.1.	Sanacija vlage toplinskom izolacijom.....	28
7.2.	Ventilirana fasada.....	29
7.3.	Drenaža i zračni kanali .....	31
7.4.	Horizontalna i vertikalna hidroizolacija .....	32
7.5.	Izolacija poda .....	35
7.6.	Sanacija hidroskopne vlage .....	35
7.7.	Provjetravanje i sušenje zraka .....	38
8.	Zaključak.....	<b>Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.</b>
9.	Literatura.....	38



# 1. Uvod

U ovom završnom radu, objašnjeni su uzroci i posljedice jednog od glavnih problema koji je najčešće prilikom projektiranja zanemaren, a to je pojava vlage. Građevinski elementi sadrže manju količinu vode koja dospijeva u materijal u toku gradnje i nakon izgradnje. Sadržaj vode u građevinskom materijalu ovisi o vrsti i strukturi materijala, izloženosti kiši, vjetru, mikroklimi i području u kojem se nalazi, te načinu korištenja objekta. Često se vlaga ne uzima kao jedan od glavnih kriterija za energetski učinkovite, trajne ali i zdrave zgrade. Upravo pojava vlage nakon izgradnje sprječava udobnost življenja u stambenom prostoru. Nakon dovršenja objekta znatna količina vode sadržana je u ugrađenom materijalu koju je potrebno isušivanjem odstraniti. Vlaga u materijalu predstavlja rizik za zdravlje i ugodnost boravka ali i materijalnog oštećenja objekta. Vodena para se prenosi difuzijom i tokom zraka, a kroz elemente se voda prenosi (širi) uslijed djelovanja gravitacije i razlike tlakova u unutarnjem djelu građevine i vanjskom okolišu.

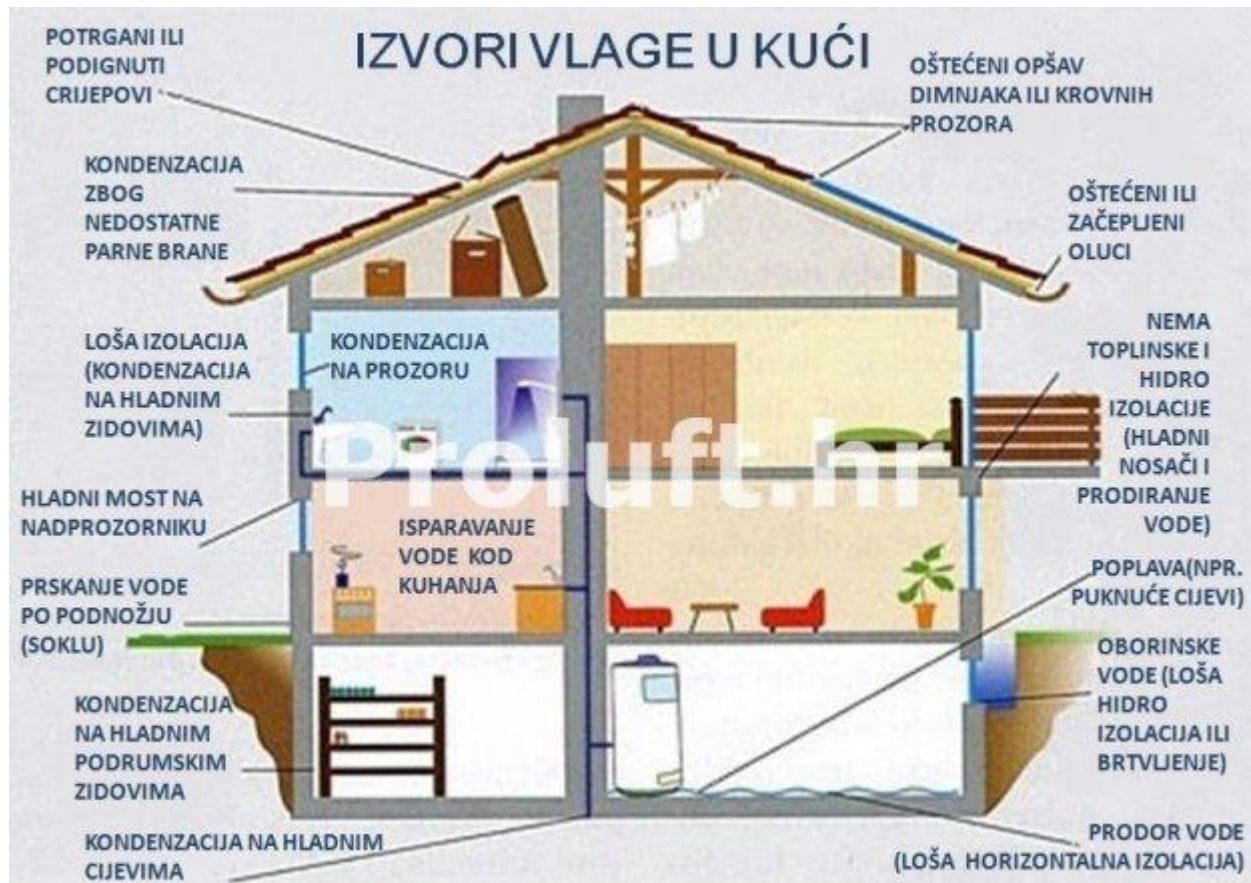
Najčešće štetne pojave u stambenim prostorima uslijed kondenzacije vodene pare su gljivice, plijesan i vlažne mrlje na zidovima. Na njihov razvoj utječe zrak koji ne struji i vlaga koja najčešće nastaje u stambenom prostoru, a kod kontakta sa hladnim zrakom dolazi do vlaženja slojeva boje i žbuke. Vlaga uzrokuje zdravstvene tegobe, smanjuje trajnosti i stabilnost građevine te narušava izgled zidova, stropova i ostalih elemenata. Kondenzacija nastaje na hladnijim mjestima u kontaktu sa toplim zrakom gdje para prelazi u vodu. Osnovni faktori koji utječu na kondenzaciju i količinu kondenzacije su: temperatura zraka, tlak vodene pare unutar objekta, apsorpcija i svojstvo materijala za prijenos pare unutar zida. Razlika tlaka vodene pare u zraku unutar objekta i u vanjskom dijelu uzrokuje migraciju vodene pare. Ventilacijom objekta smanjuje se porast vodene pare u zraku, a time i pojava kondenzacije.

Prilikom useljenja u novoizgrađene objekte i nedovoljnog prozračivanja stambenih prostora jedni su od glavnih problema kondenzacije vlage. Osnovni uzrok tome je današnji način gradnje i težnja prema maksimalnoj štednji energije, užurbanom načinu života, kako bi spriječili buku koja nas okružuje pa se od današnjih stambenih objekata grade male utvrde.

Kondenzacija je prelazak vodene pare u tekuću fazu koji se očituje kao vodeni film na nekoj površini nastaje kada je temperatura površine niža od rosišta okolnog zraka. Posljedice vlage u zidovima osim nastanka mikroorganizama (gljivica i plijesni) su: bubrenje, otpadanje boje i žbuke sa zidova, nedozvoljeno vlaženje građevnog elementa. U takvim je mikroklimatskim uvjetima boravak u prostorijama nezdrav i neudoban. Kad jednom nastanu, gljivice i plijesni ne mogu se lako ukloniti nego je potreban pravilan sanacijski postupak kako bi se spriječilo ponavljanje vlage u stambenim prostorima što će u ovom radu biti detaljnije objašnjeno.

## 2. Vлага u stambenim prostorima

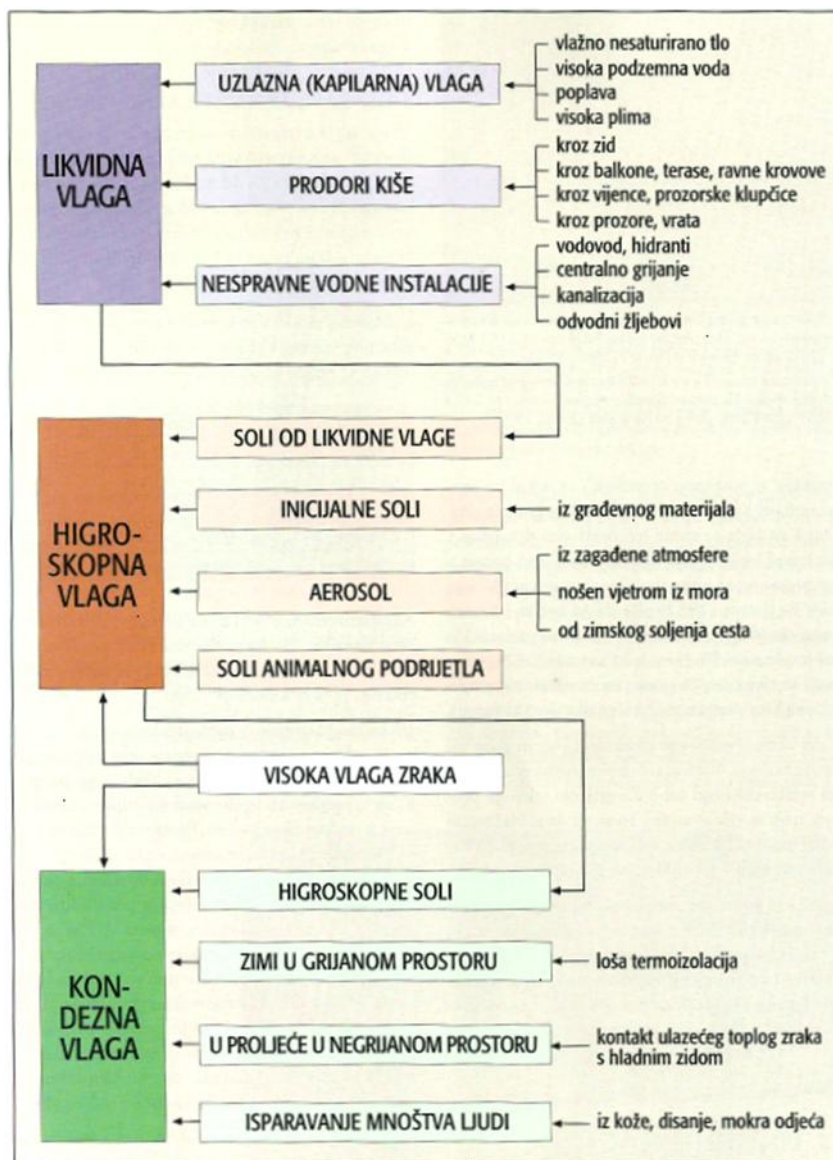
Vlaga je glavni problem koji najviše smanjuje kvalitetu građevnih elemenata zgrade te je u 70% slučajeva direktni ili indirektni uzročnik problema upravo vlaga. U konstrukciji se svakodnevno događa transport zraka, vode, vodene pare (slika 1.), a njihovo djelovanje uvelike utječe na udobnost življenja kao i sigurnost te trajnost građevine.



Slika 1. Izvori vlage i posljedice djelovanja

### 2.1. Vrste vlage i njihovi uzroci:

Oblici vlage su podijeljeni u tri skupine (slika 2.), prva skupina je likvidna vlaga uzrokovana tekućom vodom: kiša, poplave, podzemne vode. Druga skupina je hidroskopna vlaga koja nastaje tako što soli likvidne vlage akumulirane u zidu upijaju vodenu paru iz zraka. Treća skupina kondenzacijska vlaga koja također nastaje od visoke vlage u zraku i hidroskopnih soli ali se izlučuje na površini zida u obliku rose kada topao zrak dolazi u dodir sa hladnim zrakom.



Slika 2. Vrste vlage i njihovo podrijetlo

### 2.1.1. Likvidna (Kapilarna) vlaga

U skupinu kapilarne vlage podrazumijevaju se oblici vlage koji su u zid dospjeli u obliku tekuće vode, kapilarama koje vodu transportiraju kroz temelje u zid, vlaga od kiše nošene vjetrom na vanjsku površinu zida, curenja neispravnih instalacija. Kapilara je poput vlasi tanka cjevčica gdje se u građevnom materijalu nalazi sustav vrlo malih međusobno spojenih šupljina koje djeluju poput kapilare. Kapilara elevacija je ulaz vode iz vodom zasićenog tla u porozni zid građevine, kapilare manjeg radijusa podizat će vodu na veću visinu nego kapilare većeg radijusa.

Radijus pore	Visina kapilarnog uzlaza
1 mm	0,015 m = 1,5 cm
0,1 mm	0,15 m = 15 cm
0,01 mm	1,5 m
0,001 mm	15 m
0,0001 mm	150 m

*Tablica 1. Prikaz visine kapilarnog uzlaza ovisno o radijusu pore*

Karakteristična je kod starih građevina u vrijeme gradnje kada se nije postavljala hidroizolacija ili ako je nepravilno ugrađena te su se upotrebljavali porozni materijali kroz koje se podiže vlaga iz tla prema gore, uslijed površinske napetosti vode te je njena posljedica kapilarni efekt što znači da se voda uspinje kroz zid prema gore te sve više pojačava kapilarno djelovanje. Također se pojavljuje nakon poplava i trajno ostaje u zidu. Može ju uzrokovati i vlažno nesaturirano tlo, visoka razina podzemne vode i otapanje velike količine snijega. Likvidna vlaga može se uočiti kao:

- odvajanje boje na površini, raspadanje, otpadanje žbuke, betona...
- pojava bijelih kristala soli i plijesni na površini
- neugodan miris



*Slika 3. Kapilarna vlaga*

Kod konstrukcija otvorenih za difuziju, npr. rešetkasta konstrukcija zida sa kapilarnim izolacijskim materijalom, vlaga se i dalje provodi i može se lako posušiti.

Kod građevinskih materijala sa kapilarnim provođenjem (zid od opeke) vlaga se može brže posušiti. Pri kapilarnom dizanju vlage u zidu iz zemlje, penjajuća voda sa sobom nosi i rastvorive soli te tako dolazi do vlaženja.

Kod nedovoljnog osiguranja od prodora kiše, vlaga kapilarnim provođenjem ulazi u unutrašnjost konstrukcije zida. Kapilarno provođenje u velikoj mjeri ovisi o sadržaju vlage u građevinskom materijalu, kapilare su različitih oblika i dimenzija te su međusobno povezane jedna sa drugom preko šupljina čija struktura ovisi o materijalu. Ako je sadržaj vlage veliki onda su kapilare ispunjene vodom i dolazi do kapilarnog transporta, kod sušenja najveće šupljine oslobađaju vodu čime se prekida kapilarni put, a time i kapilarni transport. Kapilarni transport se sastoji od prodiruće vlage, na primjer prodiranja kiše pa dolazi do kapilarne kondenzacije.

### 2.1.2. Hidroskopna vlaga

Nastaje kao posljedica soli dospjelih u zid likvidnom vlagom. Dolazi do hidroskopne vlage ako materijal u svojoj strukturi sadrži topive hidroskopne soli, povećanjem vlage u zraku raste i vlaga materijala i to razmjerno udjelu soli. Uloga soli kod propadanja građevinskog materijala izrazito je velika. Porozni materijali npr. kamen, opeka, mort imaju hidroskopna svojstva što znači da upijaju vlagu iz zraka. Različite vrste soli mogu doprijeti u zid na način:

- sekundarno kao soli transportirane iz tla kapilarnom vlagom,
- soli koje se već nalaze u materijalu prije ugradnje u zid,
- sol iz morskog pijeska, portland- cementa...
- isparavanjem vlage na površini zida zaostaje sol koja se kristalizira i tako nastaju mrlje na zidovima



*Slika 4. Kristalizacija soli na betonskom zidu*



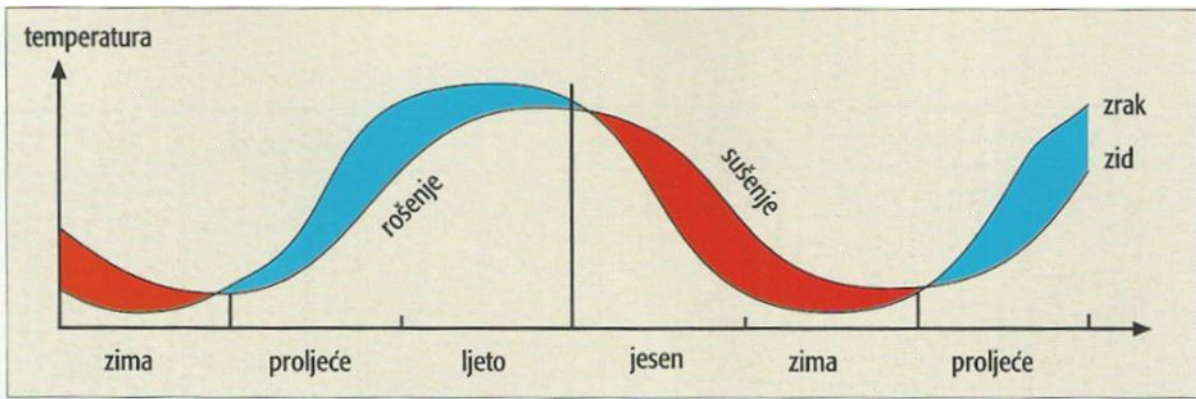
### 2.1.3. Kondenzacijska vlaga

Kondenzacija ili rošenje vodene pare pretežno se događa na unutarnjim plohamu građevine iako ponekad nastaju uvjeti za vanjsku kondenzaciju. Kondenzacija se stvara na svim površinama hladnijim od temperature zraka u prostoriji, a to su zidovi. Uzroci su različiti, ali najčešće nastaje kod povećane vlage zraka, kada je uvjet za nastajanje zidne pljesni nedovoljna toplinska izolacija, kada topli zrak u prostoru kondenzira na hladnom zidu ili prozoru što uzrokuje idealne uvijete za stvaranje pljesni, preniska temperatura prostora, neučinkovito, nepravilno prozračivanje, prekomjerno nastajanje vlage nepravilnom primjenom građevinskih materijala i njihova pogrešna ugradnja, pritisaka rokova izvođenja i pokušaja uštede na materijalu te drugih razloga. Nakon toga dolazi do problema kao što su procurivanje vode kroz građevne dijelove, smrzavanje pa odmrzavanje što dovodi do propadanja materijala vanjske ovojnice zgrade.



*Slika 5., 6., 7. Propadanje vanjske ovojnice zgrade*

Tijekom posljednjih nekoliko godina došlo je do povećanih zahtjeva što se tiče uštede energije, posebno uslijed povećanja troškova za grijanje ali i za hlađenje prostora. Zbog ubrzanog načina života i buke te većih zahtjeva za izolacijom unutarnjeg prostora stambeni prostori se sve više izoliraju kako bi bilo moguće osigurati potreban mir. Prilikom useljenja u novoizgrađene objekte i nedovoljnog prozračivanja opasnost od pljesni je zadnjih godina naglo porasla. Kod novih još neuseljenih objekata osobito ako je zgrada „zatvorena“ vlaga zaostaje u materijalima konstrukcije i oblogama radi nepotpunog isušivanja građevinskog objekta. Ovakvi slučajevi se događaju ako se izvede toplinska izolacija od materijala sa visokim koeficijentom difuzije vodene pare kao što je ekspanzirani polistiren, paronepropusni završni slojevi žbuke ili ako se ugrade prozori koji su brtvljeni sa nekoliko slojeva te sve zajedno sprječava daljnje isušivanje konstrukcije.



Slika 8. Grafički prikaz srednje temperature zraka i zida

Na grafu (slika 8.) je prikazana usporedba srednje temperature zraka s temperaturom zida na unutarnjoj površini negrijane zgrade. Kada je unutarnja temperatura niža od temperature zraka nastaju uvjeti za rošenje, a kod temperature više od temperature zraka zid se suši.

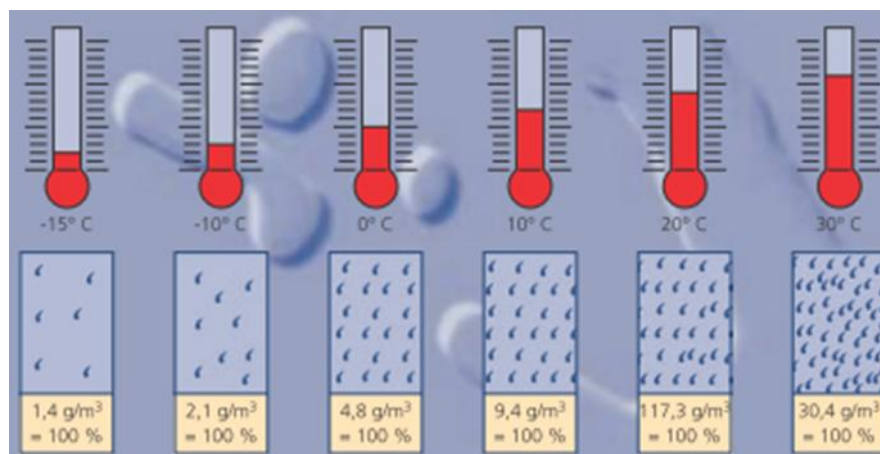
Kod povišene relativne vlažnosti zraka u prostoru (viša od 60 %) vlaga ne pokriva samo površinu zida nego počinje puniti i njegov volumen, zidovi se vlaže što je odličan uvjet za stvaranje gljivica i pljesni. Relativna vlaga zraka jest vlaga kod koje soli pri određenoj temperaturi počinju primati vodu iz zraka, pa se sol otapa. Kada se relativna vlaga smanjuje dolazi do prevelikog zasićenja otopine soli pa nastaje kristalizacija. Relativna vlaga izražava se u postocima zasićenja.



Slika 9. Prikaz relativne vlažnosti zraka pri temperaturi i količini kondenzirane vodene pare

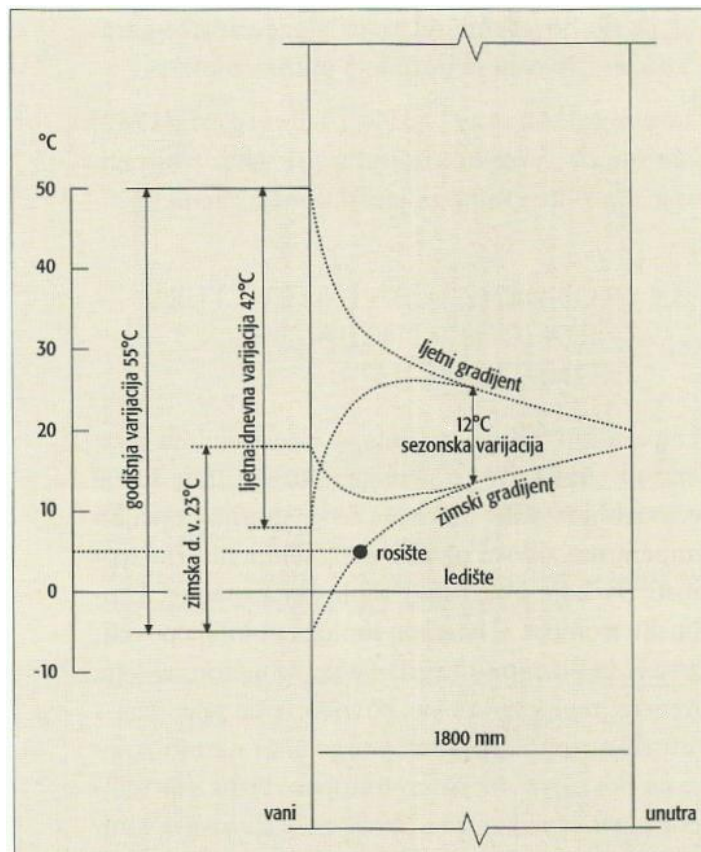
Na slici 9. je grafički prikaz količine kondenzirane vodene pare na unutarnjoj površini u ovisnosti o temperaturi unutarnje površine zida.

Zrak se sastoji od plinova dušika, kisika, ugljikova dioksida i nešto malo inertnih plinova i vodene pare. Vodena para može biti sadržana u promjenjivim količinama. Imamo dvije vrste vlage u zraku: apsolutnu i relativnu vlagu u zraku. Apsolutna vlaga je koncentracija vodene pare u zraku u  $\text{g/m}^3$  koju sadrži jedinica mase zraka, a relativna vlaga je omjer apsolutne vlage i maksimalne moguće količine vlage koju zrak pri danoj temperaturi može prihvatiti, te se prikazuje u %. Kada apsolutna vlaga zraka dosegne iznos od 100% započinje kondenzacija vodene pare.



Slika 10. Količina apsolutne vlage u  $\text{g/m}^3$  pri određenoj temperaturi

Zrak ovisno o temperaturi može primiti određene količine vode u obliku vodene pare što, je veća temperatura zraka u prostoriji time više vodene pare može sadržavati u sebi. Na zidu se kondenzacija događa i kada je zid hladniji od okolnog zraka, tj. kada topli zrak dospije do površine hladnog zida. Temperatura pri kojoj dolazi do zasićenja zraka vodenom parom zove se rosište. Temperatura točke rosišta označava onu temperaturu kod koje relativna vlažnost zraka iznosi 100%. Temperaturom od 19-23 °C postiže se relativna vlažnost od oko 35% do 70%, a kod oko 80% vlage dolazi do kondenzacije vlage (pri padu temperature ispod točke rosišta) i pojave plijesni. Temperatura točke rosišta označava onu temperaturu kod koje relativna vlažnost zraka iznosi 100%. Ukoliko je temperatura u građevinskom elementu jako niska, vodena para prelazi u rosu (točka rosišta), što pogoduje stvaranju plijesni. Ako točka rosišta vodene pare leži na vanjskoj trećini vanjskog zida, voda se brzo transportira na površinu te isparava preko paropropusne površine. Što se točka rosišta više pomiče prema unutrašnjosti zida, to je put do isparavanja sve duži.



Slika 11. Temperaturene razlike u zidu zgrade

Zaključno tome što je zrak hladniji, sadržava niži postotak vlage, ulaskom vanjskog zraka u prostoriju nakon zagrijavanja prostorije (prozračivanjem) zrak će primiti veću količinu vodene pare. Prozračivanjem prostora uvodi se uvodi hladan zrak kako bi se isušila vodena para koja nastaje u svakom domaćinstvu tijekom obavljanja svakodnevnih kućanskih poslova (kuhanje, pranje, tuširanje...). U stambenom prostoru stalno se stvara vodena para: zrakom koji udišemo i izdišemo proizvedemo oko 1-2 litre na dan po osobi, kuhanjem proizvedemo oko 1-2 litre vodene pare dnevno, tuširanjem ili kupanjem 0,5-1 litre na dan po osobi, biljke proizvedu 0,5-2 litre na dan, vlažnost se dodatno povećava ako se u prostoriji suši rublje, tako četveročlana obitelj proizvede oko 10 litara vode u obliku vodene pare tijekom dana. Zrak može poprimiti 100% vlage, ako imamo 50% vlage zrak je do pola ispunjen vlagom i još može poprimiti toliku količinu vodene pare. Čim je postotak vlage niži, zrak može poprimiti veće količine vodene pare. Na primjer, ako imamo prostoriju od 20 m<sup>2</sup> visine od 2,5 m, volumen te prostorije iznosi 50 m<sup>3</sup> i temperaturu od 23 °C pri 60% vlage što je ugodna razina pri sobnoj temperaturi za čovjeka. Za vrijeme hladnih mjeseci u kontaktu ovog vlažnog zraka na hladno staklo prozora koji je temperature manje od 12 °C, dolazi do kondenzacije pare koje se prikazuju kao kapljice koje se vide na ostakljenju prozora. Često se kao krivca za pojavu kondenzacije na staklu krivi proizvođača stolarije te lošu kvalitetu samog proizvoda, ali krivac nije proizvođač jer na isti takav način se može okri-

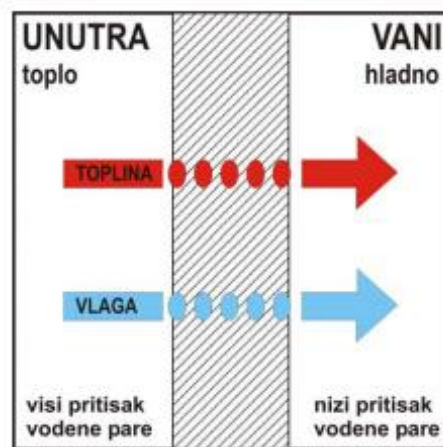
viti i proizvođača naočala koje se zamagle kod prelaska iz hladne u toplu prostoriju. Iz tog razloga kondenzacija vode će se brže pojaviti što je površina stakla hladnija i što je zrak u prostoriji topliji, jer topliji zrak može imati i veću količinu vlage. U pravilu se kondenzacija pojavljuje prvo na donjem rubu stakla, na mjestu spajanja što se prikazuje kao i najnepovoljniji dijelovi na prozoru (slika 12 i 13).



*Slika 12., 13. Kondenzacija i plijesan na donjem rubu prozora*

### 3. Prijenos topline

Proces prolaza topline kroz konstrukciju oplošja objekta, kroz njene slojeve toplinski gradijent prolazi od višeg toplinskog stanja prema nižem toplinskom stanju. Dolazeći do svakog sloja konstrukcije toplina povećava njegovu temperaturu, pri tome se jedan dio topline akumulira u sloju, a ostatak topline prenosi se na susjedni hladniji sloj. Na taj način svaki idući sloj poprimi manje topline pa zbog toga ima i manji porast temperature nego prethodni sloj. Zbog akumulacije topline u pojedinim slojevima konstrukcije manje topline dolazi u posljednji vanjski sloj, pa je porast temperature ovog sloja manji. Nakon prestanka provođenja topline konstrukcija objekta počinje se hladiti. Zbog procesa grijanje-hlađenje, konstrukcija je izložena cikličkim temperaturnim promjenama. Prijenos topline je proces strujanja u smjeru niže temperature tj. prijelaz sa toplijeg dijela u hladniji (slika 14.).

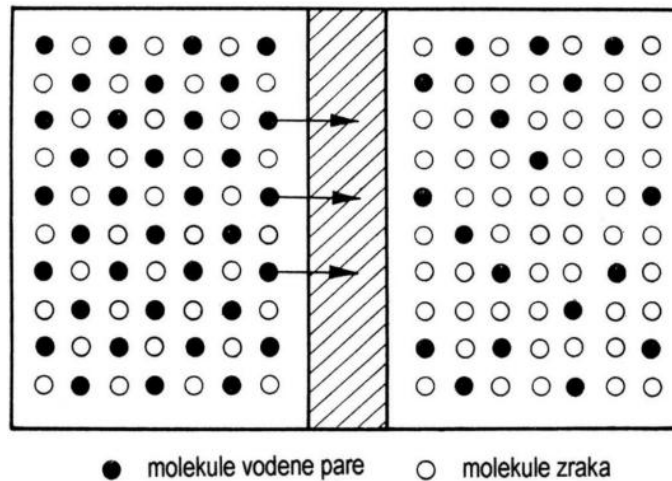


Slika 14. Smjer kretanja topline

Kretanje topline je iz unutarnjeg djela prema vanjskom u zimskom razdoblju kada unutarnji prostor ima znatno veću temperaturu od vanjskog okoliša. Događa se i obrnuti smjer kretanja topline ako unutarnji prostor ima nižu temperaturu nego vanjski, tj. u ljetno vrijeme kada su unutarnje prostorije klimatizirane, a vanjska temperatura je vrlo visoka.

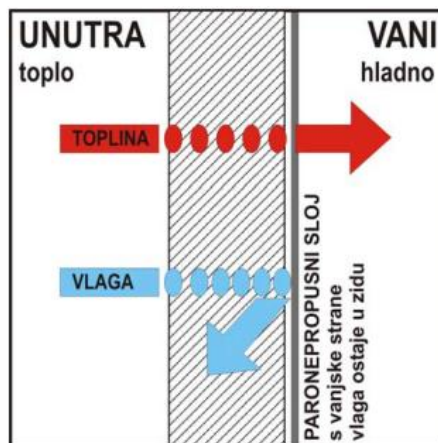
#### 3.1. Difuzija vodene pare

Difuzija vodene pare definirana je kao strujanje vodene pare kroz pregradni element ili materijal uslijed razlike parcijalnih tlakova vodene pare. Događa se prelazak iz područja sa mnogo molekula u vode u zraku sa visokim parcijalnim tlakom vodene pare prema području sa malim parcijalnim tlakom vodene pare. Rezultat je isparivanje sa jedne strane, a kondenzacija sa druge strane. Molekule vodene pare iz toplog zraka prostorije prolaze, difundiraju (slika 15.) kroz zid prema van.



Slika 15. Prikaz difuzije vodene pare kroz pregradu (lijevo unutarnji, desno vanjski dio)

Molekule vodene pare iz toplog zraka prostorije prolaze kroz zid prema vanjskom djelu sve do izjednačenja tlakova vanjskog i unutarnjeg prostora. Što je veća razlika tlakova to je veća gustoća difuzije vlage kroz vanjski dio. Difuzija vodene pare ovisi o temperaturi i vlažnosti zraka, a zbog razlika tlakova para prolazi sa toplijeg prostora gdje je viši tlak u hladniji prostor koji ima niži tlak. Povećanjem difuzije dolazi do kondenzacije te nakon što dođe do kondenzacije dolazi do oštećenja građevinskog elementa i smanjenja njegovih toplinsko-izolacijskih karakteristika. Kod vanjskih zidova treba izbjegavati postavljanje paronepropusnog sloja sa vanjske strane jer će on zaustaviti difuziju vodene pare kroz zid (slika 16.) na najnepovoljnijem mjestu (hladnom dijelu) gdje će doći do unutarnje kondenzacije i vlaženja zida.



Slika 16. Spriječena difuzija paronepropusnim slojem

Vanjski paronepropusni sloj treba biti odvojen od zida ventiliranim slojem što će u poglavlju sanacije biti detaljnije objašnjeno.

Gubici topline kroz vanjske zidove zgrade mogu se smanjiti ako se toplinski izoliraju. Gubitak topline ovisi o toplinskom otporu i Sunčevu zračenju koji smanjuju gubitak topline i brzini

vjetra koji povećava gubitke topline. Utjecaj Sunčeva zračenja ovisi o koeficijentu apsorpcije vanjske površine, tamna boja ima veliki koeficijent apsorpcije pa smanjuje gubitke topline od 2% do 5 % u odnosu na svjetliju boju. Dobra toplinska izolacija smanjuje potrošnju energije za grijanje i smanjuje rizik od pojave kondenzacije vodene pare u konstrukciji zgrade. Ako je koeficijent prolaza topline veći od  $0,68 \text{ W/m}^2\text{K}$  treba dodati toplinsku izolaciju da se postigne koeficijent  $0,68 \text{ W/m}^2\text{K}$  ili manji. Koeficijent prolaska topline označuje se sa  $U$  i definiran je kao količina topline koju građevni element gubi u 1 sekundi po  $\text{m}^2$  površine, kod razlike temperature od 1 K, izraženo u  $\text{W/m}^2\text{K}$ . Koeficijent prolaska topline je bitan iz razloga što je on manji to je toplinska zaštita zgrade bolja pa je vrlo važna karakteristika materijala vanjskih elemenata i ima veliku ulogu kod troškova energije i ukupnih toplinskih gubitaka. Prijenos topline određen je i koeficijentom toplinske provodljivosti, a ovisi o svojstvima materijala kroz kojeg se prenosi toplota. Toplinska provodljivost (oznaka  $\lambda$ ) je fizikalna veličina definirana kao količina topline u jedinici vremena, tj. toplinski tok koji prolazi nekim materijalom kroz površinu zbog razlike temperature. Mjerna jedinica toplinske provodljivosti u SI je  $\text{W}/(\text{mK})$ .

Vanjski zid	Topl. prov. $\lambda$ $\text{W}/(\text{mK})$	Deb.zida (cm)	Bez ETICS sust. ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )	Vanjski zid s ugrađenim ETICS* sustavom sa STIROPOR EPS-F. $U$ ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )			
				5 cm	6 cm	8 cm	10 cm
Beton	2,50	16	4,27	0,65	0,55	0,43	0,35
		18	4,13	0,64	0,55	0,43	0,35
		20	4,00	0,64	0,55	0,42	0,35
Šuplji blokovi od gline (blok opeka)	0,48	19	1,77	0,53	0,47	0,37	0,31
		25	1,45	0,50	0,44	0,36	0,30
		29	1,29	0,48	0,42	0,35	0,29
Puna opeka od gline	0,68	25	1,86	0,54	0,47	0,38	0,32
		38	1,37	0,49	0,43	0,35	0,30
Šuplji blokovi od betona (blokete)	1,10	19	2,92	0,60	0,52	0,41	0,34
		25	2,52	0,58	0,51	0,40	0,33
		29	2,31	0,57	0,50	0,39	0,33
Porobeton	0,18	20	0,78	0,39	0,35	0,30	0,26
		25	0,64	0,35	0,32	0,27	0,24
		30	0,54	0,32	0,29	0,25	0,22

Tablica 2. Vrijednosti toplinske provodljivosti  $\lambda$   $\text{W}/(\text{mK})$  i koeficijenta prolaza topline  $U$  ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ), ovisno o materijalu i debljini izolacije

Ispravan fizikalni proces neće dopustiti kondenzaciju vodene pare u mjeri koja može oštetiti građevinsku konstrukciju, a ako do nje dođe građevinsko oštećenje očituje se kao:



- gubljenje toplinsko izolacijski svojstava radi sadržaja vlage u materijalu (povećanje  $\lambda$  zato što je voda dobar vodič topline)
- propadanje materijala (degradacija)
- razvoj mikroorganizama i truljenje materijala

Tri načina prijenosa topline kroz zid:

1. Kondukcija (vođenje)
2. Konvekcija (strujanje)
3. Radijacija (zračenje)

### **3.1.1. Kondukcija**

Kondukcija ovisi o koeficijentu provođenja topline  $\lambda$ . Brzina prenošenja topline je veća što je veća temperaturna razlika, a ovisi i o samom materijalu. Poluvodiči topline (kremen, mramor...) toplinu vode slabije od kovina, ali bolje od pravih izolatora. Od tehničkih kovina najbolji vodič topline je srebro, bakar, a zatim aluminij, mjed i željezo. Loši vodiči topline su zrak, a zatim šupljikave tvari kao pluto, azbest, drvena piljevina, kamena vuna, polistiren i drugo. Šupljikave tvari su loši vodiči topline jer imaju u sebi mnogo šupljina, ispunjenih zrakom koji je toplinski izolator. Tekućine su također loši vodiči topline.

### **3.1.2. Konvekcija**

Prijenos topline konvekcijom izražava se prijenosom topline s tekućine ili plina na kruti materijal ili obrnuto. Provođenje topline određeno je koeficijentom provodljivosti materijala. Prirodna konvekcija je posljedica razlike gustoće zbog toplijih i hladnijih čestica, prisilna konvekcija posljedica je nekog vanjskog djelovanja. Pri tome topliji dijelovi prenose toplinu hladnijim dijelovima.

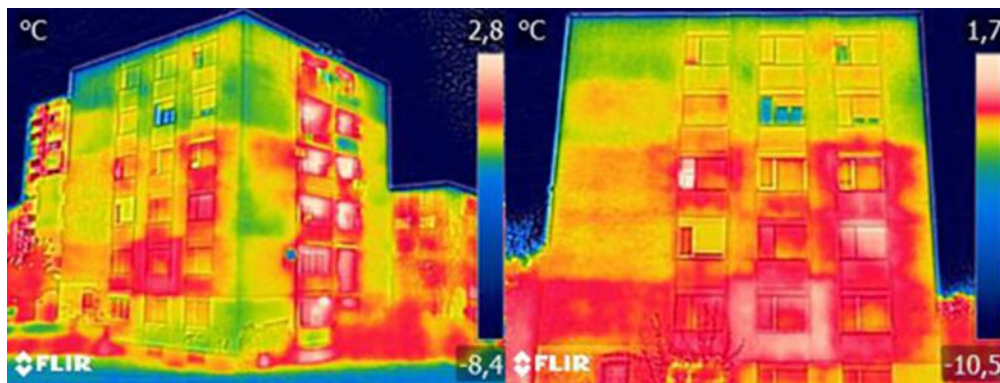
### **3.1.3. Radijacija**

Proces radijacije (zračenja) rezultat je pojave dvostruke transformacije energije (toplina-zračenje-toplina). Kad su temperature međusobno jednake, element je u ravnoteži. Zrak npr. propušta toplinske zrake ali uz prisutnost vodene pare i ugljikovog dioksida čine ga polupropusnim.

## 4. Toplinski most

Površinska temperatura zida ili stropa niža od temperature zraka u prostoriji, te kod povećanja vlažnosti iznad normalne količine, na površini se u dodiru s toplim i vlažnim zrakom iz prostorije kondenzira vodena para i nastane kondenzat. Taj je problem posebno prisutan kod toplinski neizoliranih dijelova u vanjskim obodnim pregradama, takozvanim konstruktivnim toplinskim mostovima, primjerice: toplinski neizolirani armiranobetonski serklaži u zidovima od blok opeke.

Toplinski most označava dijelove vanjskog građevinskog elementa koji imaju manji otpor toplinskoj propusnosti nego ostali presjeci elementa. Građevinski vanjski elementi lošeg toplinskog otpora: nedovoljno izolirani ili neizolirani betonski nadvoji iznad prozora, stupovi na uglovima zgrade, serklaži, vijenci, a pogotovo istake balkona i zidova i dr. razlog su za nastajanje površinske kondenzacije. Na fotografiji (slika 17.) slikanoj infracrvenom kamerom uočavaju se toplinski mostovi, hladnija mjesta na zidu (ljubičasto- crvenom bojom).



Slika 17. Termografski prikaz oplošja zgrade

Toplinski otpor mijenja se uslijed:

1. Potpunog ili djelomičnog prodora oplošja zgrade kroz različite građevinske materijale sa različitom toplinskom provodljivošću.
2. Izmjene u debljini građevinskog elementa
3. Različite visine unutarnje i vanjske površine npr. spojevi poda, zida i stropa

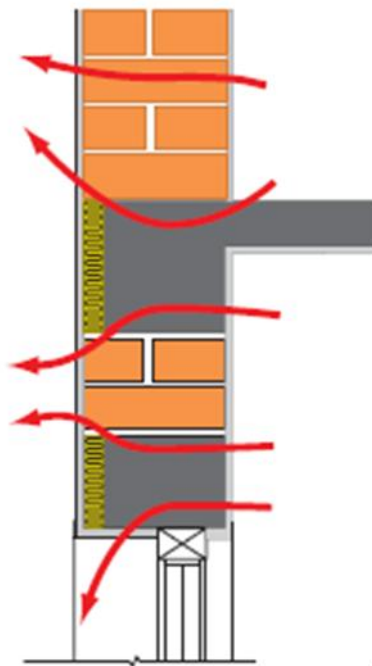
Posljedice toplinskih mostova su: promjene u toplinskim gubicima i promjene unutarnje površinske temperature. Zbog manje toplinske propustljivosti temperatura na unutarnjem djelu površine manja je nego na ostalim dijelovima što predstavlja idealne uvijete za kondenzaciju vodene pare na ovim mjestima. U zoni toplinskih mostova nalazi se niža temperatura površine, a povišenim protokom topline dolazi do povećanih toplinskih gubitaka. Nastaju ekonomski gubici, dolazi do pojave pljesni kojoj je pri povećanoj relativnoj vlažnosti od oko 80% dolazi do skupljanja rose na površini građevinskog elementa.

Ovisno o uzroku toplinske propusnosti razlikujemo tri vrste toplinskih mostova:

1. Konvekcijski toplinski most
2. Geometrijski toplinski most
3. Mješoviti oblici

#### 4.1. Konvekcijski toplinski most

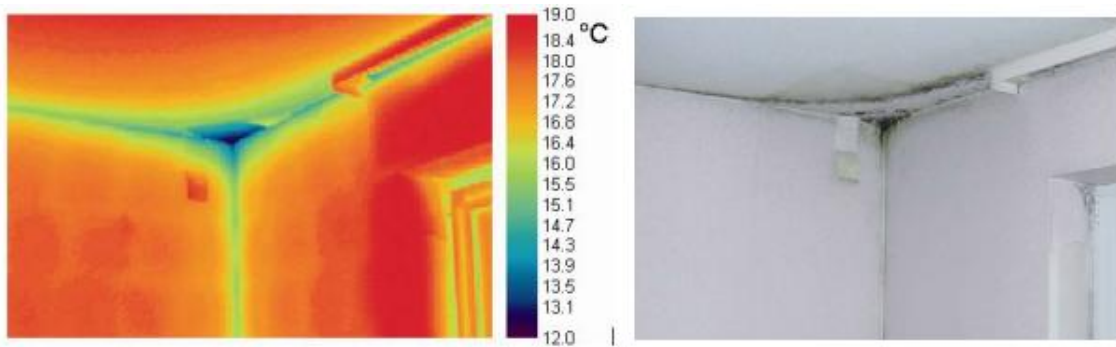
Konvekcijski toplinski most (prijenosni) nastaje zbog zrakopropusnosti, npr. između prozora i špaleta. Konvekcijski toplinski most nastaje na mjestima koji su slabo brtvljeni, npr. prozori, zračnici... Na površinama koje su paropropusne ili porozne (žbuka, estrih) kondenzacija će nastati u unutrašnjosti zida. Ako se građevinski element sastoji od zona postavljenih jedna pored druge sa građevinskim materijalima različite toplinske provodljivosti, dolazi do pojave toplinskog mosta na prijelazima između zona, ako postoji ista U- vrijednost materijala ili razlika u vrsti materijala, nastaje pojačana provodljivost topline na mjestima spajanja različitih materijala (slika 18.).



Slika 18. Konvekcijski toplinski most

Nastaje ako građevinski element odstupa od ravnog oblika, nastaju toplinski mostovi na geometrijskim promjenama oblika konstrukcije. Djelovanje je na pojačanom protoku topline kod povećavanja vanjske plohe za preuzimanje ili davanje topline.

## 4.2. Geometrijski toplinski most

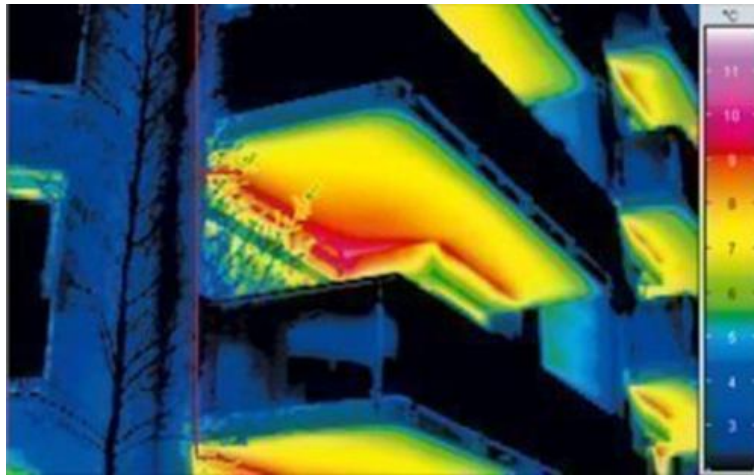


Slika 19. Prikaz termografskom kamerom kod promjene konstrukcije

Geometrijski toplinski most nastaje na spojevima kosog krova i zida, proces prijenosa vodene pare kroz zrakopropusna mjesta na krovu znatno su intenzivnija, što znači da u kratkom roku može doći u konstrukciju velika količina vodene pare koja uzrokuje navlaživanje građevinske konstrukcije te dolazi do propadanja građevne konstrukcije krova. Obodni elementi i toplinski mostovi su idealna podloga za razvoj plijesni.

## 4.3. Mješoviti oblici

Nastaju uslijed kombinacije gore spomenutih toplinskih mostova, npr. probijanje zida kod balkonskih ploča ili probijanje tavanice nosačem.



Slika 20. Toplinski most na balkonskoj ploči

Postavljanjem izolacije na ovojnicu kuće (zidovi, krov, pod), moguće je izbjeći većinu toplinskih gubitaka uslijed toplinskih mostova. Pozicija prozora u zidu jedan je od bitnih zahtjeva za izbjegavanje toplinskih mostova, stoga ga je potrebno smjestiti u nivou toplinske izolacije. Ako to nije moguće, potrebno je toplinski izolirati špalette oko prozora. Pravilnom izolacijom toplinskih mostova, izbjeći će se kondenzacija na pojedinim dijelovima konstrukcije.

## 5. Uzroci i posljedice djelovanja vlage u građevinama

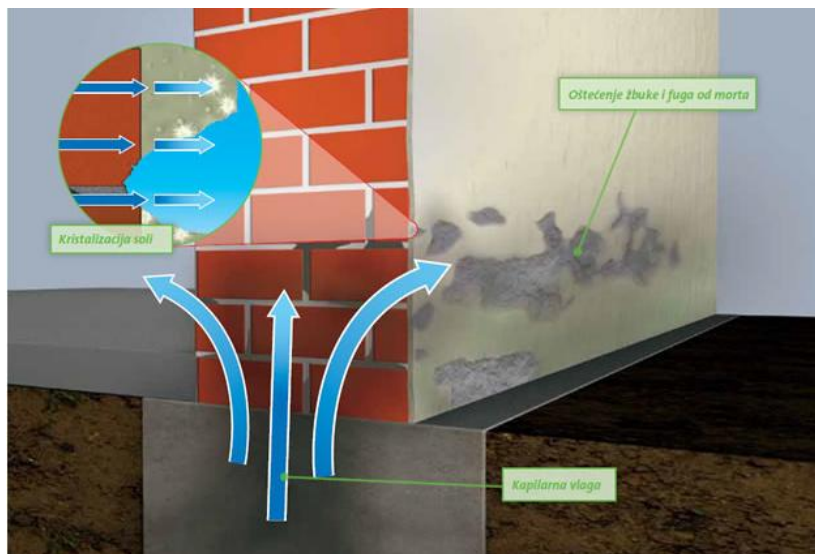
Uz elementarne nepogode i ratna razaranja, vlaga je najveći neprijatelj starih građevina. U starim četvrtima gotovo na svakoj zgradi mogu se vidjeti oštećenja uzrokovana vlagom: svijetle mrlje s tamnim rubovima, žbuka koja se mrvi i otpada na dodir, oštećena opeka, nečitljivi reljefi. Ako je zid bio oslikan ili obojen najprije je došlo do uništavanja bojanog sloja a potom i dubljih dijelova zidova. Uzrok tog propadanja razne su vrste soli koje se sušenjem zida zadržavaju na njegovoj površini, visoki tlakovi koji se pojavljuju akumuliranjem tih soli razaraju strukturu građevinskog dijela. Štetno djelovanje vlage dolazi do izražaja kod metala, posebno željeza, razni željezni klinovi, zatege, prozorske rešetke, izložene vlazi korodiraju te stoga hrđa ima veći modularni volumen od željeza pa dolazi do povećavanja volumena u odnosu na početni metal.

Prije su prozori puno slabije brtvili te je postojala stalna (neželjena) cirkulacija zraka kao i kod ne izoliranih ili loše izoliranih zgrada, a taj gubitak se nadoknađivao povećanim grijanjem prostora pa zato nije ni dolazilo do vlage u prostorima ili je bila vrlo niska. Također jedan od razloga je upotreba drugačijih materijala nego danas npr. glina, kreč drvo...

Stari, loši prozori (kod kojih je brtvljenje izuzetno loše) ima koeficijent propusnosti fuge do  $10\text{m}^3/\text{mh}$ , tj. za jedan sat kroz  $1\text{m}^2$  fuge krilo-štok prođe  $10\text{m}^3$  zraka, a danas kod novih prozora za jedan sat propusti oko  $0,1\text{m}^3$  zraka. Kako je izmjena zraka poželjna tako i ima svoje mane, a to je velika potrošnja energije, pošto je danas glavni cilj očuvanje prirodnih resursa i okoliša, ali i razlog što su sve veće cijene troškova grijanja u porastu. Novom stolarijom visoke kvalitete, smanjuje se zrakopropusnost vanjske ovojnice zgrade, a bolje brtvljenje uzrokuje povećanje relativne vlažnosti zraka u prostoriji što smanjuje kvalitetu zraka u prostoriji te dolazi do rošenja unutarnje površine stakla. Ovaj problem rješava se prirodnim provjetravanjem prostora. Provjetravanjem se uvodi svjež i hladan zrak, a onaj topao i vlažan u prostoriji isušuje se. Pravilno provjetravanje uključuje širom otvorene prozore na par minuta dnevno, naročito u sezoni grijanja, napravi se potpuna izmjena zraka bez velikih gubitaka topline, idealno je i prilikom prozračivanja napraviti propuh i postupak prozračivanja trebalo bi ponoviti 3-5 puta dnevno. Svjež zrak brzo se zagrije i apsorbira količinu vlage koja će sljedećim provjetravanjem izaći van. Redovitim provjetravanjem sprječava se vlaga u zraku te razvoj gljivica (tzv. naglo prozračivanje u trajanju 5-10 minuta). Navedeni problem može se riješiti i ugradnjom mehaničke ventilacije s ugrađenom rekuperacijom topline zbog što manjih toplinskih gubitaka. Ventilacijskim sistemima može se znatno usporiti nastanak pljesni ali se nikako ne može u potpunosti eliminirati.

## 5.1. Uzlazna vlaga

Vlaga iz tla kapilarnim silama ulazi u temelje zidova i postupno nastavlja prema višim dijelovima građevine. Za vrijeme kišovitog razdoblja ili u vrijeme otapanja snijega, vodno lice se podiže i može katkad doseći do površine tla što će uzrokovati povećanje vlage u zidovima i time prouzročiti novu štetu. Vlaga nakon što navlaži podzemne zidove, ulazi u zid i navlažuje zidove prizemlja i strop podruma. U obalnom pojasu poplavljanje temelja i donjih dijelova zgrade mogu uzrokovati visoke plime. Kritični sadržaj vlage u zidu nastaje kada su kapilare toliko ispunjene vodom da se voda može gibati u tekućem stanju, ispod kritične granice vlaga se giba u obliku vodene pare, vlaga će biti viša što su kapilare užje. Kod zida zasićenog vlagom od 20% ili više isparavanje se događa samo na površini zida.



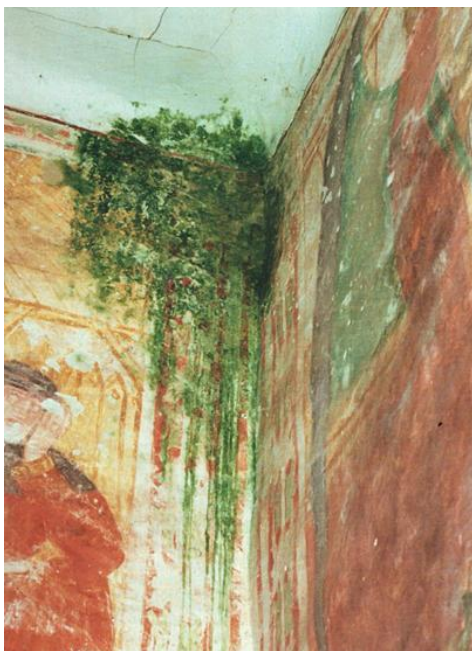
Slika 21. Kapilarno uzdizanje vlage iz tla u temelje i zidove



Slika 22. Oštećenje žbuke uzrokovano vlagom

## 5.2. Prodori kiše

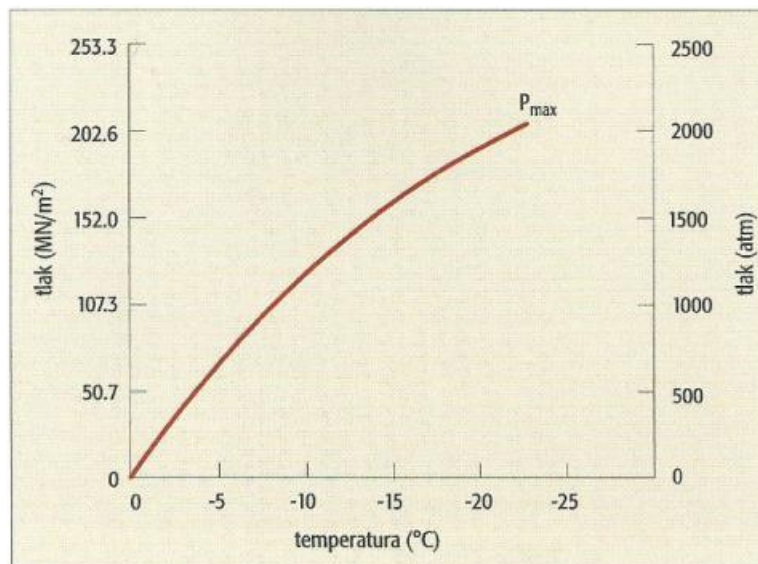
Kiša može prodrijeti u unutrašnjost građevine kroz kose krovove, zbog loše postavljenih crijepova, oštećeni žljebovi (najčešće željezni pocinčani koji vrlo brzo korodiraju pa voda kroz njih curi na zidove). Prodori se mogu primijetiti i kod: neispravno izvedenog ravnog krova na mjestima gdje se nalazi dotrajala krovna hidroizolacija, vertikalnih odvoda krovnih voda (ako su začepljeni ili oštećeni korozijom pa je izlaz kišnice iz cijevi ponekad napravljen da natapa donje dijelove podrumskog zida i temelje, umjesto da je spojen na kanalizaciju). Prodori kiše u zidove događaju se i zbog pogrešnog nagiba pločnika, terasa, balkona, prozorskih klupčica i vijenca na pročeljima. Kiša nošena vjetrom može prodrijeti kroz neožbukani zid ili nepravilno obrađen, a jaki nanosi vjetra uguravaju kišne kapi u pukotine.



*Slika 23. Zelene alge nastale na mjestu prodora oborinske vlage.*

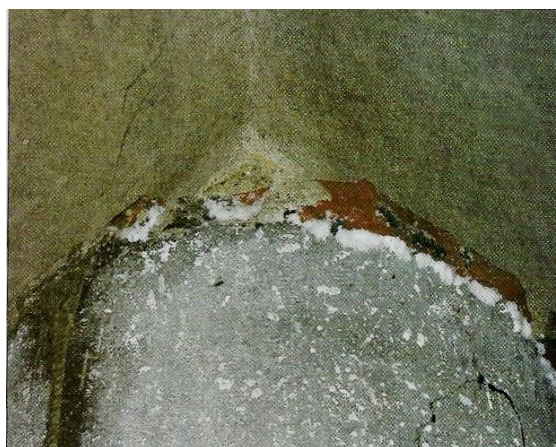
## 5.3. Kondenzacija indicirana higroskopskim solima u zidu

Građevinski materijal izložen stalnoj vlazi neće propadati sve do nastanka uvjeta za sušenje. Tada nastaje kristalizacija soli koje vlaga otapa i akumulira u sve većoj količini kada isparava. Kristalizacijski tlak jest tlak u poremu prostoru koji u zidu stvara rast kristala topivih soli. Jedna od najčešćih posljedica djelovanja dugotrajne vlage su higroskopske topive soli dospjele pod površinu zida u zoni isparivanja vlage. Higroskopni sadržaj vlage jest vlaga koji sadrži poroznu higroskopnu tvar nakon duljeg stajanja pri određenoj temperaturi i relativnoj vlazi zraka (npr. 20 °C, 85%). Topive soli isparavanjem zaostaju na površini zida gdje se koncentriraju i kristaliziraju. Visoki tlakovi koji se pojavljuju akumuliranjem tih soli razaraju strukturu građevinskog dijela.



Slika 24. Tlak kojeg stvara led nastao smrzavanjem vode

Posljedica kristalizacije soli je pucanje, ljuškanje i mrvljenje opeke, kamena, morta, žbuke. Isoljavanje na vanjskim zidovima nastaje zimi kod vrlo niskih temperatura zato što se vlaga giba sve do same površine. Tako nastaju svijetle mrlje na zidu. Rošenje zidova može se dogoditi i ako je temperatura zida viša od temperature rosišta ako je zid kontaminiran higroskopskim solima. Pojava kondenzacije iznad temperature rosišta događa se u zgradama izloženima aerosolu na morskoj obali. U priobalju čestice aerosola mogu izazvati kondenzaciju pri 70% relativne vlage zraka. Proces izmjeničnog vlaženja i sušenja, tj. otapanja i ponovne kristalizacije soli uzrokovat će daljnja razaranja materijala od kojeg je građen zid. Kada volumen kristala dosegne volumen pore, u građevinskom materijalu može doći do ljuškanja, odnosno raspadanja čime je narušena čvrstoća materijala. Kondenzacijom vlage na površini zida kloridi se otapaju i putuju u dubinu te ostavljaju prostor solima, rastom kristala u porama materijal se razara.



Slika 25. Prikaz izoljavanja na površinu stupa



Željezo usidreno u građevinskom elementu korozijom expandira i stvara u njemu pukotine koje se postupno povećavaju. Isto tako dolazi do razaranja, loma kamena, opeke ili žbuke kada se voda u pukotinama smrzava pa stvara visoki tlak u šupljinama.



*Slika 26. Vlagom i solima nagrižen stup i zahrđana željezna armatura*

#### **5.4. Kondenzacija vlage nastale u proljeće u negrijanom prostoru**

Kondenzacija nastaje na zidovima u proljeće nakon hladnijeg vremena kada naglo zatopli, u kratkim vremenskim intervalima. Zbog izmjene zraka u hladnijem periodu hladi se građevina, naglim nastupom toplijeg vremena vanjski topli zrak dopijeva u unutrašnjost gdje se hladi na zidovima i podu. Povećava se relativna vlaga, a time dolazi do zasićenja vlagom i pojave rošnja. U slučaju visokih starih zgrada, donji zidovi su deblji od gornjih, zbog toga naglim povećanjem vanjske temperature dulje su vremena hladniji od gornjih (tanjih zidova).

#### **5.5. Problem kondenzacije vlage u konstrukciji objekta izvedenih od prefabriciranih elemenata**

Problemi kod prefabriciranih elemenata mogu biti veći nego kod objekata klasične izvedbe. Prefabricirani beton gušći je i čvršći nego beton liven na licu mjesta, pa je zbog toga i bolji provodnik toplote. Ponekad krajevi mnogih prefabriciranih elemenata djeluju kao toplinski mostovi na kojima može doći do kondenzacije. Pri upotrebi otvorenih spojeva hladniji zrak prodire u

unutrašnjost spoja gdje može nastati toplinski most, pothlađujući unutarnje površine na takvim mjestima. Unutarnje površine zidova mnogih objekata vrlo su glatke i male apsorpcijske moći. Oslobođena vodena para u prostoru se ne apsorbira, pa stoga dolazi do povećanja vlažnosti unutarnjeg zraka. Čak i mala količina kondenzirane vodne pare, koja bi se inače lako apsorbirala u žbuki zida, stvara tragove vlaženja na neapsorbirajućim površinama prefabriciranih elemenata. Zbog toga se u takvim objektima preporuča postavljanje bolje toplinske izolacije i primjena bolje ventilacije objekta nego u objektima klasične izvedbe.

## **5.6. Štetni učinci zidne plijesni na zdravlje**

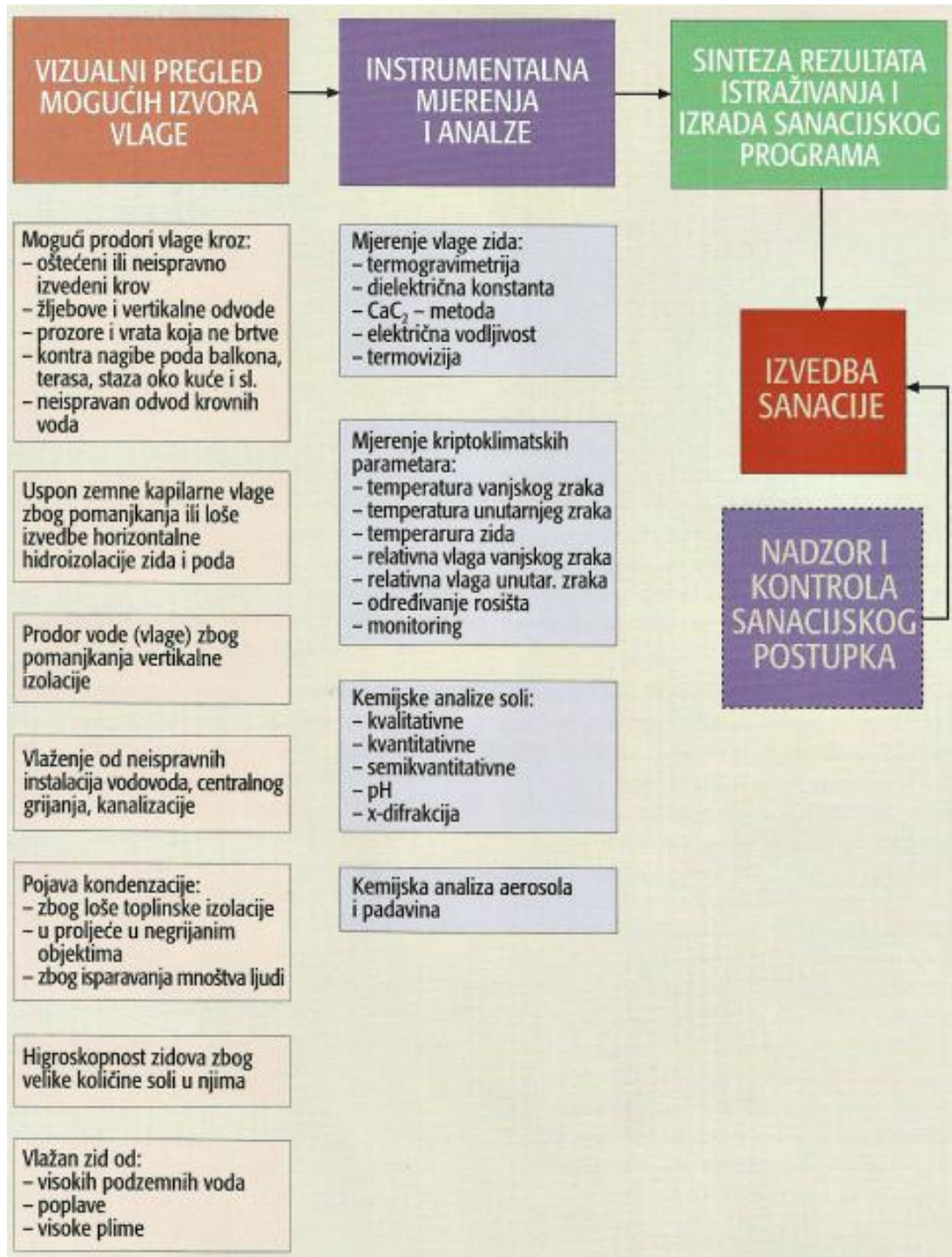
Na zidovima gdje dolazi do zidne plijesni ili izbijanja soli sa odstupanjem i otpadanjem boje, prvo pomislimo na estetski izgled zida. Malo ljudi je svjesno koliki štetni učinak na zdravlje imaju vlažni zidovi i zidna plijesan. Zidna plijesan ispušta puno spora koje sa udisanjem zraka unosimo u organizam. Spore mogu uzrokovati teške bolesti, ukoliko koncentracija prijeđe kritičnu mjeru. Obično uklanjanje zidne plijesni pomoću različitih premaza je samo kratkoročno rješenje, jer to ne rješava uzrok nastanka plijesni. Uskoro se zidna plijesan može pojaviti u znatno većoj mjeri, jer se spore mogu prenositi putem zraka i smjestiti na ostale površine u objektu.

Ugodnost i zdravlje u stambenoj prostoriji osigurala bi se ako bi idealna temperatura zraka u stambenoj prostoriji bila 20-23 °C sa relativnom vlažnosti zraka u prostoriji 30 do 70%, temperatura zraka na 10 cm iznad poda ne bi trebala da padne ispod 20 °C, optimalna bi bila oko 24 °C što se vrlo lako postiže podnim grijanjem.

Temperaturom od 19-23 °C postiže se relativna vlažnost od oko 35 do 70%, pri povišenoj vlažnosti zraka umanjuje se dobar osjećaj zbog sparine pa dolazi do problema sa krvotokom. Vlaženje u prostoriji nužno je radi zdravstvenih i higijenskih razloga pa stoga ne bi trebala biti ispod 30% zato što može doći do isušivanja kože, a kod oko 80% vlage dolazi do kondenzacije vlage (pri padu temperature ispod točke rosišta) i pojave pljesni.

## 6. Dijagnostika i sanacija vlage u građevinama

Sanacija vlage bit će uspješna samo uz dobro dijagnosticiranje, prvenstveno je potrebno proučiti zatečeno stanje, ako je sanacija u prošlosti bila napravljena a vlaga se i dalje pojavljuje proučiti dokumentaciju o prethodnim radovima, potom obaviti fizikalna mjerenja i uzeti uzorke za kemijske analize. Najvažnije je otkriti način uzrokovanja pojave vlage te naći rješenja za sprječavanje i otklanjanje posljedica štetnog djelovanja vlage.



Slika 27. Shematski prikaz dijagnosticiranja vlage

Instrumentalna mjerenja i analize izvode se prema potrebama i mogućnostima, poželjno je praćenje kroz sva četiri godišnja doba zato što se većina pojava mijenja ovisno o meteorološkim parametrima. Broj mjernih točaka i broj uzoraka za analize određuje se prema veličini objekta.

## 6.1. Određivanje poroznosti materijala od kojeg je građen zid

Građevinski materijali imaju različitu sposobnost upijanja vlage što ovisi o količini pornog prostora. Poroznost je svojstvo tvari kojom se definira pojava pora u nekom materijalu tj. postotak pora. Apsolutna poroznost koja nije u potpunosti dostupna prodoru vode i relativna poroznost koju voda može u potpunosti ispuniti. Poroznost se izražava kao odnos razlike mase vodom zasićenog uzorka i suhog uzorka i volumena uzorka u postocima.

Porozni materijali koji imaju koeficijent zasićenosti manji od 0,8 ne podliježu utjecaju mraza.

$$P_r = \frac{M_v - M_s}{V} \cdot 100$$

Pr= relativna poroznost

M<sub>v</sub>= masa vodom zasićenog uzorka

M<sub>s</sub>= masa suhog uzorka

V=volumen uzorka

## 6.2. Određivanje sadržaja vlage u zidu

Mjerenje sadržaja vlage izvodi se termogravimetrijskim metodama. Uzorak materijala važe se, suši na 105 °C, hladi u eksikatoru i ponovo važe. Postupak se ponavlja sve do postizanja konstantne mase suhog uzorka. Sadržaj vlage se računa prema formuli:

$$\Psi = \frac{m_v - m_s}{m_s} \cdot 100$$

Ψ= sadržaj vlage

m<sub>v</sub>=masa vlažnog uzorka

m<sub>s</sub>=masa suhog uzorka

Postoje i električne metode mjerenja vlage u zidu, mjerenje se obavlja pritiskom mjerne sonde na zid, zbog brzog očitavanja rezultata vlaga se može izmjeriti na neograničenom broju točaka.

### **6.3. Mjerenje temperature i vlage u zraku**

Temperatura zraka mjeri se digitalnim termometrom a vlaga zraka mjeri se digitalnim aspiracijskim psihrometrom. Za mjerenje temperature zida koriste se kontakti električni termometri, uz pomoć temperaturnih sondi može se mjeriti temperatura bušotine ili pukotine. za bolje dijagnosticiranje primjenjuje se infracrveno termografsko snimanje. Infracrvenom kamerom snimi se zid, na dobivenoj slici razdvojene su temperaturne zone, što omogućuje da se dobro vidi raspodjela temperature u zidu. Vide se toplije zone i hladni mostovi kojima se toplina gubi iz prostora gdje je moguć povišen sadržaj vlage.

### **6.4. Mjerenje zračnih strujanja**

Zračno strujanje veoma je bitno prilikom proučavanja kondenzacije. Smjer zračnih strujanja otkriva se posebnim napravama za stvaranje laganog dima. Jedan od načina mjerenja zračnog strujanja na način da se u posudicu nakapa malo koncentrirane amonijake vode i koncentrirane solne kiseline, pri čemu se stvara dim koji pokazuje smjer strujanja. Brzina strujanja mjeri se anemometrom, izražava se u prevaljenim metrima u sekundi (m/s).



## 7. Sanacija vlage

### 7.1. Sanacija vlage toplinskom izolacijom

Vanjski dijelovi zgrade (zidovi, podovi, krovovi) bez toplinske izolacije ne zadovoljavaju tehničke uvijete vezano za kondenzacije vodene pare i sprječavanja nastanka građevinske štete. Vanjske dijelove stambene zgrade treba toplinski izolirati minimalno toliko da zbog kondenzacije vodene pare nastale difuzijom unutar građevnog dijela ne nastane oštećenje, tj., da temperatura na površini građevnog elementa bude veća od temperature rosišta.

Vanjski zid	Najmanja debljina kamene vune (cm)	Najmanja debljina ekspandiranog polistirena (EPS) (cm)	Najmanja debljina ekstrudiranog polistirena (XPS) (cm)	Najviša vrijednost ukupnog koeficijenta prolaza topline U (W/m <sup>2</sup> K)
Puna opeka 12 cm obostrano žbukana	14	15	15	0,25
Puna opeka 25 cm obostrano žbukana	13	14	14	0,25
Šuplja opeka 19 cm obostrano žbukana	13	14	14	0,25
Šuplja opeka 25 cm obostrano žbukana	11	12	12	0,25
Šuplja opeka 30 cm obostrano žbukana	7	7	7	0,25
Šuplja opeka 38 cm obostrano žbukana	4	5	5	0,25
Kamen 30 cm obostrano ožbukana	14	15	15	0,25
Kamen 50 cm obostrano ožbukana	13	15	15	0,25
Armirano betonski zid 16 cm obostrano ožbukana	14	16	15	0,25
Armirano betonski zid 25 cm obostrano ožbukana	14	15	15	0,25
Armirano betonski zid 30 cm obostrano ožbukana	14	15	15	0,25
Porobeton zidni blok 20 cm obostrano ožbukana	11	12	12	0,25
Porobeton zidni blok 25 cm obostrano ožbukana	9	10	9	0,25
Porobeton zidni blok 30 cm obostrano ožbukana	6	7	6	0,25
Porobeton zidni blok 40 cm obostrano ožbukana	1	1	1	0,25
Drvo – trupci promjera 22 cm	10	11	11	0,25
Drvo – trupci promjera 44 cm	5	6	6	0,25
Montažni zid (sandwich panel) 15 cm	1	1	1	0,25
Montažni zid (sandwich paneli) 20 cm	0	0	0	0,25
Montažni zid (sandwich paneli) 25 cm	0	0	0	0,25

Tablica 3. Debljine toplinske izolacije

Položaj toplinske izolacije najidealniji je sa vanjske strane, a kod postavljanja sa unutarnje strane isključivo za prostore koji se rijetko griju. Redoslijed paropropusnih slojeva povoljniji je kada su više paronepropusniji slojevi sa unutarnje strane a paropropusniji sa vanjske strane.

Kod vanjskih zidova i krovova treba izbjegavati postavljanje paronepropusnih slojeva s vanjske strane jer će oni zaustaviti ili usporiti difuziju vodene pare pa dolazi do pojave kondenzacije vodene pare unutar zida, vlaže se slojevi i vlaga ostaje u zidu. Nakon što se pojavi vlaženje materijala, nastaje površinska kondenzacija i dolazi do gubljenja toplinsko izolacijskih svojstava (povećanje  $\lambda$  iz razloga što je voda dobar vodič topline), dolazi do propadanja materijala (degradacija) te razvoj mikroorganizama što dovodi do truleži.

Rješenje sanacije vlage je postavljanje toplinske izolacije sa vanjske strane zida. To može biti termo žbuka ili lijepljenje termoizolacijskih ploča. Prvenstveno vlažne zidove treba očistiti od

plijesni, dezinficirati biocidom te potom izolirati. Biocidi su sredstva za uništavanje biogenih štetočina. Stropovi su manje izloženi pa se mogu prekriti pločama ekspaniranog polistirena.

Lijepljenje se izvodi ljepilom izraženim na bazi cementa punila i aditiva, debljina ovisi o toplinskom otporu a obično iznosi od 2 do 5 cm. Na lijepljene ploče ponovno se nanosi ljepilo na koje se utisne sintetička mrežica. Završava se finom vapnenom žbukom i oboji mineralnom bojom.

## 7.2. Ventilirana fasada

Zidovi su građeni na različite načine i od različitih građevinskih materijala te pritom imaju različita svojstva paropropusnosti. Voda se isparava sa vanjske strane a da bi se osiguralo odgovarajuće isparavanje sa vanjske strane materijal bi trebao biti paropropusan što je potpuno suprotno zahtjevima i sprječavanju upijanja oborinske vode. Kretanje topline se ne može nikako zaustaviti ali bi najidealnije bilo da vodena para prolazi kroz građevinski dio bez zaustavljanja i vlaženja materijala a to je jedino moguće ako su materijali paropropusni. Zračni prostor nalazi se između unutarnjeg i vanjskog sloja zida, odmicanjem paronepropusnog materijala i stvaranje ventilirane zračne šupljine omogućava se nesmetan prolaz vodene pare i sprječava kondenzacija od vanjskog na unutarnji sloj zida, osigurava izjednačenje tlaka unutarnjeg prostora i vanjskog okoliša, odstranjivanje vodene pare iz unutarnjeg sloja zida.

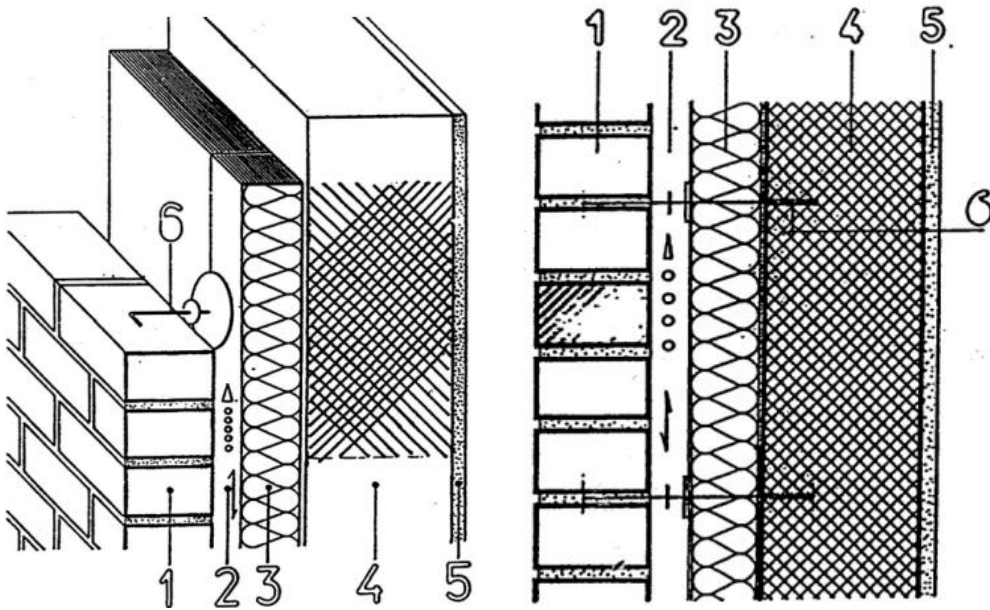


Slika 28., 29. Prikaz ventilirane fasade

Ventilirana fasada sastoji se od tri dijela: vanjske dekorativne obloge, zračnog sloja koji može biti prirodno ili umjetno provjetravan, izolacijskog sloja i konstrukcije. Ventilirana fasada najčešće se koristi ukoliko je paronepropusna obloga sa vanjske strane pa se odvaja od unutar-



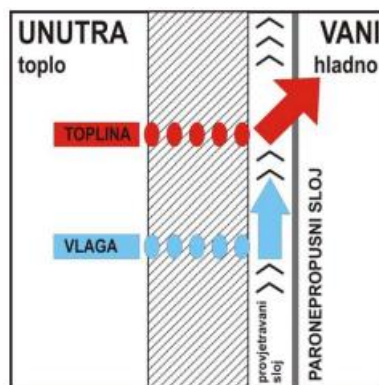
njeg dijela sa zračnom šupljinom koja mora biti dobro provjetravana. Za dobro provjetravanje potrebno je omogućiti na najnižem mjestu ulaz vanjskog zraka u šupljinu a na najvišem mjestu izlaz zraka iz šupljine u vanjski okoliš.



Slika 30. Presjek ventiliranog sloja sa oblogom od zidane fasadne (obložne) opeke

- 1-fasadna,klinkerilisilikatna opeka 12 cm
- 2- provjetravani zračni sloj min 4 cm
- 3- toplinska izolacija mineralna vuna 12 cm
- 4- armirano betonski zid 20 cm
- 5- unutarnja žbuka 1.5-2 cm
- 6- nehrđajuće sidro  $\Phi$  3-4 mm

Toplinska izolacija ima veliku paropropusnost te štiti unutarnji dio građevine od hlađenja zimi i pregrijavanja ljeti, omogućena je akumulacija topline te se omogućuje normalna difuzija vodene pare.

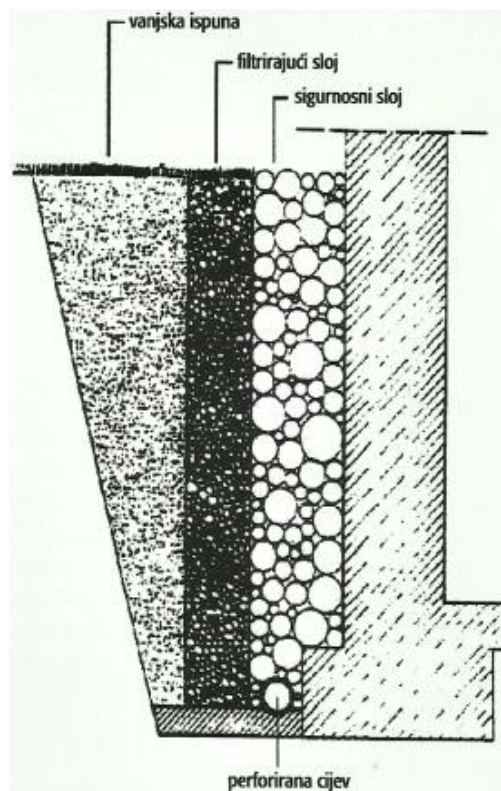


Slika 31. Prikaz prolaza vodene pare u vanjski prostor

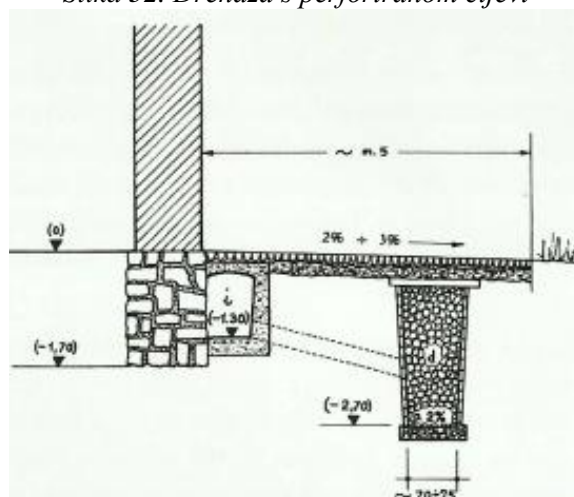
Stvaranje ventilirane zračne šupljine omogućava nesmetan prolazak vodene pare u vanjski prostor, zračni ventilirani prostor omogućava ispuštanje vlage i štiti građevni dio od hlađenja zimi a ljeti hlađenje fasadne obloge. Višeslojnost sustava olakšava propuštanje pare a postojanje kontinuiranog izolacijskog sloja smanjenje gubitaka topline prema van i pojavu toplinskih mostova.

### **7.3. Drenaža i zračni kanali**

Drenaža se primjenjuje kod sprječavanja bočnog prodora površinskih voda nastalih od jakih kiša i visine vodnog lica za vrijeme visokih voda tako da razina podzemne vode ne može dosegnuti temelje, podrumске zidove i uspinjati se kapilarama. Drenaža i pravilan odvod krovnih voda sigurno će doprinijeti smanjenju vlage u zidovima u usporedbi sa situacijom kada drenaže nije bilo. Posljedice dugotrajnog vlaženja drenaža neće riješiti kao ni štetne topive soli u zidu. Iskop za drenažne cijevi izvodi se uz zid ispod razine temelja i zatrpava se šljunkom te se geotekstil postavlja između zemlje i šljunka. Ako je moguće cijevi se postavljaju oko cijele zgrade, na mjestima skretanja cijevi postavljaju se revizijska okna. Zbog upitne statike drenažni kanal se može izvesti malo dalje od zida ali u kombinaciji sa zračnim kanalom. Zračni kanal osigurava posušivanje temelja nakon iskopa i izvedbe drenaže. Drenažne cijevi trebaju se postaviti obavezno ispod temelja, na najnižoj točki treba postaviti pumpu koja odvodi vodu u kanalizaciju.



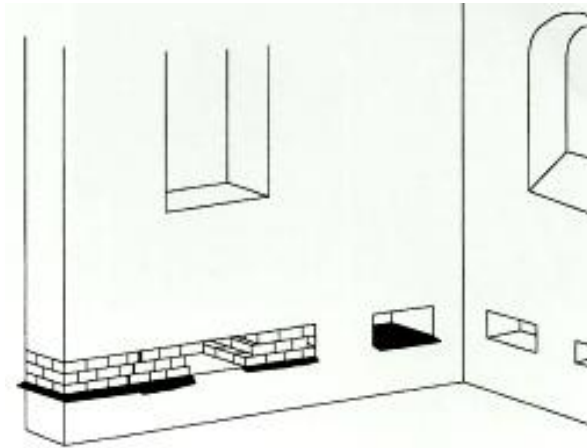
Slika 32. Drenaža s perforiranom cijevi



Slika 33. Zračni kanal sa odvodnjom prema bunaru

#### 7.4. Horizontalna i vertikalna hidroizolacija

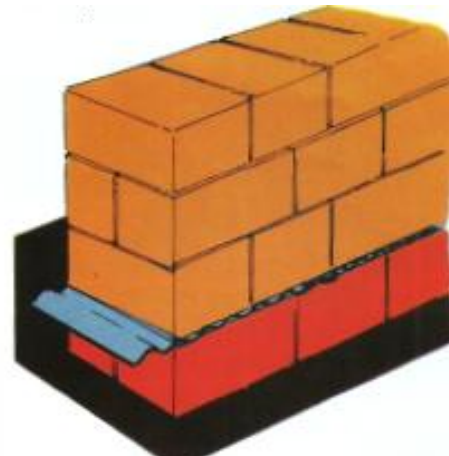
Za sprječavanje kapilarnog uzlaza vlage postupak zamjene zida iznad temelja u naizmjeničnim dijelovima, oprezno se izvadi opeka (kamen) i polaže se bitumenska ljepjenka za horizontalnu hidroizolaciju, te se zid opet zazida. Nakon što taj dio očvrstne izvadi se opeka iz ostalih dijelova, polaže izolacija i opet zida. Postupak se ponavlja sve dok se ne izvede kompletna horizontalna hidroizolacija zida te se dobije za vlagu nepropusan horizontalni sloj.



*Slika 34. Postavljanje hidroizolacijskog sloja u kampadama*

Zid se buši ili pili na preskoke i zabrtvi, potom se između zabrtvljenih izbuši drugi niz. Bušotine iz prvog niza moraju se preklapati onima iz drugog niza. Za hidroizolaciju se primjenjuju deblje sintetičke folije, bakreni limovi, kombinacija limova i ploča od škrljevaca.

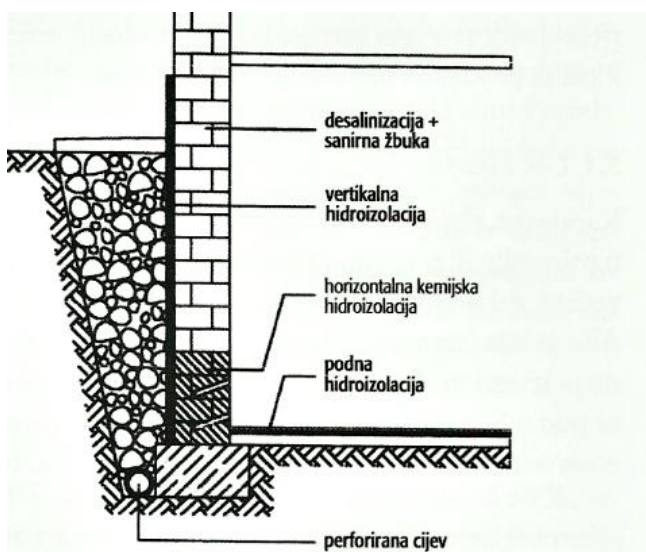
Jedan od postupka izvedbe horizontalne hidroizolacije je umetanje valovitog lima od nehrđajućeg čelika u reške između opeke. Lim se ubacuje u rešku pomoću tlačno vibracijskog uređaja (slika 35.).



*Slika 35. Postavljanje nehrđajućeg valovitog lima u rešku između redova opeka*

Žbukanje je potrebno izvesti vlagonepropusnom žbukom kako ne bi žbuka postala most za vlagu. Vлага iz tla prolazi i kroz neizolirani pod podruma ili prizemlja pa dolazi do povećavanja relativne vlažnosti u prostoriji. Neizolirani, stari pod se uklanja te se postavlja armirano betonska ploča potom na nju bitumenska folija, glazura i nova podna obloga. Ova izolacija spriječit će kondenzaciju na podu.

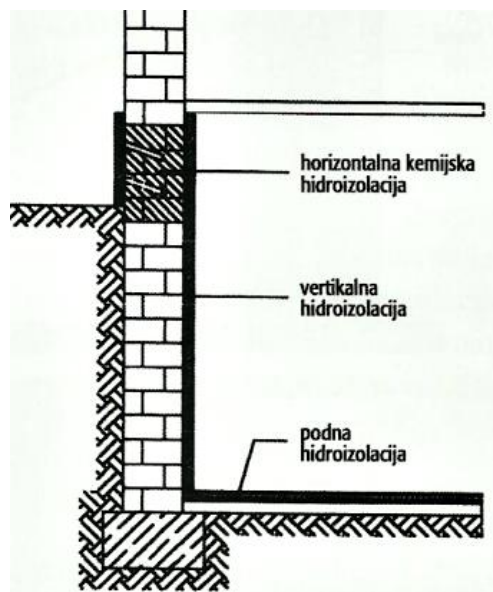
Za vertikalnu izolaciju primjenjuje se bitumenski premaz na koji se nanosi cementni špric a potom gruba i fina žbuka. Ponekad se uz bitumenski premaz stavlja krovna ljepenka. Vertikalna hidroizolacija bez kombinacije se horizontalnom nema učinka jer ne dolazi do horizontalnog presijecanja dovoda vode, odnosno uspona vlage pa se vlaga uspinje sve više do zone u kojoj može isparavati. U slučaju ukopanih ili poluukopanih prostorija najbolje rješenje je da se prvo iskopa rov do podnožja temelja, u razini poda izvede se horizontalna hidroizolacija koja presiječe vertikalno uzdizanje kapilarne vlage. Na vanjskoj strani izvede se vertikalna hidroizolacija koja ide od spoja sa horizontalnom do visine 60-100 cm od poda. Izgrađuje se i drenažni kanal. U slučaju da je nemoguće izvesti iskop za vertikalnu hidroizolaciju sa vanjske strane poluukopanih prostorija ili podruma izvodi se sa unutarnje strane (slika 37.) a horizontalna izolacija zida izvodi u razini vanjskog tla te ugrađuje podna hidroizolacija.



Slika 36. Vertikalna i horizontalna hidroizolacija podruma

## 7.5. Izolacija poda

Kapilarna vlaga iz tla dolazi do neizoliranog poda te isparavanjem povećava razinu relativne vlage u prostoriji. Stari neizolirani pod se uklanja i polaže se armiranobetonska ploča na koju dolazi višestruki bitumenski premaz sa slojevima krovne ljepenke ili se bitumen nanosi termičkim putem na podlogu. Slijedi glazura i obloga poda. preporuča se i toplinska izolacija poda koja se postavlja na hidroizolaciju prije glazure. Toplinska izolacija spriječit će kondenzaciju na podu i smanjit će gubitke topline pri grijanju u zimskom periodu. Betonski pod bez hidroizolacije propušta isparavanje vlage. Česta je greška u kojoj se postavlja toplinska izolacija ispod hidroizolacije pa se na taj način isparavanje iz betonskog poda zaustavlja na paronepropusnom materijalu i na takvoj parnoj brani dolazi do kondenzacije.



Slika 37. Izolacija poda i vertikalna izolacija sa unutarnje strane

## 7.6. Sanacija hidroskopne vlage

Postupak odstranjivanja soli iz zida naziva se odsoljavanje ili desalinizacija. Najvažnije je otkriti primarni uzrok vlaženja i odstraniti ga. Ovisno o vrstama soli, vrsti zida, razlikujemo nekoliko metoda odsoljavanja:

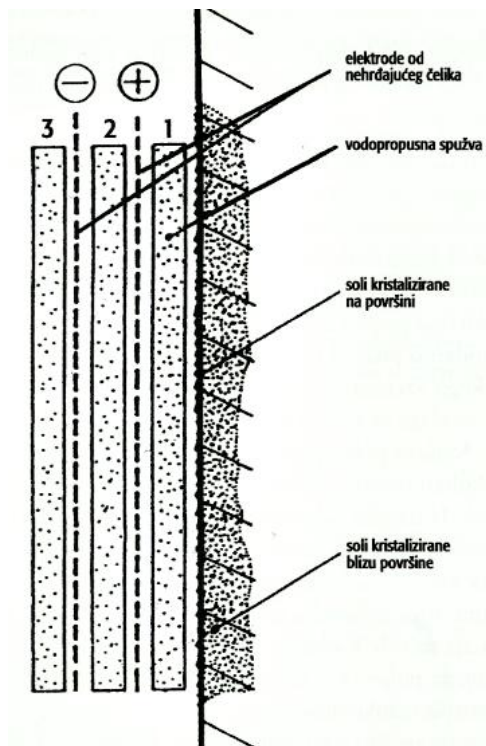
- četkanje i ispiranje,
- papirnatom ili celuloznom pulpom,

- elektrokinetičkim metodama,
- kemijskim metodama,
- vakuumom,
- žbukom

Sanacija četkanjem je jednostavan postupak kada se sol nakupi na površini zida pa se jednostavno očetka. Soli sa površine vanjskog zida mogu se ukloniti i ispiranjem tako što se odstranjuje zasoljena žbuka i očiste se reške. Ako se dokaže da soli još ima u zidu, ostatak treba ukloniti kemijskim putem u netopive i ne štetne produkte. Preporuča se kao završetak sanacije žbukanje sanirnom žbukom.

Sanacija papirnatom pulpom primjenjuje se kod zidova na kojima se nalazi oslikana žbuka, zidne slike ili štukature koje se ne smiju odstraniti. Prvenstveno na osoljenu površinu nanosi se kaša od papira razmuljenog u deoniziranoj vodi. Ako na površini ima plijesni uz pulpu se dodaje biocidno sredstvo kao dezinfekcija. Voda iz pulpe kapilarno prodire u zid i otapa hidroskopske soli. Kada se počne sušiti, pojavljuje se vlaga sa solima na površini zida te se odstranjuje. Postupa je potrebno ponoviti nekoliko puta sve dok se potpuno ne ukloni vlaga.

Sanacija elektrokinetičkom metodom uređajem za uklanjanje topivih soli iz freske koji se naziva elektrosendvič (slika 38.). Postupak sanacije elektrosendvičem koji sadrži sintetičku spužvu koja se natopi destiliranom vodom i prisloni na površinu koja je zahvaćena vlagom, elektrode se postave u blizini zida i na taj način se pomoću elektroda osigurava pomicanje soli, otopljenom destiliranom vodom postupak se ponavlja dok se ne ukloni sva sol.



Slika 38. Prikaz elektrosendviča

Sanacija kemijskim metodama primjenjuje se kod odstranjivanja preostalih soli nakon odstranjivanja većine drugim metodama. Pretvara se kalcijev sulfat- gips u netopivu sol.

Sanacija vakuumom primjenjuje se tako da se ploha koju treba sanirati, navlaži deioniziranim vodom i na nju se postavi usisni uređaj priključen na vakumsku sisaljku na taj način otopljene soli iz zida putuju sa vlagom prema površini gdje ih usisni uređaj jednostavno usiše iz zida.

Saniranje vlage žbukom, žbukanje zida sanirnom žbukom, to su žbuke koje osiguravaju vodonepropusnost, paropropusnost i veliki porni prostor. Neće puštati vlagu izvana u unutrašnjost žbuke, a paropropusnost omogućava da se vlaga zadržana u zidu otpušta u obliku vodene pare, a veliki porni prostor da se ostatak soli neće prenositi na stjenke pora. Ako nije izveden nikakav drugačiji sanacijski zahvat, sanacija samo sanirnom žbukom će trajati mnogo više od obične žbuke, one ne otklanjaju uzrok vlage u zidovima ali sprječavaju njeno širenje i daljnju štetu.



## **7.7. Provjetravanje i sušenje zraka**

Kondenzacija se može ublažiti ili spriječiti sušenjem zraka, ali potrebno je voditi računa da se tim postupcima ne postigne preniska relativna vlaga koja bi mogla naškoditi drvenom namještaju. Sušenje zraka može biti provođeno lokalno samo u dijelu gdje se pojavljuje vidljivo rošenje zidova pomoću pokretnih sušača zraka.

Proljetna kondenzacija vlage u stambenom prostoru koji se ne koristi čitavu godinu može se smanjiti ovisno o tome kako je objekt građen, ako je konstrukcija sa tankim zidovima, prozračivanje je idealno rješenje. Treba paziti na prodor kiše i da se sa zaštitnom mrežicom spriječi ulazak štetočina. Kod objekta sa debelim zidovima koji imaju veliku toplinski tromost bolje je da su prozori potpuno zatvoreni, te da se na mjestima na kojima se pojavljuje rošenje postavi sredstvo za upijanje vlage iz zraka. Dehumidifikator je uređaj za sušenje zraka u zatvorenom prostoru. Manji pokretni sušači zraka su kondenzacijski dehumidifikatori koji funkcioniraju tako da ventilator tjera zrak preko rashladne rešetke na kojoj se vodena para kondenzira, pa iz sušača dalje struji suh ali hladniji zrak.

## 8. Zaključak

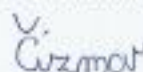
Utjecaji vlage na građevinske elemente je višestruk, uzrokujući privremene ili trajne promjene putem fizikalnih ili kemijskih procesa. Utjecaj vlage ovisi o količini i vremenu zadržavanja vlage u konstrukciji, poroznosti materijala, temperaturi, agresivnim supstancama prisutnih u vodi i prirodi. Kondenzacija u materijalu može uzrokovati trajne i nepovratne promjene kao što je promjena toplinske provodljivosti i čvrstoće materijala a samim time povećani gubici topline, da bi se navlaženi materijal isušio potrebno je dodatno trošiti energiju.

Kondenzacija u strukturi zida spriječit će se kao što je rečeno mjerama za sprječavanje površinske kondenzacije. Problem kondenzacije hidroskopske vlage riješit će se sanacijom hidroskopskih soli. Minimalna kondenzacija u prostorima može se riješiti i pravilnim provjetravanjem ili uz adekvatnu ventilaciju.

Općenito za smanjenje kondenzacije vlage u prostoru preporučuje se:

1. uklanjanje izvora isparivanja,
2. toplinsko izoliranje zidova,
3. grijanje prostora radijacijom ili ugradnjom konduktorskih grijača,
4. ventiliranje koje će pomoći u prevenciji koncentracije vlažnog zraka,
5. ovlaživanje zraka pomoću dehumidifikatora (sušača zraka) ili sa silikagelom.

U Varaždinu, 3.9.2018.



---

Lucija Čizmar



IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, LUCIJA ČIZMAR (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom KONDENZACIJA VLAGE U STAMBENIM PROSTORIMA (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:

(upisati ime i prezime)

✓ LUCIJA ČIZMAR  
Cizmar

(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, LUCIJA ČIZMAR (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom KONDENZACIJA VLAGE U STAMBENIM PROSTORIMA (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:

(upisati ime i prezime)

✓ LUCIJA ČIZMAR  
Cizmar

## 9. Literatura

### Knjige:

- [1] H. Požar: Osnove energetike 1, Školska knjiga, Zagreb, 1992.
- [2] M. Matić: Gospodarenje energijom, Školska knjiga, Zagreb, 1995.
- [3] M. Matić: Energija i arhitektura, Školska knjiga, Zagreb, 1988.
- [4] H. Malnar: Vlaga u povijesnim građevinama, Uprava za zaštitu spomenika kulture, Zagreb 2003.
- [5] L. Addleson, C. Rice: Performance of materials in buildings, Butterworth-Heinemann, Oxford, 1991.
- [6] W. L. Walker, D. J. Felice: Water-Resistant Design and Construction: An Illustrated Guide to Preventing Water Intrusion, Condensation, and Mold, McGraw-Hill Education, New York City, 1991.
- [7] Š. Vladimir: Građevinska fizika, Građevinski institut-Fakultet građevinskih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1983.
- [8] H. Hugo: Building Physics, Heat, Air and Moisture: Fundamentals and Engineering Methods with Examples and Exercises, Wiley-VCH, Weinheim, 2008.

### Internet izvori:

- [9] <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-08/documents/moisture-control.pdf>, dostupno 11.06.2018.
- [10] <http://www.casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE-58-2006-05-09.pdf>, dostupno 11.06.2018.
- [11] [https://bib.irb.hr/datoteka/597072.Toplinska\\_ovojnica\\_zgrade\\_-\\_problemi\\_i\\_rjeenja\\_u\\_praksi.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/597072.Toplinska_ovojnica_zgrade_-_problemi_i_rjeenja_u_praksi.pdf), dostupno 12.06.2018.
- [12] <http://www.rockwool.hr/proizvodi/fasade/ventilirane-fasade/>, dostupno 20.06.2018.
- [13] <http://www.enu.fzoeu.hr/ee-savjeti/toplinska-zastita-objekta/toplinski-most>, dostupno 20.06.2018.
- [14] <http://www.zelenaenergija.org/clanak/zasto-se-nakon-ugradnje-novog-prozora-pojavljuje-vlaga-i-plijesan/6297>, dostupno 14.06.2018.
- [15] <http://www.gradimo.hr/clanak/isusivanje-zidova/25746>, dostupno 22.06.2018.

## 10. Popis i izvori slika

- Slika 1. Izvori vlage i posljedice djelovanja, izvor: [https://www.google.hr/search?q=izvori+vlage+u+ku%C4%8Danstvu&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi6g4OqnsLbAhWnA8AKHTNXCsQ\\_AUICigB&biw=1536&bih=759&dpr=1.25#imgrc=7J\\_qOkq91qGbuM.....](https://www.google.hr/search?q=izvori+vlage+u+ku%C4%8Danstvu&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi6g4OqnsLbAhWnA8AKHTNXCsQ_AUICigB&biw=1536&bih=759&dpr=1.25#imgrc=7J_qOkq91qGbuM.....)2
- Slika 2. Vrste vlage i njihovo podrijetlo, izvor: H. Malnar: Vlaga u povijesnim građevinama, Uprava za zaštitu spomenika kulture, Zagreb, 2003. ....3
- Slika 3. Kapilarna vlaga, izvor:[https://www.google.hr/search?q=kapilarna+vlaga&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwim7YCn8LbAhWBL8AKHfjwAs8Q\\_AUICigB&biw=1536&bih=759&dpr=1.25#imgdii=FJpmUrV3ET3XgM:&imgrc=9LTo-5gReUH8HM:....](https://www.google.hr/search?q=kapilarna+vlaga&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwim7YCn8LbAhWBL8AKHfjwAs8Q_AUICigB&biw=1536&bih=759&dpr=1.25#imgdii=FJpmUrV3ET3XgM:&imgrc=9LTo-5gReUH8HM:....)4
- Slika 4. Kristalizacija soli na betonskom zidu, izvor: [https://www.google.hr/search?q=kristalizacija+soli+na+betonskom+zidu&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjwgeq\\_n8LbAhVHcMAKHZBUDugQ\\_AUICigB&biw=1536&bih=759&dpr=1.25#imgrc=MBrwBuTTqAONzM:.....](https://www.google.hr/search?q=kristalizacija+soli+na+betonskom+zidu&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjwgeq_n8LbAhVHcMAKHZBUDugQ_AUICigB&biw=1536&bih=759&dpr=1.25#imgrc=MBrwBuTTqAONzM:.....)5
- Slika 5.,6.,7. [https://bib.irb.hr/datoteka/597072.Toplinska\\_ovojnica\\_zgrade\\_-\\_problemi\\_i\\_rjeenja\\_u\\_praksi.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/597072.Toplinska_ovojnica_zgrade_-_problemi_i_rjeenja_u_praksi.pdf) .....6
- Slika 8. Grafički prikaz srednje temperature zraka i zida, izvor: H. Malnar: Vlaga u povijesnim građevinama, Uprava za zaštitu spomenika kulture, Zagreb, 2003. ....7
- Slika 9. Prikaz relativne vlažnosti zraka pri temperaturi i količini kondenzirane vodene pare, izvor: Z. Versić: Tehnička regulativa gradnje, energetska učinkovitost u zgradarstvu, stručno usavršavanje arhitekata i ovlaštenih inženjera, TVZ, Zagreb, XIII. tečaj, 9. i 10. studenoga, 2012. ....7
- Slika 10. Količina apsolutne vlage u  $\text{g/m}^3$  pri određenoj temperaturi, izvor: <http://www.zagrebvrata.hr/download/BROSURA-KONDENZACIJA%20VODENE%20PARE%20NA%20OSTAKLJENJU%20PROZORA.pdf> .....8

Slika 11. Temperaturne razlike u zidu zgrade, H. Malnar: Vlaga u povijesnim građevinama, Uprava za zaštitu spomenika kulture, Zagreb, 2003. ....9

Slika 12., 13. Kondenzacija i pljesan na donjem rubu prozora, izvori:

[https://www.google.hr/search?q=kondenzacija+na+prozoru&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiM8-nyn8LbAhUsCcAKHaTmBWcQ\\_AUICigB&biw=1536&bih=759&dpr=1.25#imgdii=JqqAUs8PC5BjZM:&imgrc=inH6zkSGXORp3M:](https://www.google.hr/search?q=kondenzacija+na+prozoru&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiM8-nyn8LbAhUsCcAKHaTmBWcQ_AUICigB&biw=1536&bih=759&dpr=1.25#imgdii=JqqAUs8PC5BjZM:&imgrc=inH6zkSGXORp3M:)

[https://www.google.hr/search?q=kondenzacija+na+prozoru&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiM8-nyn8LbAhUsCcAKHaTmBWcQ\\_AUICigB&biw=1536&bih=759&dpr=1.25#imgrc=inH6zkSGXORp3M:](https://www.google.hr/search?q=kondenzacija+na+prozoru&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiM8-nyn8LbAhUsCcAKHaTmBWcQ_AUICigB&biw=1536&bih=759&dpr=1.25#imgrc=inH6zkSGXORp3M:) .....10

Slika 14. Smjer kretanja topline, izvor: Z. Versić: Tehnička regulativa gradnje, energetska učinkovitost u zgradarstvu, stručno usavršavanje arhitekata i ovlaštenih inženjera, TVZ, Zagreb, XIII. tečaj, 9. i 10. studenoga, 2012. ....11

Slika 15. Prikaz difuzije vodene pare kroz pregradu (lijevo unutarnji, desno vanjski dio), izvor: Z. Versić: Tehnička regulativa gradnje, energetska učinkovitost u zgradarstvu, stručno usavršavanje arhitekata i ovlaštenih inženjera, TVZ, Zagreb, XIII. tečaj 9. i 10. studenoga, 2012. ....12

Slika 16. Spriječena difuzija paronepropusnim slojem, izvor: Z. Versić: Tehnička regulativa gradnje, energetska učinkovitost u zgradarstvu, stručno usavršavanje arhitekata i ovlaštenih inženjera, TVZ, Zagreb, XIII. tečaj, 9. i 10. studenoga, 2012. ....12

Slika 17. Termografski prikaz oplošja zgrade, izvor:[https://www.google.hr/search?q=termografski+prikaz+ovojnice&tbm=isch&tbs=rimg:CaJubAtdsibXIjiYYSjrcyuNMjIF3Z77curU6iUfu32A2bGlhsGgTYpNxr6PG0gITsnTWMOTyiuyLalUjV\\_10DRfTioSCZhhKOtzK40yEac0sWJqcoUwKhIJOUXdnvty6tQRDUiYJnw3m2UqEgnqJR7fYDZsREYtX\\_1HOZ7UGyoSCaWGwaBNik3GEQIIjEjMIxwzKhIJvo8bSAhOyf4RdFwTNwIayV4qEglnYw5PKK7IthExzVcrhejKHSOscAVSNX\\_1QNF9OETEYhwOglwVe&tbo=u&sa=X&ved=2ah](https://www.google.hr/search?q=termografski+prikaz+ovojnice&tbm=isch&tbs=rimg:CaJubAtdsibXIjiYYSjrcyuNMjIF3Z77curU6iUfu32A2bGlhsGgTYpNxr6PG0gITsnTWMOTyiuyLalUjV_10DRfTioSCZhhKOtzK40yEac0sWJqcoUwKhIJOUXdnvty6tQRDUiYJnw3m2UqEgnqJR7fYDZsREYtX_1HOZ7UGyoSCaWGwaBNik3GEQIIjEjMIxwzKhIJvo8bSAhOyf4RdFwTNwIayV4qEglnYw5PKK7IthExzVcrhejKHSOscAVSNX_1QNF9OETEYhwOglwVe&tbo=u&sa=X&ved=2ah)

UKEwjZo8WpoMLbAhUDPVAKHfQ8BzgQ9C96BAgBEBs&biw=1536&bih=759&dpr=  
.....15

Slika 18. Konvekcijski toplinski most, izvor: <http://www.enu.fzoeu.hr/ee-savjeti/toplinska-zastita-objekta/toplinski-most>.....16

Slika 19. Prikaz termografskom kamerom kod promjene konstrukcije, izvor: Z. Versić: Tehnička regulativa gradnje, energetska učinkovitost u zgradarstvu, stručno usavršavanje arhitekata i ovlaštenih inženjera, TVZ, Zagreb, XIII. tečaj, 9. i 10. studenoga, 2012. ....17

Slika 20. Toplinski most na balkonskoj ploči [https://www.google.hr/search?q=toplinski+most+balkon&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=mndM5gUjYVCz4M%253A%252CfWXxd151\\_fgujM%252C\\_&usg=\\_\\_rAJGi6aYGqkeYkXJepn\\_fl14kY%3D&sa=X&ved=0ahUKEwinuN35oMLbAhULEIAKHSrJAOMQ9QEITjAG#imgdii=j5SDHuJ0djeZyM:&imgrc=mndM5gUjYVCz4M](https://www.google.hr/search?q=toplinski+most+balkon&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=mndM5gUjYVCz4M%253A%252CfWXxd151_fgujM%252C_&usg=__rAJGi6aYGqkeYkXJepn_fl14kY%3D&sa=X&ved=0ahUKEwinuN35oMLbAhULEIAKHSrJAOMQ9QEITjAG#imgdii=j5SDHuJ0djeZyM:&imgrc=mndM5gUjYVCz4M): .....17

Slika 21. Kapilarno uzdizanje vlage iz tla u temelje i zidove, izvor: [https://www.google.hr/search?q=kapilarna+vlaga&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwim7Y-Cn8LbAhWBL8AKHfjwAs8Q\\_AUICigB&biw=1536&bih=759&dpr=1.25#imgrc=7A6jyv4M4n1StM](https://www.google.hr/search?q=kapilarna+vlaga&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwim7Y-Cn8LbAhWBL8AKHfjwAs8Q_AUICigB&biw=1536&bih=759&dpr=1.25#imgrc=7A6jyv4M4n1StM): .....19

Slika 22. Oštećenje žbuke uzrokovano vlagom, izvor: [https://www.google.hr/search?biw=1536&bih=759&tbm=isch&sa=1&ei=wYMZW7jEJIG\\_sAHPnLXQAg&q=kapilarna+vlaga&oq=kapilarna+vlaga&gs\\_l=img.3..35i39k112j0i30k112j0i24k115.6051.6799.0.7846.6.4.0.0.0.130.433.2j2.4.0....0...1c.1.64.img..3.2.233....0.bCmXD20yZzk#imgrc=8HgMnTWhycwBiM](https://www.google.hr/search?biw=1536&bih=759&tbm=isch&sa=1&ei=wYMZW7jEJIG_sAHPnLXQAg&q=kapilarna+vlaga&oq=kapilarna+vlaga&gs_l=img.3..35i39k112j0i30k112j0i24k115.6051.6799.0.7846.6.4.0.0.0.130.433.2j2.4.0....0...1c.1.64.img..3.2.233....0.bCmXD20yZzk#imgrc=8HgMnTWhycwBiM): .....19

Slika 23. Zelene alge nastale na mjestu prodora oborinske vlage, izvor: H. Malnar: Vлага u povijesnim građevinama, Uprava za zaštitu spomenika kulture, Zagreb, 2003. ....20

Slika 24. Tlak kojeg stvara led nastao smrzavanjem vode, izvor: H. Malnar: Vlaga u povijesnim građevinama, Uprava za zaštitu spomenika kulture, Zagreb, 2003. ....	21
Slika 25. Prikaz isoljavanja na površinu stupa, izvor: H. Malnar: Vlaga u povijesnim građevinama, Uprava za zaštitu spomenika kulture, Zagreb, 2003. ....	21
Slika 26. Vlagom i solima nagrižen stup i zahrđana željezna armatura, izvor: H. Malnar: Vlaga u povijesnim građevinama, Uprava za zaštitu spomenika kulture, Zagreb, 2003. ....	22
Slika 27. Shematski prikaz dijagnosticiranja vlage, izvor: H. Malnar: Vlaga u povijesnim građevinama, Uprava za zaštitu spomenika kulture, Zagreb, 2003. ....	24
Slika 28., 29. Prikaz ventilirane fasade, izvor: Z. Versić: Tehnička regulativa gradnje, energetska učinkovitost u zgradarstvu, stručno usavršavanje arhitekata i ovlaštenih inženjera, TVZ, Zagreb, XIII. tečaj 9. i 10. studenoga, 2012. ....	29
Slika 30. Presjek ventiliranog sloja sa oblogom od zidane fasadne (obložne) opeke, izvor: Z. Versić: Tehnička regulativa gradnje, energetska učinkovitost u zgradarstvu, stručno usavršavanje arhitekata i ovlaštenih inženjera, TVZ, Zagreb, XIII. tečaj, 9. i 10. studenoga, 2012. ....	30
Slika 31. Prikaz prolaza vodene pare u vanjski prostor, izvor: Z. Versić: Tehnička regulativa gradnje, energetska učinkovitost u zgradarstvu, stručno usavršavanje arhitekata i ovlaštenih inženjera, TVZ, Zagreb, XIII. tečaj, 9. i 10. studenoga, 2012. ....	30
Slika 32. Drenaža s perforiranom cijevi, izvor: H. Malnar: Vlaga u povijesnim građevinama, Uprava za zaštitu spomenika kulture, Zagreb, 2003. ....	32
Slika 33. Zračni kanal sa odvodnjom prema bunaru, izvor: H. Malnar: Vlaga u povijesnim građevinama, Uprava za zaštitu spomenika kulture, Zagreb, 2003. ....	32



Slika 34. Postavljanje hidroizolacijskog sloja u kampadama, izvor: H. Malnar: Vlaga u povijesnim građevinama, Uprava za zaštitu spomenika kulture, Zagreb, 2003. ....	33
Slika 35. Postavljanje nehrđajućeg valovitog lima u rešku između redova opeka, izvor: H. Malnar: Vlaga u povijesnim građevinama, Uprava za zaštitu spomenika kulture, Zagreb, 2003. ....	33
Slika 36. Vertikalna i horizontalna hidroizolacija podruma, izvor: H. Malnar: Vlaga u povijesnim građevinama, Uprava za zaštitu spomenika kulture, Zagreb, 2003. ....	34
Slika 37. Izolacija poda i vertikalna izolacija sa unutarnje strane, izvor: H. Malnar: Vlaga u povijesnim građevinama, Uprava za zaštitu spomenika kulture, Zagreb, 2003. ....	35
Slika 38. Prikaz elektrosendviča, izvor: H. Malnar: Vlaga u povijesnim građevinama, Uprava za zaštitu spomenika kulture, Zagreb, 2003. ....	37

## 11. Popis tablica

Tablica 1. Prikaz visine kapilarnog uzlaza ovisno o radijusu pore .....	4
Tablica 2. Vrijednosti toplinske provodljivosti $\lambda$ W/(mK) i koeficijenta prolaza topline U (W/m <sup>2</sup> K), ovisno o materijalu i debljini izolacije.....	13
Tablica 3. Debljine toplinske izolacije .....	28