

# Vlaga u konstrukcijama

---

Šoić, Ines

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:593194>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-31**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Ines Šoić**

**Vlaga u konstrukcijama: uzroci, lociranje i mjerenje vlage**

**Završni rad**

**Rijeka, 2019.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Preddiplomski sveučilišni studij**

**Osnove fizike zgrade**

**Ines Šoić  
JMBAG: 0114026310**

**Vlaga u konstrukcijama: uzroci, lociranje i mjerenje vlage**

**Završni rad**

**Rijeka, rujan 2019.**

## **IZJAVA**

Završni rad izradila sam samostalno, u suradnji s mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

---

Ines Šoić

U Rijeci, 16. rujna 2019.

## **Zahvala**

Zahvaljujem dr. sc. Neiri Torić Malić na odličnom vođenju pri izradi ovog rada, na svom znanju koje je prenijela i na strpljenju pri zajedničkom radu.

## **Sažetak**

Poznavanjem svojstava vlage mogu se prepoznati najčešće ugroženi dijelovi građevine te primjenom pravilnih metoda zaštite spriječiti njene štetne utjecaje. U radu su opisani uzroci pojave vlage u konstrukciji, preduvjeti za njeno nastajanje te problemi koje uzrokuje. Prikazani su različiti oblici pojave vlage u konstrukcijama. Definirani su postupci lociranja područja unutar konstrukcije i njezinih elemenata koja su izložena vlazi. U eksperimentu su korišteni senzori za mjerenje vlažnosti na različitim materijalima kako bi se testirala njihova sposobnost upijanja vlage pri istim uvjetima. Koristi se i infracrvena kamera za utvrđivanje prisustva vlage u dijelovima konstrukcije.

**Ključne riječi: vlaga, vlaga u konstrukcijama, vlažnost materijala**

## **Abstract**

Knowing the properties of moisture can help us to identify the most endangered parts of a building and prevent its harmful effects by applying proper protection methods. This paper describes the causes of moisture in the structure, the preconditions for its occurrence and the problems that moisture causes. Different forms of moisture occurrence in structures are shown. Different methods for locating areas within a structure and its elements exposed to moisture are described. In the experiment, humidity sensors were used for testing different materials in equal conditions in order to determine their ability to absorb moisture. An infrared camera is also used to detect the presence of moisture in parts of the structure.

**Keywords: moisture, moisture in buildings, humidity of the material**

## Sadržaj

1. UVOD	5
2. VLAGA U KONSTRUKCIJAMA	6
2.1. Uzroci pojave vlage	7
2.2. Problemi uzrokovani vlagom	7
2.2.1. Problemi kuteva	8
2.2.2. Primjeri oštećenja uslijed djelovanja vlage	9
2.3. Izvori vlage	13
2.3.1. Tekuća voda	13
2.3.2. Vodena para	13
2.3.3. Tekućina i para iz tla koje se nalazi uz objekt	14
2.3.4. Vлага u ugrađenim materijalima konstrukcije ili dovedena s ljudima i proizvodima	14
2.4. Oblici pojave vlage u konstrukcijama	15
3. PRIJENOS MASE	17
3.1. Prijenos difuzijom	17
3.2. Prijenos zrakom	18
3.3. Kapilarno izdizanje	18
3.4. Gravitacijski tok	19
3.5. Kombinacija različitih načina prijenosa	19
4. MJERENJE VLAGE U KONSTRUKCIJAMA	20
4.1. Postupci za mjerenje vlage	20
4.1.1. Kapacitivno mjerenje vlažnosti zraka	20
4.1.2. Psihrometrijsko mjerenje vlažnosti zraka	20
4.1.3. Određivanje točke rosišta s CCC sondama točke rosišta	21
4.1.4. Određivanje točke rosišta s CCC sondama točke rosišta	21
5. NAČINI DETEKCIJE VLAGE	22
5.1. Infracrvena kamera	22
5.1.1. VarioCAM HD infracrvena kamera	23
5.2. Uređaji za mjerenje	24
5.2.1. Senzor vlage	24
5.2.2. Sonda za vlagu drva	24
5.2.3. Sonda za otkrivanje vode	25
5.2.4. Precizni mjerni instrument koji zapisuje podatke	26
6. EKSPERIMENT	27
6.1. Određivanje vlažnosti materijala	27
6.1.1. „AMR WIN CONTROL”	27



6.1.2.	Drvo	29
6.1.3.	Opeka	31
6.1.4.	Stirodur	33
6.1.5.	Cementni mort	35
6.1.6.	Porobeton	37
6.1.7.	Stiroporbeton (uzorak 1 – prvo mjerenje)	39
6.1.8.	Stiroporbeton (uzorak 1 – drugo mjerenje)	41
6.1.9.	Stiroporbeton (uzorak 2)	42
6.1.10.	Beton	44
6.2.	Određivanje temperaturne razlike materijala infracrvenom kamerom	46
6.2.1.	Stiroporbeton (Uzorak 1)	46
6.2.2.	Stiroporbeton (Uzorak 2)	49
6.2.3.	Opeka	52
7.	ZAŠTITA I SANACIJA OD VLAGE	54
7.1.	Drenaža i zračni kanali	54
7.2.	Horizontalna i vertikalna hidroizolacija	56
7.3.	Ventilirana fasada	57
7.4.	Izolacija hladnih mostova	59
8.	ZAKLJUČAK	60
	Literatura i izvori	61

## **Popis tablica**

*Tablica 1: Vrste prijenosa u različitim materijalima [1]*

*Tablica 2: Izmjerena vlažnost drva u točkama mjerenja (izradila Ines Šoić)*

*Tablica 3: Izmjerena vlažnost opeke u točkama mjerenja (izradila Ines Šoić)*

*Tablica 4: Izmjerena vlažnost stirodura u točkama mjerenja (izradila Ines Šoić)*

*Tablica 5: Izmjerena vlažnost cementnog morta u točkama mjerenja (izradila Ines Šoić)*

*Tablica 6: Izmjerena vlažnost porobetona u točkama mjerenja (izradila Ines Šoić)*

*Tablica 7: Izmjerena vlažnost stiroporbetona u točkama mjerenja - prvo mjerenje (izradila Ines Šoić)*

*Tablica 8: Izmjerena vlažnost stiroporbetona u točkama mjerenja - drugo mjerenje (izradila Ines Šoić)*

*Tablica 9: Izmjerena vlažnost stiroporbetona (uzorak 2) u točkama mjerenja (izradila Ines Šoić)*

*Tablica 10: Izmjerena vlažnost betona u točkama mjerenja (izradila Ines Šoić)*

*Tablica 11: Izmjerena vlažnost svih elemenata u točkama mjerenja (izradila Ines Šoić)*

*Tablica 12: Izmjerena vlažnost bloka od stiroporbetona u 12 točaka (izradila Ines Šoić)*

## **Popis slika**

*Slika 1: Raspodjela temperature u toplinskom mostu dobiven numeričkim izračunom [1]*

*Slika 2: Rast plijesni na površini obojene gips ploče i obloge [5]*

*Slika 3: Rast plijesni na obojanom betonskom zidu [5]*

*Slika 4: Rast plijesni na vinil pločicama [5]*

*Slika 5: Korozija konstrukcijskog čelika u stropnoj šupljini [5]*

*Slika 6: Ljuštenje i oštećenje žbuke [5]*

*Slika 7: Iskrivljeni drveni pod [5]*

*Slika 8: Shematski prikaz podjele oblika vlage [9]*

*Slika 9: Kapilarno izdizanje vlage [10]*

*Slika 10: VarioCAM HD [Ines Šoić]*

*Slika 11: Senzor vlage [Ines Šoić]*

*Slika 12: Sonda za vlagu drva [Ines Šoić]*

*Slika 13: Sonda za otkrivanje vode [11]*

*Slika 14: Precizni mjerni instrument koji zapisuje podatke [Ines Šoić]*

*Slika 15: Prikaz položaja mjerenja [Ines Šoić]*

*Slika 16: Uzorak drva [Ines Šoić]*

*Slika 17: Mjerenje vlažnosti na uzorku drva [Ines Šoić]*

*Slika 18: Dijagram vlažnosti uzorka drva [Ines Šoić]*

*Slika 19: Uzorak opeke [Ines Šoić]*

*Slika 20: Mjerenje vlažnosti na uzorku opeke [Ines Šoić]*

*Slika 21: Dijagram vlažnosti uzorka opeke [Ines Šoić]*

*Slika 22: Uzorak stirodura [Ines Šoić]*

*Slika 23: Mjerenje vlažnosti na uzorku stirodura [Ines Šoić]*

*Slika 24: Dijagram vlažnosti uzorka stirodura [Ines Šoić]*

*Slika 25: Uzorak cementnog morta [Ines Šoić]*

*Slika 26: Mjerenje vlažnosti na uzorku cementnog morta [Ines Šoić]*

*Slika 27: Dijagram vlažnosti uzorka cementnog morta [Ines Šoić]*

*Slika 28: Uzorak porobetona [Ines Šoić]*

*Slika 29: Mjerenje vlažnosti na uzorku porobetona [Ines Šoić]*

*Slika 30: Dijagram vlažnosti uzorka porobetona [Ines Šoić]*

*Slika 31: Uzorak stiroporbetona [Ines Šoić]*

*Slika 32: Mjerenje vlažnosti na uzorku stiroporbetona (uzorak 1) [Ines Šoić]*

*Slika 33: Dijagram vlažnosti uzorka stiroporbetona (prvo mjerenje) [Ines Šoić]*

*Slika 34: Dijagram vlažnosti uzorka stiroporbetona (drugo mjerenje) [Ines Šoić]*

*Slika 35: Uzorak stiroporbetona (uzorak 2)[Ines Šoić]*

*Slika 36: Mjerenje vlažnosti na uzorku stiroporbetona (uzorak 2) [Ines Šoić]*  
*Slika 37: Dijagram vlažnosti uzorka stiroporbetona (drugi uzorak) [Ines Šoić]*  
*Slika 38: Uzorak betona [Ines Šoić]*  
*Slika 39: Mjerenje vlažnosti na uzorku betona [Ines Šoić]*  
*Slika 40: Dijagram vlažnosti uzorka betona [Ines Šoić]*  
*Slika 41: Dijagram vlažnosti svih materijala [Ines Šoić]*  
*Slika 42: Blok od stiroporebetona [Ines Šoić]*  
*Slika 43: Zagrijavanje materijala lampom [Ines Šoić]*  
*Slika 44: Prikaz temperature materijala na termografskoj kameri [Ines Šoić]*  
*Slika 45: Termografski prikaz materijala [Ines Šoić]*  
*Slika 46: Termografski prikaz materijala sa tragom položene vlažne krpe [Ines Šoić]*  
*Slika 47: Termografski prikaz materijala okrenutog na drugu stranu [Ines Šoić]*  
*Slika 48: Blok od stiroporbetona (uzorak 2) [Ines Šoić]*  
*Slika 49: Izmjerena vlažnost materijala u 5 točaka [Ines Šoić]*  
*Slika 50: Zagrijavanje materijala (uzorak 2) lampom [Ines Šoić]*  
*Slika 51: Termografski prikaz materijala (uzorak 2) [Ines Šoić]*  
*Slika 52: Termografski prikaz materijala (uzorak 2) – pogled s druge strane [Ines Šoić]*  
*Slika 53: Uzorak opeke umočen u vodu [Ines Šoić]*  
*Slika 54: Uzorak opeke zagrijavan lampom [Ines Šoić]*  
*Slika 55: Termografski prikaz opeke [Ines Šoić]*  
*Slika 56: Drenažna cijev [9]*  
*Slika 57: Drenažni kanal [9]*  
*Slika 58: Vertikalna hidroizolacija [13]*  
*Slika 59: Horizontalna hidroizolacija [13]*  
*Slika 60: Slojevi ventilirane fasade [14]*  
*Slika 61: Strujanje zraka u ventiliranom prostoru u hladnoj klimi [15]*  
*Slika 62: Strujanje zraka u ventiliranom prostoru u toploj klimi [15]*

## 1. UVOD

Razvoj tehnologije i modernizacija građevine utjecali su na razvoj brojnih novih metoda građenja. Lakše se premošćuju prirodne barijere te se grade kvalitetnije i otpornije građevine. Ipak, neke probleme je vrlo teško u potpunosti riješiti ili izbjeći, ali možemo postići da oni što manje utječu na samu građevinu. Jedan od takvih problema je vlaga i njezin utjecaj na građevine. Starije zgrade su loše izolirane, ali prednost im je stalna i dovoljno velika izmjena zraka sa zatvorenim prozorima, dok je kod današnjih, bolje izoliranih građevina izmjena mala. U većini klimatskih područja prisutne su veće količine vode u okolišu (padaline, isparavanja, itd.) dok u gradovima imamo brojne instalacije sa većim sadržajem vode (cijevi kroz koje teče voda). Isto tako kod novogradnje je česta i ugrađena vlaga zbog sve veće potrebe za ubrzanom gradnjom. S obzirom na navedeno, problem s vlagom je jako aktualan i inženjeri se trude riješiti ga na što efikasniji i bolji način. Vlažnost je sveprisutna, ali treba izbjeći zadovoljavanje uvjeta zbog kojih ona nastaje. Vlaga može oštetiti konstrukciju, narušiti izgled i funkcionalnost građevine, te naštetiti zdravlju stanara.

## 2. VLAGA U KONSTRUKCIJAMA

Vlaga je prisutnost tekućine, najčešće vode, u zraku, građevinskim materijalima i drugim proizvodima. To je čimbenik koji najviše smanjuje kvalitetu zgrade i njezinih konstruktivnih elemenata (studije pokazuju da je u 70% slučajeva kod problema sa zgradama ona direktni ili indirektni uzročnik). [1]

Postoje tri tipa vlage: kapilarna, higroskopna i kondenzirana. Kapilarna vlaga nastaje kada zidovi upijaju vodu iz zemlje i šire je prema materijalima iznad. Higroskopna vlaga nastaje zbog soli koje se nalaze u vodi te ostaju u zidovima i kada voda nestane te privlače vlagu iz zraka. Kondenzirana vlaga javlja se kad ne postoji dobra izolacija i dovoljno prozračivanje. [2]

Vlaga u zgradama najviše doprinosi rastu plijesni, mrljama te lošoj kvaliteti zraka u zatvorenim prostorima. Mokri zidovi zgrada i propuštanje kišnice glavni su uzroci infiltracije vode, ali i prekomjerna proizvodnja vlage u zatvorenom prostoru. [3]

Nastanak i širenje vlage može dovesti do velikih i skupih šteta te itekako narušiti kvaliteti boravka u prostoru. U osjetljivijim okruženjima kao što su bolnice i škole, učinci na zdravlje mogu biti čak i opasni. Istraživanja su pokazala da izlaganje vlažnim unutarnjim prostorima sa puno plijesni može izazvati razne negativne simptome uključujući upalu gornjeg dišnog sustava (grla i nosa), kašljanje, teško disanje, pojačane simptome kod osoba koje pate od astme.

Svaka građevina predstavlja zaseban izazov u pogledu kontrole vlage. Potrebno je razumjeti uobičajene probleme koje ona izaziva te uzroke i štetu koju može nanijeti. To je prvi korak u projektiranju i izgradnji boljih objekata. [4]

## **2.1. Uzroci pojave vlage**

Problemi s vlagom nastaju kada se višak vlage nakupi ili ostane zarobljen u dijelu zgrade koji bi trebao biti suh. Mogu se dogoditi u gotovo svakoj zgradi, novoj ili staroj te se obično javljaju zbog propusta u projektiranju, pogrešaka pri građenju i nepravilnog održavanja.

Neke od uobičajenih pogrešaka koje dovode do negativnih utjecaja vlage uključuju izgradnju na mjestu gdje nije moguća pravilna odvodnja, loše projektiranje konstrukcije i njezinog sustava odvodnje, izbor građevinskih materijala koji su osjetljivi na vlagu, neispravno ugrađene građevinske materijale ili opremu, ugradnju vlažnih ili vlagom zahvaćenih građevinskih materijala, neučinkovitu kontrolu vlage i neadekvatno održavanje građevinske opreme i materijala. [4]

Da bi se problem vlage pojavio moraju biti barem četiri uvjeta zadovoljena:

1. izvor vlage mora biti dostupan
2. mora postojati neki put po kojem se vlaga kreće ili način na koji putuje
3. mora postojati neka pokretačka snaga koja uzrokuje kretanje vlage
4. materijali moraju biti osjetljivi na vlagu

Teoretski bi se vlaga mogla izbjeći ako se elimira jedan od četiri uvjeta. U stvarnosti je gotovo nemoguće ukloniti sve uzroke vlage. Isto tako neekonomično je koristiti samo one materijale koji nisu osjetljivi na vlagu. U praksi je često korisno rješavati dva ili više ovih preduvjeta kako bi se smanjila vjerojatnost problema. [5]

## **2.2. Problemi uzrokovani vlagom**

Sve zgrade moraju se nositi s unutarnjim i vanjskim izvorima vlage. Ključ je kontrolirati vlagu tako da se ne akumulira tamo gdje može nanijeti štetu. Nažalost, mnoge zgrade imaju slabe točke na kojima će se vjerojatno pojaviti problemi s vlagom. Korisno je znati gdje se nalaze neke od tih slabih točaka, tako da se može paziti na znakove uobičajenih problema s vlagom u tim područjima. [4]

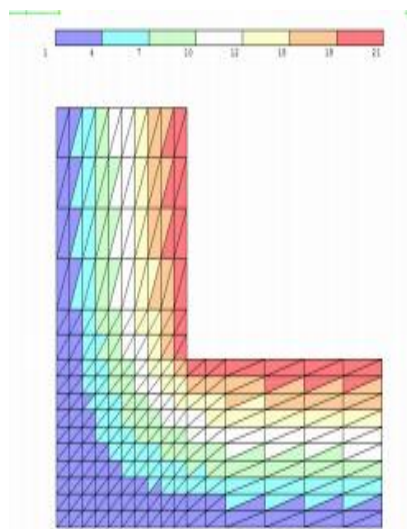
Projektantima su već dugo poznati problemi sa vlagom jer ona je jedan od najvažnijih čimbenika propadanja građevine. Na primjer, vlaga iz bilo kojeg izvora uzrokuje

elektrokemijsku koroziju metalnih komponenti kao što su oprema, cijevi, konstrukcijski okvir, armaturne šipke, zidna sidra itd. Također uzrokuje kemijsko propadanje i otapanje materijala (obloge od gipsa, stropne pločice, proizvodi od drveta) i štetne kemijske procese poput karbonizacije i reakcije agregata alkalija, uništavanje betona, kamena i zidova smrzavanjem i odmrzavanjem, gubitak boje (mrlje, nepravilno vlaženje) sa zidova, promjene volumena (povećanje, savijanje, skupljanje) koje mogu dovesti do narušavanja izgleda, oštećenja konstrukcije, pucanja itd., razvijanje bioloških oblika uključujući plijesan, grinje i ostalo. [5]

### **2.2.1. Problemi kuteva**

Toplinski most je mjesto na plohi gdje toplinski tok nije dominantan u jednom smjeru već se razvija u dva ili tri smjera. To su primjerice spojevi zidova i krovova, otvori u zidovima, spojevi s negrijanim volumenima itd. Dok se toplinski tok kroz plohu može aproksimirati kao jednodimenzionalan tok, kod mjesta toplinskog mosta to nije slučaj. U praksi se razlikuju dvije vrste toplinskih mostova: geometrijski (kutevi, spojevi, spojevi s prozorima i sl.) i konstrukcijski (betonski i čelični stupovi, diskontinuiteti u toplinskoj izolaciji).

Prolaz topline kroz kut zgrade je čest primjer toplinskog mosta koji je uvjetovan geometrijom problema. Na slici 1 se vidi raspored temperature u kutu zgrade. [1]



Slika 1: Raspodjela temperature u toplinskom mostu dobiven numeričkim izračunom [1]



### ***2.2.2. Primjeri oštećenja uslijed djelovanja vlage***

Plijesan se širi na površini obojene gips ploče i obloge. Dugotrajno prisustvo visoke koncentracije vlage je omogućilo rast plijesni. Svi su zidovi bili izloženi gotovo istoj količini kondenzacije te je zbog toga rast plijesni rašireniji, a ne koncentriran u jednom vlažnom području. Primjer je prikazan na slici 2.



Slika 2: Rast plijesni na površini obojene gips ploče i obloge [5]

Primjer na slici 3 prikazuje rast plijesni na zidu obojanog betona. Hladni zid odvaja učionicu od klizališta. Vlažni zrak u učionici kondenzira na obojanoj površini zida i onda ta vlaga omogućava plijesni da se razvije na obojanom sloju.



Slika 3: Rast plijesni na obojanom betonskom zidu [5]

Rast plijesni na vinil pločicama se može vidjeti na slici 4. Hladna vinil pločica je zbog dugotrajne izloženosti visokoj vlažnosti apsorbirala dovoljnu količinu vlage koja je potrebna za rast plijesni. Također, ljepilo koje je drži pločicu za pod se odlijepilo zbog visoke vlage te se pločica olabavila.



Slika 4: Rast plijesni na vinil pločicama [5]

Slika 5 prikazuje koroziju konstrukcijskog čelika u stropnoj šupljini u hladnijem geografskom području. Čelik se proteže u sklop vanjskog zida. Tijekom hladnog vremena, čelik blizu zida se hladi pod utjecajem hladnog vanjskog zraka. Čelik hrđa zbog kondenzacije uzrokovane visokom vlažnosti zgrade.



Slika 5: Korozija konstrukcijskog čelika u stropnoj šupljini [5]

Kada kišnica prodire u parapetni zid na krovu to dovodi do ljuštenja i oštećenja žbuke. Kišnica se uvlači u ovaj opeku kapilarnim djelovanjem, a vlaga se uz pomoć gravitacije kreće prema dolje. Boja koja se pritom ljušti sadrži olovo i predstavlja opasnost za okoliš te dovodi do fizičkih oštećenja žbuke. Primjer ovakvog oštećenja se može vidjeti na slici 6.



Slika 6: Ljuštenje i oštećenje žbuke [5]

Česti primjer vlagom oštećene konstrukcije je drveni pod sportske dvorane (slika 7). Izvor vlage u ovom slučaju predstavlja kišnica koja se nije pravilno odvodila od temelja zgrade. Voda se diže kroz betonski pod te iskrivljuje drveni pod. [5]



Slika 7: Iskrivljeni drveni pod [5]

### **2.3. Izvori vlage**

U svakom trenutku vlažni zrak ispunjava dio pora i slojeva materijala. Vlažni zrak je također mješavina plinova koja dodiruje sve granične površine, osim onih ispod tla, te vodena para u zraku neizbježno unosi higroskopnu vlagu u otvorene porozne materijale. Izvori vlage određuju početne i rubne uvjete koji određuju ponašanje materijala, konstruktivnih elemenata i samo građevinskih objekata. Materijal se ipak naziva suhim sve dok njegov sadržaj vlage ne prođe higroskopnu ravnotežu za prisutnu relativnu vlažnost. [7]

Postoje četiri primarna izvora vlage u zgradama. Kategoriziraju se kao:

1. tekuća voda: oborine (kiša i snijeg koji se topi) ili curenje vodovodnih instalacija
2. vodena para: izvana i iz aktivnosti i procesa unutar zgrade
3. tekućina i para iz tla koje se nalazi uz objekt
4. vlaga u ugrađenim materijalima konstrukcije ili dovedena s ljudima i proizvodima

#### ***2.3.1. Tekuća voda***

Propuštanje cjevovoda i prodiranje kiše jasni su izvori vode koje treba izbjegavati. Količina kiše koja se odvodi sa krovova iznosi od nekoliko stotina do tisuću kg/m<sup>2</sup> u većini klimatskih uvjeta. Zidovi obično dobivaju oko 25% do 50% ove količine. Ako u zgradu ili neki njezin zatvoreni prostor procuri samo mali dio te oborine, moguće je očekivati ozbiljno oštećenje kroz određeno vrijeme. Često se ne shvaća koliko je malo curenja potrebno za izazivanje ozbiljnih problema. Voda koja teče zbog prodiranja kiše ili kvara vodovodne cijevi može vrlo brzo doseći katastrofalne razmjere i rezultirati ispuštanjem velikih količina u zgradu.

#### ***2.3.2. Vodena para***

Vodena para može biti gotovo jednako problematična kao i izravni izvori tekuće vode, iako je količina vlažnosti obično manja. Uobičajeni problem predstavlja kondenzacija vodene pare nastala od neizolirane ili kućanske hladne vode iz cijevi. Isto tako i kondenzacija skrivena unutar zidova i krovova ili koja prolazi kroz prozore.

Vodena para izvana ulazi u zgradu kroz ventilaciju čija je svrha dovod zraka i slučajnim propuštanjem zraka kroz dijelove zgrade i cijevi. U mnogim vrstama zgrada, znatna količina vlage može biti oslobođena ili izazvana od strane korisnika te njihovih aktivnosti. Projektanti bi trebali detaljno istražiti specifične procese kako bi se omogućilo predviđanje prosječne proizvodnje pare.

### ***2.3.3. Tekućina i para iz tla koje se nalazi uz objekt***

Tlo može biti značajan izvor vlage u blizini podruma, temelja i prvog kata zgrada. Ono je samo po sebi veliki izvor vlage u tekućem i parnom obliku. Tekuća voda, koja se ispušta izravno s površine ili iz podzemne vode, nastoji prodrijeti kroz pukotine, rupe i druge otvore. Također voda koja je pohranjena u matrici tla prolazi kroz tlo i porozne građevinske materijale (beton, kamen, drvo itd.).

Pohranjena tekuća voda duboko ispod površine i vezana za tlo također pruža praktički neiscrpu zalihu vodene pare. Budući da je difuzija slabiji mehanizam, vodena para tla je manje značajna od tekuće vode, ali je još uvijek veliki izvor vlage. Dakle, vodena para iz tla primarno ulazi u zgrade difuzijom iako se propuštanje zraka u nekim slučajevima može dogoditi kroz tlo. Ustanovljeno je da tlo u mokrom podrumu ili otkrivenom podzemnom prostoru isparava brzinom od 100 do 500 g/m<sup>2</sup> dnevno. Drobljeni kamen djeluje kao kapilarna pukotina između vlažnog tla i objekta, ali relativno dopušta difuziju pare.

### ***2.3.4. Vlaga u ugrađenim materijalima konstrukcije ili dovedena s ljudima i proizvodima***

Vlaga u ugrađenim materijalima konstrukcije može imati značajnu važnost, ali ovaj izvor je specifičan za vrstu građevinske konstrukcije i igra ulogu samo prvih nekoliko godina nakon završetka izgradnje. Normalna mješavina betona sadrži oko 200 kg vode po kubičnom metru, od čega se oko polovice kasnije oslobodi kao para. Prema tome, tipični podrum neke kuće koji sadrži 20 do 30 m<sup>3</sup> betona će ispustiti nekoliko tisuća litara vode tijekom prve godine ili dvije. Isto tako, može se očekivati da će u poslovnoj zgradi ploča od armiranog betona debljine 200 mm ispustiti 20 litara po m<sup>2</sup> tijekom prve dvije godine.

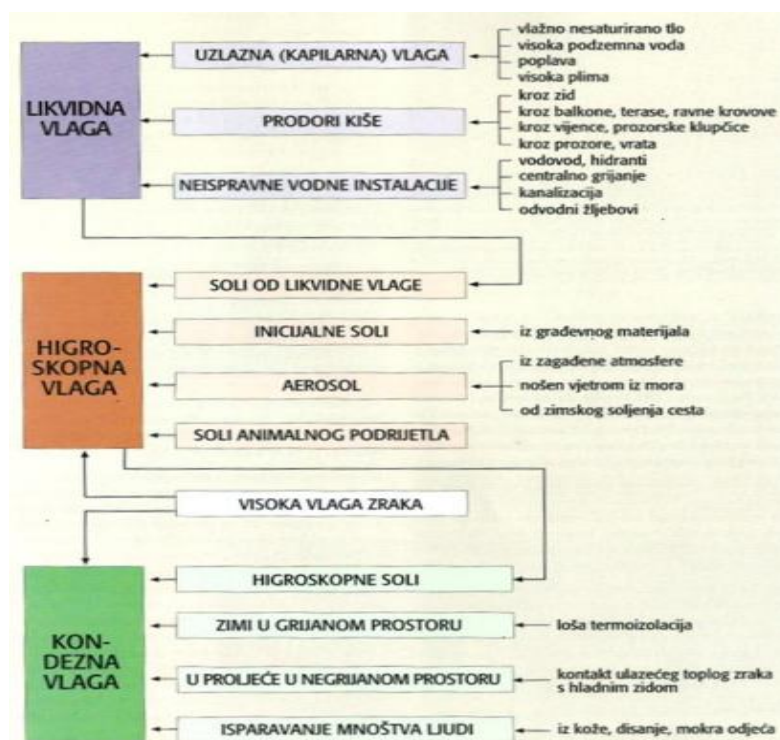
Betonski blokovi (i voda zarobljena u jezgrama tijekom gradnje), spojevi zidova, boje, ljepila za podove itd. doprinose ugrađenoj vlazi. [6]

## 2.4. Oblici pojave vlage u konstrukcijama

Vlaga se pojavljuje u tri oblika:

1. likvidna vlaga
2. higroskopna vlaga
3. kondenzacijska vlaga

Podjela je napravljena tako da se shematskim prikazom (slika 8) može lakše razumjeti iz kojih je izvora nastala koja vrsta vlage i njihove međusobne utjecaje. Likvidnu vlagu uzrokuje tekuća voda: kiša, podzemne vode, poplave i curenje raznovrsnih vodnih instalacija. Higroskopna vlaga nastaje tako što soli akumulirane u zidu zbog svoje higroskopnosti upijaju vodenu paru iz zraka. Kondenzacijska vlaga nastaje također iz vodene pare u zraku, ali se izlučuje na površini zida u obliku rose kada topao zrak dođe u dodir sa hladnim zidom. Obje navedene vrste vlage imaju svoju dinamiku i nakon nastajanja kreću se kapilarama.



Slika 8: Shematski prikaz podjele oblika vlage [9]

Uz prikazanu shemu raznih vrsta i izvora vlaženja treba ponovno spomenuti ugradbenu ili građevinsku vlagu koja se pojavljuje u zidovima novo sagrađenih zgrada.

U likvidnu vlagu spadaju oni oblici vlage koji su u zid dospjeli u obliku tekuće vode. To su kapilarna ili uzlazna vlaga koju voda iz tla transportira kroz temelje u zid, zatim vlaga nastala od prodora kiše i vlaga od curenja neispravnih vodnih instalacija. Vlaga iz tla se kapilarnim silama diže i ulazi u temelje zidova i postupno nastavlja svoj uspon u više dijelove građevine. Kapilarnu vodu u zidu može uzrokovati vlažno nesaturirano tlo, visoka podzemna voda, poplava i visoka plima pa čak i otapanje velikih količina snijega.

Higroskopna svojstva općenito pokazuju porozni građevinski materijali (kamen, opeka, mort, žbuka) što znači da upijaju vlagu iz zraka. Što je zrak vlažniji, bit će i veća vlaga materijala. Ova se pojava znatno pojačava ako građevinski materijal u svojoj strukturi sadrži topljive, hidroskopne soli. [9]



### 3. PRIJENOS MASE

Zrak se transportira kroz pukotine i otvore (npr. uz okvire vrata i prozora) te kroz otvorene pore konstruktivnih elemenata. Uzrok transporta zraka je gradijent pritiska kojeg mogu izazvati vanjski utjecaji, voda koja se kreće kroz materijal, vjetar, razlike u temperaturi i sastavu zraka. Prijenos vlage je kombinacija prijenosa vodene pare i prijenosa tekućine. Vodena para prenosi se difuzijom (uzrokovana je razlikom u parcijalnim pritiscima vodene pare u zraku s obje strane građevinske konstrukcije), a može se prenositi i transportom zraka koji sa sobom nosi određeni omjer vodene pare. Vлага se prenosi putem kapilarnog izdizanja (ovisi o širini pora), gravitacije (u porama koje su preširoke za kapilarno izdizanje) i vanjskih pritisaka (uglavnom pritisak vodenog stupca jer je on puno veći nego pritisak zraka). Sve vrste prijenosa ne mogu se odvijati u svim materijalima. [1]

Materijal	Vodena para		Voda		
	Ekviva. difuzija	Tok zraka	Kapilarnost	Gravitacija	Pritisak
Bez kapilara, nije higroskopian (materijal s vrlo velikim porama)	<b>X</b>	<b>X</b>	-	<b>X</b>	<b>X</b>
Bez kapilara, higroskopian (materijal s makro porama kroz koje može ići zrak, ako su pore male nema toka zraka)	<b>X</b>	<b>X/-</b>	-	<b>X</b>	-
S kapilarama, nije higroskopian (pore dovoljno male da usišu vodu, ali prevelike za sorpciju)	<b>X</b>	-	<b>X</b>	-	-
S kapilarama, higroskopian (pore dovoljno male i za sisanje vodu i za sorpciju)	<b>X</b>	-	<b>X</b>	-	-

Tablica 1: Vrste prijenosa u različitim materijalima [1]

#### 3.1. Prijenos difuzijom

Prema tome difuzija pare prenosi vodenu paru iz područja visoke koncentracije pare u nisku koncentraciju. Ona ju pomiče kroz sam zrak ili kroz zrak koji se kreće kroz porozni materijal. Dakle vodena para se kreće kroz neporozne materijale kao što su čelik, staklo, neke plastike i drugo.

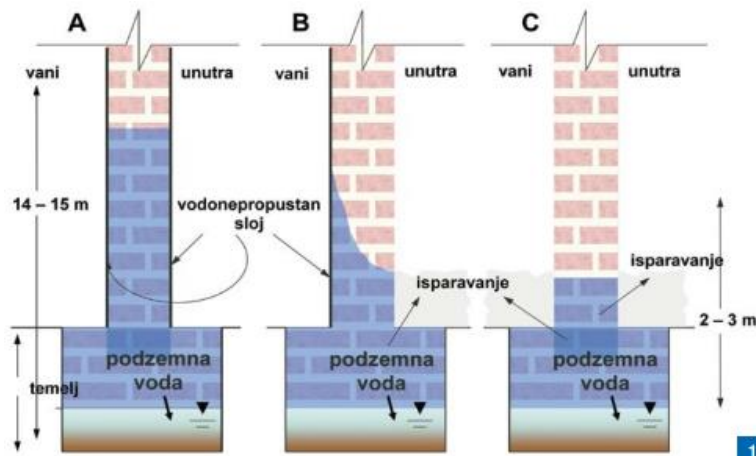
Difuzija vodene pare kroz izolirani cjevovod hladne vode uzrokovat će vlaženje i koroziju ako djeluje dovoljno dugo. Također igra ulogu u transportu vodene pare u konstrukciju gdje se ponekad može kondenzirati. Za kontrolu ovakvoga toka često se koriste barijere za paru (iznutra u hladnoj klimi i izvana u vrućim, vlažnim klimatskim uvjetima) iako difuzija pare uglavnom nije uzrok oštećenja vlage u zidovima. Međutim, difuzija pare može biti važna na krovovima i zidovima s apsorpcijskim oblogama. Kišnica se apsorbira u oblogu i zatim ju sunce zagrijava te prelazi u vodenu paru. Time nastaje vodena para koja može prouzročiti neželjena oštećenja. U slučaju da temperatura padne ispod nule apsorbirana voda se ledi čime se povećava njen volumen te uzrokuje oštećenja obloge. Čak i u hladnim klimatskim uvjetima u ovoj situaciji mogu se formirati vrlo visoki gradijenti tlaka pare i unutra uzokovati štetne količine vlage.

### **3.2. Prijenos zrakom**

Vrlo mali protok zraka obično sadrži i pokreće puno veće količine vodene pare nego što to može difuzija. Strujanje kroz otvore u zatvorenom prostoru zgrade je glavni uzrok međuprostorne kondenzacije (dosta značajnije od difuzije), te je najveći izvor vlage unutar zatvorenih prostora nakon prodiranja kiše.

### **3.3. Kapilarno izdizanje**

Kapilarno izdizanje polagano i ravnomjerno prenosi tekuću vlagu kroz porozne materijale iz područja visoke koncentracije tekućine u područja niske koncentracije (slika 9). Što su pore manje, to je snažniji kapilarno izdizanje, ali je protok slabiji. Iako je prijenos vlage ovim putem relativno spor, može djelovati godinama. Kapilarnost je važna na mjestima gdje konstrukcija dodiruje tlo (budući da je u gotovo svim područjima tlo obično mokro) i na kišom navlaženim površinama.



Slika 9: Kapilarno izdizanje vlage [10]

### 3.4. Gravitacijski tok

Gravitacijski protok može biti najmoćniji način prijenosa vlage. Vrlo velike količine tekuće vode, često mjerene u litrama u sekundi, mogu teći prema dolje kroz otvore, pukotine, cijevi ili zračne prostore kada se pokreću gravitacijom. Gravitacijski protok zahtijeva relativno velike otvore (veličine milimetra ili veće) jer sile kapilarnog izdizanja teže nadjačati sile gravitacije u malim porama. Dakle, voda neće iscuriti iz zasićene cigle, ali može teći kroz rupu za vijak u plastičnom prozoru. Gravitacija može pokrenuti kišnicu koja prodire kroz propuštajući prozor u zid ili vodu u tlo kroz pukotinu u temeljnim zidovima.

### 3.5. Kombinacija različitih načina prijenosa

Transportni procesi rijetko djeluju sami kako bi prenosili vlagu unutar i kroz zgrade. U stvarnosti, par transportnih procesa djeluje paralelno i serijski. Na primjer, tekuća voda iz podzemne vode može putovati prema gore do ispod površine poda podruma, gdje zatim isparava i kreće se difuzijom kroz tlo u podrum. Mali tlakovi zraka prenose vodenu paru u glavni prostor zgrade podižući vlagu prostora i rezultirajući kondenzacijom na hladnim cijevima u spuštenom stropu. U ovom trenutku kondenzat se nakuplja sve dok ne počne kapati na suhi strop ispod. Ovdje se nakuplja plijesan i strop je oštećen. [6]

## **4. MJERENJE VLAGE U KONSTRUKCIJAMA**

Osnove mjerenja vlažnosti i vlage podrazumijevaju pravi senzor odnosno uređaj primjeren za određeni zadatak. Za mjerenja vlažnosti koriste se različite metode. Glavne su razlike među njima u točnosti i prikladnosti za dugoročna mjerenja i tehnologije mjerenja:

### **4.1. Postupci za mjerenje vlage**

- Kapacitivno mjerenje vlažnosti zraka
- Psihometrijsko mjerenje vlažnosti zraka
- Higrometrijsko mjerenje vlažnosti zraka
- Određivanje točke rosišta s CCC sondama točke rosišta
- Određivanje točke rosišta s ogledalima točke rosišta

#### ***4.1.1. Kapacitivno mjerenje vlažnosti zraka***

Kapacitivni senzori sadrže staklenu podlogu sa polimernim slojem osjetljivim na vlagu koji se nalazi između dva sloja metala. Apsorpcijom vode koja odgovara relativnoj vlažnosti mijenja se dielektrična konstanta. Kao rezultat toga mijenja se i kapacitet tankoslojnog kondenzatora. Signal koji mjeri izravno je proporcionalan relativnoj vlažnosti zraka i ne ovisi o atmosferskom tlaku. Prednosti ove metode su: mjerenje bez održavanja u dužim razdobljima, može podnijeti temperaturu ispod 0 °C, neovisna o atmosferskom tlaku, fleksibilna upotreba senzora. Mane su: ograničena dugoročna stabilnost, osjetljiva na rosište i određene agresivne tvari.

#### ***4.1.2. Psihometrijsko mjerenje vlažnosti zraka***

Psihometri su precizni uređaji koji sadrže suhi i navlaženi temperaturni senzor. Kao rezultat isparavanja senzor vlažnosti se hladi, a za proces hlađenja potrebna je strujanje zraka minimalne brzine 2 m/s. Vrijednosti vlage izračunavaju se iz temperaturne razlike (psihometrijska razlika). Razlike u odnosu na atmosferski tlak mogu se ispraviti da bi se postigla precizna mjerenja. Dobre strane metode su te da nema starenja senzora (izuzetak je jedino onečišćenje fitilja), visoka točnost, visoka

kvaliteta s obzirom na tehnologiju mjerenja, metoda je upotrebljiva bez problema do 100% relativne vlažnosti u svim materijalima. Nedostatak je dugotrajno mjerenje ograničeno potrebnom zalihom vode i održavanjem fitilja, teško se koristi s temperaturama ispod 0 °C i s niskom vlagom, ovisi o atmosferskom tlakom.

Higrometrijsko mjerenje vlažnosti zraka

Higrometrijski senzori opremljeni su mjernom trakom koja se produžuje ili skraćuje ovisno o vlažnosti. Mjerna traka sastoji se od mnogo pojedinačnih vlakana koja su izrađena od organskih ili sintetičkih materijala. Prednosti su jednostavna i jeftina tehnologija mjerenja (upotrebljiva i u kontaminiranom okruženju) te lako čišćenje. S druge strane ograničene su točnost i raspon mjerenja te se sporo mjeri.

#### ***4.1.3. Određivanje točke rosišta s CCC sondama točke rosišta***

Senzor točke rosišta opremljen je ugrađenim senzorskim čipom koji je postavljen na rashladnom elementu. Senzor je spojen na kontrolni sklop koji regulira radnu struju rashladnog elementa tako da se definirani kondenzat uspostavi. Senzor izravno mjeri rezultirajuću temperaturu rosišta i prikazuje ju u formatu koji se kasnije može evaluirati. Pozitivne strane metode su visoka točnost, pouzdanost, mogućnost ponavljanja rezultata i široki raspon mjerenja. Negativne strane su složenost metode mjerenja, nepogodna je za brza kontrolna mjerenja i ne može se koristiti na temperaturama nižim od 0 °C.

#### ***4.1.4. Određivanje točke rosišta s CCC sondama točke rosišta***

Ogledalo koje se optički nadzire ugrađeno je na kaskadni Peltier element. Kao i kod CCC sonda senzor je spojen na kontrolni sklop koji regulira radnu struju rashladnog elementa tako da se definirani kondenzat uspostavi. Senzor izravno mjeri temperaturu rosišta i prikazuje ju u formatu koji se kasnije može evaluirati. Prednosti metode su visoka točnost, pouzdanost, mogućnost ponavljanja rezultata, neovisnost o atmosferskom tlaku, široki raspon mjerenja te je pogodna za temperature ispod 0 °C. Pod nedostatke spada složenost metode mjerenja, velika potrošnja struje i rizik od kontaminacije. [8]

## 5. NAČINI DETEKCIJE VLAGE

Kod detekcije vlage prvo se locira potrebno područje, a zatim se mjeri vlaga.

### 5.1. Infracrvena kamera

Korištenje infracrvene kamere je relativno nova tehnologija, ali se brzo razvija.

Infracrvena kamera je beskontaktni uređaj koji detektira infracrvenu energiju (toplina) i pretvara je u elektronički signal, koji se zatim obrađuje i pretvara u toplinske slike na ekranu, iz kojih određuje temperaturu.

Infracrvenom kamerom toplinu možemo vrlo precizno kvantificirati ili izmjeriti, omogućujući ne samo praćenje toplinskih performansi, već i prepoznavanje i procjenu relativne ozbiljnosti problema povezanih s toplinom, pa čak i vlagom ili oštećenja u konstrukciji.

Prikazuje samo uzorke površinske temperature. Pomaže prikazati cjelokupnu sliku kod prodiranja vode i njezine štete. Pomoću infracrvene kamere može se brzo i neinvazivno lako identificirati izvor anomalije uzrokovane vlagom. Kroz kameru se ne vidi vlaga direktno, već njen utjecaj na prijenos topline u materijalima. Vlaga prenosi toplinu na različit način od većine uobičajenih građevnih materijala. Kada se konstrukcija hladi ili zagrijava, područja koja su vlažna (vlažnija) će imati drugačiju temperaturu tj. biti će jasno vidljivi na infracrvenoj kameri. Vlažno područje će imati manju temperaturu sa drugačijom bojom (temperaturom) na skali termografske slike. No, ako konstrukcija ima konstantu temperaturu onda je vrlo vjerojatno da će vlaga biti iste temperature te se neće moći detektirati na kameri. Ova razlika u temperaturi između suhog i vlažnog područja će se teško uočiti pri srednjim temperaturama (sobna temperatura), već dolazi do izražaja pri ekstremnim temperaturama. Stoga je potrebno područje mjerenja zagrijavati ili hladiti. To se može postići sa klima uređajima, HVAC sustavima ili nekim drugim metodama grijanja ili hlađenja prostorije. Sve dok su ti uvjeti ispunjeni, infracrvena kamera je odličan alat za dijagnostiku vlage u površinskim slojevima. Nakon određivanja lokacije izvora vlage, može se provesti sekundarno mjerenje pomoću uređaja za mjerenje vlage. [17]

### **5.1.1. VarioCAM HD infracrvena kamera**

VarioCAM HD (slika10) je visoko kvalitetan, pažljivo kalibriran optički mjerni uređaj. Ima jako dobru rezoluciju te učinkovito mjeri male strukture na velikim objektima i precizno otkriva već najmanje temperaturne razlike. Radi analizu brzih dinamičkih promjena temperature i procesa. Kamera radi dobro i u težim uvjetima. Softver je kvalitetno napremljen i lako se koristi. [18]



Slika 10: VarioCAM HD [Ines Šoić]

## 5.2. Uređaji za mjerenje

### 5.2.1. Senzor vlage

Određuje sadržaj vlage u mineralnim građevinskim materijalima, drvu i kartonu. Karakteristika senzora je neizravno mjerenje vlage putem određivanja dielektrične konstante. Mjerenje kapaciteta pomoću visokofrekventnog elektromagnetskog polja koji ne uništava materijal. Senzor je prikazan na slici 11.



Slika 11: Senzor vlage [Ines Šoić]

### 5.2.2. Sonda za vlagu drva

Senzor vlage za određivanje sadržaja vlage u drvu. Neizravno mjeri vlagu prema principu vodljivosti. Određuje sadržaj vlage u materijalu putem ovisnosti električnog otpora o vlazi. Sonda za vlagu drva je prikazna na slici 12.





Slika 12: Sonda za vlagu drva [Ines Šoić]

### **5.2.3. Sonda za otkrivanje vode**

Koristi se za trenutno otkrivanje nevezane vode. Posebno je pogodna za građevinsku primjenu, posebno na mjestima koja je teško vizualno provjeriti, npr. kod brtvljenja spojeva, pod cementnim podovima itd. Mjerenje vlage je neizravno prema principu vodljivosti. Sonda (slika 11) ima dva utora što omogućuje jednostavnu zamjenu elektroda. Elektrode dolaze u tri različita dizajna za bolje prijanjanje na različite podloge.



Slika 13: Sonda za otkrivanje vode [11]

#### 5.2.4. Precizni mjerni instrument koji zapisuje podatke

Sadrži sveobuhvatan raspon funkcija za sva područja primjene. Ima povećanu točnost i veliku brzinu mjerenja. Ekran na uređaju prikazuje različite parametre. Na instrument se može priključiti 9 mjernih uređaja. Brzina mjerenja je velika; do 50 mjernih operacija u sekundi. Veća je kvaliteta mjerenja zahvaljujući električnoj izolaciji između mjernih ulaza i napajanja uređaja (uzemljenje uređaja). Izmjerene vrijednosti mogu se grafički prikazati u obliku linijskog ili stupčastog grafa te numerički u raznim veličinama. Uređaj je prikazan na slici 14. [11]



Slika 14: Precizni mjerni instrument koji zapisuje podatke [Ines Šoić]

## **6. EKSPERIMENT**

Eksperiment se sastoji od dva dijela; određivanje vlage materijala u laboratoriju primjenom senzora i detekcija vlage u konstruktivnim elementima primjenom termografije.

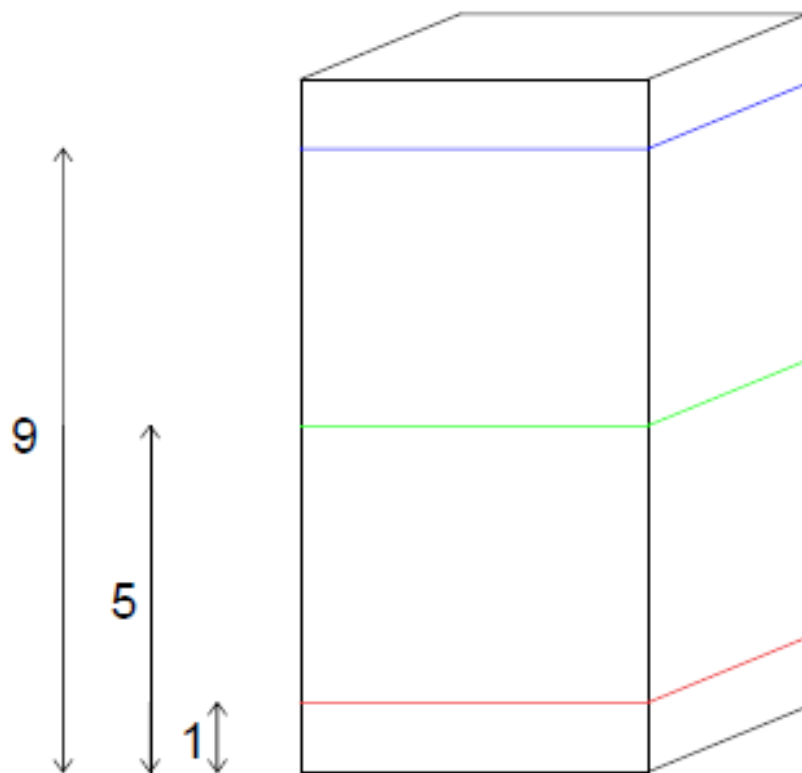
### **6.1. Određivanje vlažnosti materijala**

Eksperiment se provodio na 7 različitih materijala: drvo, opeka, stiroporbeton, stirodur, cementni mort, porobeton i beton. Svaki materijal je ostavljen u posudi sa vodom određeno vrijeme i nakon toga se mjerila njegova vlažnost. Cilj eksperimenta je usporediti koliko i kojom brzinom različiti materijali upijaju vodu. Vlažnost materijala se mjerila pomoću uređaja za mjerenje vlažnosti Moisture Sensor FHA 696 MF. Senzor je spojen na ALMEMO 2890-9 uređaj gdje se očitava postotak vlažnosti, a zatim se dalje šalju informacije na laptop odnosno program „AMR WIN CONTROL”.

#### **6.1.1. „AMR WIN CONTROL”**

AMR WinControl je softverski paket posebno razvijen za prikupljanje podataka i mjerenje obrade podataka s ALMEMO opremom. Ovaj softver korisniku olakšava i pojednostavljuje programiranje i upravljanje ALMEMO uređajima. Dobivene izmjerene vrijednosti mogu se prikazati, aritmetički obraditi, pohraniti, ispisati te izvesti u druge softverske pakete za daljnju obradu podataka.

Vlažnost se mjerila na svakom uzorku na istom položaju (slika 15): 1 cm (umočeni dio), 5 cm i 9 cm od dna (suhi dijelovi).



Slika 15: Prikaz položaja mjerenja [Ines Šoić]

### 6.1.2. Drvo

Vlažnost prije umakanja u vodu iznosila je 3.2%.

Uzorak drva (slika 16) 10x10x10 cm uronjen je u vodu 5 minuta nakon čega se mjerila vlažnost u trajanju od 10 minuta (slika 17).



Slika 16: Uzorak drva [Ines Šoić]



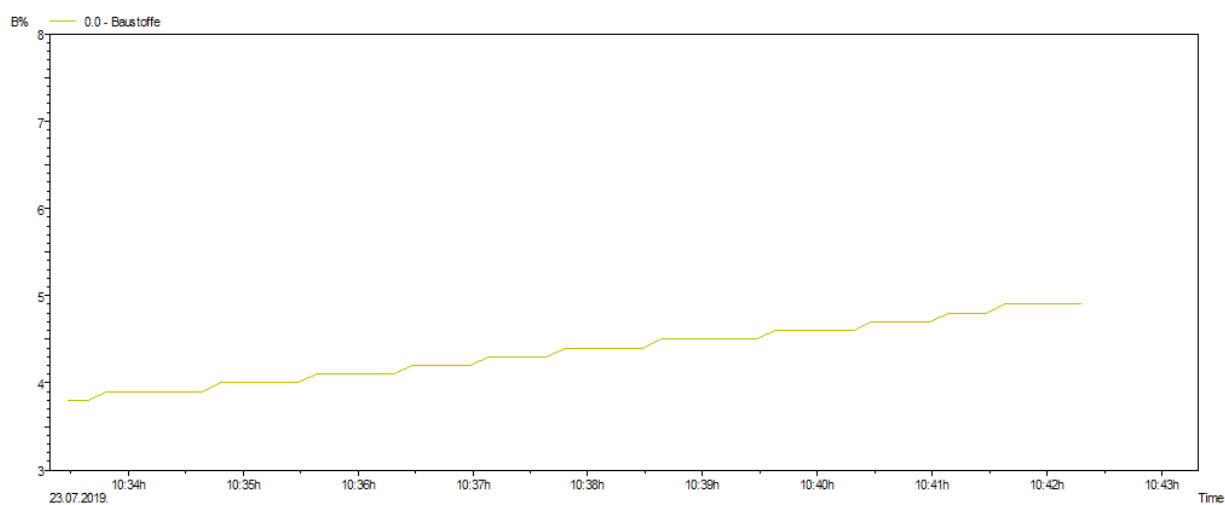
Slika 17: Mjerenje vlažnosti na uzorku drva [Ines Šoić]

Nakon mjerenja dobiveni su rezultati prikazani u tablici 2.1

Točka mjerenja (od dna)	Izmjerena vlažnost (%)
1 cm	14.2
5 cm	6.8
9 cm	2.7

Tablica 2: Izmjerena vlažnost drva u točkama mjerenja (izradila Ines Šoić)

Promjena vlažnosti materijala prikazana je dijagramom (slika 18) na kojem se vidi postepeno povećavanje vlažnosti u materijalu.



Slika 18: Dijagram vlažnosti uzorka drva [Ines Šoić]

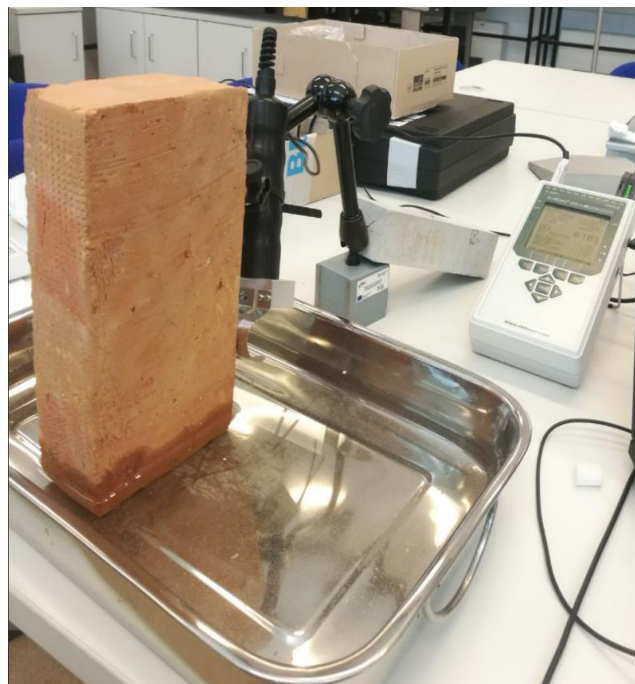
### 6.1.3. Opeka

Vlažnost materijala prije umakanja u vodu iznosila je 4.1%.

Dimenzije uzorka opeke (slika 19) su 12.2x6x14.5 cm. Uronjen je u vodu 5 minuta nakon čega se mjerila vlažnost u trajanju od 10 minuta (slika 20).



Slika 19: Uzorak opeke [Ines Šoić]



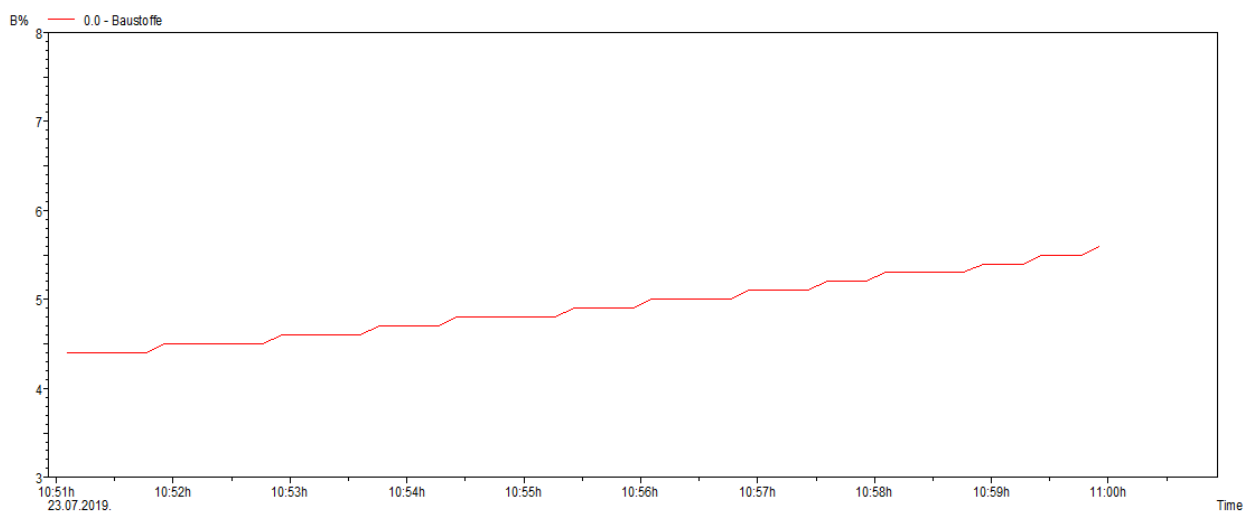
Slika 20: Mjerenje vlažnosti na uzorku opeke [Ines Šoić]

Nakon mjerenja dobiveni su rezultati prikazani u tablici 3.

Točka mjerenja (od dna)	Izmjerena vlažnost (%)
1 cm	23.5
5 cm	12.3
9 cm	4.5

Tablica 3: Izmjerena vlažnost opeke u točkama mjerenja (izradila Ines Šoić)

Promjena vlažnosti materijala prikazana je dijagramom (slika 21) na kojem linija postepeno raste.



Slika 21: Dijagram vlažnosti uzorka opeke [Ines Šoić]



#### 6.1.4. Stirodur

Vlažnost materijala prije umakanja u vodu iznosila je 0.3%.

Dimenzije uzorka stirodura (slika 22) su 12x3x12 cm. Uronjen je u vodu 5 minuta nakon čega se mjerila vlažnost u trajanju od 10 minuta (slika 23).



Slika 22: Uzorak stirodura [Ines Šoić]



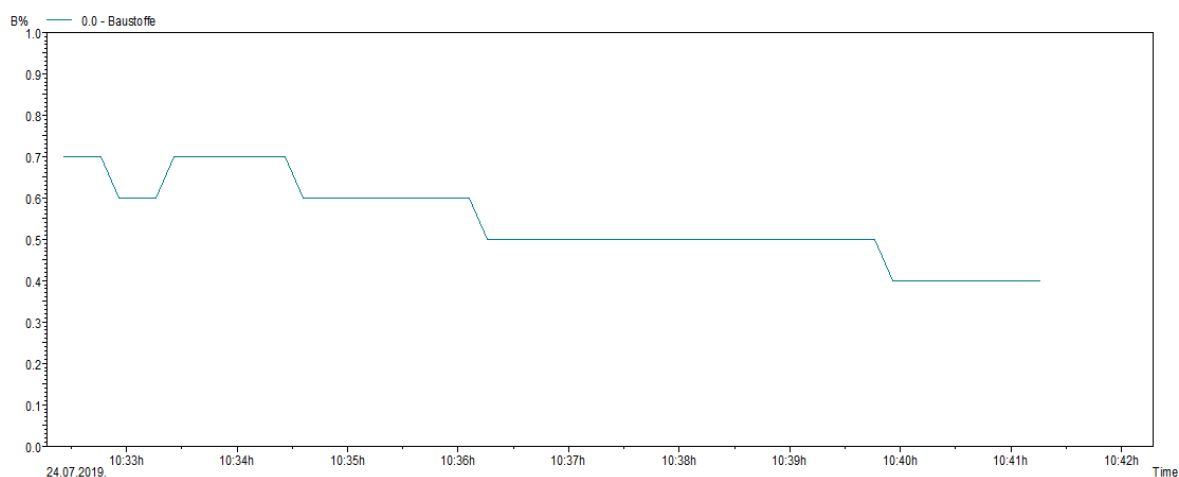
Slika 23: Mjerenje vlažnosti na uzorku stirodura [Ines Šoić]

Nakon mjerenja dobiveni su rezultati prikazani u tablici 4.

Točka mjerenja (od dna)	Izmjerena vlažnost (%)
1 cm	0.7
5 cm	0.3
9 cm	0.2

Tablica 4: Izmjerena vlažnost stirodura u točkama mjerenja (izradila Ines Šoić)

Promjena vlažnosti materijala prikazana je dijagramom (slika 24) na kojemu se vidi kako linija varira, ali vrijednosti su jako male zbog toga što stirodur jako malo upija vlagu.



Slika 24: Dijagram vlažnosti uzorka stirodura [Ines Šoić]

### 6.1.5. Cementni mort

Vlažnost materijala prije umakanja u vodu iznosila je 6.9%. Dimenzije uzorka cementnog morta (slika 25) su 4x4x16 cm te je on uronjen u vodu pet minuta nakon čega se mjerila vlažnost u trajanju od 20 minuta (slika 26).



Slika 25: Uzorak cementnog morta [Ines Šoić]



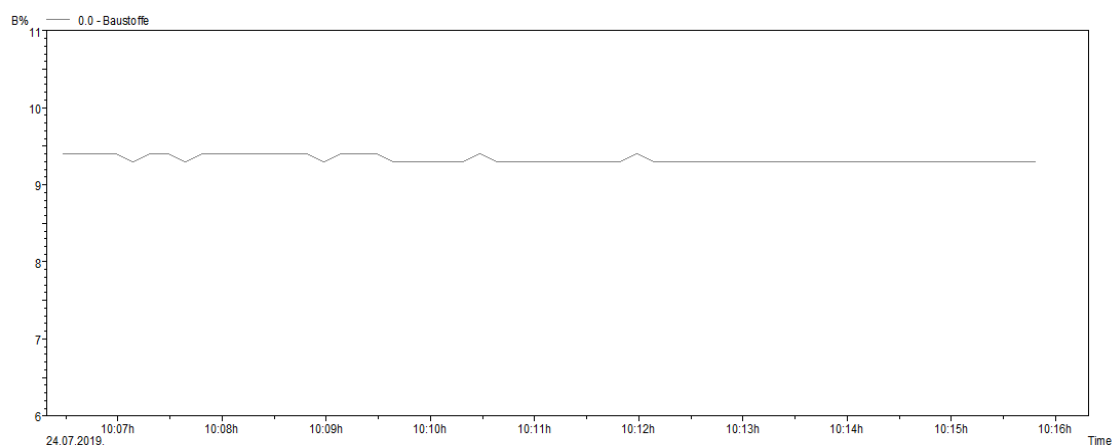
Slika 26: Mjerenje vlažnosti na uzorku cementnog morta [Ines Šoić]

Nakon mjerenja dobiveni su rezultati prikazani u tablici 5

Točka mjerenja (od dna)	Izmjerena vlažnost (%)
1 cm	8.2
5 cm	9.4
9 cm	12

Tablica 5: Izmjerena vlažnost cementnog morta u točkama mjerenja (izradila Ines Šoić)

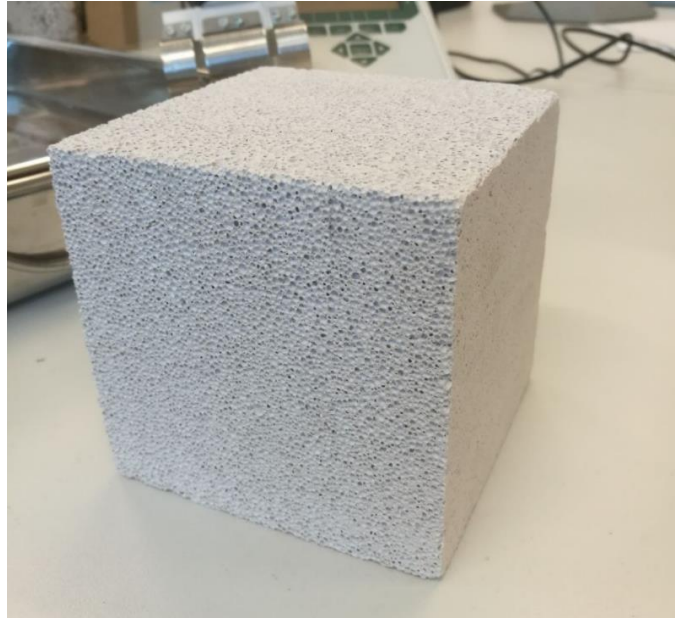
Promjena vlažnosti materijala prikazana je dijagramom (slika 27). Cementni mort sporije upija vlagu pa je mjereno duže vrijeme, a linija je gotovo ravna.



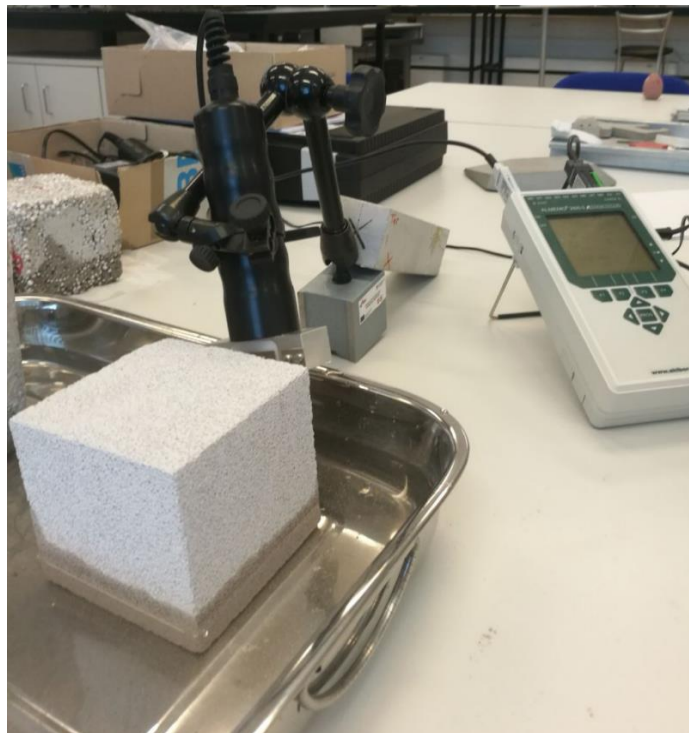
Slika 27: Dijagram vlažnosti uzorka cementnog morta [Ines Šoić]

### 6.1.6. Porobeton

Vlažnost materijala prije umakanja u vodi iznosila je 2.2B%. Dimenzije uzorka porobetona (slika 28) su 9.5x9.5x9.5 cm. Uronjen u vodu 5 minuta nakon čega se mjerila vlažnost u trajanju od 15 minuta (slika 29).



Slika 28: Uzorak porobetona [Ines Šoić]



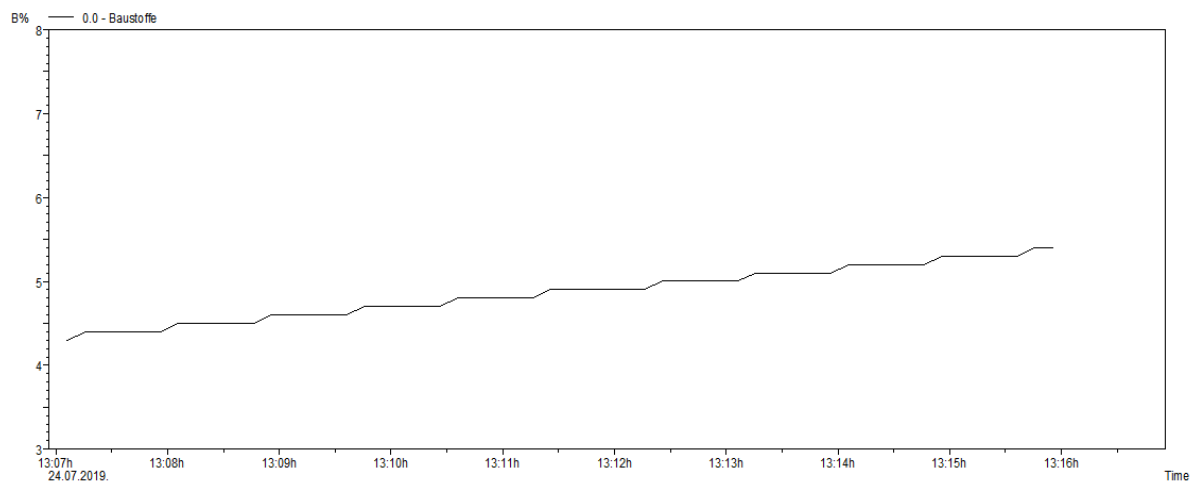
Slika 29: Mjerenje vlažnosti na uzorku porobetona [Ines Šoić]

Nakon mjerenja dobiveni su rezultati prikazani u tablici 6.

Točka mjerenja (od dna)	Izmjerena vlažnost (%)
1 cm	26.3
5 cm	5.4
9 cm	1.8

Tablica 6: Izmjerena vlažnost porobetona u točkama mjerenja (izradila Ines Šoić)

Promjena vlažnosti materijala prikazana je dijagramom (slika 30). Porobeton dobro upija vlagu pa linija vlažnosti jednoliko raste kroz vrijeme.



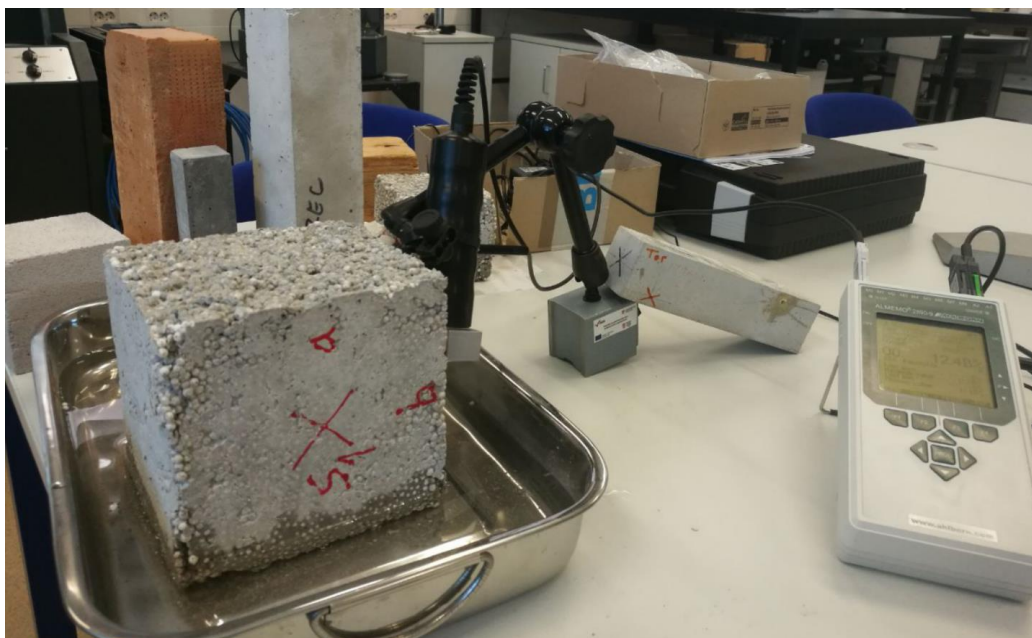
Slika 30: Dijagram vlažnosti uzorka porobetona [Ines Šoić]

### 6.1.7. Stiroporbeton (uzorak 1 – prvo mjerenje)

Vlažnost materijala prije umakanja u vodi iznosila je 3.1%. Dimenzije uzorka stiroporbetona (slika 31) su 10.5x10.5x9 cm. Uronjen je u vodu 5 minuta nakon čega se mjerila vlažnost u trajanju od 10 minuta (slika 32).



Slika 31: Uzorak stiroporbetona (uzorak 1)[Ines Šoić]



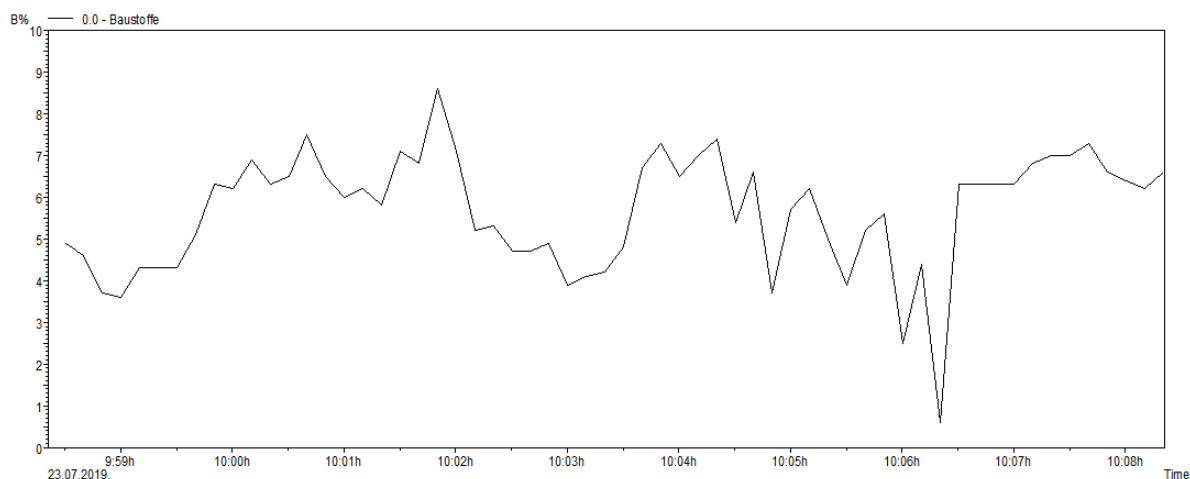
Slika 32: Mjerenje vlažnosti na uzorku stiroporbetona (uzorak 1) [Ines Šoić]

Nakon mjerenja dobiveni su rezultati prikazani u tablici 7.

Točka mjerenja (od dna)	Izmjerena vlažnost (%)
1 cm	10.3
5 cm	5.1
9 cm	5

Tablica 7: Izmjerena vlažnost stiroporbetona u točkama mjerenja - prvo mjerenje (izradila Ines Šoić)

Promjena vlažnosti materijala prikazana je dijagramom (slika 33). Prikazani su rezultati nakon ručnog držanja sonde za mjerenje na materijalu - mijenjanje kuta mjerenja prouzročilo puno oscilacija.



Slika 33: Dijagram vlažnosti uzorka stiroporbetona (prvo mjerenje) [Ines Šoić]



### 6.1.8. Stiroporbeton (uzorak 1 – drugo mjerenje)

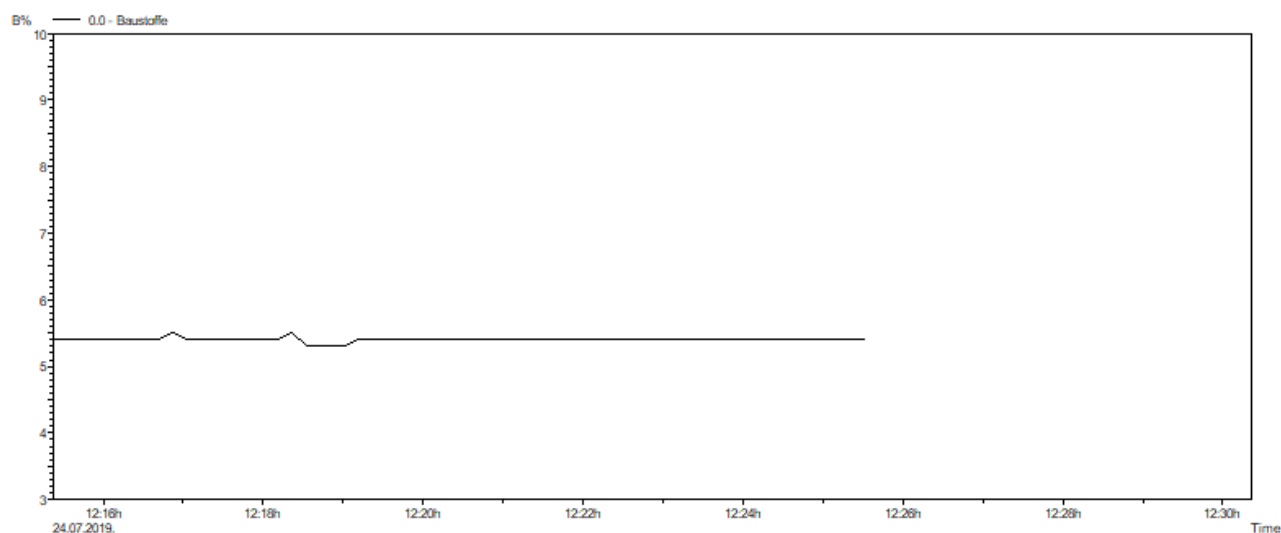
Vlažnost materijala prije umakanja u vodi iznosila je 5% (materijal ima u sebi već neku vlažnost od dana prije).

Nakon mjerenja dobiveni su rezultati prikazani u tablici 8.

Točka mjerenja (od dna)	Izmjerena vlažnost (%)
1 cm	11.2
5 cm	5.4
9 cm	5.5

Tablica 8: Izmjerena vlažnost stiroporbetona u točkama mjerenja - drugo mjerenje (izradila Ines Šoić)

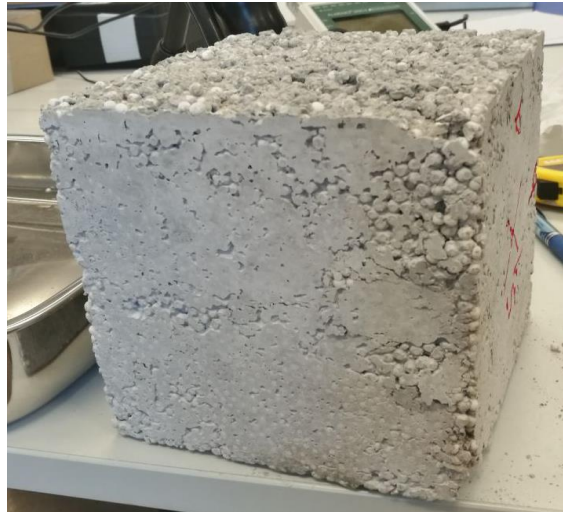
Promjena vlažnosti materijala prikazana je dijagramom (slika 34). Linija gotovo ne raste zbog toga što materijal već sadrži u sebi neku vlažnost.



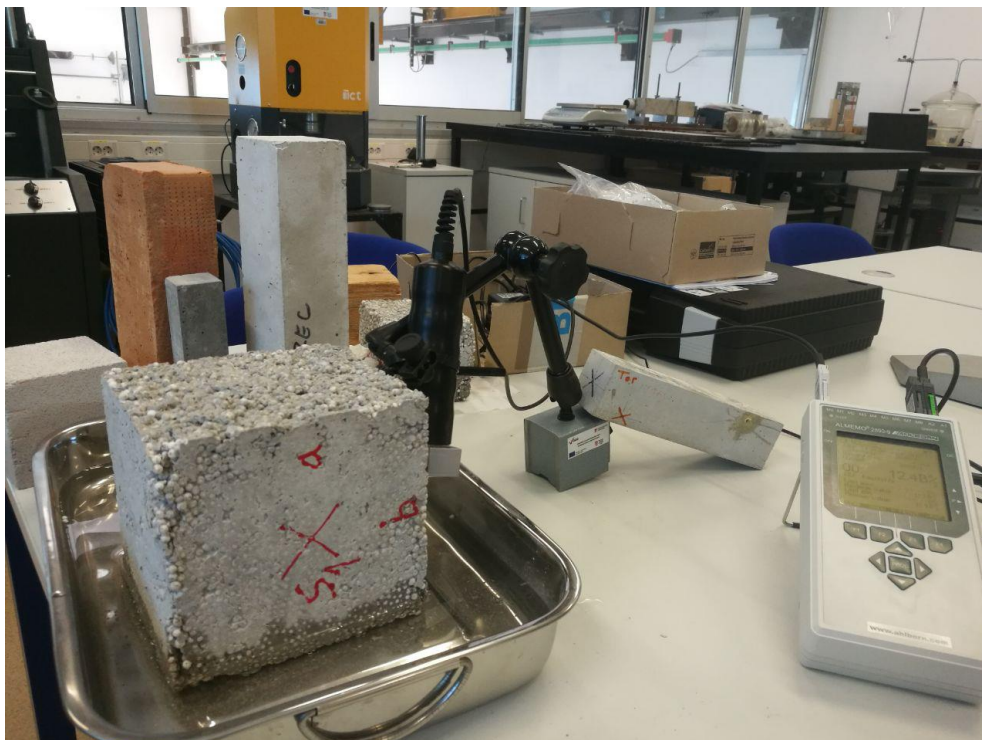
Slika 34: Dijagram vlažnosti uzorka stiroporbetona (drugo mjerenje) [Ines Šoić]

### 6.1.9. Stiroporbeton (uzorak 2)

Vlažnost materijala prije umakanja u vodi iznosila je 12.4% (materijal ima u sebi vlažnost od prijašnjih dana). Dimenzije uzorka stiroporbetona (slika 35) su 15x15x15 cm. Uronjen je u vodu 5 minuta nakon čega se mjerila vlažnost u trajanju od 10 minuta (slika 36).



Slika 35: Uzorak stiroporbetona (uzorak 2) [Ines Šoić]



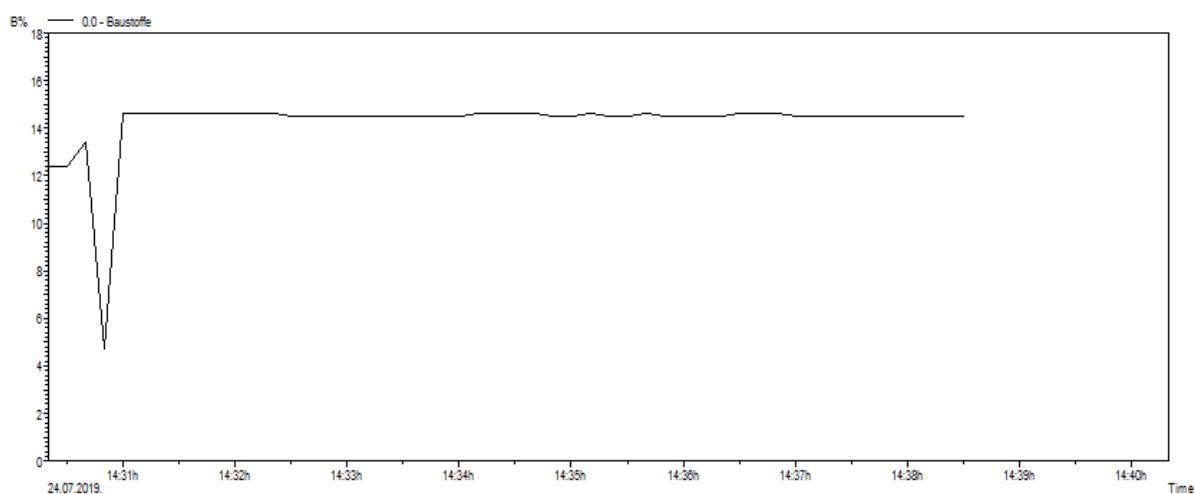
Slika 36: Mjerenje vlažnosti na uzorku stiroporbetona (uzorak 2) [Ines Šoić]

Nakon mjerenja dobiveni su rezultati prikazani u tablici 9.

Točka mjerenja (od dna)	Izmjerena vlažnost (%)
1 cm	20.3
5 cm	14.5
9 cm	14.7

Tablica 9: Izmjerena vlažnost stiroporbetona (uzorak 2) u točkama mjerenja (izradila Ines Šoić)

Promjena vlažnosti materijala prikazana je dijagramom (slika 37) koji ima nagli pad zbog pomaka senzora. Linija gotovo ne raste zbog toga što materijal već sadrži u sebi neku vlažnost.



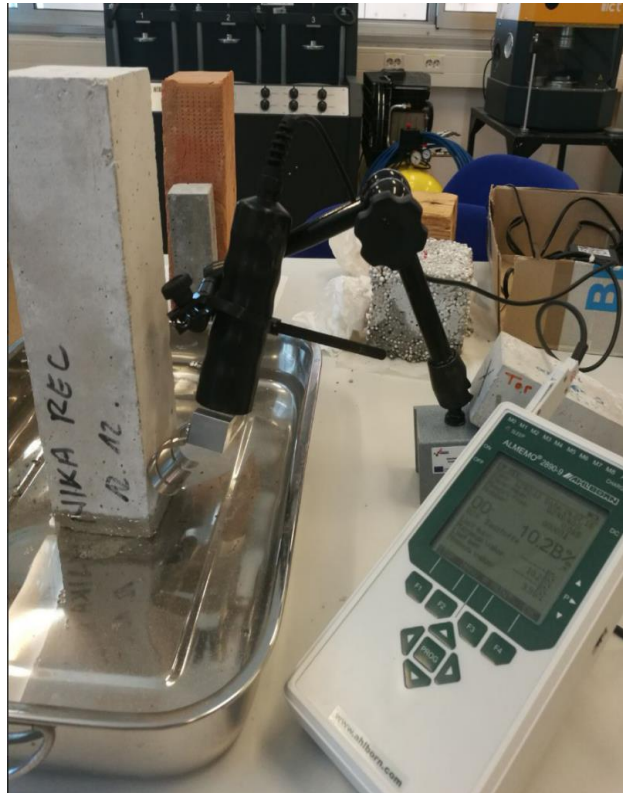
Slika 37: Dijagram vlažnosti uzorka stiroporbetona (drugi uzorak) [Ines Šoić]

### 6.1.10. Beton

Vlažnost materijala prije umakanja u vodi iznosila je 8.6%. Dimenzije uzorka betona (slika 38) su 7x7x28 cm. Uronjen je u vodu 35 minuta nakon čega se mjerila vlažnost u trajanju od 30 minuta (slika 39).



Slika 38: Uzorak betona [Ines Šoić]



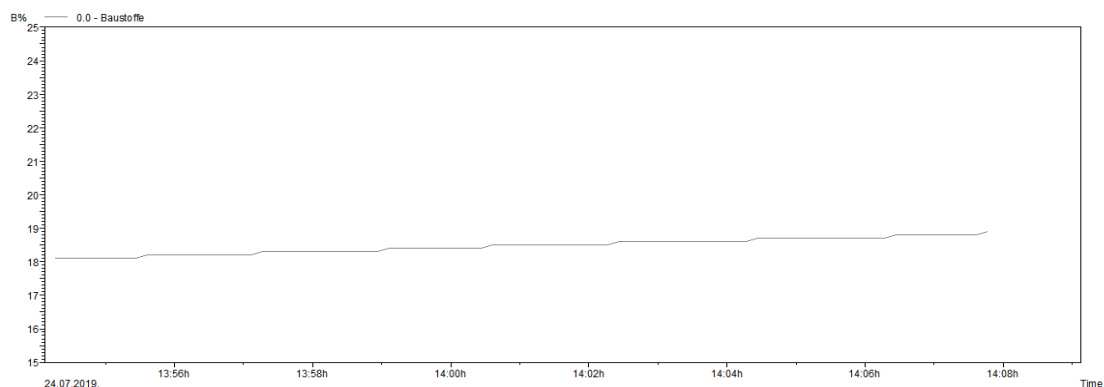
Slika 39: Mjerenje vlažnosti na uzorku betona [Ines Šoić]

Nakon mjerenja dobiveni su rezultati prikazani u tablici 10.

Točka mjerenja (od dna)	Izmjerena vlažnost (%)
1 cm	29.2
5 cm	18.9
9 cm	8.9

Tablica 10: Izmjerena vlažnost betona u točkama mjerenja (izradila Ines Šoić)

Promjena vlažnosti materijala prikazana je dijagramom (slika 40). Beton je duže namakan i duže je mjerena njegova vlažnost zbog toga što mu treba više vremena da upije vlagu.



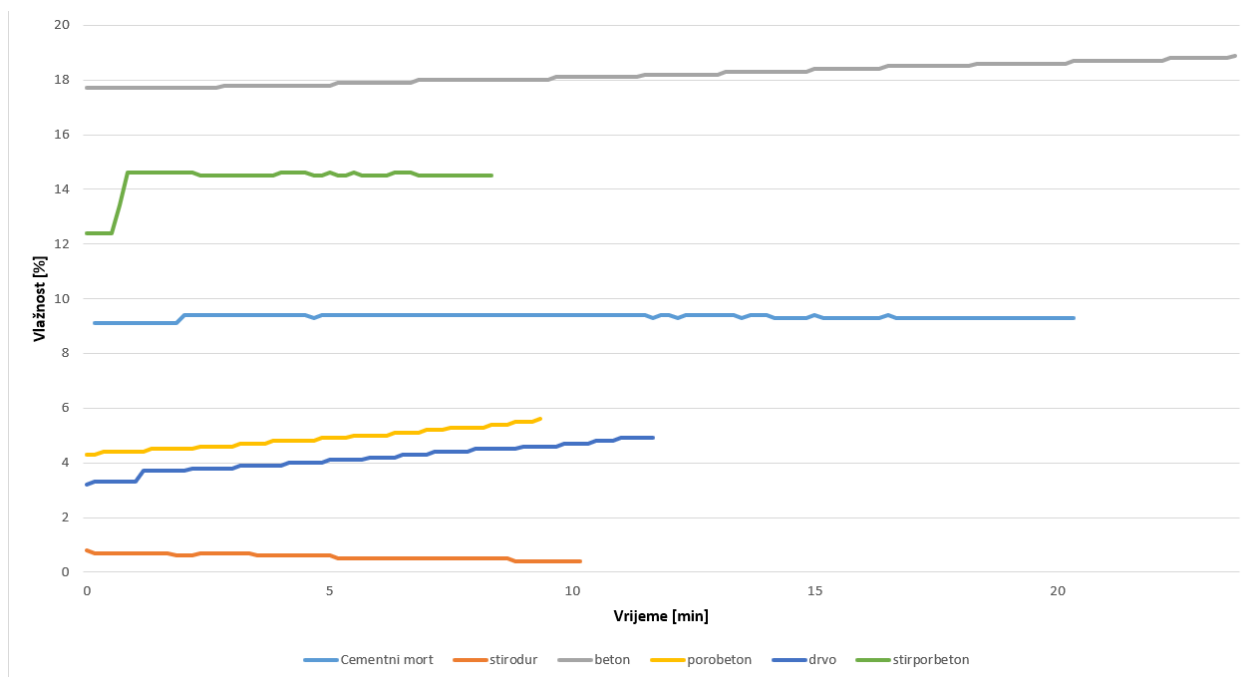
Slika 40: Dijagram vlažnosti uzorka betona [Ines Šoić]

Svi rezultati mjerenja materijala prikazani su u tablici 11.

	Drvo	Opeka	Stirodur	Cementni mort	Porobeton	Stiroporbeton	Beton
1cm	14.2	23.5	0.7	8.2	26.3	10.3	29.2
5cm	6.8	12.3	0.3	9.4	5.4	5.1	18.9
9cm	2.7	4.5	0.2	12	1.8	5	8.9

Tablica 11: Izmjerena vlažnost svih elemenata u točkama mjerenja (izradila Ines Šoić)

Prikazani su vrijednosti vlažnosti svih materijala (slika 41).

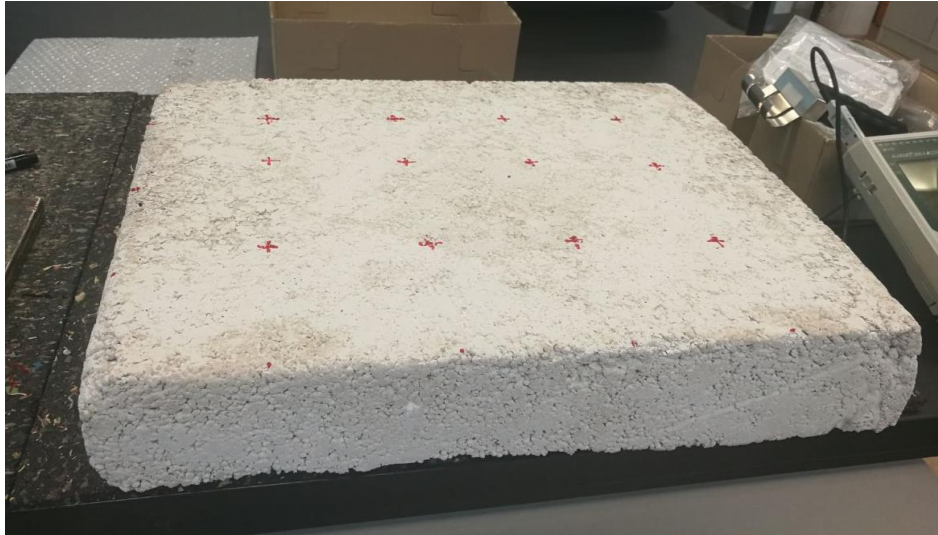


Slika 41: Dijagram vlažnosti svih materijala [Ines Šoić]

## 6.2. Određivanje temperaturne razlike materijala infracrvenom kamerom

### 6.2.1. Stirporbeton (Uzorak 1)

Kod bloka od stiroporbetona (slika 42) je izmjerena neka početna vlažnost neposredno prije namakanja. Razlog tomu je to što se uzorak nije uspio sasvim osušiti nakon njegovanja. Na njemu se označilo 12 točaka u kojima se mjerila vlažnost uređajem za mjerenje vlažnosti Moisture Sensor FHA 696 MF.



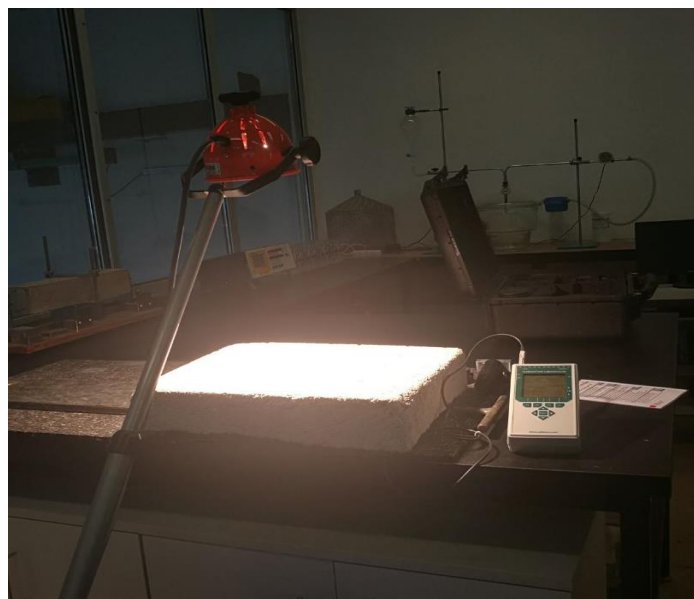
Slika 42: Blok od stiroporebetona [Ines Šoić]

Rezultati mjerenja vlažnosti materijala prikazani su u tablici 12.

Točka	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Vlažnost [%]	22.8	20.9	24.4	21.4	26.3	24.4	23.3	21.5	20.5	28.1	23.6	21.7

Tablica 12: Izmjerena vlažnost bloka od stiroporbetona u 12 točaka (izradila Ines Šoić)

Materijal je morao biti zagrijan lampom (slika 43) kako bi kamera mogla prepoznati temperaturnu razliku odnosno detektirati koji su dijelovi vlažni.



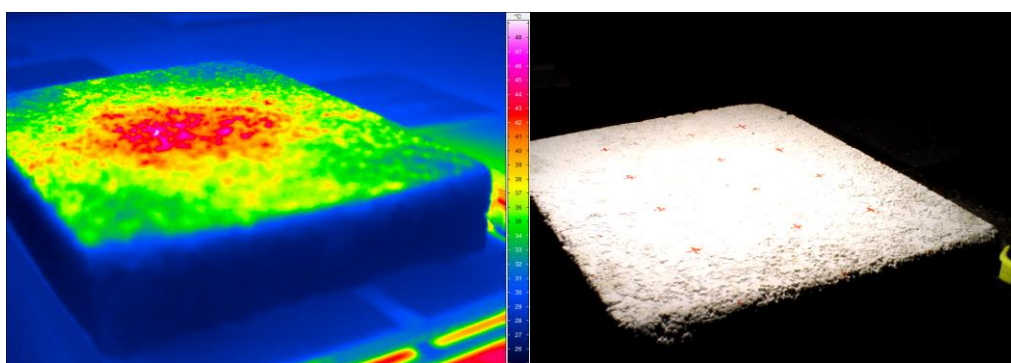
Slika 43: Zagrijavanje materijala lampom [Ines Šoić]

Hlađenjem materijala počinje se vidjeti razlika u temperaturi zbog toga što se vlažniji dio sporije hladi (slika 44).



Slika 44: Prikaz temperature materijala na termografskoj kameri [Ines Šoić]

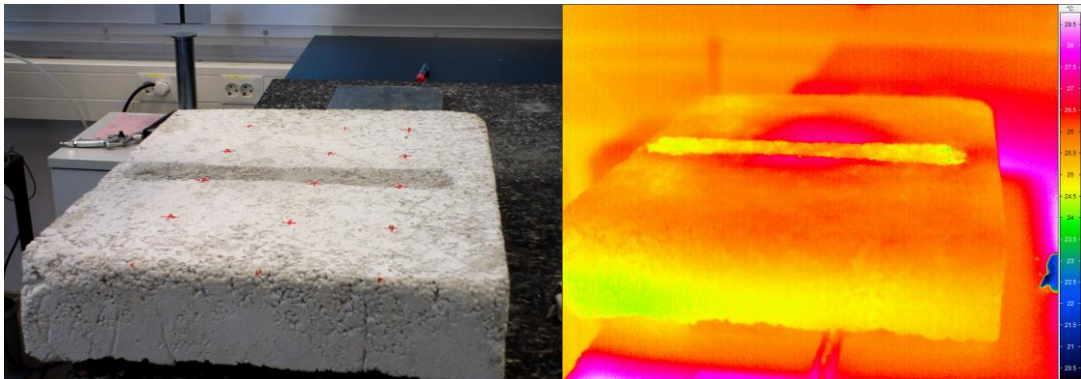
Kamera prikazuje termalnu sliku (slika 45) materijala. Spektar boja od crvene do plave prikazuje različite temperature; bijela pokazuje najvišu temperaturu dok tamno plava pokazuje najnižu. U sredini materijala je crvena boja što znači da je taj dio najvlažniji.



Slika 45: Termografski prikaz materijala [Ines Šoić]

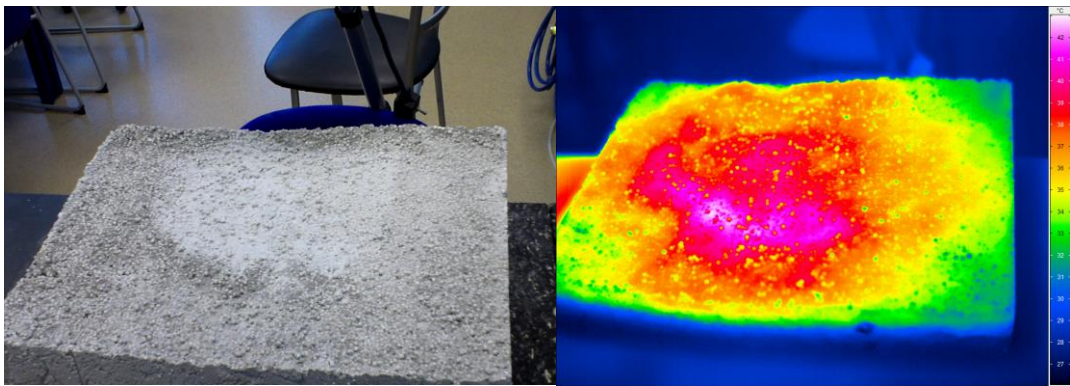


Primjera radi na materijal je stavljena vlažna krpa tako da se vidi razlika u bojama odnosno u temperaturi na fotografiji (slika 46).



Slika 46: Termografski prikaz materijala sa tragom položene vlažne krpe [Ines Šoić]

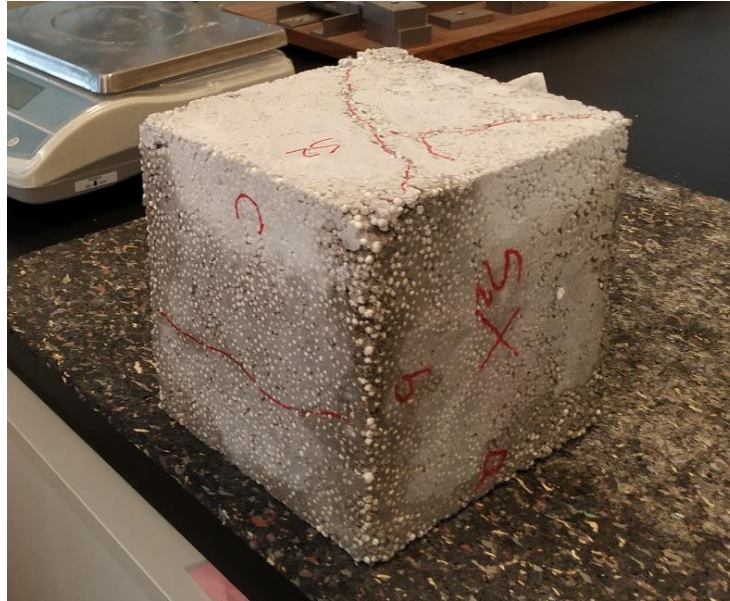
Materijal je okrenut na stranu da se prikaže vlažnost druge strane (slika 47).



Slika 47: Termografski prikaz materijala okrenutog na drugu stranu [Ines Šoić]

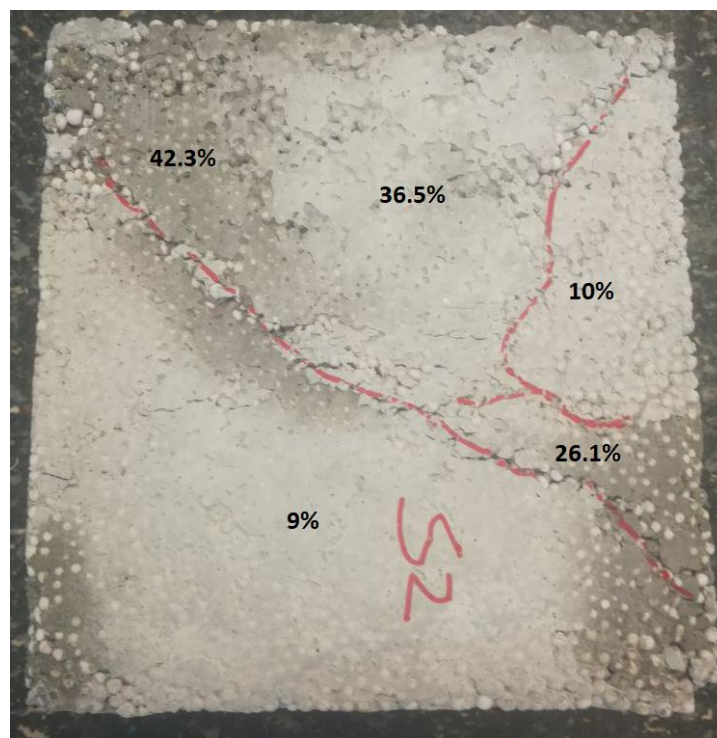
### 6.2.2. *Stirporbeton (Uzorak 2)*

Blok od stiroporbetona (slika 48) dimenzija 20x20x20 cm bio je 24 sata u vodi.



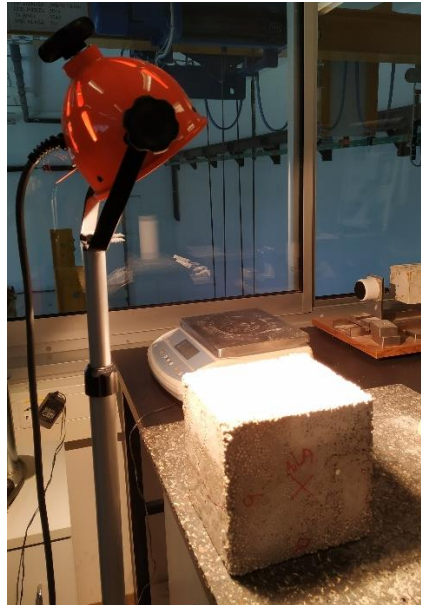
Slika 48: Blok od stirporbetona (uzorak 2) [Ines Šoić]

Izmjerena je vlažnost uređajem za mjerenje vlažnosti Moisture Sensor FHA 696 MF u 5 točaka prikazanih na slici (slika 49).



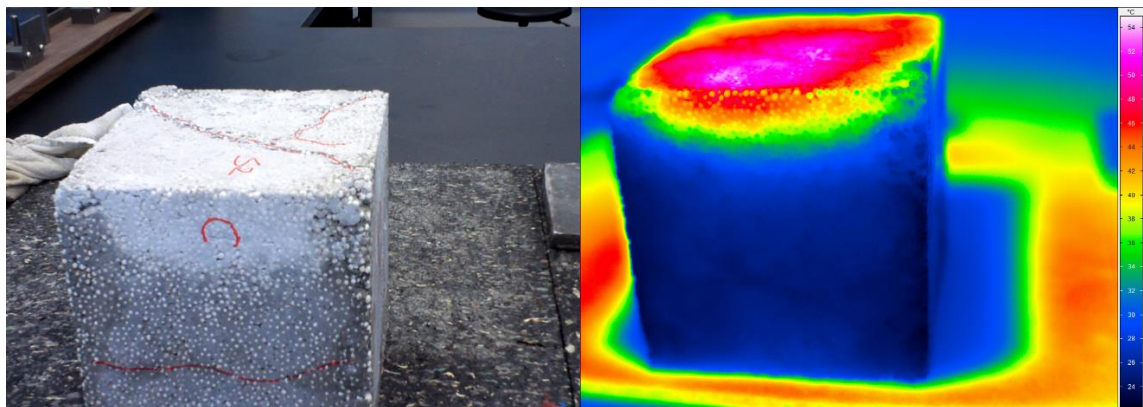
Slika 49: Izmjerena vlažnost materijala u 5 točaka [Ines Šoić]

Materijal je zagrijavan lampom (slika 50) neko vrijeme kako bi se stvorila potrebna razlika u temperaturi.



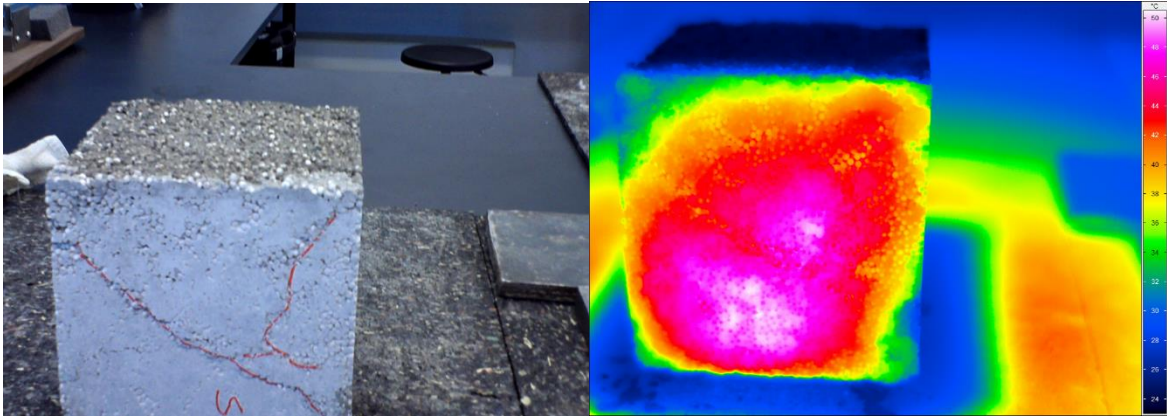
Slika 50: Zagrijavanje materijala (uzorak 2) lampom [Ines Šoić]

Kamera prikazuje termalnu sliku (slika 51) materijala. Gornji brid bloka ima najvišu temperaturu zbog zagrijavanja lampom. S druge strane donji dio ima najnižu zbog većeg sadržaja vlage koji je u njemu.



Slika 51: Termografski prikaz materijala (uzorak 2) [Ines Šoić]

Materijal je okrenut na drugu stranu (slika 52) da se bolje vidi razlika u spektru boja odnosno temperaturi.



Slika 52: Termografski prikaz materijala (uzorak 2) – pogled s druge strane [Ines Šoić]

### 6.2.3. Opeka

Opeka dimenzija 12.2x6x14.5 cm umakana je u posudi sa vodom (slika 53).



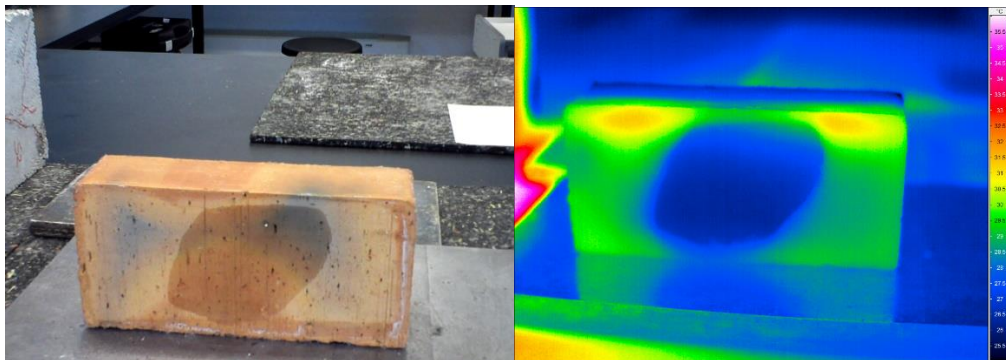
Slika 53: Uzorak opeke umočen u vodu [Ines Šoić]

Materijal je zagrijavan lampom (slika 54) neko vrijeme kako bi se stvorila potrebna razlika u temperaturi.



Slika 54: Uzorak opeke zagrijavan lampom [Ines Šoić]

Kamera prikazuje termalnu sliku (slika 55) opeke.



Slika 55: Termografski prikaz opeke [Ines Šoić]

## **7. ZAŠTITA I SANACIJA OD VLAGE**

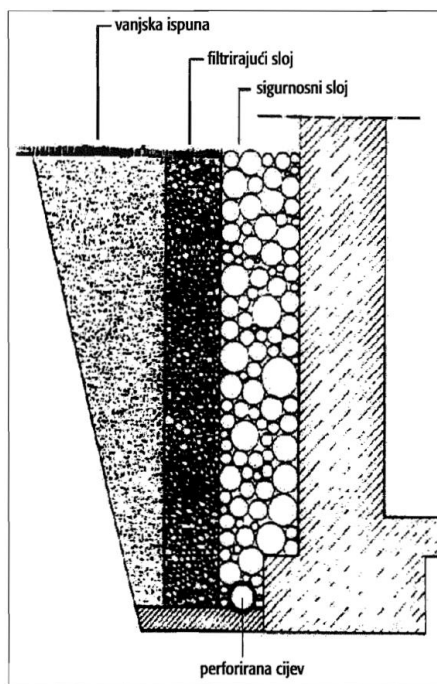
Razlikujemo dva načina zaštite od vlage: praktične i konstruktivne.

Praktične mjere zaštite od vlage uključuju dobro prozračivanje otvaranjem prozora ili mehaničko provjetravanje i odzračivanje, kojim se prekomjerna vlaga izvodi iz objekta. No, trajnu zaštitu od vlage nudi samo adekvatno izvedena i sveobuhvatna izolacija zidova i krova uključujući i odgovarajuće prozore i vrata. Mogu se poduzeti i neke mjere predostrožnosti, a to je već spomenuto provjetravanje, posebice nakon kupanja i kuhanja, kad se i kondenzira najviše vlage u prostoru. Kod podrumskih prostora situacija je obratna; pri višim temperaturama prozori i vrata moraju ostati zatvoreni jer bi se u suprotnom topli zrak kondenzirao na hladnim zidovima.

Emisiju vlage moguće je smanjiti izbjegavanjem sušenja rublja u interijeru, a između namještaja i zidova trebalo bi ostaviti barem 5 centimetara prostora. Tijekom hladnih jesenjih i zimskih mjeseci, sve prostorije bi se trebale ravnomjerno zagrijavati dok temperaturna razlika između pojedinih soba ne bi smjela biti veća od 5 °C. Vlagu je moguće ukloniti i strojnim isušivanjem, kojim se postižu dobri mikroklimatski uvjeti u prostoru. [12]

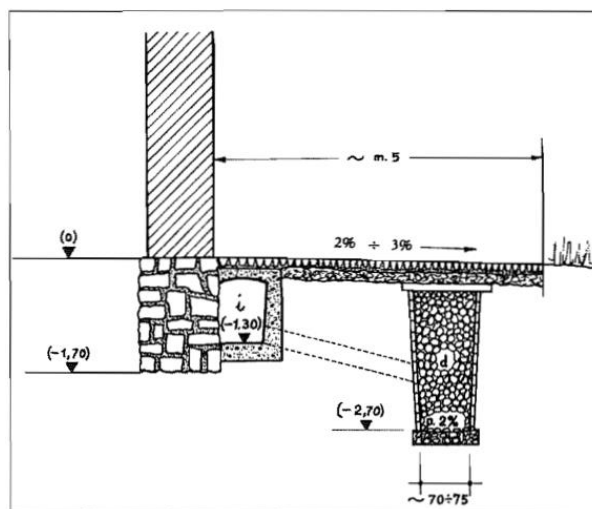
### **7.1. Drenaža i zračni kanali**

Primjenjuju se za sprječavanje bočnog prodora površinskih voda nastalih zbog jakih kiša. Osim toga, koriste se i za limitiranje povišenja vodnog lica u vrijeme visokih voda. Pravilno postavljena drenaža smanjuje vodu u zidu. Drenažne cijevi (slika 56) mogu biti krute ili savitljive te se izrađuju od perforiranog betona ili perforirane plastike.



Slika 56: Drenažna cijev [9]

Drenažni kanal (slika 57) se izvodi dalje od zida u kombinaciji sa zračnim kanalom kada je upitna statika zgrade. Zračni kanal isušuje temelje nakon iskopa i izvedbe drenaže. [9]



Slika 57: Drenažni kanal [9]

## 7.2. Horizontalna i vertikalna hidroizolacija

Hidroizolacija je sloj odnosno više slojeva određenih materijala kojima se sprječava prodor vode u unutrašnjost zgrade. Postavlja se u podrum, prizemlja, ravne krovove, terase, balkone i kupaonice. Za zaštitu građevine od podzemne vode i vlage koriste se materijali kao što su bitumen, katran, olovne ploče, plastične folije i metalne folije. Vertikalna hidroizolacija (slika 58) izvodi se na podrumskim zidovima, a horizontalna (slika 59) na podovima podruma i prizemlja. [13]



Slika 58: Vertikalna hidroizolacija [13]



Slika 59: Horizontalna hidroizolacija [13]

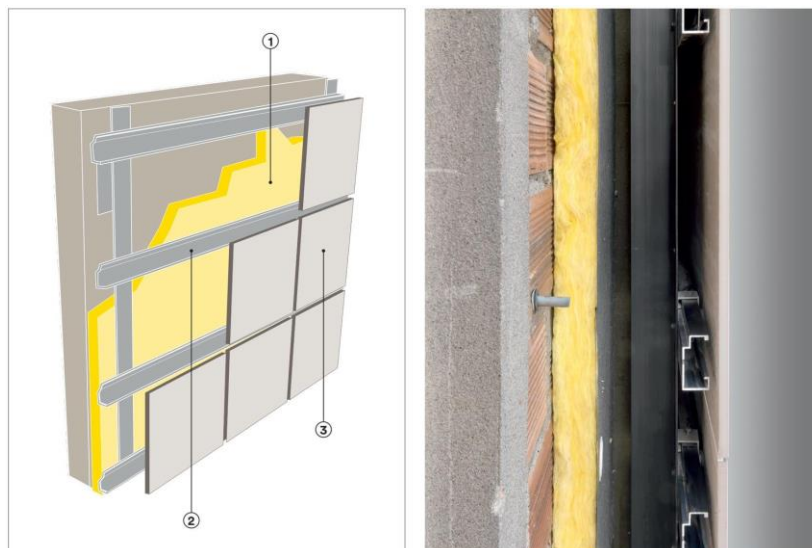


### 7.3. Ventilirana fasada

Ventilirani zidni sustav je najučinkovitija fasadna tehnologija za rješavanje problema zaštite od vlage i vremenskih prilika koja nudi toplinsku i zvučnu izolaciju. Sustav ima izvrsne performanse bez da se narušava unutrašnjost zgrade.

Prozračeni zid sastoji se od više slojeva koji uzrokuju neprestani proces prirodne ventilacije kroz fasadu. Ova tehnologija pokrivanja uklanja višak vlage i igra vitalnu ulogu u održavanju zgrade hladnom ljeti i toplom zimi kontroliranjem gubitaka topline. Ventilirana fasada sastoji se od tri osnovna elementa koji se nazivaju funkcionalni slojevi (slika 60):

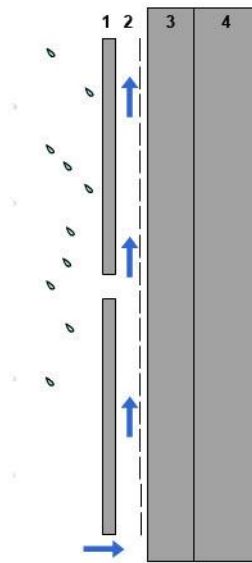
1. toplinska izolacija nanescena na ovješeni zid (curtain wall)
2. potporna podstruktura
3. ventilacijska šupljina [14]



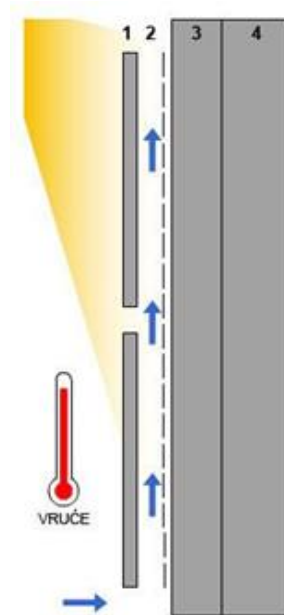
Slika 60: Slojevi ventilirane fasade [14]

U hladnoj klimi (slika 61) zrak koji ulazi u ventilirani prostor se zagrijava pod utjecajem temperature zgrade što uzrokuje da su vanjski zidovi uvijek suhi.

U toploj klimi (slika 62) vrući zrak se diže prema vrhu zgrade stvarajući vakuum koji omogućava ulaz hladnijeg zraka koji potom struji kroz ventilirani zračni prostor i hladi vanjske stijenke zgrade. [15]



Slika 61: Strujanje zraka u ventiliranom prostoru u hladnoj klimi [15]



Slika 62: Strujanje zraka u ventiliranom prostoru u toploj klimi [15]

#### **7.4. Izolacija hladnih mostova**

Hladni mostovi koji se još nazivaju i toplinski mostovi mogu povećati rizik od kondenzacije na unutarnjim površinama (gdje se mijenja materijal ili geometrija). Ljeti je problem što je izvor topline vani, a njega se može riješiti ugradnjom toplinske izolacije izvana. Primjerice ugrađena stiropor ploča će spriječiti dolazak topline do opeke i betonskog dijela zida čime se smanjuje mogućnost pojave hladnog mosta izvana. Međutim zimi je izvor topline unutra i tada toplina ima gotovo direktan dodir sa betonom i opekom u zidu što uzrokuje nejednako grijanje i mogućnost stvaranja hladnog most. Ovaj problem se rješava izolacijom iznutra, npr. isotherm. Problem hladnih mostova rješava se dobrom izolacijom serklaža izvana. [16]

## **8. ZAKLJUČAK**

Vlaga je vrlo važna pojava o kojoj treba voditi brigu prilikom gradnje. Pokazano je kakve probleme može uzrokovati. Osim što šteti samoj konstrukciji može stvarati probleme i kod zdravlja ljudi. Tehnologija omogućava detekciju vlage čime je lakše smanjiti njezin utjecaj na građevinske konstrukcije. Laboratorijskim eksperimentom je analizirano nekoliko građevinskih materijala različitih kemijskih sastava i strukture čime je dokazano i njihovo različito ponašanje pod utjecajem vlage. Najotporniji na vlagu (najmanji % vlažnosti) imao je stirodur, dok se najmanje optornim na vlagu pokazao beton. Kroz eksperiment prikazani su neki od načina mjerenja kao što su infracrvena kamera i uređaji za mjerenje vlažnosti. Osim analize karakteristika materijala pod utjecajem vlage, važno je posvetiti pažnju i metodama sprječavanja ili ublažavanja njezinog utjecaja koje se koriste prilikom gradnje.

## Literatura i izvori

- [1] Kožar I., Fizika zgrade, Građevinski fakultet u Rijeci
- [2] Problemi s vlagom u zidovima i podrumima te kako ih riješiti,  
<https://www.webgradnja.hr/clanci/problemi-s-vlagom-u-zidovima-i-podrumima-te-kako-ih-rijesiti/685/>, pristup 20.7.2019.
- [3] Mold and Moisture Dynamics, <https://www.wbdg.org/resources/mold-and-moisture-dynamics>, pristup 20.7.2019.
- [4] Claire Foster, Introduction to Moisture Problems in Design and Construction,  
<https://amienvironmental.com/introduction-to-moisture-problems-design-construction/>, pristup 22.7.2019.
- [5] U.S. Environmental Protection Agency, Moisture Control Guidance for Building Design, Construction and Maintenance,  
<https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-08/documents/moisture-control.pdf>, pristup 23.7.2019.
- [6] Straube John, Moisture in buildings, ASHRAE Journal, 44(1):15-19, siječanj 2002
- [7] Hugo Hensauth. Building Physics Heat, Air and Moisture, Fundamentals and Engineering Methods with Examples and Exercises, Ernst & Sohn - Second Edition 2012
- [8] Basics of Humidity and Moisture Measurement,  
[https://www.ahlborn.com/en\\_UK/humidity-and-moisture-measurement](https://www.ahlborn.com/en_UK/humidity-and-moisture-measurement), pristup 23.8.2019.
- [9] Malnar Hrvoje, Vlaga u povijesnim građevinama, Ministarstvo kulture – Uprava za zaštitu kulturne baštine, Zagreb, 2003.
- [10] Vlaga u objektu i rješenja pomoću Mapei proizvoda,  
<http://www.mapei.com/public/HR/documents/947/attach/vlaga%20u%20objektu.pdf>, pristup 23.8.2019.
- [11] [https://www.ahlborn.com/en\\_UK/humidity-and-moisture-measurement](https://www.ahlborn.com/en_UK/humidity-and-moisture-measurement), pristup 23.7.2019.
- [12] Dom na kvadrat, <http://www.dom2.hr/bezkategorije/zastita-zidova-od-vlage/>, pristup 26.8.2019.
- [13] <http://www.rudarska.hr/wp-content/uploads/2018/02/3-14-16-Zastita-objekta-od-podzemne-vlage.pdf>, pristup 23.7.2019.

- [14] <https://www.marazzigroup.com/architectural-solutions/ventilated-facades/>, pristup 23.7.2019.
- [15] <http://www.size-projekti.hr/ventilirane-fasade-p10>, pristup 23.7.2019.
- [16] <https://www.termoenterijer.rs/Majstor/zidovi/hladni-most-budj-i-resenja>, pristup 23.7.2019.
- [17] <https://www.fluke.com/en/products/thermal-cameras>, pristup 23.7.2019.
- [18] <https://www.infratec.eu/thermography/infrared-camera/>, pristup 23.7.2019.