

EXAMENSARBETE INOM BYGGTEKNIK OCH DESIGN
GRUNDNIVÅ 15 HP
STOCKHOLM, SVERIGE 2026

Temperaturgradienters påverkan på fukttransport i lättbetong

En hygrotermisk studie av ångdiffusion och vätsketransport i porösa material

The impact of Temperature Gradients on Moisture Transport in Aerated Concrete

A hygrothermal Study of Vapour diffusion and Liquid Transport in Porous Materials

Sami Magouh
Mohamed Babiker

TRITA-ABE-MBT-26306

Sammanfattning

En konstruktion kan drabbas av fuktskador som i sig kan påverka både dess livslängd samt själva inomhusmiljön. Förebyggandet av fuktskador är därför viktigt och kräver en god förståelse för hur fukten lagras och transporteras i byggmaterialet. I porösa material exempelvis lättbetong, blir samspelet mellan fukt och temperatur extremt viktigt då ångdiffusion och vätsketransport sker samtidigt. Idag används förenklade fuktberäkningsmetoder i byggbranschen, som oftast inte tar hänsyn till dessa samverkande mekanismer, vilket kan leda till en felaktig bedömning av fuktrisker.

Syftet med detta arbete har varit att undersöka hur temperaturgradienter påverkar fukttransporten i lättbetong. Arbetet genomfördes genom en kombination av litteraturstudie samt simuleringar i programmet WUFI. Totalt har det gjorts nio simuleringar med tre olika klimatfall samt tre olika materialdata: Tysk referensdata, svensk lättbetong och en hybridmodell av tyska data med svensk sorptionskurva. I samtliga simuleringar fanns ett yttre tätskikt och hög initial relativ fuktighet i lättbetongen på 98%.

Resultaten visade att fukttransportens riktning påverkades av temperaturgradient där ångdiffusion och vätsketransport kunde ske åt olika håll samtidigt, vilket förenklade beräkningsmetoder inte kan beskriva korrekt. Arbetet visade även att vätsketransport har en stor betydelse för uttorkningen och fuktfördelning i lättbetong.

Nyckelord: *Lättbetong, temperaturgradient, fukttransport, ångdiffusion, vätsketransport.*

Abstract

Moisture damage can impact both the lifespan of a structure and the indoor environment itself. Preventing such damage is therefore crucial and requires a deep understanding of how moisture is stored and transported within the building material. In porous materials such as aerated concrete, the interaction between moisture and temperature becomes particularly important, since vapour diffusion and liquid transport occur simultaneously and influence each other. Simplified moisture calculation methods commonly used in the construction industry often neglect these interacting mechanisms, which may lead to inaccurate assessments of moisture risks.

The goal of this study was to investigate how temperature gradients affect moisture transport in aerated concrete. The work was carried out through a combination of literature studies and advanced hygrothermal simulations using the program WUFI. In total, nine simulations were performed using three different material datasets: German reference data, Swedish aerated concrete data and a hybrid model consisting of German material data combined with a Swedish sorption curve. All simulations included an exterior vapour-tight layer and a high initial construction moisture content corresponding to 98% relative humidity.

The results showed that the direction of moisture transport was strongly influenced by temperature gradients, where vapour diffusion and liquid transport could occur simultaneously in opposite directions. This behaviour cannot be accurately described by simplified moisture calculation methods. The study also demonstrated that liquid transport has a significant impact on the drying process and moisture distribution in aerated concrete.

Keywords: *Aerated concrete, temperature gradient, moisture transport, vapour diffusion, liquid transport*

Förord

Med detta examensarbete avslutar vi vår högskoleingenjörsutbildning inom byggteknik och design vid Kungliga Tekniska Högskolan. Examensarbetet motsvarar 15 HP och genomfördes under vårterminen 2026.

Arbetet har varit utmanande men mycket lärorikt, då vi fått möjlighet att fördjupa våra kunskaper inom byggnadsfysik och fukttransport. Ämnesområdet har varit särskilt intressant eftersom vi behandlat ett verkligt problem med stor betydelse för byggnaders funktion och hållbarhet över tid.

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare Anders Kumlin för all vägledning och de intressanta diskussionerna genom hela arbetet. Hans kunskap inom byggnadsfysik och fuktmekanik har varit ovärderlig för arbetets utveckling. Vi vill även tacka vår examinator Gunilla Teofilusson för hennes stöd och värdefulla synpunkter genom examensarbetet.

Arbetet har inneburit många utmaningar men samtidigt gett oss nya kunskaper och insikter som vi kommer att bära med oss vidare i arbetslivet. Vi hoppas att detta examensarbete kan bidra till en bättre förståelse för temperaturgradientens påverkan på fukttransport i lättbetong samt vikten av att använda korrekta beräkningsmetoder i fuktttekniska analyser.

Stockholm juli 2026
Sami Magouh
Mohamed Babiker

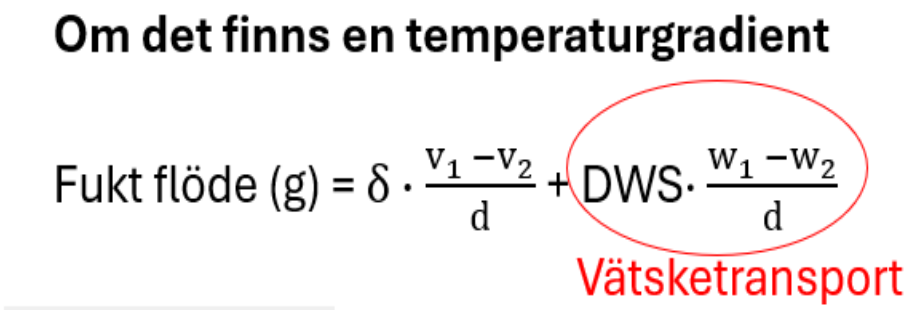
Innehållsförteckning

Sammanfattning iii
Abstract iv
Förord v
Innehållsförteckning vi
1 Introduktion 1
1.1 Bakgrund 1
1.2 Syfte och mål 2
1.3 Avgränsningar 2
2 Litteraturstudie (och teoretisk bakgrund) 3
2.1 Litteraturstudie 3
2.2 Teoretisk bakgrund 3
2.2.1 Lättbetong som byggmaterial 3
2.2.2 Fukt i byggmaterial 4
2.2.3 Fukttransport i material 4
2.2.4 Temperaturgradient 4
2.2.5 Samverkan mellan temperaturgradient och fukttransport 5
2.2.6 Förenklade fuktberäkningsmetoder 6
2.2.7 WUFI som simuleringsverktyg 6
3 Metod 7
3.1 Modelluppbyggnad 7
3.2 Materialmodeller 8
3.2.1 Tyska referensdata 8
3.2.2 Svenska materialdata 9
3.2.3 Hybridmodellen (tyska data med svensk sorptionskurva) 11
3.3 Simuleringsfall 11
4 Resultat 14
4.1 Vatteninnehåll i lättbetong 14
4.2 Ånghalt och vatteninnehåll vid mätpunkterna 0,024m samt 0,026m 22
4.3 Relativ fuktighet 24
4.4 Totalt vatteninnehåll i lättbetong. 27
5 Diskussion och slutsatser 30
5.1 Analys av simuleringsresultat 30
5.1.1 Temperaturgradient 30
5.1.2 Relativ fuktighet 31
5.1.3 Totalt vatteninnehåll 31
5.1.4 Begränsningar 32
5.2 Slutsatser 32

5.3 Fortsatta studier 32
Litteratur 34

1 Introduktion

Fukt är en av de vanligaste orsakerna till skador i byggnader och kan påverka både byggnadens livslängd och inomhusmiljön. Om fuktrelaterade problem inte förebyggs eller åtgärdas kan de leda till mögel, materialnedbrytning och försämrad funktion, vilket gör det viktigt att förstå hur fukt transporteras i byggnadskonstruktioner. I praktiken används ofta förenklade metoder där temperaturgradienters effekter inte alltid beaktas i fuktberäkningar, vilket kan ge en förenklad bild av verkliga förhållanden, särskilt vid stora temperaturskillnader mellan inomhus-och utomhusmiljö. När temperaturen förändras påverkas även förutsättningarna för fukttransport, vilket kan leda till missvisande beräkningar. I denna studie undersöks hur temperaturgradienter påverkar fukttransport i en lättbetongvägg med tätskikt.



Figur 1.1 Bilden visar formeln för fuktflöde (g). När en temperaturgradient tillkommer läggs ett extra bidrag till formel (markerat i rött) som representerar vätsketransport. (Kumlin, 2026).

1.1 Bakgrund

Fukt utgör en betydande utmaning inom byggteknik eftersom den påverkar såväl byggnaders livslängd som inomhusmiljön. Förekomst av fukt kan leda till allvarliga problem såsom mögeltillväxt och materialnedbrytning, vilket i sin tur påverkar byggnadens funktion.

Inom byggteknik används ofta förenklade metoder för att beräkna fukttransport i konstruktioner. En begränsning med dessa metoder är att de enbart använder ånghaltsskillnad som drivkraft för fukttransporten. Om det finns en temperaturgradient över konstruktionen kan det leda till fel om inte vätsketransporten behandlas separat, se figur 1.1. I ytterväggar uppstår temperaturgradienter på grund av temperaturskillnader mellan inomhus och utomhusmiljö, vilket påverkar hur fukt transporteras i konstruktionen. Om temperaturgradienters påverkan inte beaktas i beräkningarna finns risk för missvisande resultat.

1.2 Syfte och mål

Syftet med denna studie är att undersöka hur temperaturgradienter påverkar samspelet mellan ångdiffusion och vätsketransport i lättbetongvägg, samt att utvärdera begränsningar i förenklade beräkningsmetoder. Målet är att påvisa under vilka förhållanden exkludering av vätsketransport leder till missvisande resultat i fukttekniska analyser.

- Under vilka förhållanden kan temperaturgradienter leda till felaktiga fuktberäkningar i lättbetongväggar?
- Hur påverkar förekomsten av en temperaturgradient fukttransportmekanismerna i en lättbetongvägg jämfört med ett tillstånd utan gradient?

1.3 Avgränsningar

Studien avgränsas till en ytterväggskonstruktion bestående av lättbetong med ett tätskikt. Konstruktionen simuleras i denna förenklade form för att begränsa modellens komplexitet. Endast fukttransport genom ångdiffusion och vätsketransport beaktas, vilket innebär att andra mekanismer, såsom fukttransport genom exempelvis luftläckage, inte inkluderas. Detta innebär att resultaten bör tolkas som en förenklad representation av verkliga förhållanden.

Vidare genomförs samtliga simuleringar enbart i WUFI, vilket innebär att resultaten inte jämförs med andra simuleringsverktyg. Att ingen parallell analys har gjorts i andra programvaror är ett medvetet val. Detta är för att helt kunna fokusera på WUFI:s specifika hantering av transportmekanismerna. Denna avgränsning görs för att isolera inverkan av de valda materialparametrarna, utan att lägga till programvarors specifika skillnader i beräkningar. Resultaten bör därför tolkas utifrån de antaganden och begränsningar som följer av vald metod och programvara.

2 Litteraturstudie och teoretisk bakgrund

2.1 Litteraturstudie

Forskning har visat att fukt är en av de främsta orsakerna till skador i byggnadskonstruktioner och kan påverka både byggnadens livslängd och inomhusmiljö (Künzel, 1994; Nevander & Elmarsson, 1994). Forskare inom byggnadsfysik har under lång tid fokuserat på att utveckla effektiva metoder för att analysera fukttransport i konstruktioner. En vanligt förekommande metod är Glaser-metoden, som bygger på stationära beräkningar där klimatförhållanden antas vara konstanta över tid. Studier har dock visat att metoden har begränsningar eftersom den inte beaktar vätsketransport, materialets fuktlagringsförmåga eller varierande klimatförhållanden över tid (Künzel, 2000). Detta innebär att Glaser-metoden kan ge missvisande resultat, särskilt i konstruktioner där flera transportmekanismer samverkar.

Det visade sig vara svårt att hitta relevant tidigare forskning som är tillämpbar på studiens frågeställningar. Detta beror främst på att forskning och beräkningar vanligtvis enbart beaktar ångdiffusion vid analys av fukttransport. Eftersom det saknas specifik litteratur om hur ångdiffusion och vätsketransport samverkar under en temperaturgradient, kommer detta kapitel först att definiera de centrala fuktteknikska begreppen. Detta görs för att skapa ett tydligt teoretiskt underlag till rapportens efterföljande analys.

2.2 Teoretisk bakgrund

2.2.1 Lättbetong som byggmaterial

Skumbetong, lättballastbetong och autoklaverad lättbetong är idag tre vanligt förekommande varianter av lättbetong.
Skumbetong består av vatten, sand, cement och skumbildare. Materialets porstruktur bidrar till begränsad kapillär stigning samt god värmeisoleringsförmåga, vilket under normala förhållanden kan minska risken för fuktrelaterade problem såsom mögelpåväxt (Skumbetong, u.å.).

Lättballastbetong skapas genom att traditionell ballast byts ut mot lättare material som till exempel cellplast eller lättklinker. Detta gör att lättballastbetongens egenvikt reduceras till ungefär hälften av vanlig betong, vilket underlättar gjutningsarbetet och bidrar till bättre arbetsmiljö (SBUF, u.å.).

Autoklaverad lättbetong är ett poröst byggmaterial som består huvudsakligen av kalk, cement, vatten och sand. Materialet utvecklades i Sverige under 1920-talet med syftet att skapa ett energieffektivt byggmaterial med bättre värmeisoleringsförmåga än traditionell betong och tegel (Ekobyggportalen, u.å.). Autoklaverad lättbetong tillverkas genom ånghärdning under högt tryck och temperatur i autoklav och är den typ av lättbetong som studeras i detta arbete. När materialet är färdigtillverkat är det väldigt fuktigt och behöver därför torka innan det används i en konstruktion.

2.2.2 Fukt i byggmaterial

Alla byggmaterial har en viss mängd fukt i sig, även när de upplevs torra. Materialets porositet, det vill säga mängden och storleken på dess hålrum som finns i material, är det som avgör hur mycket fukt som kan lagras i ett material. Lättbetong är ett mycket poröst material, vilket innebär att den lagrar mycket fukt till skillnad från vanlig betong som är ett mer kompakt material, (MDPI, 2024).

Fukt i material delas upp i 3 former:

- **Kapillärt vatten**: Flytande vatten som fyller materialets porer
- **Adsorberad fukt**: Ett tunt lager av vätska som bildas på porernas ytor när vattenånga i luften söker sig till och binds vid materialet.
- **Kemiskt bunden fukt:** Fukt som redan sitter fast i materialets struktur

Mängden fukt i materialet påverkas främst av dess omgivning, bland annat från luftens temperatur och relativa fuktighet (MDPI, 2024).

2.2.3 Fukttransport i material

Fukttransport i byggmaterial sker genom att fukt rör sig från ett fuktigare område till ett relativt torrt område. I porösa material, som exempelvis lättbetong, sker transporten genom huvudsakligen två mekanismer: **vätsketransport och ångdiffusion** (Fuktsäkerhet, u.å.).

2.2.3.1 Vätsketransport (Kapillärtransport)

Vätsketransport är fukt i flytande form som rör transporteras i materialets kapillärsystem. Transporten drivs av kapillärkrafter som tar upp vattnet i materialet och eftersom lättbetong har hög porositet så är det extra viktigt att ta hänsyn till vid hög fukthalt, (Fuktsäkerhet, u.å.).

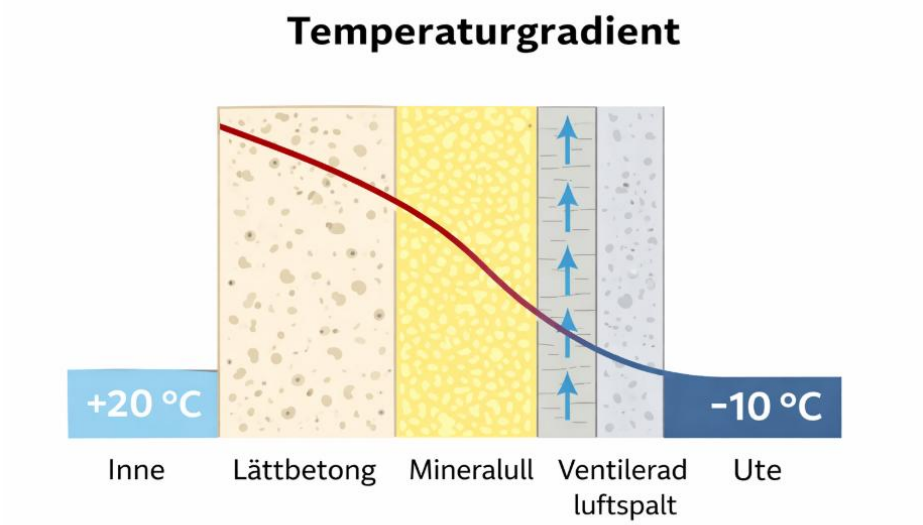
2.2.3.2 Ångdiffusion

Ångdiffusion innebär att fukt i gasform rör sig genom materialets porer på grund av skillnader i ånghalt. Naturen vill ha balans och vattenångan strävar då efter att jämna ut ånghalts skillnader, vilket innebär att fukten transporteras från högre ånghalt till lägre (Fuktsäkerhet, u.å.). Under denna transportprocess interagerar ångan ständigt med porsystemet, där vattenmolekyler binds till porväggarna och kondenserar till flytande vätska. Materialets tjocklek och dess unika ångdiffusionsmotstånd avgör hur stort detta fuktflöde blir.

2.2.4 Temperaturgradient

Temperaturgradient är förändringen av temperatur över ett visst avstånd. I praktiken så uppstår det nästan alltid eftersom inomhustemperaturen är kring 20°C och skiljer sig från utomhustemperaturen. I förenklade beräkningsmetoder antas ofta en konstant temperatur genom konstruktionen, vilket inte stämmer med verkligheten då temperaturgradienten förändras konstant beroende på utomhustemperatur (Thermocell, u.å.).

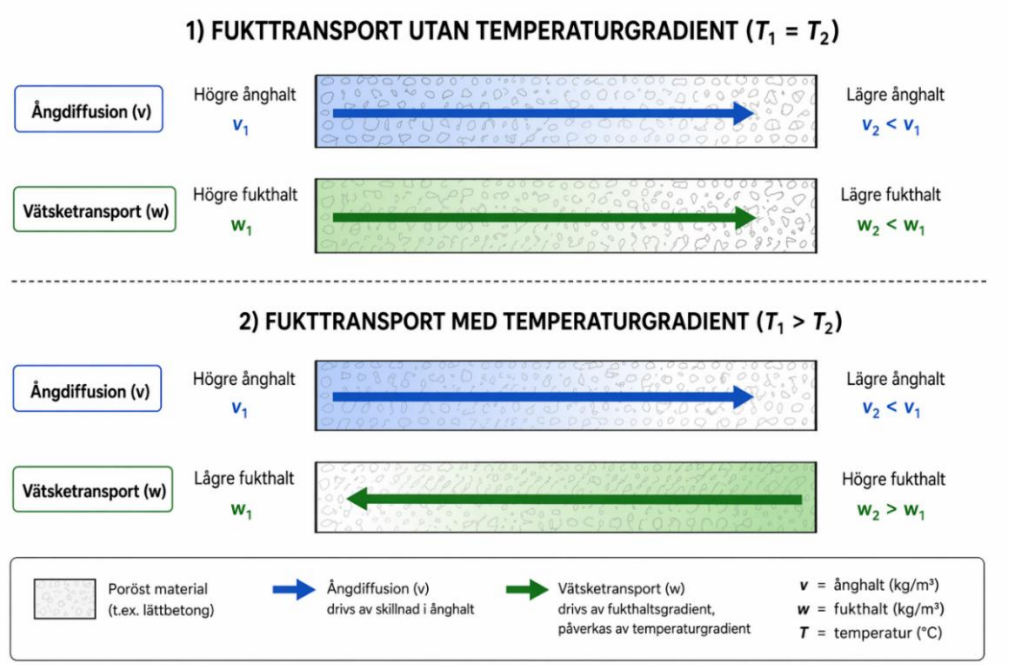
I vissa material blir förekomsten av en temperaturgradient extra intressant och viktigt att ha i beaktande, som i exempelvis lättbetong. Eftersom när temperaturen sjunker genom ytterväggen från den varma insidan till den kalla utsidan så förändras även luftens förmåga att bära fukt inuti själva väggen. Ju kallare det blir, desto svårare blir det för fukten att hålla sig i gasform. Detta leder till att den relativa fuktigheten stiger inuti lättbetongens porer, vilket också ökar risken för kondens inne i väggen (Kondensteknik, u.å.).



Figur 2.2.4.1: *exempel på en temperaturgradient genom en väggkonstruktion (Magouh & Babiker, 2026).*

2.2.5 Samverkan mellan temperaturgradient och fukttransport

I lättbetong är samspelet mellan temperaturgradient och fukttransport extra tydligt på grund av de öppna porer som snabbt tillåter både ångdiffusion och vätskeomfördelning. Så fort en temperaturgradient uppstår i en väggkonstruktion av lättbetong så skapas ett samspel som påverkar fuktens rörelse på flera olika sätt. Det beror mestadels på att skillnaden i temperatur fungerar som en drivkraft där vattenångan tvingas mot den kalla sidan av en vägg, vilket leder till risk för kondensation. När kondensation sker omfördelar materialet fukten mot den torrare sidan (Fuktsäkerhet, u.å.). När beräkningsmetoder inte tar hänsyn till temperaturgradientens påverkan, riskeras det att missa hur dessa krafter samverkar. Detta kan leda till felaktiga slutsatser när det gäller hur snabbt materialet torkar och var fukten samlas.



Figur 2.6.1: *Bilden visar hur både ångdiffusion och vätsketransport rör sig i ett poröst material. Utan temperaturgradient går båda transportmekanismer i samma riktning, medan när temperaturgradient införs så sker vätsketransporter i motsatt riktning mot ångdiffusion (Magouh & Babiker, 2026).*

2.2.6 Förenklade fuktberäkningsmetoder

Inom byggbranschen används förenklade metoder för bedömning av risk för fuktskador. Den populäraste är Glaser-metoden som fokuserar främst på ångdiffusion för att kontrollera om kondens uppstår inuti konstruktionen under specifika förhållanden (Thermocell, u.å.). Metoden utgår från att utomhustemperaturen är konstant och tar inte hänsyn till vätsketransport, vilket inte helt återspeglar verkligheten, särskilt inte i porösa material där transportmekanismer samverkar.

2.2.7 WUFI som simuleringsverktyg

WUFI är ett avancerat simuleringsprogram som används för att beräkna hur både värme och fukt rör sig i en konstruktion under verkliga förhållanden (WUFI, u.å.). WUFI utför dynamiska simuleringar vilket innebär att simuleringarna tar hänsyn till klimatförhållanden timme för timme och förändringarna av materialens egenskaper. Andra fördelar med WUFI-programmet är hantering av andra brister som Glaser-metoden inte tar med, till exempel inkludering av faktorer som vätsketransport, verkliga klimatdata (sol, regn, vind) samt materialets förmåga att lagra fukt över tid (WUFI, u.å.).

3 Metod

Arbetet genomfördes med hänsyn till en kombination av litteraturstudier och WUFI-simuleringar. Syftet med litteraturstudien var att skapa en teoretisk förståelse för fukttransport i lättbetongen samt temperaturgradientens påverkan på materialet. Undersökningens huvudmetod utgjordes dock av simuleringar som utfördes i WUFI. Simuleringarna gjordes för att analysera hur olika materialdata och randvillkor påverkar fukttransporten samt att undersöka de skillnader som uppstår mellan förenklade och mer avancerade fuktberäkningsmetoder. Samtliga figurer är framtagna av författarna i WUFI.

3.1 Modelluppbyggnad

Samtliga WUFI-simuleringar utfördes på en homogenlättbetongskonstruktion med ett tätskikt. Simuleringarna baserades på följande indata:

- 200mm tjock
- Densitet: 500 kg/m^3
- Initial fukthalt (byggfukt): 98% RF

Analysen av fuktfördelning gjordes genom att placera två mätpunkter i konstruktionen som var 20mm från både in- och utsidan, det vill säga 0,02m samt 0,18m från utsidan. Placeringen är viktig för att jämförelsen ska bli korrekt och för att undvika randpåverkan från ytskikten, och för att samtidigt kunna representera fuktförhållanden nära respektive sida.

Vid utsidan av samtliga konstruktioner applicerades ett mycket ångtätt skikt i form av takpapp av bitumen med aluminiumskikt, där Sd-värde [m] = 1000. Syftet var att begränsa uttorkning mot utsidan samt att tydligt kunna visa riktningen av fukttransporten inom lättbetongen.

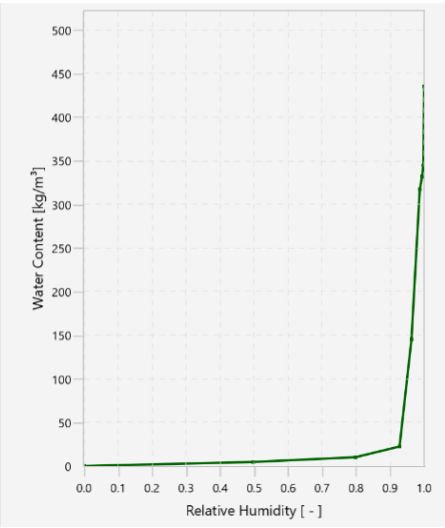
3.2 Materialmodeller

3.2.1 Tyska referensdata

WUFI:s standardlättbetong användes som referens, modellens har följande egenskaper:

- Sorptionskurva enligt standarddata:
  - 0% → 0 kg/m³
  - 50% → 4,2 kg/m³
  - 80% → 9,8 kg/m³
  - 93% → 22 kg/m³
  - 96.4% → 145 kg/m³
  - 99% → 316 kg/m³
  - 99.5% → 332 kg/m³
  - 99.9% → 334 kg/m³
  - 100% → 435 kg/m³
- Aktiv vätsketransport (suction och redistribtuion)
- Konstant ångdiffusionsmotstånd: μ = 8

No.	RH [-]	Water Content [kg/m³]
1	0	0
2	0.5	4.2
3	0.8	9.8
4	0.93	22
5	0.964	145
6	0.99	316
7	0.995	332
8	0.999	344
9	1	435



Figur 3.2.1: *visar sorptionskurvan för tyska referensdata. x-axeln visar relativa fuktighet och y-axeln visar fukthalt i kg/m³.. Genom att dra ett sträck från båda håll kan fukthalten tas fram vid en viss RF (Magouh & Babiker, 2026).*

3.2.2 Svenska materialdata

Syftet med den svenska lättbetongen var att efterlikna glasermetoden som enbart tar hänsyn till ångdiffusion. Svenska lättbetongdata finns inte som standard i WUFI och manuell modifiering gjordes på den tyska modellen, följande ändringar genomfördes i programmet:

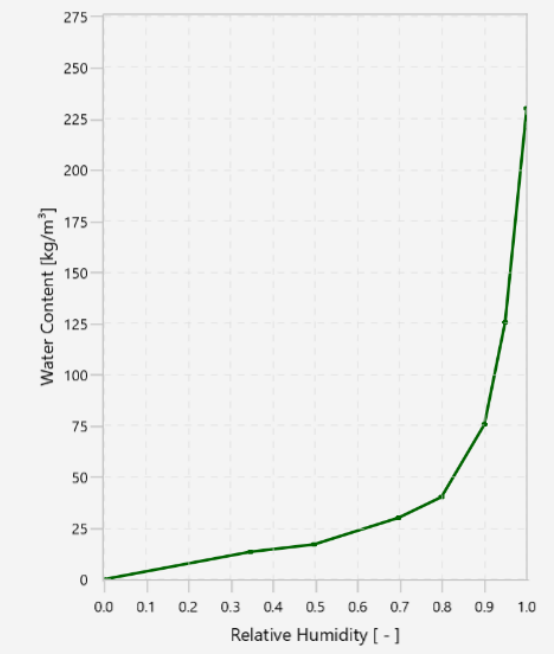
- Sorptionskurva enligt standarddata:
  - 0% → 0 kg/m^3
  - 35% → 13 kg/m^3
  - 50% → 17 kg/m^3
  - 70% → 30 kg/m^3
  - 80% → 40 kg/m^3
  - 90% → 75 kg/m^3
  - 95% → 125 kg/m^3
  - 100% → 230 kg/m^3
- Vätsketransport suction och redistribution nollställdes

Beräkning av ångdiffusionsmotstånd gjordes genom att använda sambandet mellan diffusionsmotståndstalet μ, diffusionskoefficienten δ och luftens diffusionskoefficient som är lika med 25 x 10^{-6}m^2/s. formeln blir följande: $\mu = \frac{25 \times 10^{-6} \mathrm{m}^2/\mathrm{s}}{\delta}$

Lättbetongens ångpermeabilitet δ hämtades från en sammanställningstabell från Anders Kumlin.

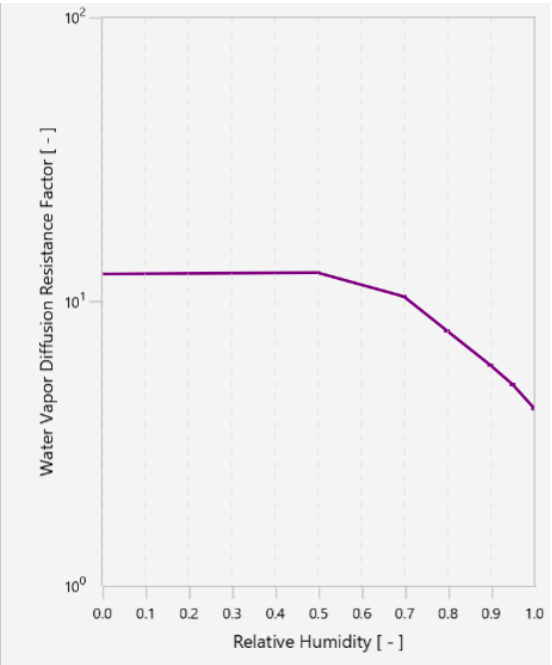
- Ångdiffusionsmotstånd (μ-värde) för olika RF-nivåer blir:
  - 0–50% RF har δ = 2.0 x 10^{-6} → μ = 12.5
  - 70% RF har δ = 2.4 x 10^{-6}→ μ = 10.4
  - 80% RF har δ = 3.2 x 10^{-6}→ μ = 7.8
  - 90% RF har δ = 4.2 x 10^{-6}→ μ = 5.95
  - 95% RF har δ = 4.9 x 10^{-6}→ μ = 5.1
  - 100% RF har δ = 6.0 x 10^{-6}→ μ = 4.2

No.	RH [-]	Water Content [kg/m³]
1	0	0
2	0.35	13
3	0.5	17
4	0.7	30
5	0.8	40
6	0.9	75
7	0.95	125
8	1	230



Figur 3.2.2: *visar sorptionskurvan för svensk lättbetong. X-axeln visar relativa fuktighet och y-axeln visar fukthalt i kg/m³ (Magouh & Babiker, 2026).*

No.	RH [-]	μ-Value [-]
1	0	12.5
2	0.5	12.5
3	0.7	10.4
4	0.8	7.8
5	0.9	5.95
6	0.95	5.1
7	1	4.2



Figur 3.2.3: *visar ånggenomgångsmotståndet som funktion av relativa fuktigheten baserat på svensk lättbetong data (Magouh & Babiker, 2026).*

3.2.3 Hybridmodellen (tyska data med svensk sorptionskurva)

I modellen användes tyska referensmodellen, men ersattes med svensk sorptionskurva, övriga parametrar oförändrade. Syftet här var att se hur fukttransport ser ut när enbart sorptionskurvan modifierades, och när ångdiffusionsmotståndet är konstant.

3.3 Simuleringsfall

I undersökningen genomfördes nio simuleringar, uppdelad i tre klimatfall:

1. Utan temperaturgradient

Syftet här var att undersöka fukttransportens påverkan av utebliven temperaturgradient och materialegenskaper. Följande värden användes:

- Utomhus: 20 °C och 50% RF
- Inomhus: 20 °C och 50% RF
- Inget slagregn
- Ingen solinstrålning
- Tätskikt: Bitumen med aluminumskikt (Sd-värde [m] = 1000)

2. Med temperaturgradient

Här analyseras temperaturgradientens inverkan, följande konstanta randvillkor (”User Defined”) användes:

- Utomhus: -10 °C och 80% RF
- Inomhus: 20 °C och 50% RF
- Inget slagregn
- Ingen solstrålning
- Tätskikt: Bitumen med aluminiumskikt (Sd-värde [m] = 1000)

3. Stockholmsklimat (Takfall)

Detta fall ska representera ett tak med mer realistiska klimatförhållanden.

- Utomhus: Stockholms klimat
- Inomhus: ISO 13788 (Stockholm), medeltemperatur 22 °C och fuktklass 1
- Tätskikt: Bitumen med aluminiumskikt (Sd-värde [m] = 1000)

3.4 Simuleringsinställningar

Alla nio simuleringar genomfördes med 200mm tjock lättbetong och identiska randvillkor, där endast klimatfall och materialdata varierade. Simuleringsperiod på fem år (oktober 2026-oktober 2031) gjordes för att få mer precision och säkerställt underlag.

3.5 Resultatbearbetning

Följande data togs ut från WUFI:

1. Relativ fuktighet

För samtliga simuleringar användes två kameror på identiska positioner för att ta ut fuktdata för dessa specifika mätpunkter.

- Vid 0,02m (nära utsida/tätskikt)
- Vid 0,18m (nära insida)

Syftet med 20mm placering in i lättbetongen från båda håll är att säkerställa att resultaten inte påverkas av ytliga störningar, samtidigt som avståndet är tillräcklig för att ge representativ avläsning av fukttillståndet. Två ytterligare mätpunkter vid 0,024m samt 0,026m gjordes för att få riktningen på ångdiffusion och vätsketransport på ett kortare avstånd.

2. Fuktprofiler

Syftet här är att analysera fuktfördelningen både vid början och efter en lång period. Profiler genererades vid följande datum:

- 1 januari 2027 (Efter tre månader)
- Oktober 2031 (efter 5 år)

3. Totalt vatteninnehåll

För att analysera uttorkningsförloppet så togs det fram grafer över total vattenmängd i konstruktionen över en tidsperiod på fem år.

3.6 Bearbetning av data i excel

Samtliga RF resultat exporterades från WUFI och sammanställdes i ett excel-dokument där följande diagram skapades:

- RF vid insida (Utan temperaturgradient)
- RF vid tätskikt (Utan temperaturgradient)
- RF vid insida (Med temperaturgradient)
- RF vid tätskikt (Med temperaturgradient)
- RF vid insida (Takfall)
- RF vid tätskikt (Takfall)

Till varje diagram finns tre kurvor:

- Tyska referensdata
- Svensk lättbetong
- Hybridmodell (Tyska data med svensk sorptionskurva)

X-axel visar tid över 5 år (var tredje månad) och y-axel visar relativa fuktighet i procent.

3.7 Beräkning av ånghalt och fukthalt.

För att få fram ånghalt används sambanden mellan mättnadsånghalten v_s (som beror på temperaturen) och relativa fuktighet. Formeln för att räkna ut ånghalten blir v = RF $\cdot$ v_s där:

- v = ånghalt [g/m^3]
- RF = relativ fuktighet [-]
- v_s = mättnadsånghalt vid specifik temperatur [g/m^3]

Ånghalten beräknades vid mätpunkterna 0,024m och 0,026m i samtliga simuleringar för att få fram riktningen på ångdiffusionen. Fukthalten togs fram genom att analysera den relativa fuktigheten i dessa mätpunkter och se dess motsvarighet i sorptionskurvan.

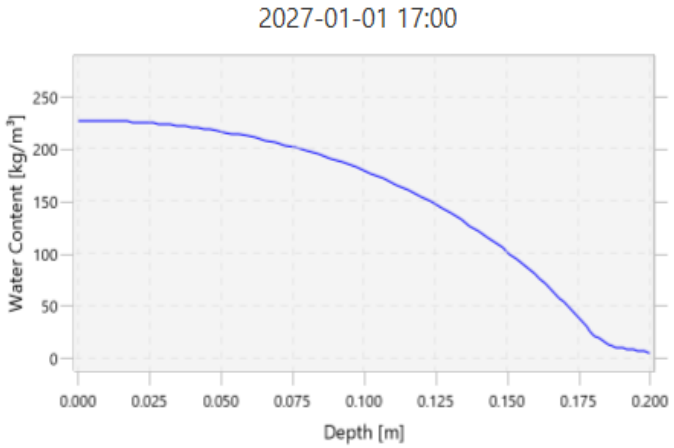
4 Resultat

Resultaten från de genomförda WUFI-simuleringarna presenteras i detta kapitel. Resultaten redovisas genom figurer som visar vatteninnehåll, relativ fuktighet, temperatur och ånghalt i lättbetongen för de olika simuleringsfallen. Samtliga figurer är framtagna av författarna i WUFI.

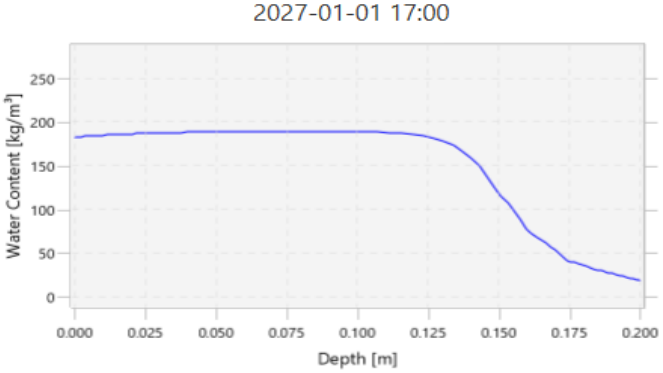
4.1 Vatteninnehåll i lättbetong

I detta avsnitt visas vatteninnehållet som funktion av position i lättbetongen. Data har tagits fram vid två olika tidpunkter. Efter tre månader samt efter fem år. Y-axeln visar vatteninnehållet och x-axeln visar position av lättbetong. Utsida av lättbetong visas till vänster i x-axeln (0,000m) och insida till höger (0,200m). I samtliga simuleringar sattes RF inomhus till 50% och i lättbetongen till 98%.

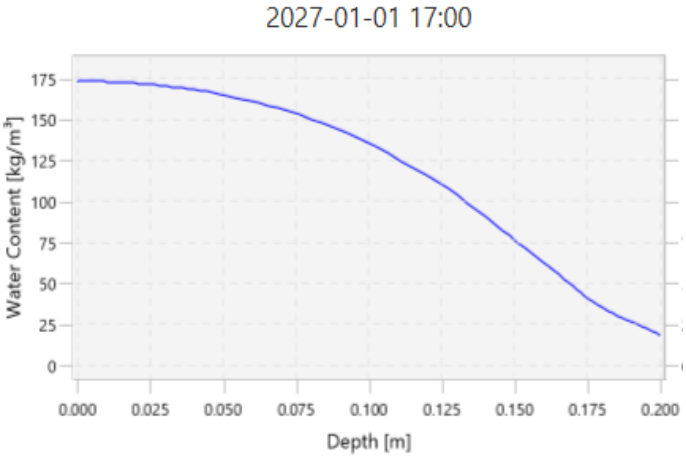
Ingen temperaturgradient



Figur 4.1.1: *visar vatteninnehållet som funktion av position i lättbetong efter 3 månader. I denna simulering användes tysk standard data. Inomhustemperatur 20°C och utomhustemperatur 20°C (Magouh & Babiker, 2026).*



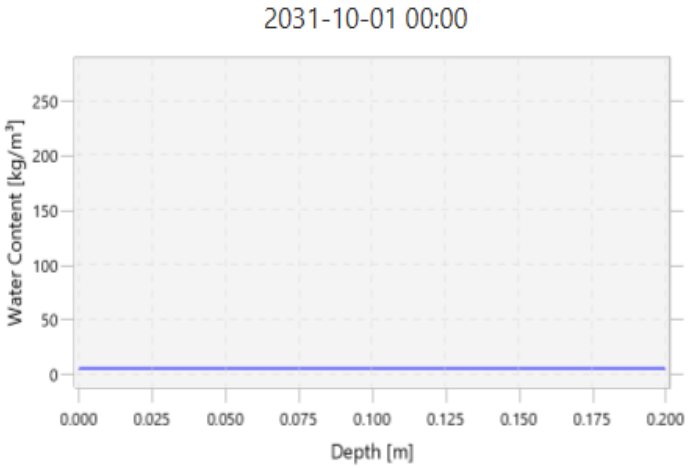
Figur 4.1.2: *visar vatteninnehållet som funktion av position i lättbetong efter tre månader. I denna simulering användes tysk standard data där μ-värdet och sorptionskurva modifierats till svensk standard. Ingen vätsketransport. Inomhustemperatur 20°C och utomhustemperatur 20°C (Magouh & Babiker, 2026).*



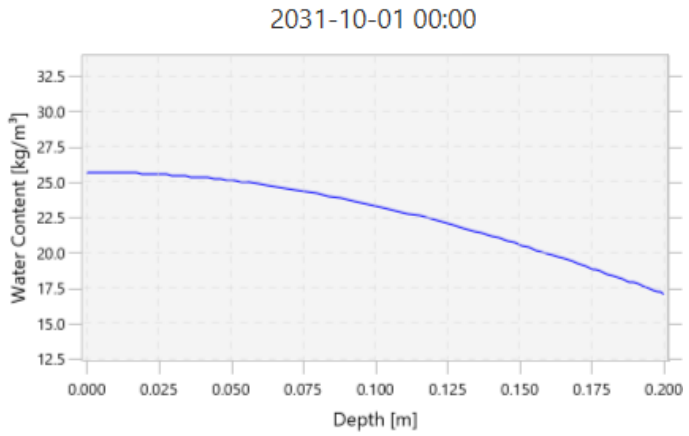
Figur 4.1.3: *visar vatteninnehållet som funktion av position i lättbetong efter 3 månader. I denna simulering användes tysk standard data där endast sorptionskurvan ändrats till svenskstandard. Inomhustemperatur 20°C och utomhustemperatur 20°C (Magouh & Babiker, 2026).*

Efter tre månader kan det observeras i diagrammet i figur 4.1.1 att tyska data och hybridmodellen (figur 4.1.3) har en relativt jämn minskning av vatten längs lättbetongen. Grafen i dessa figurer indikerar på att utsidan fortfarande är fuktig, medan insidan torkar ut.

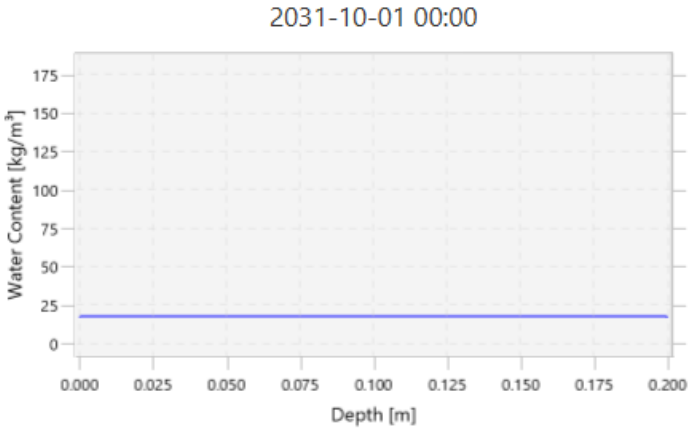
Kurvan i figur 4.1.2 med svenska lättbetongen visar en ojämn uttorkning. Större delen av lättbetongen är fortfarande väldigt fuktig, endast en del vid insidan har torkat.



Figur 4.1.4*: visar vatteninnehållet som funktion av position i lättbetong efter 5 år. I denna simulering användes tysk standard data. Inomhustemperatur 20°C och utomhustemperatur 20°C (Magouh & Babiker, 2026).*



Figur 4.1.5: *visar vatteninnehållet som funktion av position i lättbetong efter 5 år. I denna simulering användes tysk standard data där μ-värdet och sorptionskurva modifierats till svensk standard. Ingen vätsketransport. Inomhustemperatur 20°C och utomhustemperatur 20°C (Magouh & Babiker, 2026).*

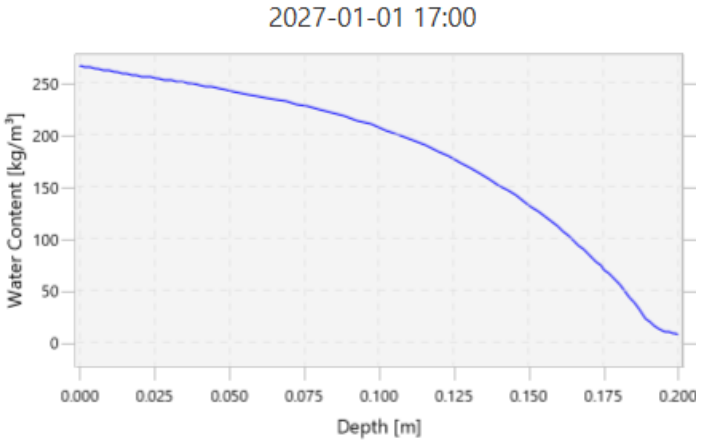


Figur 4.1.6: *visar vatteninnehållet som funktion av position i lättbetong efter 5 år. I denna simulering användes tysk standard data där endast sorptionskurvan ändrats till svenskstandard. Inomhustemperatur 20°C och utomhustemperatur 20°C (Magouh & Babiker, 2026).*

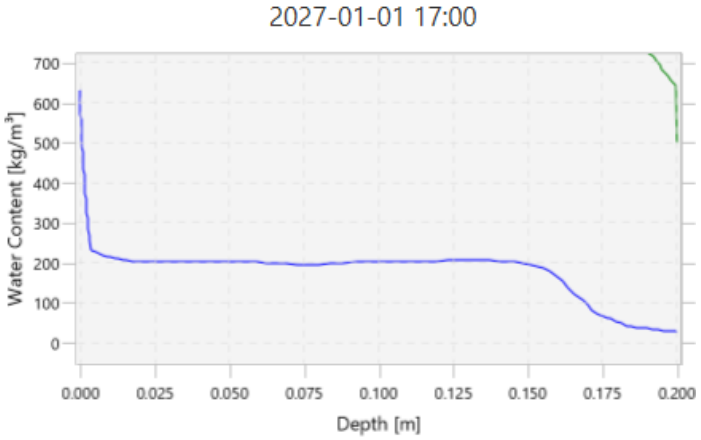
Efter 5-års simulering visar graferna för tyska data (figur 4.1.4) och hybridmodellen (figur 4.1.6) en tydlig uttorkning genom hela lättbetongen. Svensk lättbetong (figur 4.1.5) är i princip torr. Insidan har torkat ut men utsidan har en del fukt kvar.

Med temperaturgradient och konstant klimat

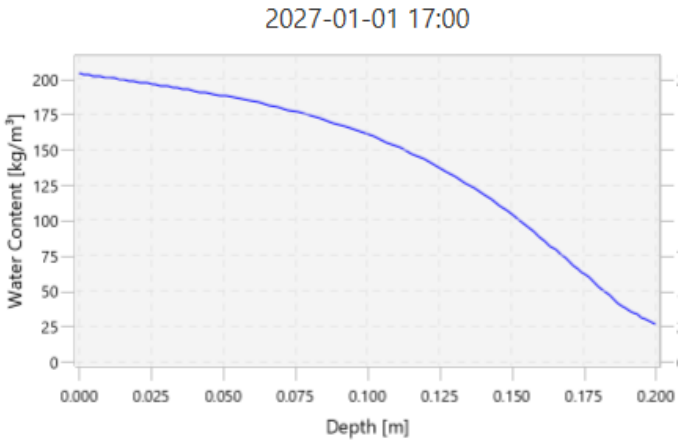
I denna simulering har endast utomhustemperaturen ändrats till -10°*C* för att se hur temperaturgradient påverkar fukttransport.



Figur 4.1.7: *visar vatteninnehållet som funktion av position i lättbetong efter 3 månader. I denna simulering användes tysk standard data. Inomhustemperatur 20°C och utomhustemperatur -10°C (Magouh & Babiker, 2026).*



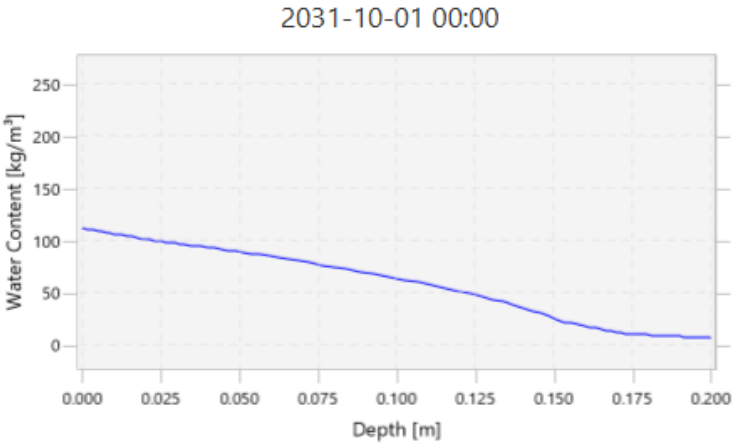
Figur 4.1.8: *visar vatteninnehållet som funktion av position i lättbetong efter tre månader. I denna simulering användes tysk standard data där μ-värdet och sorptionskurva modifierats till svensk standard. Ingen vätsketransport. Inomhustemperatur 20°C och utomhustemperatur -10°C (Magouh & Babiker, 2026).*



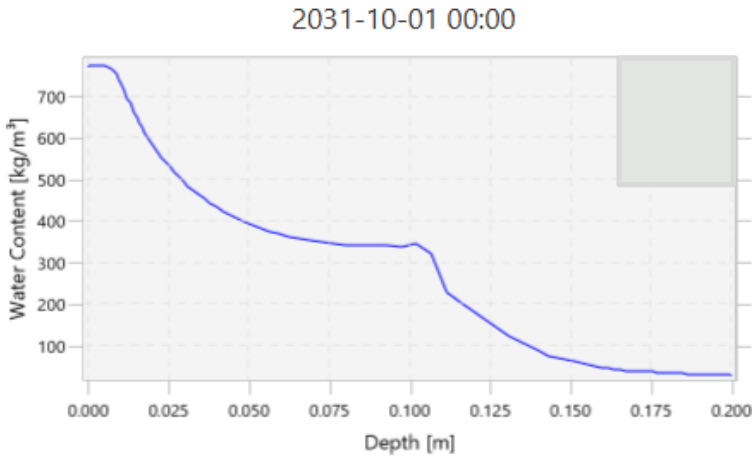
Figur 4.1.9: *visar vatteninnehållet som funktion av position i lättbetong efter 3 månader. I denna simulering användes tysk standard data där endast sorptionskurvan ändrats till svenskstandard. Inomhustemperatur 20°C och utomhustemperatur -10°C (Magouh & Babiker, 2026).*

Efter cirka tre månader så visar resultaten (figur 4.1.7) för lättbetong med tyska data och hybridmodellen (figur 4.1.9) en relativt jämn uttorkning längs lättbetongen. Likt föregående experiment är utsidan fuktig medan insidan torkar ut.

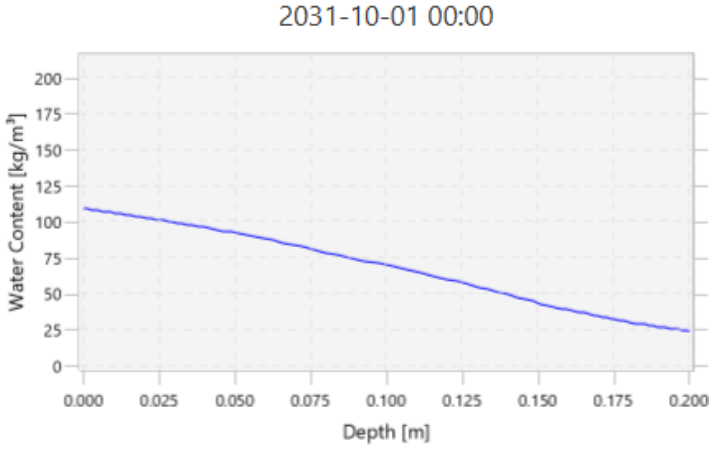
För svensk lättbetong i (figur 4.1.8) visar diagrammet en markant vattenökning, där mer än hälften av lättbetongen uppvisar höga fuktnivåer. Endast insidan av lättbetongen uppvisar tecken på uttorkning.



Figur 4.1.10: *visar vatteninnehållet som funktion av position i lättbetong efter 5 år. I denna simulering användes tysk standard data. Inomhustemperatur 20°C och utomhustemperatur -10°C (Magouh & Babiker, 2026).*



Figur 4.1.11: *visar vatteninnehållet som funktion av position i lättbetong efter 5 år. I denna simulering användes tysk standard data där μ-värdet och sorptionskurva modifierats till svensk standard. Ingen vätsketransport. Inomhustemperatur 20°C och utomhustemperatur -10°C (Magouh & Babiker, 2026).*



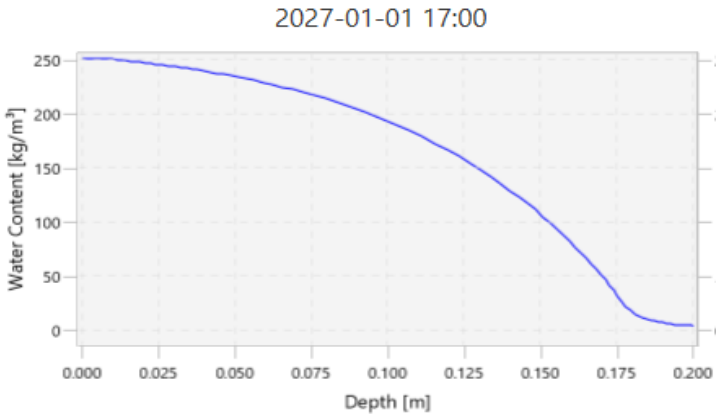
Figur 4.1.12: *visar vatteninnehållet som funktion av position i lättbetong efter 5 år. I denna simulering användes tysk standard data där endast sorptionskurvan ändrats till svenskstandard. Inomhustemperatur 20°C och utomhustemperatur -10°C (Magouh & Babiker, 2026).*

Dessa grafer visar vatteninnehållet efter fem år. I figur 4.1.10 och figur 4.1.12 visar diagrammen en betydlig minskning av vatten vid utsidan. Diagrammen visar en jämn minskning av vatten från utsida till insida.

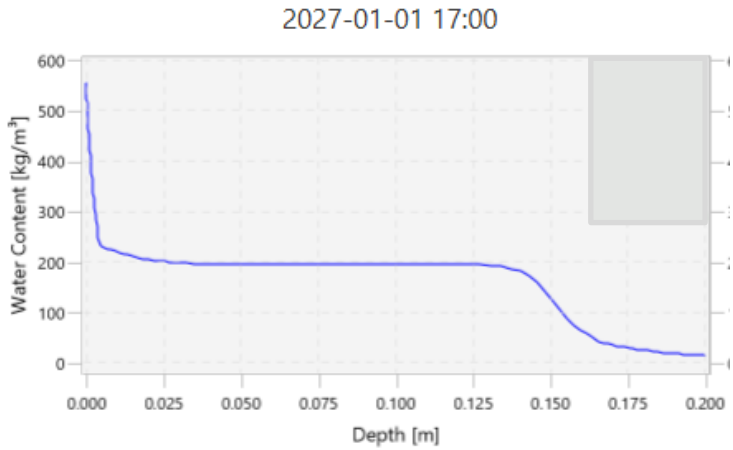
I figur 4.1.11 så avviker diagrammet jämfört med de andra två fallen. Efter fem år har större delen av lättbetongen fuktats upp. Endast insida visar tecken på uttorkning.

Med temperaturgradient och varierande klimat

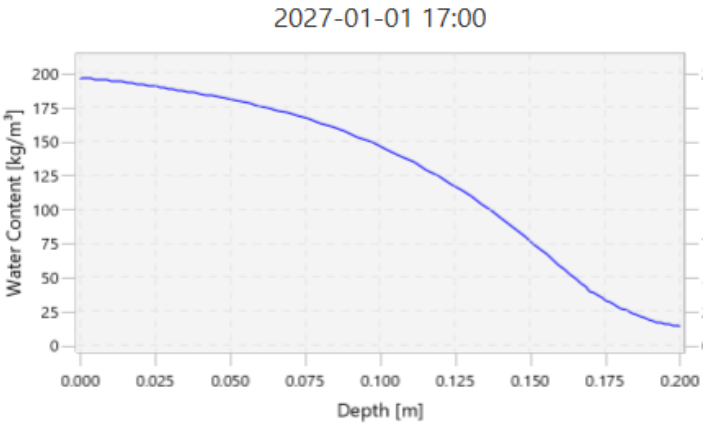
I denna simulering användes stockholmskt utomhusklimat och för inomhus klimat har ett fukttillskott på 2 g/m³ tillämpats.



Figur 4.1.13: *visar vatteninnehållet som funktion av position i lättbetong efter 3 månader. I denna simulering användes tysk standard data. I denna simulering användes stockholmskt utomhusklimat och som inomhusklimat ett fukttillskott på 2 g/m³ (Magouh & Babiker, 2026).*

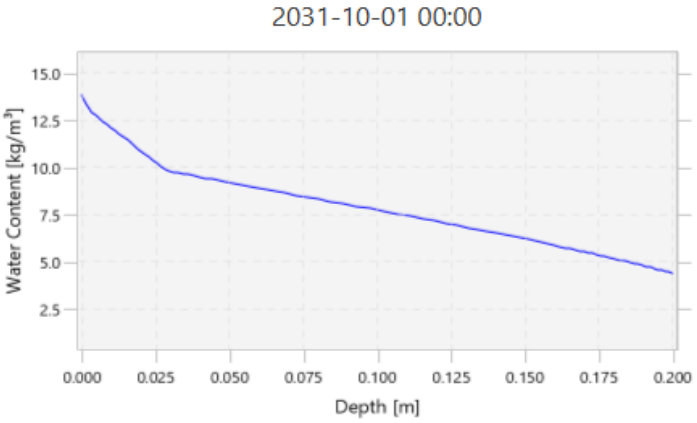


Figur 4.1.14: *visar vatteninnehållet som funktion av position i lättbetong efter 3 månader. I denna simulering användes tyska standard data där μ-värdet och sorptionskurvan ändrats till svensk standard. Ingen vätsketransport. I denna simulering användes stockholmskt utomhusklimat och som inomhusklimat ett fukttillskott på 2 g/m³ (Magouh & Babiker, 2026).*

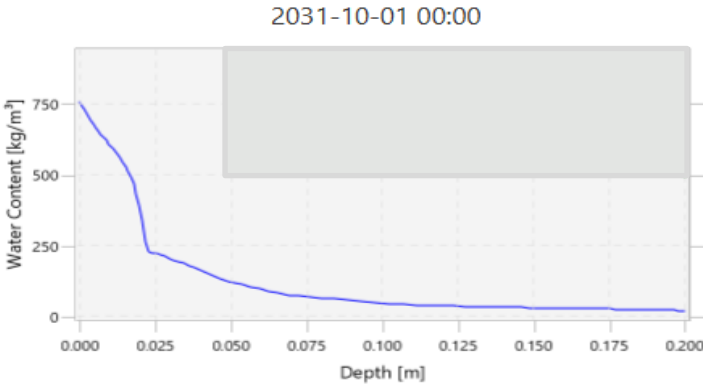


Figur 4.1.15 *visar vatteninnehållet som funktion av position i lättbetong efter 3 månader. I denna simulering användes tysk standard data där sorptionskurvan ändrats till svensk standard. I denna simulering användes stockholmskt utomhusklimat och som inomhusklimat ett fukttillskott på 2 g/m³ (Magouh & Babiker, 2026).*

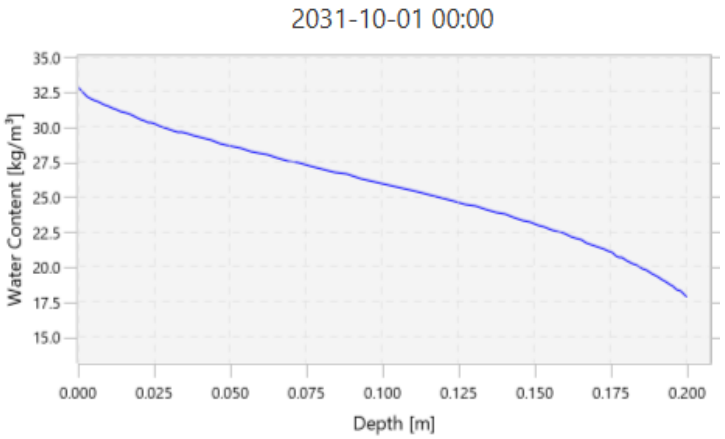
Efter cirka tre månader så visar resultaten i figur 4.1.13 och figur 4.1.15 en relativt jämn uttorkning längs lättbetongen. Likt föregående simulering är utsidan fuktig medan insidan torkar ut. I figur 4.1.14 visar diagrammet att utsida är extremt fuktig. Mer än hälften av lättbetongen uppvisar höga fuktnivåer. Endast insidan av lättbetongen uppvisar tecken på uttorkning.



Figur 4.1.16 *visar vatteninnehållet som funktion av position i lättbetong efter 5 år. I denna simulering användes tysk standard data. I denna simulering användes stockholmskt utomhusklimat och som inomhusklimat ett fukttillskott på 2 g/m³ (Magouh & Babiker, 2026).*



Figur 4.1.17: *visar vatteninnehållet som funktion av position i lättbetong efter 5 år. I denna simulering användes tyska standard data där μ-värdet och sorptionskurvan ändrats till svensk standard. Ingen vätsketransport. I denna simulering användes stockholmskt utomhusklimat och som inomhusklimat ett fukttillskott på 2 g/m³ (Magouh & Babiker, 2026).*



Figur 4.1.18: *visar vatteninnehållet som funktion av position i lättbetong efter 5 år. I denna simulering användes tysk standard data där sorptionskurvan ändrats till svensk standard. I denna simulering användes stockholmskt utomhusklimat och som inomhusklimat ett fukttillskott på 2* g/m³ *(Magouh & Babiker, 2026).*

Här kan det observeras att i figur 4.1.16 och figur 4.1.18 så är lättbetongen i princip torr. Ingen stor skillnad i vatteninnehåll mellan insida och utsida. Diagrammen i dessa fall visar en jämn minskning av vatteninnehåll från utsida till insida.

I figur 4.1.17 visar grafen att efter fem år så har utsidan blivit extremt fuktig medan insidan torkar ut. Kurvan är extremt brant vid utsidan och planar ut längre in i betongen.

4.2 Ånghalt och vatteninnehåll vid mätpunkterna 0,024m samt 0,026m

Undersökningen av riktning på ångdiffusion och vätsketransport gjordes genom att analysera två mätpunkter nära varandra i lättbetongen, vid 0,024m och 0,026m från utsidan. v_1 och w_1 beskriver punkten 0,026m medan v_2 och w_2 beskriver 0,024m. ånghalten v beräknades enligt sambandet v = RF x v_s, där mättnadsånghalten v_s är beroende av temperaturen i respektive

mätpunkter och värden hämtades från en tabell i byggfysikboken (Johanneson & Vretblad, 2011).

Simuleringar utan temperaturgradient (se Fall 1–3 nedan) visar att fukthalten och ånghalten i samtliga fall var större vid 0,024m än 0,026m, det vill säga $v_2 > v_1$ och $w_2 > w_1$. Detta innebär att vätsketransport och ångdiffusion sker i samma riktning.

Fall 1 – Tysk referensdata utan temperaturgradient gav v_1 = 16,87 g/m^3 och v_2 = 16,89 g/m^3, medan vatteninnehållet w_1= 221,5 kg/m^3 och w_2= 222 kg/m^3.

Fall 2 – Svensk lättbetong utan temperaturgradient gav v_1 = 16,91 g/m^3 och v_2 = 16,93 g/m^3, medan vatteninnehållet w_1 = 186,25 kg/m^3 och w_2 = 186,6 kg/m^3.

Fall 3 – Hybridmodell utan temperaturgradient gav v_1 = 16,80 g/m^3 och v_2 = 16,82 g/m^3, medan vatteninnehållet w_1 = 170,4 kg/m^3 och w_2 = 170,75 kg/m^3.

Simuleringar med en temperaturgradient (Fall 4–6) visar att vätsketransport fortfarande sker i samma riktning. Dock blev ånghalten större i punkt 0,024m än 0,026m vilket betyder att ånga diffunderar i motsatt riktning.

Fall 4 – Tysk referensdata med temperaturgradient gav v_1 = 3,12 g/m^3 och v_2 = 3,09 g/m^3, medan vatteninnehållet w_1 = 254 kg/m^3 och w_2 = 255 kg/m^3.

Fall 5 – Svensk lättbetong med temperaturgradient gav v_1 = 2,75 g/m^3 och v_2 = 2,73 g/m^3, medan vatteninnehållet w_1 = 198,7 kg/m^3 och w_2 = 198,8 kg/m^3.

Fall 6 – Hybridmodell med temperaturgradient gav v_1 = 2,64 g/m^3 och v_2 = 2,62 g/m^3, medan vatteninnehållet w_1 = 195,8 kg/m^3 och w_2 = 196,3 kg/m^3.

Taksimuleringar (Fall 7–9) visade följande:

Fall 7 – Tysk referensdata med Stockholmklimat gav v_1 = 3,03 g/m^3 och v_2 = 3,00 g/m^3, medan vatteninnehållet w_1 = 244,5 kg/m^3 och w_2 = 244,9 kg/m^3.

Fall 8 – Svensk lättbetong med Stockholmklimat gav v_1 = 2,7 g/m^3 och v_2 = 2,67 g/m^3, medan vatteninnehållet w_1 = 199 kg/m^3 och w_2 = 201 kg/m^3.

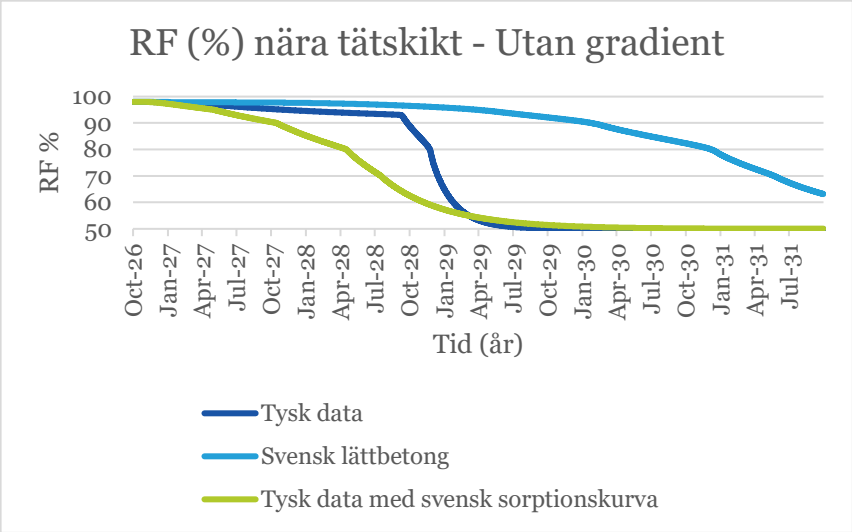
Fall 9– Hybridmodell med Stockholmklimat gav v_1 = 7,96 g/m^3 och v_2 = 7,92 g/m^3, medan vatteninnehållet w_1 = 189,6 kg/m^3 och w_2 = 190,2 kg/m^3.

Resultaten visar att ångdiffusion och vätsketransport inte sker i samma riktning vid förekomst av en temperaturgradient.

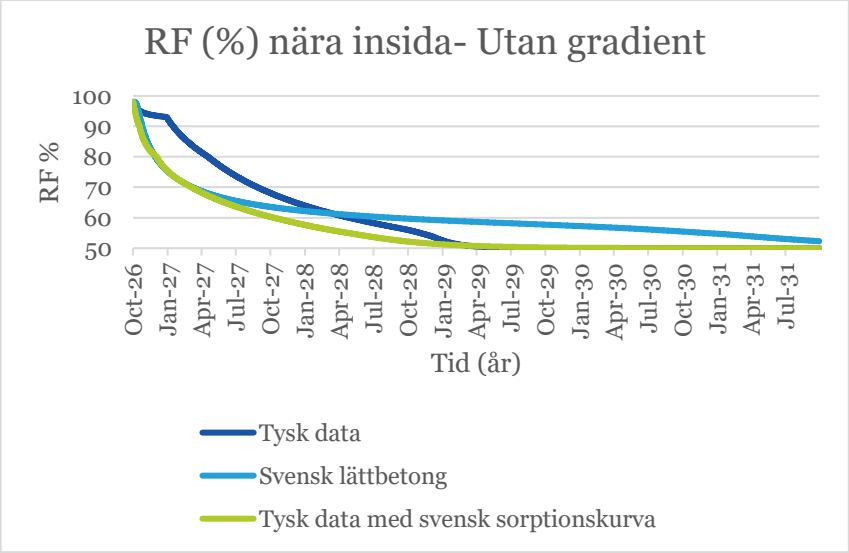
4.3 Relativ fuktighet

Följande sex bilder visar hur den relativa fuktigheten i lättbetong varierar vid insida och utsida under fem år. Resultaten som visas är av tre olika klimatfall. Varje klimatfall visar två bilder. En vid insida och en vid utsida. I dessa fall hänvisas referensfallet som *tyskdata*, referens fallet med modifierade materialdata hänvisas som *svensk lättbetong*, och i fallet där endast sorptionskurvan modifierats hänvisas som *tysk data med svensk sorptionskurva.*

Ingen temperaturgradient



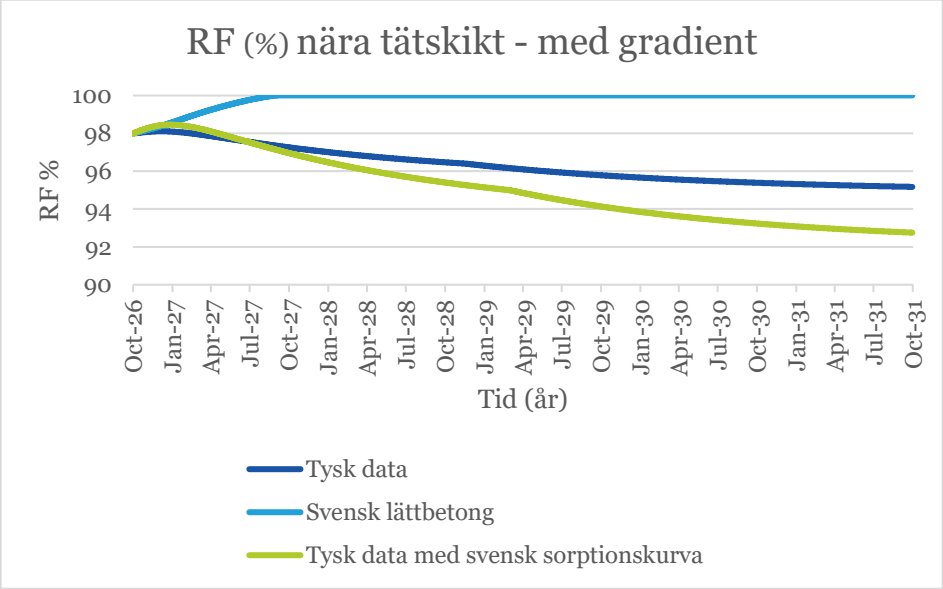
Figur 4.3.1: *visar den relativa fuktigheten som funktion av tiden vid utsida lättbetong. Inomhustemperatur 20°C och utomhustemperatur 20°C (Magouh & Babiker, 2026).*



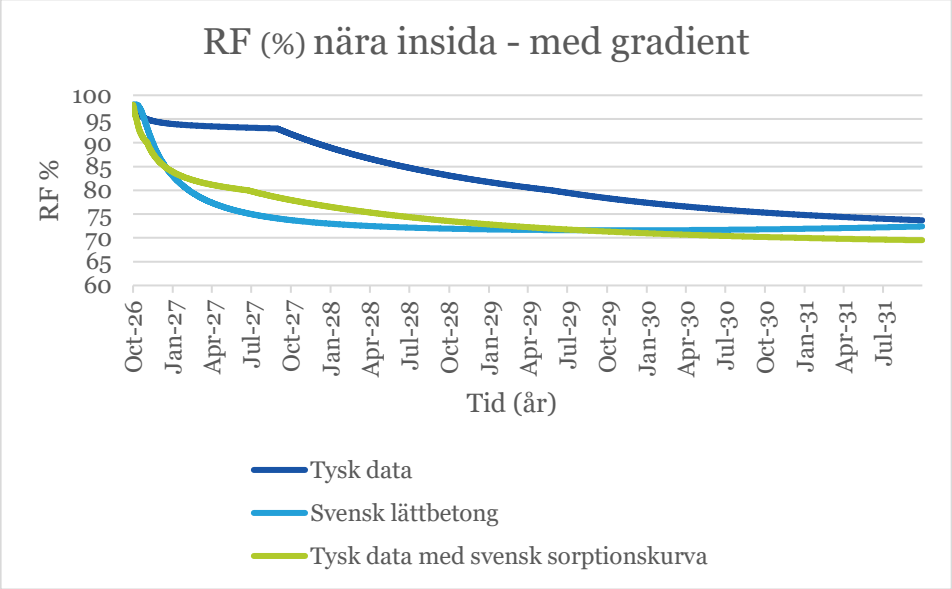
Figur 4.3.2: *visar den relativa fuktigheten som funktion av tiden vid insida lättbetong. Inomhustemperatur 20°C och utomhustemperatur 20°C (Magouh & Babiker, 2026).*

Diagrammen i figur 4.3.1 och figur 4.3.2 visar att lättbetongen torkar ut vid både insida och utsida. Dock tar det längre tid i fallet svensk lättbetong än i de andra två fallen. Vid tätskiktet i april 2029 har den relativa fuktigheten sjunkit till cirka 55% RF, medan i fallet svensk lättbetong är RF cirka 95%.

Med temperaturgradient



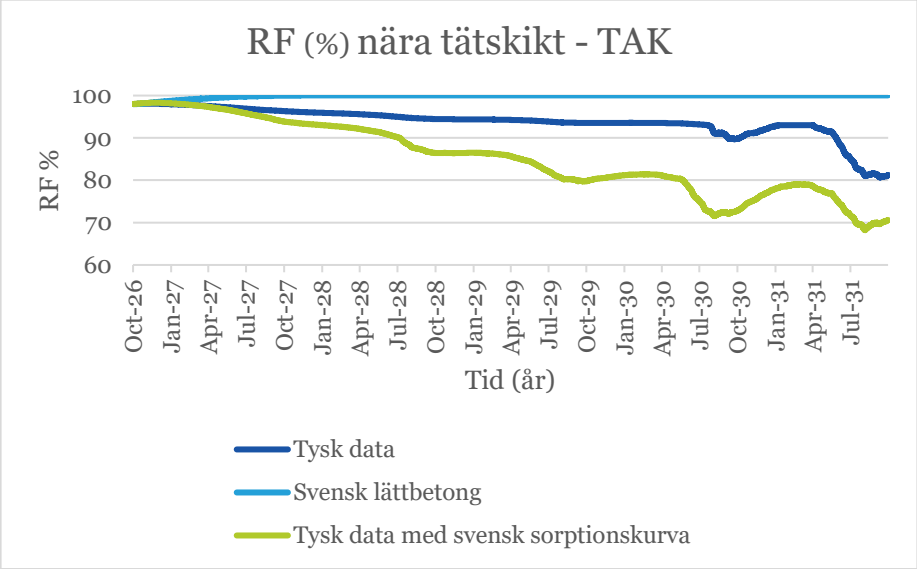
Figur 4.3.3: *visar den relativa fuktigheten som funktion av tiden vid utsida lättbetong. Inomhustemperatur 20* °C *och utomhustemperatur –10* °C *(Magouh & Babiker, 2026).*



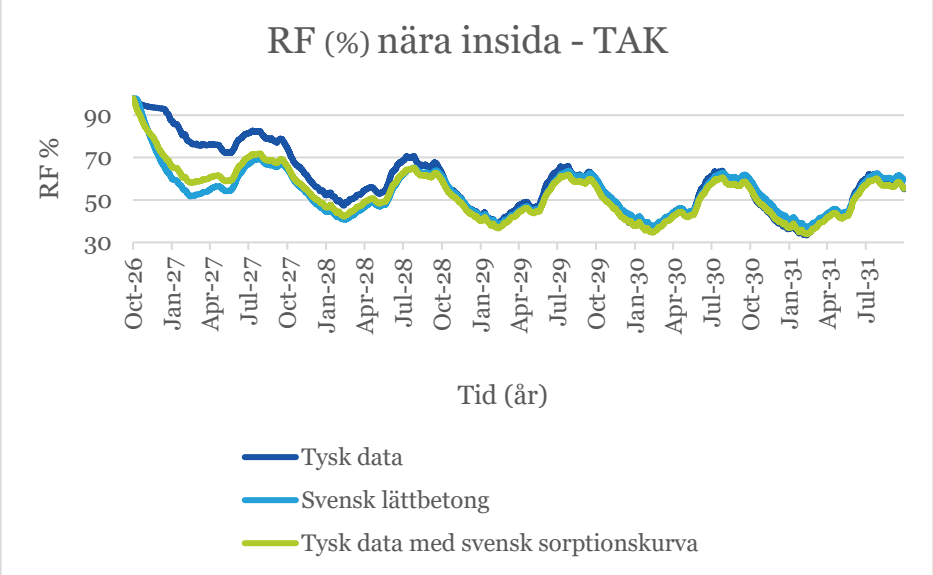
Figur 4.3.4: *visar den relativa fuktigheten som funktion av tiden vid insida lättbetong. Inomhustemperatur 20* °C *och utomhustemperatur –10* °C *(Magouh & Babiker, 2026).*

Diagrammen i figur 4.3.3 och figur 4.3.4 visar att den relativa fuktigheten minskar nära insida för samtliga fall. I svenska lättbetongen sker något intressant, utsidan fuktats upp medan de andra två fallen visar en fuktminsking. I fallet svensk lättbetong stiger RF från 98% till 100% och är konstant vid denna nivå efter juli 2027.

Med temperaturgradient och varierande klimat



Figur 4.3.5: *visar den relativa fuktigheten som funktion av tiden vid utsida lättbetong. Stockholmskt utomhusklimat och ett inomhusklimat med fukttillkott på 2g/m³ (Magouh & Babiker, 2026).*

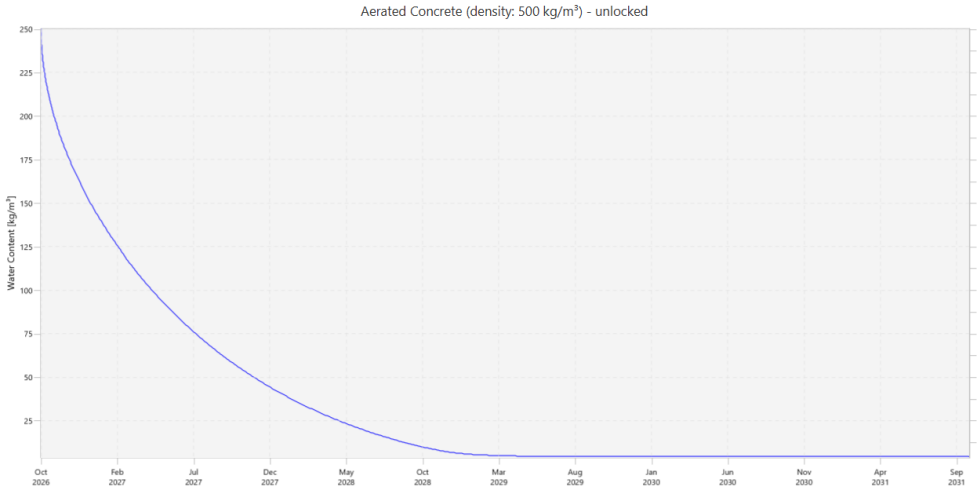


Figur 4.3.6: *visar den relativa fuktigheten som funktion av tiden vid insida lättbetong. Stockholmskt utomhusklimat och ett inomhusklimat med fukttillskott på 2g/m³ (Magouh & Babiker, 2026).*

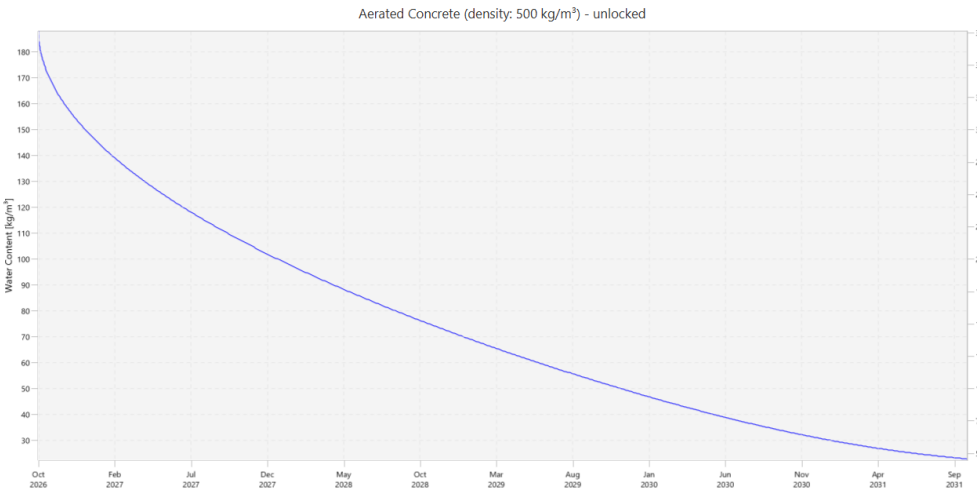
I det nedre diagrammet (figur 4.3.6) ser vi att den relativa fuktigheten för samtliga fall varierar vid insidan beroende av årssäsong. Som i simuleringen med konstant temperaturgradient (figur 4.3.3) så fuktas fallet svensk lättbetong upp vid utsida, medan de andra två fallen visar att RF sakta sjunker över tid (figur 4.3.5).

4.4 Totalt vatteninnehåll i lättbetong.

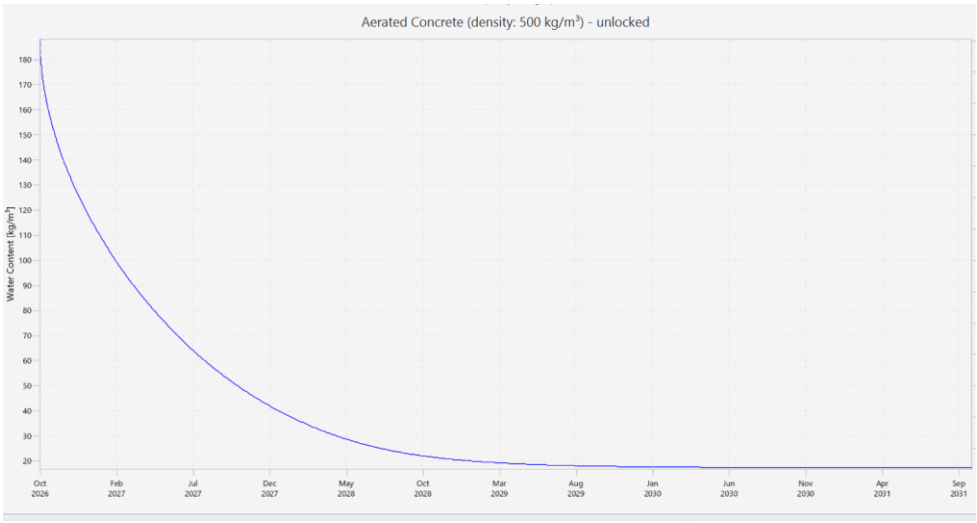
Utan Temperaturgradient



Figur 4.4.1: *visar det totala vatteninnehållet i lättbetong över en 5 års period. Tyskdata användes i detta fall där inomhustemperatur och utomhustemperatur sattes till 20°C (Magouh & Babiker, 2026).*



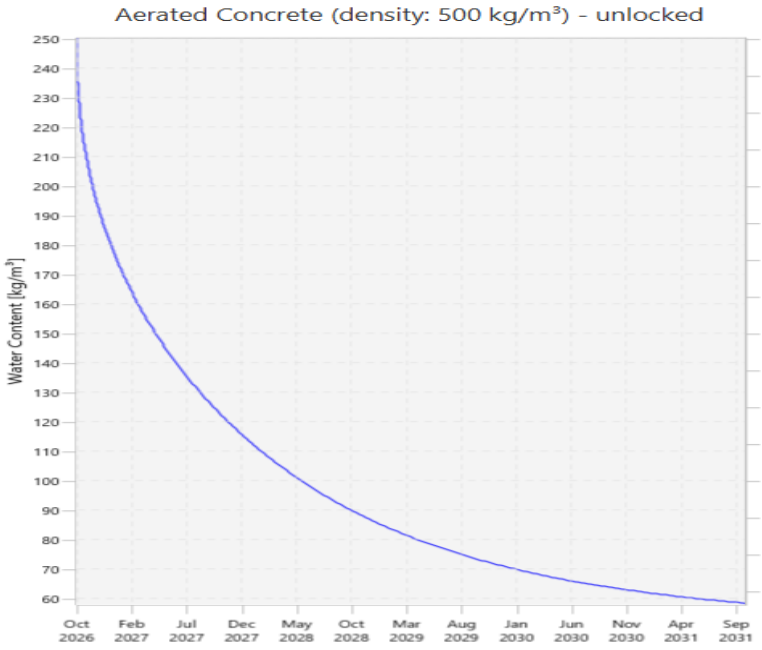
Figur 4.4.2: *visar det totala vatteninnehållet i lättbetong över en 5 års period. Tyskdata användes där μ-värdet och sorptionkurvan modifierats till svensk standard. Ingen vätsketransport. Inomhustemperatur och utomhustemperatur sattes till 20°C (Magouh & Babiker, 2026).*



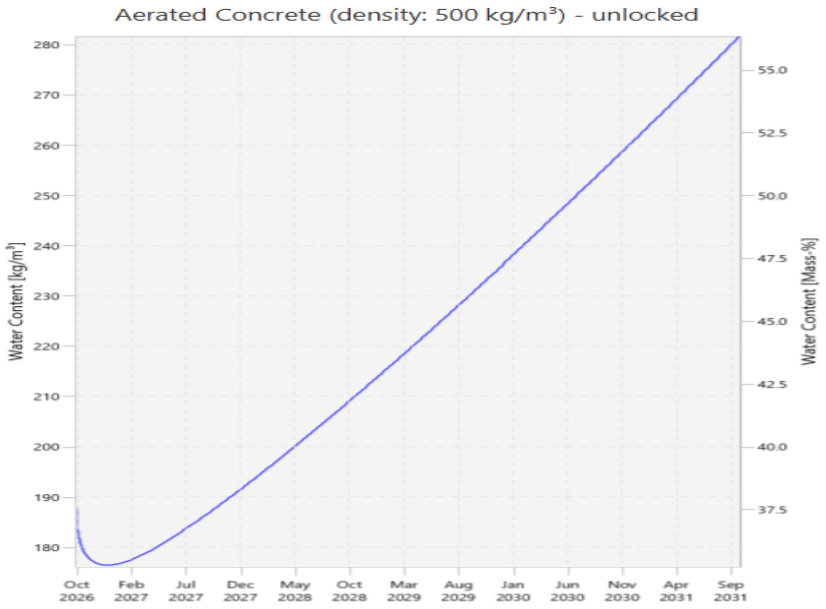
Figur 4.4.3: *visar det totala vatteninnehållet i lättbetong över en 5 års period. I detta fall används tyska referensdata med svensk sorptionskurva. Inomhustemperatur och utomhustemperatur sattes till 20°C (Magouh & Babiker, 2026).*

I dessa figurer kan det konstateras att vatteninnehållet i samtliga fall minskar över tid. Dock så kan det observeras att i fallet med tyskdata (figur 4.4.1) och hybridmodellen (figur4.4.3) att lättbetongen torkar ut snabbare när vätsketransport är aktiverat.

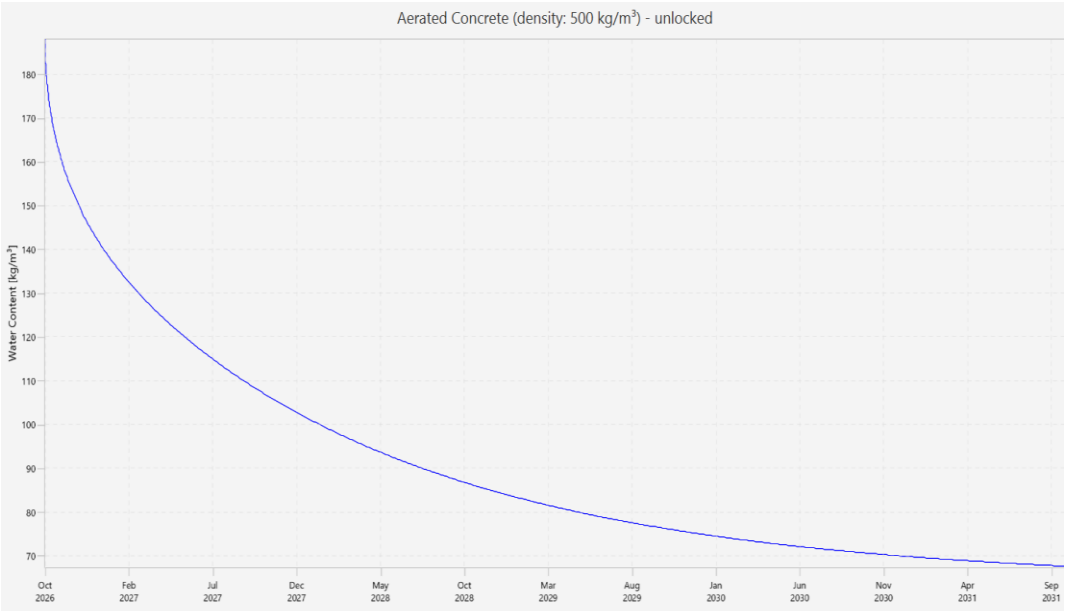
Med Temperaturgradient



Figur 4.4.4: *visar det totala vatteninnehållet i lättbetong över en 5 års period. Tyskdata användes i detta fall. Inomhustemperatur sattes till 20°C och utomhustemperatur sattes till -10°C (Magouh & Babiker, 2026).*



Figur 4.4.5: *visar det totala vatteninnehållet i lättbetong över en 5 års period. Tyskdata användes i detta fall där μ-värdet och sorptionkurvan modifierats till svensk standard. Ingen vätsketransport. Inomhustemperatur sattes till 20°C och utomhustemperatur sattes till -10°C (Magouh & Babiker, 2026).*



Figur 4.4.6: *visar det totala vatteninnehållet i lättbetong över en 5 års period. I detta fall används tyska referensdata med svensk sorptionskurva. Inomhustemperatur sattes till 20°C och utomhustemperatur sattes till -10°C (Magouh & Babiker, 2026).*

I jämförelse mellan figur 4.4.4 och 4.4.5 så är det en tydlig skillnad i vatteninnehållet. Resultaten visar att lättbetongen med tyskdata och hybridmodell torkar ut över tid, medan den svenska lättbetong fuktades upp över tid.

5 Diskussion och slutsatser

5.1 Analys av simuleringsresultat

5.1.1 Temperaturgradient

Syftet med examensarbetet var att undersöka hur temperaturgradienter i lättbetong påverkar dess fukttransport samt om de förenklade fuktberäkningsmetoder som vanligtvis används i projekteringsfasen riskerar att ge missvisande resultat. Resultaten från WUFI simuleringarna visar att temperaturgradient tydligt påverkar fuktens rörelse i lättbetong.

Denna studie visar tydliga skillnader i fukttransport beroende på om det förekommer en temperaturgradient eller inte. I simuleringarna utan temperaturgradient visar resultaten att både ångdiffusion och vätsketransport sker i samma riktning. Vidare visar resultaten att när en temperaturgradient inte förekommer blir uttorkningsprocessen mer effektiv.

När en temperaturgradient förekommer blir det en tydlig förändring i resultaten. Eftersom mättnadsånghalten är temperaturberoende påverkas även ånghalten. Trots att den kallare sidan visar höga relativ fuktighetsvärden, så är ånghalten fortfarande lägre där. Detta leder till att ånga diffunderar dit, vilket i sin tur leder till kondens, på grund av tätskiktet som hindrar ånga att ta sig igenom. Över tid blir fukthalten högre nära tätskiktet, vilket leder till att lättbetongen transporterar in fukt mot den torrare sidan. Resultaten visade att fukthalten var högre närmare tätskiktet. Däremot var ånghalten lägre vid tätskiktet. Vidare visar resultaten att uttorkningen inte är lika effektiv vid förekommande av temperaturgradient jämfört med när det inte finns. Detta tyder på att fukttransport inte sker åt samma håll när det finns en temperaturgradient. För att studera fuktens rörelse i detalj analyserades två specifika mätpunkter i lättbetongen. I dessa punkter beräknades ånghalten samt fukthalten. Beräkningarna visar att fukttransportens riktning är beroende av temperaturförhållandena. I simuleringarna utan temperaturgradient visar beräkningarna att både ånga och vätska transporteras från utsida mot insida. När en temperaturgradient förekom blev resultaten annorlunda. Beräkningarna visade att vätsketransport fortfarande sker i samma riktning medan ånga transporterades i motsatt riktning.

Tyska referensdata och hybridmodellen visar liknande beteende i samtliga resultat. Detta tyder på att klimatförhållande och sorptionskurva påverkar uttorkningen till viss grad, men den stora bidragande faktorn är vätsketransport. För den svenska modellen avviker resultaten när temperaturgradient förekommer. I denna modell har vätsketransport inaktiverats vilket leder till att fukt i form av vätska inte kan omfördelas i lättbetongen. Detta förklarar varför området nära tätskiktet förblir fuktigt och stiger till höga relativa fuktighetsvärden. Detta innebär i praktiken att den svenska modellen som användes i WUFI representerar glaser-metodens

grundprinciper. Genom att nollställa vätsketransporten efterliknar modellen den förenklade metoden där enbart skillnad i ånghalt styr fukttransport. Genom att stänga av vätsketransporten visar simuleringen därmed ett teoretiskt värsta scenario och speglar inte hur materialet beter sig i verkligheten. Detta stämmer överens med forskningens kritik (Künzel, 1995), som menar att beräkningar utan vätsketransport ger ett missvisande resultat.

Resultaten visar varför förenklade beräkningsmodeller kan ge felaktiga fuktberäkningar. Ifall en temperaturgradient förekommer och vätsketransport inte beaktas kan det ge en felaktig bild av mängden fukt i ett material.

I simuleringarna med stockholmsklimatet går det att se ett mer realistiskt och varierande fuktförlopp jämfört med de konstanta klimatfallen. Nära insida varierar den relativa fuktigheten, vilket visar att klimatförhållandet påverkar fuktrörelsen över tid. Fuktnivåerna blir höga till följd av ångdiffusion nära tätskikt och torkar med tid invändigt. Detta tyder på att temperaturgradient är relevant oavsett årstid.

5.1.2 Relativ fuktighet

Resultaten i avsnitt 4 visar att svensk lättbetong uppvisar ett annorlunda beteende jämfört med den tyska och hybridmodellen. Den relativa fuktigheten sjunker i början snabbare i simuleringarna med temperaturgradient (se figur 4.3.4 och 4.3.6). Detta kan förklaras av att svensk lättbetong har ett μ-värde som varierar beroende av den relativa fuktigheten. När relativa fuktigheten är hög så är ångdiffusionsmotståndet lågt. Detta gör att ånga lättare kan transporteras från den varmare sidan till den kallare sidan. Vidare visar resultaten i figurerna 4.3.3 och 4.3.5 att RF stiger vid utsidan för svensk lättbetong. Förklaringen till det är att vätsketransport är inaktiverat. All fukt som drivs dit till följd av skillnader i ånghalt ackumuleras vid tätskiktet. När vätsketransport är aktiverat visar diagrammen istället (se figur 4.3.3 och 4.3.5) att RF sjunker. Överlag visar återigen tyskdata och hybridmodellen liknande beteende. När det konstanta klimatfallet jämförs med det varierande klimatfallet är det skillnad i RF nivå. Detta kan förklaras av att i det konstanta klimatfallet dels har ett högre fukttillskott, dessutom konstant kyla nära tätskiktet.

5.1.3 Totalt vatteninnehåll

Resultaten för diagrammen utan temperaturgradient (figur 4.4.1 och figur 4.4.2) visar att det sker en ren uttorkning inåt i materialet. Dock framgår det tydligt att det tyska referensfallet och hybridmodellen har en betydligt snabbare uttorkning jämfört med den svenska lättbetongen. Denna skillnad beror på att tyska data och hybridmodellen har kapillär vätsketransport till skillnad från den svenska modellen som saknar egenskapen. När det finns en konstant temperaturgradient så fuktas svensk lättbetong upp väldigt mycket (se figur 4.4.5). Dessa resultat kan härledas till att skillnaden i temperatur genererar en ånghalts gradient, som i sin tur driver ångdiffusionen inifrån och ut mot tätskiktet. Dessa resultat visar varför det är viktigt att ta hänsyn till effekterna av en temperaturgradient.

I denna studie gjordes samtliga simuleringar med en hög initial fukthalt. Detta innebär att mycket fukt kan omfördelas i lättbetongen. Dessutom hade samtliga simuleringar tätskikt, vilket innebär att lättbetongen enbart torkar invändigt. Detta i kombination med hög fukthalt gjorde det tydligare att se temperaturgradientens påverkan.

5.1.4 Begränsningar

En viktig begräsning i denna studie är att resultaten inte kan generaliseras för alla typer av lättbetongskonstruktioner. Simuleringarna har utförts i en endimensionell miljö utifrån specifika förutsättningar. Ett helt ångtätt skikt har applicerats vid utsidan, dessutom en hög initial byggfukt. Samtidigt har yttre faktorer som solinstrålning och slagregns avaktiverats. Studien bör därför inte ses som en exakt representation av en verklig vägg, utan snarare som en teoretisk studie. Syftet har varit att isolera och belysa själva mekanismen bakom temperaturgradienten och vätsketransport. Dessutom visa att förenklade metoder kan ge missvisande resultat under vissa förhållanden.

5.2 Slutsatser

Slutsatser som kan dras från studien är att temperaturgradienter tydligt påverkar fukttransport i en lättbetongsvägg. WUFI simuleringar visar att temperaturgradient förändrar hur fukttransport sker genom ett material. Slutsatser som kan dras är följande:

- Simuleringarna visar tydligt att temperaturgradient har en påverkan på fukttransportens omfördelning och faktiska riktning i lättbetong. Den kallare sidan kan ackumulera mycket fukt, särskilt när tätskikt begränsar uttorkning utåt.

- Vid förekommande av temperaturgradient så sker vätsketransport i motsatt riktning till ångdiffusion. Utan temperaturgradient rör sig dessa mekanismer i samma riktning.

- Förenklade fuktberäkningsmetoder riskerar att ge felaktigt resultat när temperaturgradient inte tas hänsyn till. Detta är särskilt känsligt för porösa material som exempelvis lättbetong.

Studien besvarar frågeställning genom att visa att vid förekommande av en temperaturgradient så förändras förutsättningarna för fukttransport och därmed kan traditionella fuktberäkningsmetoder ge missvisande resultat och slutsatser om fuktinnehåll i en konstruktion.

Det är dock viktigt att betona att dessa slutsatser är strikt begränsade till de specifika förutsättningar som har simulerats. Effekterna av temperaturgradienten ska därför anses enbart gälla för en homogen lättbetongvägg under ideala förhållanden. Slutsatserna ska inte generaliseras till komplexa ytterväggskonstruktioner i praktiskt byggande.

5.3 Fortsatta studier

För ytterligare förståelse och fördjupning av temperaturgradients påverkan på fukttransport behövs flera studier med mer realistiska klimatförhållanden och ytterväggskonstruktioner. Fortsatt studie skulle kunna vara en realistisk yttervägg med fler materialskikt exempelvis

inkludera isolering och puts, istället för denna studie som enbart undersökte en homogen lättbetongsvägg med puts.

Studien inkluderade inte heller slagregns- och solinstrålnings påverkan på fuktfördelning, det kan därför vara relevant att inkludera och undersöka dessa klimatfaktorer då det kan ha stor betydelse för hur fukt transporteras och samlas genom en vägg över en längre period.

Fler simuleringar med olika initiala fukthalter i lättbetong kan ge bättre förståelse för byggfuktens påverkan, då lättbetong ofta innehåller höga fukthalter efter produktionen. Detta kan i sin tur ha påverkan på uttorkningsförloppet och omfördelningen av fukt i en konstruktion över tid.

Fortsättning till studien hade varit att använda ett annat beräkningsprogram exempelvis KFX och jämföra resultaten med WUFI. Detta skulle kunna ge möjligheten att jämföra hur olika program/modeller visar samspelet mellan vätsketransporten och ångdiffusion. Experiment i ett verkligt laboratorium hade också förstärkt trovärdigheten.

Litteratur

Ekobyggportalen, u.å. Lättbetongshus. Hämtad från: https://ekobyggportalen.se/murade-hus/lattbetonghus/

Fuktsäkert, u.å. Fukttransport. Hämtad från: https://fuktsaker.se/fukt/fukttransport/

Fuktsäkert, u.å. Fuktteknisk bedömning av massiva väggar. Hämtad från: https://fuktsaker.se/byggnadsdelar/vaggar-over-mark/massiva-vaggar/fuktteknisk-bedomning/

Johannesson P, Vretblad B, 2011. Byggformler och tabeller. Upplaga 11. Stockholm: Svensk Byggtjänst

Kondensteknik, u.å. Kondensförloppet. Hämtad från: https://kondensteknik.se/index.php/kondensforloppet/

Künzel, H. M. (1994). Simultaneous heat and moisture transport in building components: One- and two-dimensional calculation program. Fraunhofer Institute for Building Physics Hämtad från https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/74f34b4c-4876-4a9b-ac87-f7476d48ca60/content

Künzel, H. M. (2000). Moisture risk assessment of roof constructions - minus Glaser or WUFI?. Fraunhofer Institute for Building Physics. Hämtad från https://wufi.de/literatur/K%C3%BCnzel%202000%20-%20Moisture%20Risk%20Assessment%20of%20Roof.pdf

MDPI, 2024. Moisture behaviour in porous building materials. Building, 14(12), 3865. Hämtad från: https://www.mdpi.com/2075-5309/14/12/3865

Sandin, K. (2010). Praktisk byggnadsfysik 1. Uppl. Lund: Studentlitteratur.

Skumbetong, u.å. Om skumbetong och dess egenskaper. Hämtad från: https://www.skumbetong.nu/

SBUF, 1994. Lättballastbetong för konstruktioner. Stockholm: Svenska byggbranschens utvecklingsfond (SBUF). Hämtad från:

https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/InfoSheets/PublishedInfoSheet/05ef5c2b-cb9e-4af2-93d3-7682da152ad8/94-27%20L%C3%A4ttballastbetong%20f%C3%B6r%20konstruktioner.pdf

Thermocell, u.å. Glaser-metoden. Hämtad från: https://thermocell.se/byggnadsfysik/glacer-metoden

WUFI, u.å. What is WUFI?. Hämtad från: https://wufi.de/en/software/what-is-wufi