

CHALMERS



Passivhus och ångspärrar

En undersökning om passivhus och variabla ångspärrars funktion samt dess påverkan på fuktransport och lufttäthet

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

MARTIN NORESSON
CRISTOFER NYQVIST

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för Byggnadsteknologi
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2010
Examensarbete 2010:126

EXAMENSARBETE 2010:126

Passivhus och ångspärrar

En undersökning om passivhus och variabla ångspärrars funktion samt dess påverkan
på fukttransport och lufttäthet

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

MARTIN NORESSON

CRISTOFER NYQVIST

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för Byggnadsteknologi
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2010

Passivhus och ångspärrar

En undersökning om passivhus och variabla ångspärrars funktion samt dess påverkan på fukttransport och lufttäthet

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

MARTIN NORESSON

CRISTOFER NYQVIST

© MARTIN NORESSON, CRISTOFER NYQVIST, 2010

Examensarbete / Institutionen för bygg- och miljöteknik,
Chalmers tekniska högskola 2010

Institutionen för bygg och miljöteknik

Avdelningen för Byggnadsteknologi

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Bild på väggkonstruktion från ett passivhus i Pumpkällehamnen, Viskafors.

Reproservice/ Institutionen för bygg- och miljöteknik
Göteborg 2010

Passivhus och ångspärrar

En undersökning om passivhus och variabla ångspärrars funktion samt dess påverkan på fukttransport och lufttäthet

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

MARTIN NORESSON

CRISTOFER NYQVIST

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för Byggnadsteknologi

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

I dagens samhälle är energianvändning och klimatpåverkan viktiga faktorer eftersom utvecklingen går mot ett mer hållbart samhälle. Bostadssektorn står idag för ca 40 % av Sveriges totala energianvändning. Vår medvetenhet om vår påverkan på miljön har tillsammans med stigande energipriser mer eller mindre tvingat oss att finna mer hållbara lösningar på bostädernas energianvändning. Detta har på senare tid medfört ett ökat intresse för högisolerade byggnader som exempelvis passivhus. Den ökade mängden isolering i byggnadskonstruktioner ställer i sin tur högre krav på utförandet och då speciellt vad gäller ångspärren. Rapporten behandlar hur värme- och fukttransport påverkas av ångspärren i högisolerade konstruktioner. Idag finns flera olika ångspärrar på marknaden. I rapporten undersöks hur en ångspärr med variabelt ångmotstånd fungerar jämfört med en konventionell PE-folie simulerat i en högisolerad väggkonstruktion från ett referensobjekt. Detta har genomförts med hjälp av handberäkningar samt genom simuleringar i datorprogrammet WUFI som är ett verktyg för beräkning av fukttransport. Rapporten behandlar även grunderna i fukt, lufttäthet, passivhus och de svenska kraven för passivhus. Som referensobjekt har vi använt ett bostadsområde med fristående passivhus som i skrivande stund är under uppförande i Viskafors strax söder om Borås. För att nå vårt resultat har vi varit på flertalet studiebesök vid referensobjektet där vi varit i kontakt med snickare och ansvariga för byggnationen. Detta ligger tillsammans med elektronisk och tryckt litteratur till grund för rapportens innehåll. Beräkningarna som är genomförda behandlar U-värde, fukt samt täthet.

Nyckelord: passivhus, ångspärr, ångbroms variabel ångspärr, fukt, fukttransport, WUFI, PE-folie, lufttäthet.

Passive houses and vapor barriers

A study on passive houses and variable vapor barriers and its impact on moisture transport and air tightness

Diploma Thesis in the Engineering Programme

Building and Civil Engineering

MARTIN NORESSON, CRISTOFER NYQVIST

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of Building Technology

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

In today's society, energy and climate impact are important factors in the development towards a more sustainable society. The Housing sector currently accounts for approximately 40% of Sweden's total energy consumption. Our awareness of our environmental impact together with higher energy costs has made it necessary to find more sustainable solutions to the residential energy consumption. This has recently led to an increased interest in highly insulated buildings such as passive houses. The increased amount of insulation in building structures leads to higher demands on performance, especially regarding the vapor barrier. The report deals with vapor barriers and its impact on heat and moisture transport in highly insulated structures. Today there are several different vapor barriers on the market. The report investigates how a variable vapor barrier performs compared to a conventional PE-foil simulated in a wall section from our reference object. The methods being used are hand calculations and simulations in the computer program WUFI which is a tool for calculating moisture and heat transport. The report also covers the basics of humidity, air tightness, the requirements for passive houses in Sweden and passive houses in general. As a reference object, we use a residential area with standalone passive houses which is under construction in Viskafors south of Borås. To achieve our result we have been to several visits at the reference object, where we also have been in contact with carpenters and site manager. Facts have also been based on electronic and printed literature. The calculations mainly cover U-value, moisture and air tightness.

Key words: Passive house, vapor barrier, vapor retarder, moist, moist transport, WUFI, PE-foil, air tightness.

FÖRORD

Detta examensarbete på 15 högskolepoäng har under vårterminen 2010 utförts på institutionen för bygg- och miljöteknik vid Chalmers tekniska högskola.

Examensarbetet har gjorts i samarbete med byggfirman Olofsson Bygg i Borås.

Vi vill börja med att tacka Halldor Hilmarsson på Olofsson bygg för den hjälp som företaget bistått med och för att vi fått möjligheten att genomföra studiebesök vid referensobjektet. Vi vill även tacka de snickare på byggarbetsplatsen som ställt upp och svarat på frågor under våra studiebesök. Ytterligare ett stort tack vill vi rikta till vår handledare Carl-Eric Hagentoft på avdelningen för byggnadsteknologi, Chalmers Tekniska Högskola, för de råd och hjälp vi fått. Till sist vill vi ge ett extra stort tack till doktoranden Simon Pallin, doktorand på avdelningen för byggnadsteknologi, Chalmers Tekniska Högskola, för all hjälp med datorprogrammet WUFI.

Göteborg juni 2010

Martin Noresson & Cristofer Nyqvist

Innehåll

| | |
|--|-----|
| SAMMANFATTNING | I |
| ABSTRACT | III |
| FÖRORD | V |
| INNEHÅLL | VII |
| BETECKNINGAR | IX |
| | |
| 1 INLEDNING | 1 |
| 1.1 Bakgrund | 1 |
| 1.2 Syfte | 1 |
| 1.3 Avgränsning | 1 |
| 1.4 Metod | 2 |
| | |
| 2 KRAVSPECIFIKATION FÖR PASSIVHUS I SVENSKT KLIMAT | 3 |
| | |
| 3 FUKT | 8 |
| 3.1 Fukttransport | 10 |
| | |
| 4 LUFTTÄTHET | 13 |
| 4.1 Provtryckning av passivhus | 13 |
| 4.2 Genomförande av provtryckning vid referensobjekt | 14 |
| | |
| 5 ÅNGSPÄRRAR | 16 |
| 5.1 PE-Folie | 17 |
| 5.2 Isover Vario Duplex | 17 |
| | |
| 6 PASSIVHUSOMRÅDET PUMPKÄLLEHAGEN | 19 |
| 6.1.1 Vägghkonstruktionen | 20 |
| 6.1.2 Fuktsäker stommontering | 21 |
| | |
| 7 BERÄKNINGAR OCH RESULTAT | 22 |
| 7.1 Fuktberäkning | 22 |
| 7.2 U-värdesberäkning | 23 |
| 7.3 Täthetsberäkning | 24 |
| 7.4 WUFI | 26 |
| 7.4.1 Försöksuppställning av väggsektion | 26 |
| | |
| 8 SLUTSATSER OCH ANALYS | 30 |

| | | |
|---|--|----|
| 9 | REFERENSER | 33 |
| | BILAGA 1 - PROVTRYCKNINGSPROTOKOLL | 34 |
| | BILAGA 2 – FUKTFLÖDE FÖR PE-FOLIE | 36 |
| | BILAGA 3 – FUKTFLÖDE FÖR DEN VARIABLA ÅNGSPÄRREN | 37 |
| | BILAGA 4 – RELATIV FUKTIGHET MED VARIABEL ÅNGSPÄRR PUNKT 1 | 38 |
| | BILAGA 5 – RELATIV FUKTIGHET MED VARIABEL ÅNGSPÄRR PUNKT 2 | 39 |
| | BILAGA 6 – RELATIV FUKTIGHET MED VARIABEL ÅNGSPÄRR PUNKT 3 | 40 |
| | BILAGA 7 – RELATIV FUKTIGHET MED PE-FOLIE PUNKT 1 | 41 |
| | BILAGA 8 – RELATIV FUKTIGHET MED PE-FOLIE PUNKT 2 | 42 |
| | BILAGA 9 – RELATIV FUKTIGHET MED PE-FOLIE PUNKT 3 | 43 |
| | BILAGA 10 – FUKTBERÄKNING GENOM VÄGG I FEBRUARI | 44 |
| | BILAGA 11 – FUKTBERÄKNING GENOM VÄGG I JULI | 45 |
| | BILAGA 12 – SAMMANSTÄLLNING FUKTBERÄKNINGAR | 46 |

Beteckningar

Grekiska versaler

Δ Beskriver differenser

Grekiska gemena

ρ Densitet kg/m^3

λ Värmeledningsförmåga $W/m \cdot ^\circ C$

δ Ånggenomsläpplighet m^2/s

Latinska versaler

U Värme genomgångskoefficient $W/m^2 \cdot ^\circ C$

R Värmemotstånd $m^2 \cdot ^\circ C/W$

V Ånghalt/Fukthalt g/m^3

V_s Mättnadsånghalt g/m^3

RÅ Relativ ångalt %

Z Ånggenomgångsmotstånd s/m

T Temperatur $^\circ C$

P Tryck Pa

R_a Luftflöde $l/s \cdot m^2$

A Area m^2

A_{temp} Golvarea [m^2] som är avsedd att värmas till minst $10^\circ C$

Latinska gemener

d Tjocklek m

1 Inledning

1.1 Bakgrund

I dagens samhälle är energianvändning och klimatpåverkan viktiga faktorer eftersom vi strävar mot ett mer hållbart samhälle. Bostäderna står idag för ca 40 % av Sveriges totala energianvändning (Sveriges Byggindustrier, 2010). Vår medvetenhet om vår påverkan på miljön har tillsammans med stigande energipriser mer eller mindre tvingat oss att finna mer hållbara lösningar på bostädernas energianvändning.

Eftersom utvecklingen och utbyggnaden av alternativa och mindre klimatpåverkande energikällor kräver stora resurser och tar lång tid att genomföra har det på senare tid medfört ett ökat intresse för högisolerade byggnader såsom passivhus, minienergihus och även plusenergihus. Den ökade mängden isolering i byggnadskonstruktioner ställer i sin tur högre krav på utförandet och då speciellt vad gäller ångspärren, enligt Halldor Hilmarsson, vår handledare på företaget Olofson Bygg som vi samarbetat med. Detta byggföretag uppför i skrivande stund Sveriges första bostadsområde för fristående Passivhus. Området heter Pumpkällhagen och är beläget i Viskafors söder om Borås och kommer fungera som referensobjekt i vårt examensarbete.

1.2 Syfte

Examensarbetet undersöker hur värme- och fukttransport påverkas av ångspärren i väggsektion från vårt referensobjekt. Ämnen som behandlas är passivhus i allmänhet med fokus på hur ångspärrens material och placeringen påverkar funktionen. Jämförelser görs mellan en konventionell ångspärr och en ångspärr med variabelt ångmotstånd och hur de kan tillämpas i passivhus i Sverige.

1.3 Avgränsning

Examensarbetet behandlar passivhus med svenska regler och definitioner. Beräkningarna utförs för en väggkonstruktion från vårt referensobjekt där klimatdata för Göteborgsområdet används. Vad gäller fuktberäkningarna utförs handberäkningarna statistiskt, dvs. ingen hänsyn tas till tid eller uttorkning. I datorsimuleringarna behandlas endast fuktdiffusion eftersom programmet inte tar hänsyn till eventuellt läckage eller eventuell fuktkonvektion orsakat av skador i ångspärren.

1.4 Metod

För att genomföra examensarbetet har vi gjort flera studiebesök vid vårt referensobjekt där vi varit i kontakt med platschef samt snickare för att få information och diskutera frågor. Beräkningar har utförts för hand samt i programmet WUFI där vi fått hjälp av doktoranden Simon Pallin vid avdelningen för Byggnadsteknologi, Chalmers. Bakgrundsinformation har hämtats från tryckta källor som vi framförallt hittat genom Chalmers biblioteksdatabas. Vi har även använt oss av elektroniska källor och använt materialdata från tillverkare.

2 Kravspecifikation för passivhus i svenskt klimat

Begreppet passivhus härstammar från Tyskland där idén utvecklades under 1990-talet. Ett passivhus är ett hus med minimala förluster av värme genom klimatskalet. En vanlig definition av ett passivhus är att de saknar ett konventionellt uppvärmningssystem och värms istället upp av solinstrålning och internvärme såsom värme från människor, belysning eller hushållsmaskiner. Under årets kallaste dagar räcker det med att förvärma tilluften i husets ventilationssystem för att hålla en tillräckligt hög inomhustemperatur. För att upprätthålla innetemperaturen krävs att klimatskalet är utformat med väl tilltagen värmeisolering, få köldbryggor samt en lufttät ångspärr eller ångbroms. Denna har till uppgift att minska läckageförluster genom ofrivillig ventilation samt förhindra fuktvandring genom diffusion eller konvektion. Dessutom finns vanligen ett till- och frånluftssystem med värmeåtervinning, även kallat FTX-system, för att minimera förlust av värmeenergi genom ventilationssystemet.

De ursprungliga passivhuskriterierna är framtagna av Tyska Passivhusinstitutet. Eftersom vårt klimat skiljer sig avsevärt mot det i centrala Europa ansåg Energimyndigheten i Sverige att det fanns ett behov att anpassa de tyska normerna för att skapa regler som är applicerbara på passivhus även på våra breddgrader. Styrgruppen för Energimyndighetens program för Passivhus och lågenergihus har tillsammans med branschen arbetat fram de svenska kriterierna och kravspecifikationerna. Denna styrgrupp heter officiellt Forum för Energieffektiva Byggnader och benämns FEBY. Förslaget var att utgå från de tyska passivhuskraven men utveckla dem för svenska förhållanden och också ta intryck av de passivhusprojekt som redan genomförts i Sverige. De första svenska definitionerna av ett Passivhus presenterades 2007 och har sedan årligen reviderats.

FEBYS metodrapport från 2009 motiverar behovet av de svenska kriterierna enligt följande (FEBY, 2009):

1. Vårt svenska klimat har andra förutsättningar än de som andra länders kriterier är framtagna för. De tyska passivhuskriterierna är t.ex. framtagna för två olika klimatförhållanden där klimatdata för det strängaste klimatet samtidigt har soliga dagar. I Sverige sammanfaller långvarig kyla med en så mörk period att solenergin inte har märkbar betydelse. Därmed blir det väsentligt enklare att få fram relevanta klimatdata för svenska orter och även beräkningsmetodiken kan påtagligt förenklas.
2. Vi har ett strängare klimat som enligt de tyska kraven skulle omöjliggöra byggandet av passivhus annat än i den mildaste klimatzonen.
3. De svenska byggreglerna skiljer sig i flera avseenden från metodik för byggregler i andra länder och det finns ett starkt önskemål att i möjligaste mån tillämpa liknande metodik (skiljer sig t.ex. för U-värden, luftläckning).

Det som skiljer de svenska passivhuskraven från de tyska är följande:

- Olika definitioner för den dimensionerande utomhustemperaturen (DUT).
- Luftläckaget är i de svenska kraven definierade som läckageflöde per omslutande area istället för läckageflödets luftomsättning per area.
- De svenska kriterierna har samma läckageflöde vid DUT som vid årsenergikalkylen.
- Effektkalkylen och årsenergikalkylen beräknas på olika sätt. Den svenska effektkalkylen beräknas med ett schablonvärde för spillvärme och verklig spillvärmeeffekt då effektkalkylen genomförs. Den tyska modellen ansätter två olika schablonvärden på effekt- och årsenergikalkylen som är 1,6 respektive 2,1 W/m².
- I den svenska energikalkylen ansätts en högre inomhustemperatur (22°C).

För att tydliggöra skillnaden mellan de olika ländernas beräkningsförutsättningar har FEBY jämfört effektbehovet för ett svenskt passivhus med innetemperaturen 20 grader beläget i Stockholmstrakten. När den tyska kravspecifikationen tillämpades blev effektbehovet ca 20 % högre eftersom mindre spillvärme får tillgodoräknas.

Boverket är den svenska myndigheten för planering, byggande och boende. Boverket ger ut Boverkets byggregler (Boverket[1], 2010) som är samhällets minimikrav på byggnader vad gäller bl.a. utformning, bärförmåga, brandskydd, bullerskydd och energihushållning. BBR omfattar alla byggnader samt all tomtmark som tas i anspråk för bebyggelse. Reglerna gäller då nybyggnad eller tillbyggnad sker samt då mark- eller rivningsarbeten utförs. Regelsamlingen uppdateras vanligen vart annat år och i skrivande stund är det BBR 16 som gavs ut 2008 (BFS2008:20). Dessa regler gäller alla hus vilket även innefattar alla passivhus och minienergihus. Skillnaden är att kraven är skärpta ytterligare eftersom passivhusen ska ha bättre energiprestanda än kraven som formuleras i BBR.

Kraven för effekt och energibehov är enligt FEBY definierade enligt:

Effektkrav för uppvärmning

Effektbehov för värme vid dimensionerande utomhustemperatur - DUT. Detta avser utgående total effekt på värmedistributionssystem.

Krav

Effektkrav bostäder och lokaler:

$$\text{zon III } P_{\max} \leq 10 \text{ W/m}^2 A_{\text{temp+garage}}$$

$$\text{zon II } P_{\max} \leq 11 \text{ W/m}^2 A_{\text{temp+garage}}$$

$$\text{zon I } P_{\max} \leq 12 \text{ W/m}^2 A_{\text{temp+garage}}$$

Effektkrav för mindre fristående bostäder (< 200 m²):

$$\text{zon III } P_{\max} \leq 12 \text{ W/m}^2 A_{\text{temp+garage}}$$

$$\text{zon II } P_{\max} \leq 13 \text{ W/m}^2 A_{\text{temp+garage}}$$

$$\text{zon I } P_{\max} \leq 14 \text{ W/m}^2 A_{\text{temp+garage}}$$



Figur 1: De Svenska klimatzonerna.

Krav på tillförd energi

Maximalt tillförd viktad energi, E_{viktad} , är givet som summan av köpt/levererad energi, $E_{köpt}$, med hänsyn till dess kvalitet med hjälp av energiformsfaktorer, e [-], enligt nedan:

$$E_{viktad} = \sum(e_{el} \cdot E_{el} + e_{fv} \cdot E_{fv} + e_{bp} \cdot E_{bp} + e_{el} \cdot E_{el} + e_{s,v} \cdot E_{s,v} +) \leq E_{krav}$$

kWh_{viktad}/m²A_{temp+garage} [ekv. 1]

| | |
|-----------------------|--|
| E_{el} , e_{el} | levererad elenergi, respektive energiformsfaktorn för el |
| E_{fv} , e_{fv} | levererad fjärrvärme, respektive energiformsfaktorn för fjärrvärme |
| E_{bp} , e_{bp} | levererad energi i form av värmeverdet i ett biobränsle, respektive energiformsfaktorn för biobränsle |
| $E_{s,v}$, $e_{s,v}$ | levererad sol- och vindenergi, respektive energiformsfaktorn för sol- och vindenergi |

Lokalt förankrade energiformsfaktorer kan tas fram för olika klimatzoner, bostadstyper, lokala fjärrvärmenät osv. Notera att kravnivån är beroende på val av energiformsfaktorerna, vilket måste beaktas vid precisering av kravet, E_{krav} , i [ekv 1].

Krav

Krav på köpt energi enligt Boverkets Byggregler, för närvarande BBR 16 (BFS 2008:20), ska alltid uppfyllas.

Råd

I brist på lokalt förankrade energiformsfaktorer och så länge nationella regler för viktningfaktorer saknas, rekommenderas att tillämpa energiformsfaktorer som överensstämmer med viktning för södra regionen enligt BBR 16 (BFS 2008:20), dvs. använda följande värden för [ekv 1]: $e_{el}=2$, $e_{fv}=e_{bp}=1$ och $e_{s,v}=0$, samt begränsa köpt energi för bostäder och lokaler med följande nivå på viktad energi, E_{viktad} :

| | |
|---------|--|
| zon III | $E_{viktad} \leq 60 \text{ kWh}_{viktad} / \text{m}^2 A_{temp+garage}$ |
| zon II | $E_{viktad} \leq 64 \text{ kWh}_{viktad} / \text{m}^2 A_{temp+garage}$ |
| zon I | $E_{viktad} \leq 68 \text{ kWh}_{viktad} / \text{m}^2 A_{temp+garage}$ |

Alternativt kan följande förenklade rekommendation för köpt oviktad energi användas för energiförsörjningsmässigt renodlade systemlösningar för bostäder, skolor och förskolor:

| | | |
|---------|--|------------------------------|
| zon III | $E_{köpt} \leq 50 \text{ kWh}_{köpt}/\text{m}^2 A_{temp+garage}$ | för icke elvärmade byggnader |
| | $E_{köpt} \leq 30 \text{ kWh}_{köpt}/\text{m}^2 A_{temp+garage}$ | för elvärmade byggnader |
| zon II | $E_{köpt} \leq 54 \text{ kWh}_{köpt}/\text{m}^2 A_{temp+garage}$ | för icke elvärmade byggnader |
| | $E_{köpt} \leq 32 \text{ kWh}_{köpt}/\text{m}^2 A_{temp+garage}$ | för elvärmade byggnader |
| zon I | $E_{köpt} \leq 58 \text{ kWh}_{köpt}/\text{m}^2 A_{temp+garage}$ | för icke elvärmade byggnader |
| | $E_{köpt} \leq 34 \text{ kWh}_{köpt}/\text{m}^2 A_{temp+garage}$ | för elvärmade byggnader |

Övriga byggnadskrav

Luftläckage

Luftläckning genom klimatskalet får vara maximalt $0,30 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$ vid en tryckdifferens på 50 Pa (dvs. medelvärdet av över- respektive undertryck), enligt SS-EN 13829 eller enligt förenklade metoder beskrivna i denna standard.

Fönster

Byggnadens genomsnittliga U-värde för fönster och glaspartier ska vara högst $0,90 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. U-värden skall vara mätt av ackrediterat provningslaboratorium enligt standard SS-EN ISO 12567-1 för ett representativt fönster exempelvis $12 \times 12 \text{ M}$, dvs. inklusive karm, båge och glas. För övriga storlekar på glaspartier kan beräkningar göras enligt SS-EN ISO 10077-1.

Mätning

För att i efterhand kunna verifiera byggnadens energitekniska egenskaper ska energianvändningen på minst månadsbasis kunna avläsas för hushållsel, fastighetsel och värmeenergi var för sig. Notera att i fastighetsel ingår inte el till tvättstuga. Större delposter av hushållsel och fastighetsel som inte används innanför klimatskalet bör kunna mätas separat (el till extern avisning, belysning av gångstigar, motorvärmarruttag, etc.) då dessa inte ger spillvärme. Därutöver mäts vattenvolym till varmvattenberedning och antal boende noteras.

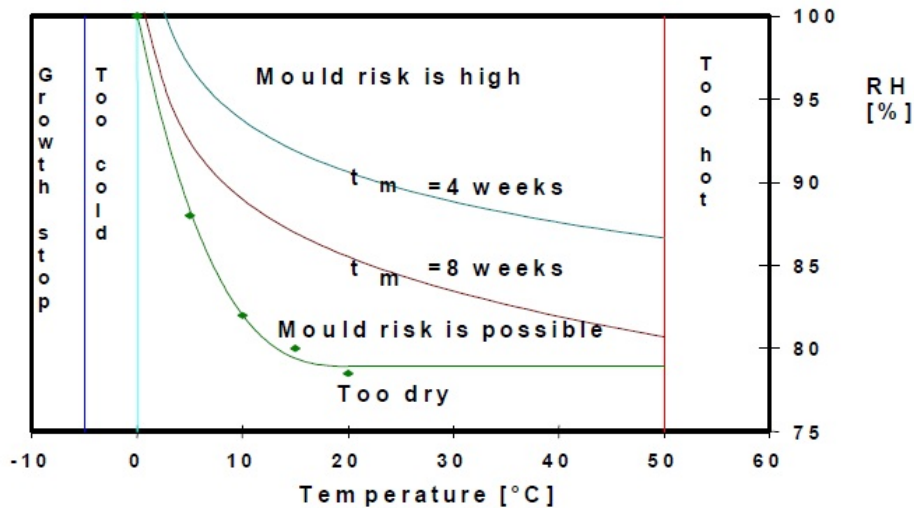
3 FUKT

Fukt är en mycket viktig aspekt att ta hänsyn till vid nybyggnation samt ROT-arbeten. Fuktskador är ett av de vanligaste problemen i byggnadskonstruktioner och kan orsakas av många olika faktorer. Vanliga orsaker till fuktproblem i hus är läckage av regnvatten genom tätskikt i tak samt runt fönster och dörrar men även fukt som påverkar husets grundplatta och eventuella källarväggar genom kapillärsugning. Fuktskador kan även orsakas av läckande vattenledningar eller dåligt genomförande av tätskikt i våtutrymmen där tätning runt golvbrunnar, rör genomföringar och i hörn i duschutrymmen är kritiska punkter som måste utföras med omsorg. Om ett läckage uppstår enligt något av ovanstående exempel och uttorkningen i det aktuella området är lägre än fukttillskottet kan vid rätt temperatur skapa goda förutsättningar för påväxt av mögel och mikrobakteriell påväxt. Detta kan i sin tur leda till hälsoproblem för människor, försämrad hållfasthet eller nedsatt isoleringsförmåga i den aktuella byggnadsdelen. Påväxt av mögel kan börja redan då ett material har en relativ fuktighet på 70-80 % medan den största tillväxten sker vid 90-95% relativ fuktighet (SP [1], 2010). I tabell 1 visas kritiska fuktigheter för några vanliga byggnadsmaterial. Dessa värden har tagits fram av SP och är riktvärden framtagna under standardiserade försök i laboratoriemiljö (SP mögeltabell, 2010).

| Materialtyp | Kritiskt fukttillstånd [% RF] |
|--|-------------------------------|
| Trä och träbaserade material samt smutsiga material | 75-80 |
| Gipsskivor med papp | 80-85 |
| Mineralull och cellplastisolering (EPS) | 90-95 |
| Betong | 90-95 |

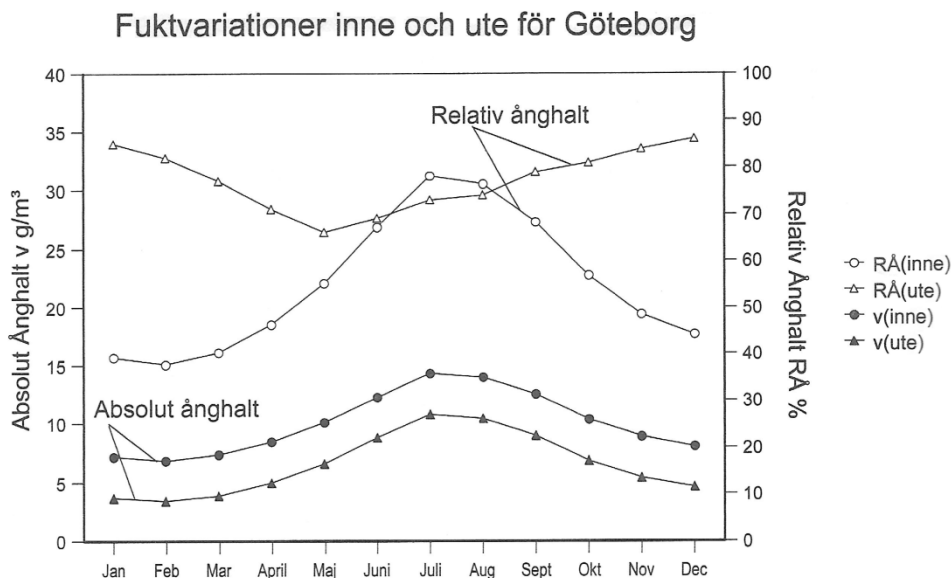
Tabell 1: Kritiska fukttillstånd för några olika byggnadsmaterial.

Mögelpåväxt påverkas av flera parametrar som t.ex. temperatur och tid och kan därför skilja sig mycket från fall till fall. För att återge en mer realistisk bild av mögelproblematiken kan Hannu Viitanens diagram användas. Det visar hur stora risker för mögelpåväxt som finns vid olika temperaturer och relativa ånghalter enligt figur 2.



Figur 2: Viitanens diagram över risker för mögelpåväxt. (Viitanen H, 2001)

Boverket ställer krav på utformning av byggnader gällande fuktsäkerhet. Enligt boverkets byggregler, BBR 16 (BFS2008:20), finns föreskrifter och allmänna råd om hur en byggnad utformas så att fukt inte skall kunna orsaka skador, elak lukt eller hygieniska olägenheter och mikrobakteriell tillväxt som kan påverka människors hälsa (Boverket, 2010). Fukt förekommer naturligt i luften som vattenånga i olika koncentrationer beroende på årstid, väderlek, temperatur eller lufttryck. Årstidsvariationen för fuktig luft inne och ute framgår enligt figur 3.



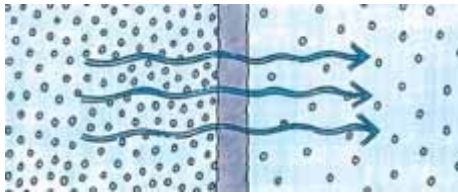
Figur 3: Typvariationer för absolut- och relativ ånghalt. (Peterson B-Å, 2007).

Enligt tabellen framgår att ånghalten är som störst på sommaren vilket medför att den relativa ånghalten inomhus även då är som högst. Samtidigt är den relativa ånghalten ute som lägst under vår och sommar beroende på den högre temperaturen som leder till att luftens fuktkapacitet ökar.

3.1 Fukttransport

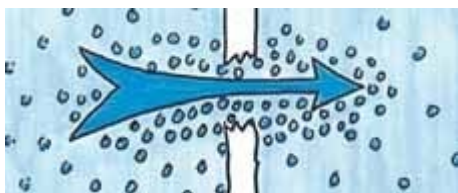
Fukt eller vatten har en naturlig strävan att i alla dess former uppnå ett jämviktstillstånd. I vätskeform kan detta ske genom kapillärsugning, genom påverkan av tyngdkraften, vindbelastning eller vattentryck. Vid gasform sker istället utjämningen genom konvektion eller diffusion (Omboende, 2010). Eftersom detta examensarbete behandlar ångspärrar kommer därför diffusion och konvektion att beskrivas mer ingående.

Diffusion eller i det här fallet fuktdiffusion är en fuktvandringsprocess där drivkraften är ånghaltsdifferensen. Eftersom vattenmolekylerna strävar mot jämvikt sker en ständig fukttransport från områden med högre ånghalt till det lägre. Flödet bestäms av ångdifferensen som skapar drivkraften samt vilket ånggenomgångsmotstånd som de ingående materialen har som vattenången passerar.



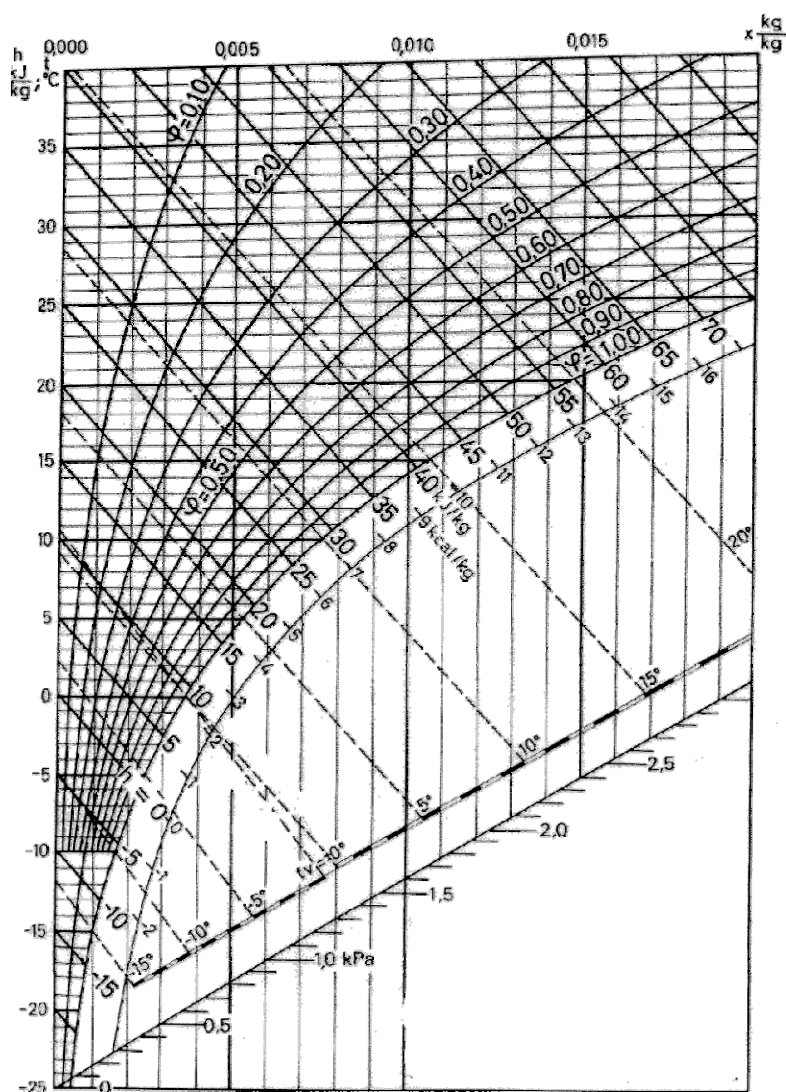
Figur 4: Diffusion genom ångspärr.

Konvektion innebär rörelser i ett material orsakat av tryck- eller temperaturskillnad. I fallet fuktdiffusion är det främst lufttryckdifferensen som medför en fukttransport med luftströmmar. Ett större differenstryck mellan olika områden medför tillsammans med ett lågt motstånd en ökad konvektionsrörelse.



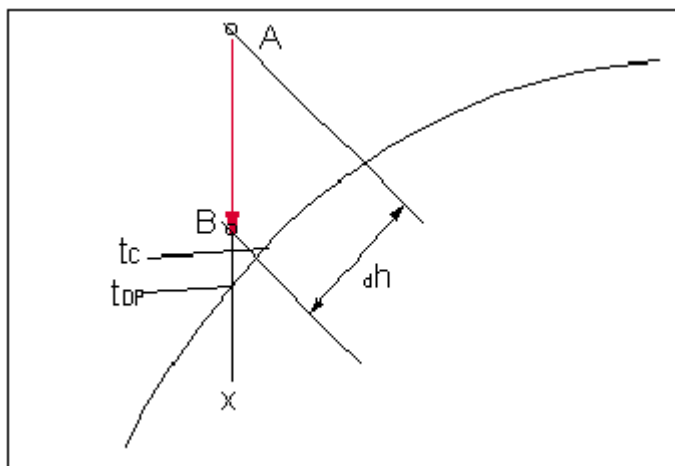
Figur 5: Konvektion genom otäthet i ångspärr.

Luftens fysikaliska egenskaper då temperatur och fukttinhåll varierar kan illustreras genom att använda ett så kallat Mollierdiagram. Detta visar sambandet mellan luftens temperatur, fukttinhåll och entalpi (energiinnehåll). Den vertikala skalan visar temperatur med enheten °C och den horisontella skalan visar ångkvoten med enheten kg vatten per kg luft. Luftblandningens entalpi kan läsas på skalan under den understa böjda linjen i diagrammet där skalan är graderad i kJ/kg. Om två av storheterna; temperatur ångkvot eller entalpi är kända, går det med hjälp av Mollierdiagrammet grafiskt bestämma den tredje storheten. De tio linjer som börjar i nedre vänstra hörnet och böjer av åt höger visar luftens relativa fuktmättnad i steg om 10 % där den understa linjen representerar 100 % relativ fuktighet.



Figur 6: Mollierdiagram.

För att förtydliga problematiken med vad som sker då fukt diffunderar eller förs ut genom konvektionsrörelser i en kallare byggnadsdel följer här exempel som visar hur fuktkapaciteten sjunker då temperaturen sänks. Om temperaturen sänks finns risk att fukthalten överstiger den aktuella mätnadsånghalten vilket leder till kondens. Med hjälp av det ovanstående Mollierdiagrammet visas här hur luftens egenskaper förändras då temperaturen sjunker:



Figur 7: Exempel på förändring av luftens egenskaper vid avkylning illustrerat i ett Mollierdiagram.

I exemplet förutsätts en lätt väggkonstruktion med isolering. Temperaturen och luftfuktigheten är högre än på väggens utsida. Låt punkten A symbolisera luftens temperatur och ånghalt i isoleringen i en vägg nära insidan. Här har luften något lägre temperatur än inomhustemperaturen. Vad gäller ånghalten i den punkten beror det på väggens uppbyggnad och de ingående materialens egenskaper. Finns en ångspärr eller en ångbroms i konstruktionen påverkar det ånghalten betydligt. Är ångspärren indragen medför det att ånghalten med stor sannolikhet kan vara högre än fukthalten inomhus. I detta exempel antas att ånghalten är konstant för att lättare kunna illustrera vad som händer då temperaturen sjunker. Låt punkt B vara en punkt längre ut i isoleringen mot den kallare utsidan. I figur 7 illustrerar pilen mellan A och B temperatursänkningen och d_h anger den minskade energimängd som luften nu innehåller. Eftersom ånghalten är konstant är det endast temperatursänkningen som svarar för det lägre energiinnehållet. Den lägre temperaturen tillsammans med ett konstant fuktinnehåll medför att egenskaperna för luften närmar sig relativ fuktmättnad, då den böjda linjen representerar 100 % RF i enighet med figur 6. Om luften kyls ytterligare medför detta att fukt fälls ut som kondens då luftens ånghalt närmar sig mätnadsånghalten för den aktuella temperaturen. Den punkt där det inträffar kallas daggpunkten och betecknas i figur 7 t_{DP} .

4 Lufttätthet

Luftläckage genom klimatskalet är en ofta oönskad extra luftomsättning som sker utöver det som byggnadens ventilationssystem ger. I äldre byggnader som är dåligt isolerade eller helt saknar isolering är luftläckage ofta inget större problem. Luftläckaget genom otätheter i golv, väggar tillsammans med otätheter runt fönster och dörrar var en del av det ventilationssystem som byggnader hade. Tillsammans med förbränningen i eldstäder gav det ofta en fullt tillräcklig luftomsättning. Komfortnivån var betydligt lägre än i dagens hus eftersom det okontrollerade intaget av luft ofta ledde till dragiga och kalla golv vilket medförde att den behagliga vistelsezonen ofta begränsades till området närmast eldstaden. Med tiden då den konventionella vedeldningen ersattes av modernare centralvärmesystem förändrades möjligheten för naturlig luftomsättning i hela husen genom att förbränningen blev effektivare och att den numera nästan uteslutande skedde i källaren. Energipriserna steg kraftigt och oljekrisen i början av 70-talet kan ses som startskottet till att byggnader isolerades betydligt mer än tidigare vilket även gjorde husen allt tätare. Okunskapen om isoleringens och täthetens betydelse för val av ventilationssystem och de fuktproblem som den medförde ledde till att fuktskadorna i hus blev allt vanligare. Tak och väggkonstruktioner utan luftspalt är vanliga orsaker till att fukt ansamlas i konstruktioner. Detta gör tillsammans med den ökade mängden isolering att byggnadskonstruktioner blir mer sårbara för fuktrelaterade skador.

4.1 Provtryckning av passivhus

Luftläckaget i högisolerade konstruktioner kan medföra stora fuktproblem då fukt förs med genom konvektionstransport ut i väggar och tak. Vid kall väderlek kan fukten kondensera i väggens kalla yttre delar. Detta kan i sin tur leda till hållfasthetsnedsättning och andra olägenheter såsom mögelpåväxt. Eftersom tjockleken på vägg och takkonstruktioner i passivhus är betydligt större än i konventionella byggnader försvåras uttorkning av eventuell fukt. Därför är materialkvalitet och utförande av stor vikt vid byggande av passivhus. Enligt FEBY är provtryckning en viktig kvalitetsaspekt och eftersom den är mätbar har den en central roll i klassificeringen av passivhus. Enligt BBR gäller för alla nyproducerade hus att luftläckaget genom klimatskalet inte får överstiga $0,6 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$ ($0,8 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$ i den föregående utgåvan av BBR). Som tidigare nämnts i kapitel 2 ställer FEBY ytterligare krav på lufttätthet för passivhus och anger i sin kravspecifikation att luftläckaget maximalt får uppgå till $0,3 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$. Förfarandet för hur en provtryckning skall gå till finns reglerat i Svensk Standard under byggnadens termiska egenskaper; SS-EN 13829. Här beskrivs hur luftläckaget genom klimatskärm beräknas genom ett standardiserat tillvägagångssätt. Det huvudsakliga syftet med standarden är att mäta luftläckaget i en byggnad eller byggnadsdel samt för att kunna jämföra luftläckaget mellan olika byggnader eller av samma byggnad i olika byggnadsskeden. Standarden kan användas till att lättare identifiera källor till läckage samt att fastställa hur

lufttätheten påverkas vid en ombyggnad eller annan större förändring av byggnadens klimatskal.

Det som krävs för att utföra en provtryckning är utrustning för att mäta differenstryck, lufttryck, temperatur och luftflöde. Det krävs även en fläkt för att skapa tryckskillnaden samt en dator för att registrera mätdata från provtryckningen. Dessutom krävs att alla avsiktliga håltagningar som t.ex. genomföringar för VVS- eller elinstallationer tätas. Exempel på genomföringar som vanligen behövs tätas inför provtryckningar är imkanal för köksfläkt, eventuella elinstallationer i väggar och tak samt avloppsgenomföringar i plattan.

4.2 Genomförande av provtryckning vid referensobjekt

För att säkerställa att husen i Pumpkällhagen uppfyller passivhuskriterierna med avseende på lufttätheten har alla husen provtryckts individuellt av konsultfirman Anneling Tobin Consult AB. Provtryckningen skedde efter samtliga delar av stommen rests men innan den innersta stommen isolerats. Detta gjordes för att under provtryckningens gång kunna åtgärda eventuella otätheter i ångspärren. Innan provtryckningen genomfördes inspekterades plastningent för att upptäcka eventuella synliga skador i plasten. Det är framförallt vid skarvningar, infästningar, fönsterhörn och andra skarpa vinklar som är kritiska punkter och är därför viktiga att kontrollera noggrant. Inför provtryckningen täcktes dörrhålet genom att en plywoodskiva skruvades fast och tätades med tejp mot regelstommen. Som figur 8 nedan visar är fläkten också monterad i skivans underkant.



Figur 8: Bild från en av provtryckningarna i Viskafors

Provtryckningen sker som tidigare nämnts vid en relativ medeltryckskillnad på 50 Pa. Mätningen utförs enligt standarden vilket innebär att provtryckningen sker med både under och övertryck. Vanligen sker undertrycksmätningen först eftersom plasten då sugas in och hänger i sin infästning. Det innebär att eventuella läckor går att spåra relativt lätt. Sökning efter läckor kan enligt ansvariga snickare på platsen göras för hand. Genom att känna efter drag från otätheter går det relativt enkelt att hitta eventuella större otätheter. En av snickarna berättade att plasten helt enkelt kunde sugas loss från reglarna på grund av undertrycket vilket medförde att de ibland var tvungna att häfta fast plasten ytterligare under provtryckningen. Enligt konsultfirman är det även vanligt förekommande att termografering utförs i samband med provtryckning för att hitta otätheter i klimatskalet. Något som snickarna som plastade lärde sig under arbetets gång var att inte fästa plasten med fler klamrar än nödvändigt eftersom varje klammer kräver tejp för att inte läckage skall uppstå. Platschef Halldor Hilmarsson berättar att snickarna stod och stampade i väntat på resultatet vid varje provtryckning. Provtryckningsresultatet kommenterar han är som ett kvitto på hantverkarnas arbete och att det driver dem att försöka göra husen ännu tätare. Av de 18 husen som provtrycktes hade inget ett läckage som översteg $0,13 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$ vilket är betydligt under passivhusnormens krav på $0,3 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$. Halldor berättar stolt att de i ett av husen lyckats komma ner i ett luftläckage på $0,06 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$ i vilket då var det tätaste som någonsin uppmätts i Sverige. Det var så lågt att de tog dit en annan mätkonsult för att verifiera mätresultatet, vilket visade sig stämma. Eventuellt kommer provtryckningar på husen göras längre fram då huset är helt färdigställda för att jämföra mätvärdena med den första provtryckningen. Halldor konstaterar också att projektet i Viskafors givit företaget värdefull kunskap om passivhusbyggande som de kommer ha nytta av i framtiden. Ett exempel han nämner är att plastningstiden för ett passivhus nu är nere på normal tid vilket innebär att företaget i framtiden inte behöver lägga på någon extra tid för plastning vid tidsplanering och offererande vid kommande byggen av passivhus.

För att skapa en uppfattning om storleksordningen på den sammanlagda yta på otätheterna som motsvaras vid den aktuella tryckskillnaden använder vi oss av Dicks formel:

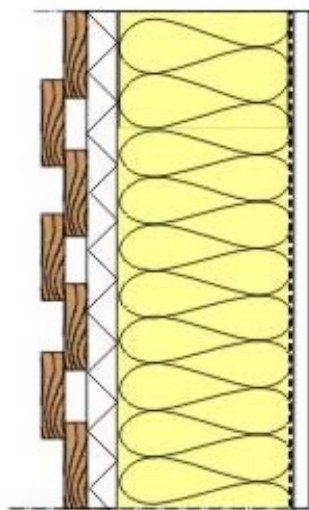
$$Ra = \sqrt{\frac{\Delta P}{Sh'}} \qquad Sh' = \frac{\rho_{luft}}{0,845 \cdot A^2}$$

5 Ångspärrar

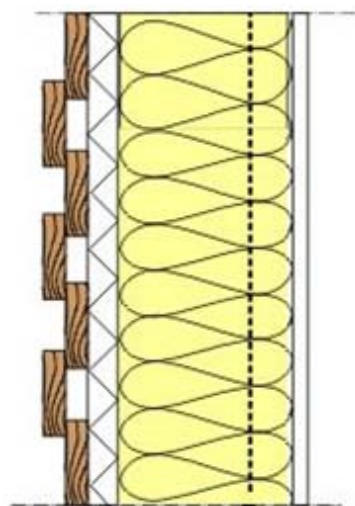
Ångspärren är en mycket viktig detalj i en byggnad. Både ur energisynpunkt då den påverkar lufttätheten och ur fuktsynpunkt eftersom den motverkar eventuell fuktvandring genom konvektion och diffusion i byggnadskonstruktioner. En ångspärr har alltid ett stort ånggenomgångsmotstånd och hög lufttäthet. Är ett material lufttätt behöver det dock inte betyda att materialet har stort ånggenomgångsmotstånd. Om materialet däremot har ett stort ångmotstånd betyder det oftast att materialet även är lufttätt.

Alla material i en byggkonstruktion påverkar den totala fukt- och värmetransporten. Det är därför viktigt att ta i beaktande att inte stänga in material mellan andra material med höga ånggenomgångsmotstånd. Detta är ett problem som ofta uppkommer då våtutrymmen placeras vid en yttervägg. Eftersom det krävs ett tätskikt i våtrum, ofta plastmatta eller tätskikt under kakelplattor, skapas ofta ett problemområde mellan två täta skikt. Vid sådana lösningar är det speciellt viktigt med noggrant utförande och att det inre skiktet har betydligt högre ånggenomgångsmotstånd.

Ångspärren skall placeras på den varma sidan av isoleringen. Ur fuktsynpunkt är den mest fördelaktiga placeringen av ångspärren så nära väggens insida som möjligt (se figur 9). För att förhindra skador i ångspärren som till exempel spikhål, placeras ångspärren med fördel en bit in i väggen vilket då kallas indragen ångspärr (se figur 10). På så sätt skapas ett installationsskikt där elinstallationer inte skadar ångspärren. Uppstår ett hål eller annan skada på ångspärren medför detta oftast ökad fukttransport genom konvektion vilket kan leda till fuktproblem om fukttillskottet är stort och uttorkningsmöjligheterna är begränsade. Fukttillskottet genom konvektion är normalt flera gånger större än det fukttillskott som diffusionen ger.



Figur 9: Ångspärr direkt innanför väggbeklädnad.



Figur 10: Indragen ångspärr.

5.1 PE-Folie

Den vanligaste ångspärren vid byggnation är idag den konventionella PE-folien, även kallad byggplast. Ångspärren är tillverkad av Polyeten som är en plast. För att uppfylla Sveriges plastförbunds "Verksnorm 200" skall den vara minst 0,2 mm tjock. Ånggenomgångsmotståndet för en 0,2 mm polyetenfolie är ca 3000 000 s/m vilket är avsevärt mycket högre än vad som egentligen behövs för att förhindra diffusionsskador, men tjockleken på plasten kan vara behövlig för att klara beständighetskraven och för att inte skadas vid monteringen.

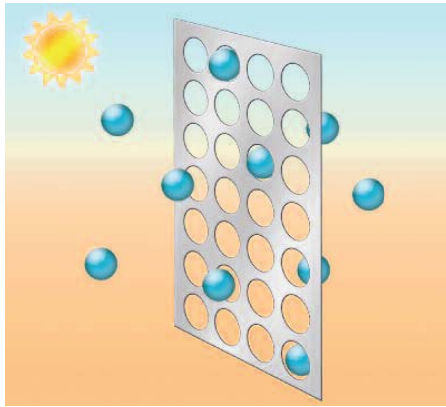
Informationstabell för PE-folie:

| | |
|---------------------------|------------------------|
| Material: | Polyeten |
| Tjocklek: | 0,2 mm |
| Dimension: | 25000 x 2700 mm |
| Ånggenomgångsmotstånd: | 3000×10^3 s/m |
| CE-märkt: | EN 13984 |
| Pris till återförsäljare: | 6,70 kr/m ² |

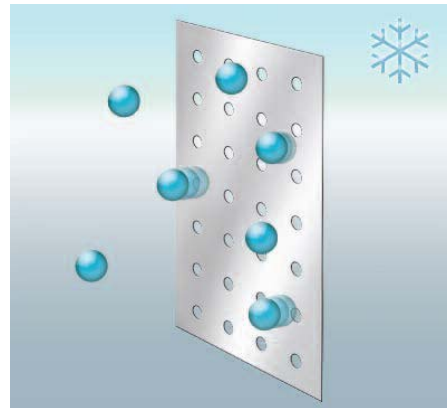
Tabell 2: Produktdata för PE-folie. (Isover produktblad).

5.2 Isover Vario Duplex

På senare tid har det utvecklats ångspärrar med lägre ånggenomgångsmotstånd, även kallade ångbromsar. Isover Vario Duplex är en ångbroms som har den unika egenskapen att ånggenomgångsmotståndet varierar beroende på luftens relativa fukthalt. Den är tillverkad av glasfiberförstärkt polyamidfolie. På sommaren när den relativa fuktigheten är hög i de inre delarna av konstruktionen (se figur 11) och det finns risk att fukt ackumuleras i en byggnadskonstruktion minskar ångbromsen sitt ånggenomgångsmotstånd vilket medför att fukten får en möjlighet att torka ut genom ångbromsen. På vintern när den relativa fuktigheten istället är låg i de inre delarna av konstruktionen (se figur 12) ökar ångbromsen istället ånggenomgångsmotståndet vilket medför att vattenånga får svårare att tränga in i konstruktionen. Ångbromsen har även en positiv inverkan på byggfukt då den ges möjlighet att torka ut i två riktningar istället för en på en som är fallet då en PE-folie används. Detta är en sanning med modifikation då det sker en viss fuktdiffusion även genom PE-folien även om den nästan är försumbar.



Figur 11: Schematisk bild för Vario Duplex vid hög RF. (Isover)



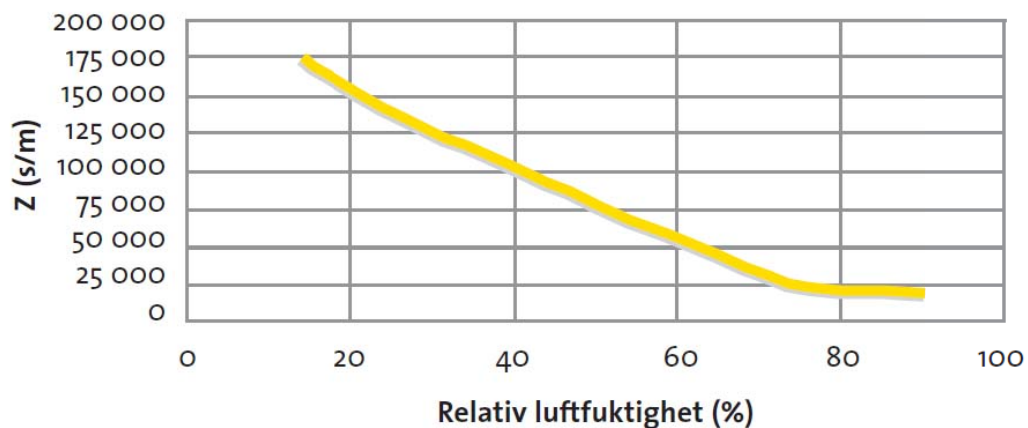
Figur 12: Schematisk bild för Vario Duplex vid låg RF. (Isover)

Informationstabell för Vario Duplex:

| | |
|---------------------------|---|
| Material: | Glasfiberförstärkt polyamidfolie |
| Tjocklek: | 0,22 mm |
| Dimension: | 40000 x 1500 mm |
| Ånggenomgångsmotstånd: | Låg relativ fuktighet: 175×10^3 s/m Hög relativ fuktighet: 20×10^3 s/m |
| CE-märkt: | EN 13984 |
| Pris till återförsäljare: | 26,20 kr/m ² |

Tabell 3: Produktdata för Vario Duplex. (Isover produktblad).

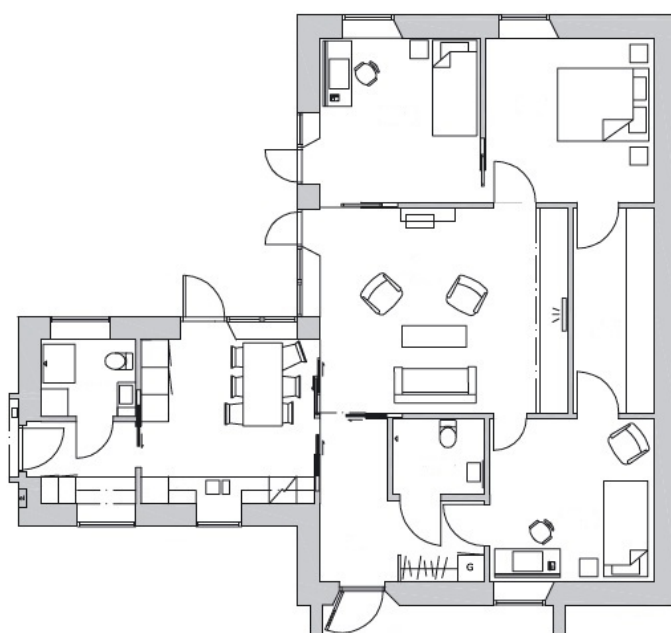
Ånggenomgångsmotstånd



Figur 13: Variation i ånggenomgångsmotstånd med avseende på RF. (Isover produktblad).

6 Passivhusområdet Pumpkällehagen

De hus som vi använt som vårt referensobjekt är under uppförande i Viskafors som är ett litet samhälle strax söder om Borås. Där uppför företaget Olofsson Bygg i skrivande stund 18 passivhus. Husen är landets första område med helt fristående passivhus som dessutom har upplåtits som hyresrätter av det kommunala bostadsbolaget Viskaforshem. De har alla en BOA på totalt 109 m² med fyra rum, kök, badrum, separat toalett, tvättstuga vid groventré samt förråd i anslutning till carporten. Planlösningen är tänkt att skapa en privat del och en del för samvaro i huset. Materialvalen i interiören har gjorts med stor omsorg med bland annat köksinredning i massiv ek, fönsterbänkar i natursten från Kinnekulle och väggpanel med penselstruken vit lasyr. Det som kanske är mest utmärkande för husen är den tjocka väggkonstruktionen samt den otroliga lufttätethet som snickarna lyckats med att få till med hjälp av PE-folie och en specialtejp. Ett krav för att få använda benämningen passivhus är ett maximalt luftläckage på 0,3 l/s·m². Det första huset som stod klart hade vid provtryckningen ett luftläckage på 0,13 l/s·m². Det bästa huset hade vid provtryckningen ett luftläckage på 0,06 l/s·m².



Figur 14: Planlösning.

Placeringen av husen har utförts för att skapa en central mötesplats mitt i området, liknande ett torg, för att främja gemenskap och skapa trivsel.



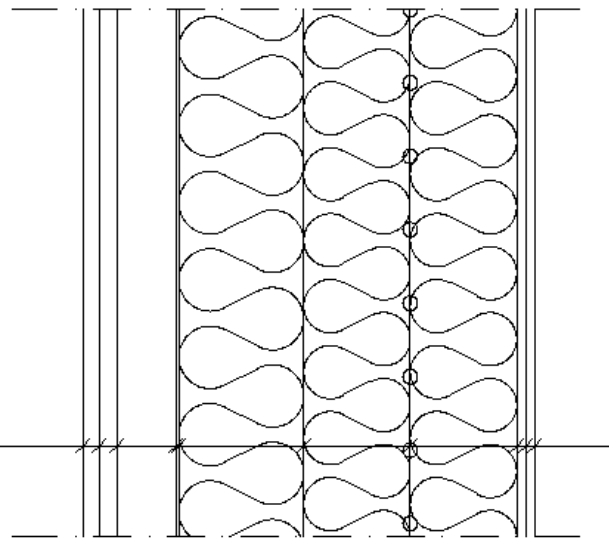
Figur 15: Situationsplan.

6.1.1 Vägghonstruktionen

Väggarna i husen har en total tjocklek på drygt 60 cm. Stommen är sammansatt av tre träregelstommar som tillsammans ger en isoleringstjocklek på 53 cm. Ytterst består väggen av klädselbrädor av stående linoljekokt granpanel som spikas med syrafast rostfri spik. Bakom klädselbrädorna finns liggande spikläkt vars uppgift är att skapa luftspalt samt att bära upp klädselpanelen. Bakom spikläkten finns det första isolerande lagret som är en halvstyv, fuktålig mineralullsskiva på 80 mm, vars uppgift är att motverka köldbryggor. Väggens yttersta träregelstomme, även kallad den primära stommen, består av regler 45x170 mm med cc600 som är isolerad med mineralull. På utsidan av primärstommen spikas en 4 mm tjock mineritskiva (fibercementskiva) vars uppgift är att styva upp konstruktionen samt fungera som vindskydd. Innanför primärstommen finns en liggande mellanstomme som har dimensionen 45x145 mm med cc1200 isolerad med mineralull. Innanför mellanstommen fästs den åldersbeständiga ångspärren (PE-folie) med häftklamrar. Det som skiljer fastsättningen av den 0,2mm tjocka ångspärren i passivhus från konventionella hus är att klamrarna tejpas noggrant för att göra konstruktionen mer lufttät. Dessutom tillåts inga enbart klämda skarvar utan även dessa kräver tätning med tejp. Den tejp som används är en specialtejp med mycket god vidhäftning samt bra beständighet. För att minska den tidskrävande tejpningen används extra bred

plastfolie på fyra meter. Dessutom häftas plasten med så få klamrar som möjligt. Enligt platschefen gick det åt ungefär två km tejp per hus. Plastens anslutning mot fönster- och dörrkarmar görs lufttät genom att ålderbeständig mjukfog appliceras mellan karm och ångspärr. Utförandet av plastens tätning mot betongplattan sker genom att en bitumenremsa läggs under plasten mot golvet och kläms fast av den inre regelstommen som även den har dimensionen 45x145 mm med cc600. Därefter görs nödvändiga installationer varefter den inre stommen isoleras. Väggarna täcks sedan med OSB-skivor och stående träpanel.

22 MM TRÄPANEL
 25 MM LUFTSPALT
 80 MM ISOLERING
 4 MM MINERITSKIVA
 170 MM ISOLERING
 145 MM ISOLERING
 0.2 MM ÅNGSPÄRR
 145 MM ISOLERING
 12 MM OSB-SKIVA
 12 MM TRÄPANEL



Figur 16: Väggens uppbyggnad.

6.1.2 Fuktsäker stommontering

Primärstommen som består av regler, fibercementskiva (minerit), den halvstyva yttersta mineralullsskivan samt spikreglarna byggdes ihop i ett monteringsstält som ligger 300 meter från byggarbetsplatsen. De halvfärdiga väggelementen fraktades därefter från monteringsstället och lyftes sedan på plats med hjälp av en mobilkran. Valet att prefabricera stommen delvis istället för att bygga med lösvirke direkt på plats togs för att snabbare få tätt hus. Detta var särskilt viktigt i det här fallet då den tjocka stommen försvårar uttorkning av byggfukt. Träets fuktkvot får enligt BBR inte överstiga 18 % i passivhus. De två första husen restes därför under väderskydd, resterande hus valde byggfirman istället att stomresa då det garanterat skulle vara uppehåll. De hade då även arbetat in sig på de första två husen vilket gjorde att arbetet flöt på bättre. Stomresningen tog endast fyra timmar för två snickare. Samma dag lyftes även takstolarna på plats och på flera av husen hann de till och med lägga råspont och papp, dvs. uppnå tätt hus under en och samma dag.

7 Beräkningar och resultat

7.1 Fuktberäkning

Se bilaga 10-12 för beräkningstabeller.

Beräkningsgång:

1. Data skrivs in i tabell.
2. R-värden($\text{m}^2\text{C}/\text{W}$) beräknas.
3. Temperaturvärden på dygnsmedeltemperatur hämtas från tabell för aktuell ort och månad. Innertemperatur ansätts till 21°C
4. Övriga temperaturer beräknas med formeln: $T_x = T \pm \frac{R_x}{R_{si} + \Sigma R_i + R_{se}} (T_i - T_e)$
5. V_s (g/m^3) hämtas ur tabell för mätnadsånghalt
6. Z-värden(s/m) hämtas från tabell då och avläses efter att den relativa ånghalten uppskattats eller beräknas med formel: $Z = \frac{d}{\delta}$
7. δ -värden(m^2/s) hämtas från tabell efter att den relativa ånghalten uppskattats eller beräknas med formel: $\delta = \frac{d}{Z}$
8. V-värde(g/m^3) sätts in enligt förutsättningar, från tabell eller beräknas med formel: $V_x = V \pm \frac{Z_x}{\Sigma Z_i} \Delta V$
9. $R\ddot{A}$ beräknas med formel $\frac{V}{V_s}$

7.2 U-värdesberäkning

Det finns totalt 6 olika kombinationer av material genom väggen:

1: Ull, Ull, Ull

2: Trä, Ull, Ull

3: Ull, Ull, Trä

4: Ull, Trä, Ull

5: Ull, Trä, Trä

6: Trä, Trä, Ull

λ - värdesmetoden:

$$\lambda_1 \text{ Blandat} = \frac{45}{600} 0,14 + \frac{555}{600} 0,037 = 0,044725$$

$$\lambda_2 \text{ Blandat} = \frac{45}{1200} 0,14 + \frac{555}{1200} 0,037 = 0,0408625$$

$$RT = 0,04 + 0,321 + 0 + 2,581 + 0,004 + \frac{0,17}{0,044725} + \frac{0,145}{0,0408625} + \frac{0,145}{0,04725} + 0,086 + 0,157 + 0,13 = 13,91$$

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{13,91} = 0,0719 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

U-värdesmetoden:

$$R_{\text{tot}} = 15,752 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$R\text{-värde utan isolering} = 3,319 \text{ m}^2\text{C/W}$$

Total tjocklek på isolering = 0,46m

$$R\text{-värde på Träregel } 145 \times 170 = 1,217 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$R\text{-värde på Träregel } 145 \times 145 = 1,0357 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$R_1 = 15,752$$

$$R_2 = 3,319 + \frac{0,46 - 0,145}{0,037} + 1,0357 = 12,868$$

$$R_3 = 3,319 + \frac{0,46 - 0,170}{0,037} + 1,214 = 12,371$$

$$R_4 = 3,319 + \frac{0,46 - 0,145}{0,037} + 1,0357 = 12,868$$

$$R_5 = 3,319 + \frac{0,46 - 0,145 - 0,170}{0,037} + 1,0357 + 1,124 = 9,488$$

$$R_6 = 3,319 + \frac{0,46 - 0,145 - 0,145}{0,037} + 1,0357 + 1,0357 = 9,985$$

$$R_1 = 15,752 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$Y_{ta1} = 1020 \times 1155 \text{ mm}^2$$

$$R_2 = 12,868 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$Y_{ta2} = 90 \times 1155 \text{ mm}^2$$

$$R_3 = 12,371 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$Y_{ta3} = 90 \times 1155 \text{ mm}^2$$

$$R_4 = 12,868 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$Y_{ta4} = 45 \times 1110 \text{ mm}^2$$

$$R_5 = 9,488 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$Y_{ta5} = 45 \times 45 \times 2 \text{ mm}^2$$

$$R_6 = 9,985 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$Y_{ta6} = 45 \times 45 \times 2 \text{ mm}^2$$

$$U = \left(\frac{1020 \cdot 1150}{1200^2} \cdot \frac{1}{15,752} \right) + \left(\frac{90 \cdot 1150}{1200^2} \cdot \frac{1}{12,868} \right) + \left(\frac{90 \cdot 1150}{1200^2} \cdot \frac{1}{12,371} \right) + \left(\frac{45 \cdot 1110}{1200^2} \cdot \frac{1}{12,868} \right) +$$

$$\left(\frac{45 \cdot 45 \cdot 2}{1200^2} \cdot \frac{1}{9,483} \right) + \left(\frac{45 \cdot 45 \cdot 2}{1200^2} \cdot \frac{1}{9,985} \right) =$$

$$= 0,0519 + 0,00561 + 0,00583 + 0,00270 + 0,000297 + 0,000282 = 0,066619$$

$$\Rightarrow R = 15,01$$

$$R_{tot} = 0,5(15,01 \cdot 13,91) = 14,46$$

$$\Rightarrow U = \frac{1}{R} = \frac{1}{14,46} = 0,069 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$$

7.3 Täthetsberäkning

För att skapa en uppfattning om vilken sammanlagd yta på otätheter som motsvaras vid den aktuella tryckskillnaden använder vi oss av Dicks formel:

$$Ra = \sqrt{\frac{\Delta P}{Sh'}}$$

$$Sh' = \frac{\rho_{luft}}{0,845 \cdot A^2}$$

$$\Rightarrow Ra = \sqrt{\Delta P} \cdot A \cdot \sqrt{\frac{0,845}{\rho_{luft}}}$$

$$\Rightarrow A = \frac{Ra}{\sqrt{\frac{0,845}{\rho_{luft}} \cdot \Delta P}}$$

- 1. Vid vårt referensobjekt uppmättes ett hus till ett luftläckage på $0,06 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$
- 2. Kraven på passivhus är ett luftläckage på $0,3 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$
- 3. Kraven på konventionella hus är ett luftläckage på $0,6 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$

Vi kommer nedan jämföra dessa tre fall:

$$1: \quad R_a = 0,06 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$$

$$\rho_{\text{luft}} = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta P = 50 \text{ Pa}$$

$$A = \frac{0,06}{\sqrt{\frac{0,845}{1,2}} \cdot \sqrt{50}} = 0,01$$

$$= 1 \text{ dm}^2$$

$$2: \quad R_a = 0,3 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$$

$$\rho_{\text{luft}} = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta P = 50 \text{ Pa}$$

$$A = \frac{0,3}{\sqrt{\frac{0,845}{1,2}} \cdot \sqrt{50}} = 0,051$$

$$= 5 \text{ dm}^2$$

$$3: \quad R_a = 0,6 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$$

$$\rho_{\text{luft}} = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta P = 50 \text{ Pa}$$

$$A = \frac{0,6}{\sqrt{\frac{0,845}{1,2}} \cdot \sqrt{50}} = 0,1$$

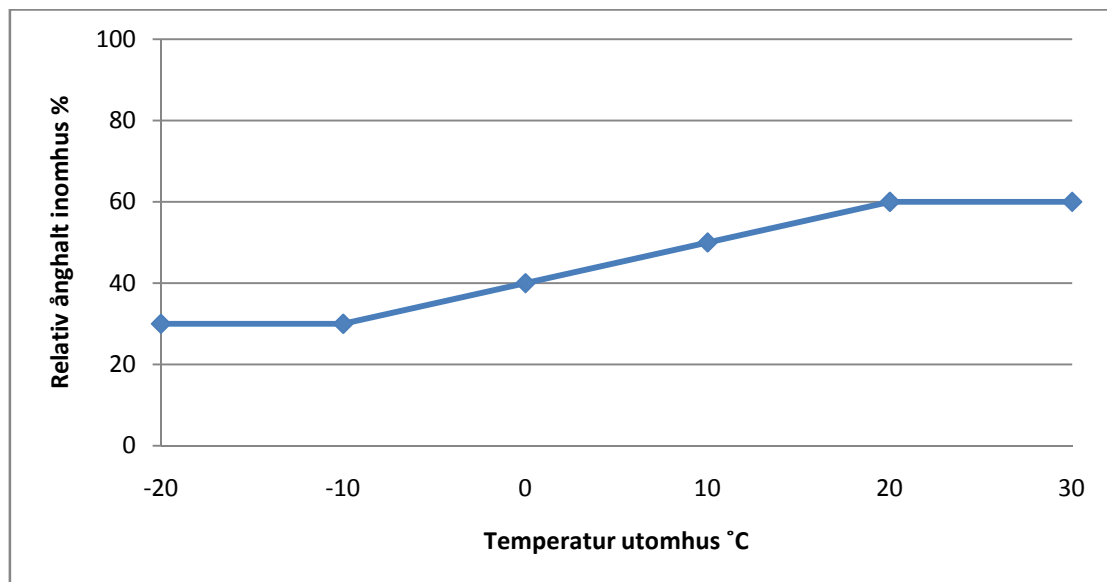
$$= 10 \text{ dm}^2$$

7.4 WUFI

WUFI är ett tyskt beräkningsprogram för fukt- och värmetransporter i olika konstruktioner och byggnadsdelar. I programmet finns möjlighet att bygga upp olika konstruktioner och göra realistiska beräkningar. Programmet har tillgång till flera materialdatabaser vilket gör att beräkningar av fukttransporter i konstruktioner kan göras verklighetstroga. Programmet kan också använda uppmätta väderdata, slagregn samt solinstrålning som randvillkor vilket ger realistiska simuleringar.

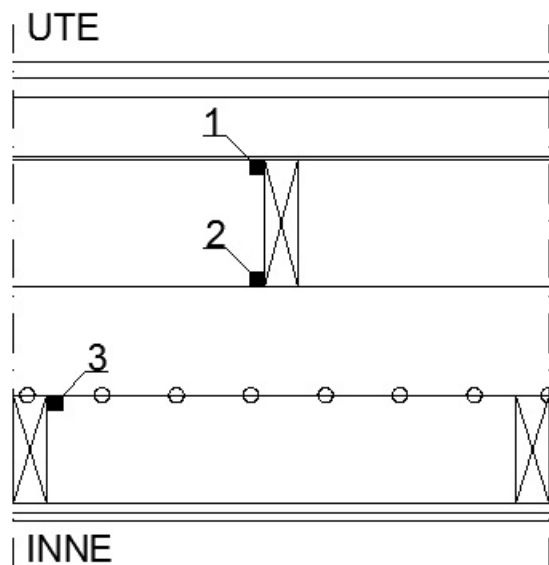
7.4.1 Försöksuppställning av väggsektion

För att göra en analys av fuktstillstånd i väggen har en försöksuppställning av en väggsektion från referensobjektet gjorts. Vi har valt att utföra simuleringen med väggen i ett sydvästligt läge där den utsätts för mest slagregn och störst temperaturvariationer. För att jämföra skillnaden mellan de två olika ångspärrarna har tre simuleringar gjorts för respektive ångspärr. Simuleringarna sträcker sig över en tioårsperiod för att fukthalten skall stabiliseras i väggen. De data vi fått ut från WUFI visar fukthalt för varje timme. För att simuleringen snabbare skall nå ett jämviktstillstånd ansattes en initialfuktighet som svarar mot en relativ fuktighet på 50 %. De klimatdata som använts för simuleringarna är WUFIs egna klimatdata för Göteborgsområdet då det var de närmaste tillgängliga klimatdata. Den relativa ånghalten för inomhusklimatet varierar mellan 30 och 60 % RÅ beroende på utomhustemperaturen enligt figur 17 nedan.



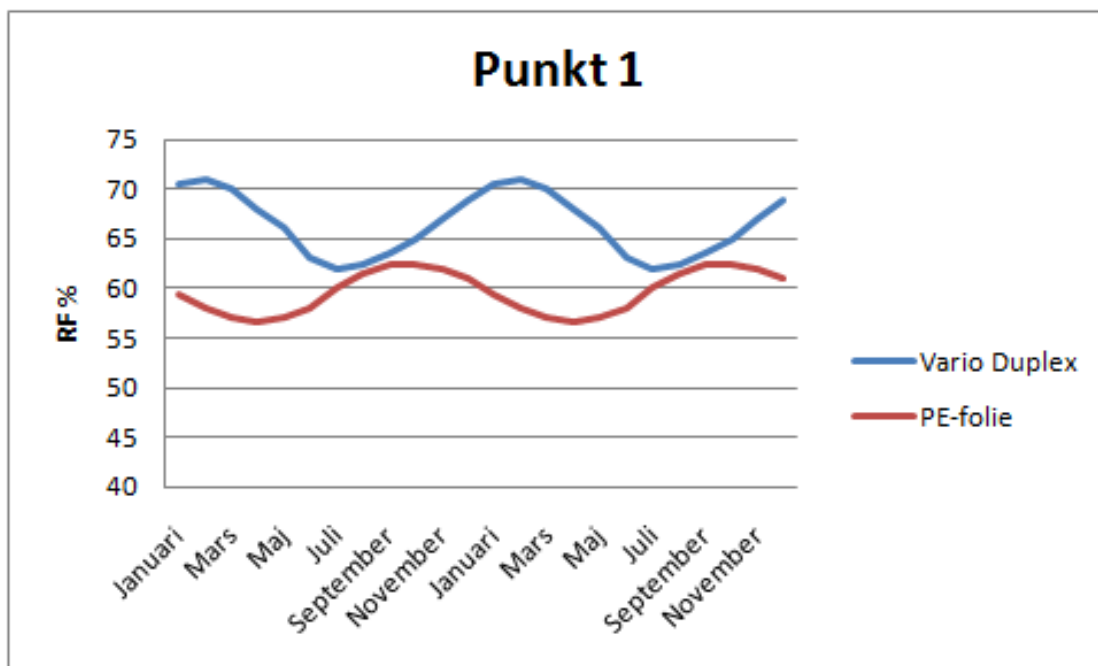
Figur 17: Diagram över hur den relativa ånghalten inomhus varierar med utomhustemperaturen enligt beräkningsförutsättningarna i WUFI.

Det första steget var att bygga upp två olika väggar i programmet genom att skriva in de geometriska egenskaperna för väggen som källkod. Sektionen som ritades upp är 600 mm bred eftersom reglarna i yttersta och innersta stommen har ett cc-avstånd på 600 mm. För att kunna genomföra simuleringen sattes randvillkor för beräkningsmodellens yttre gränser så att ingen fukt eller värmetransport sker genom sidorna utan måste passera genom in- och utsidan på modellen. Efter att väggens geometri är uppritad väljs materialegenskaper för de ingående materialen. De hämtas ur olika databaser i WUFI och har valts för att efterlikna referensväggen på bästa sätt. För att jämföra egenskaperna för den konventionella ångspärren med den variabla ångspärren har tre simuleringar utförts på modellen med respektive ångspärr. Vi har valt att undersöka fukthalten i tre punkter; en precis innanför ångspärren eller ångbromsen och två punkter i den yttersta regeln i väggen. Anledningen till att vi valt att analysera fukthalterna i isoleringen precis vid reglarna är att det är där som mögelpåväxten sannolikt börjar.

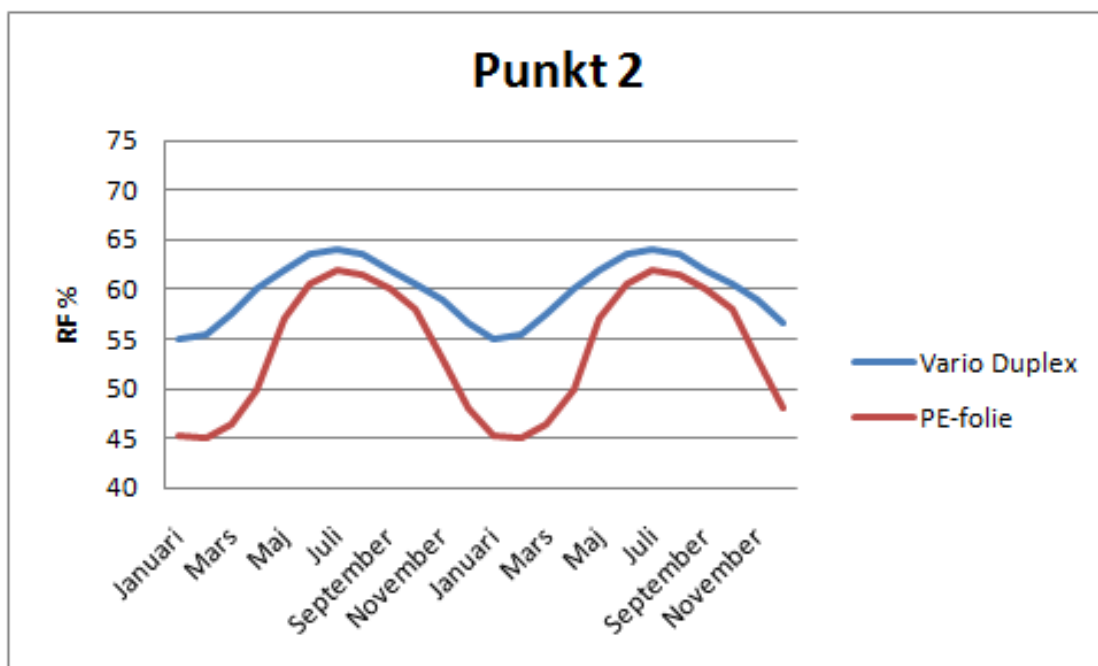


Figur 18: Punkter som simulerats i WUFI.

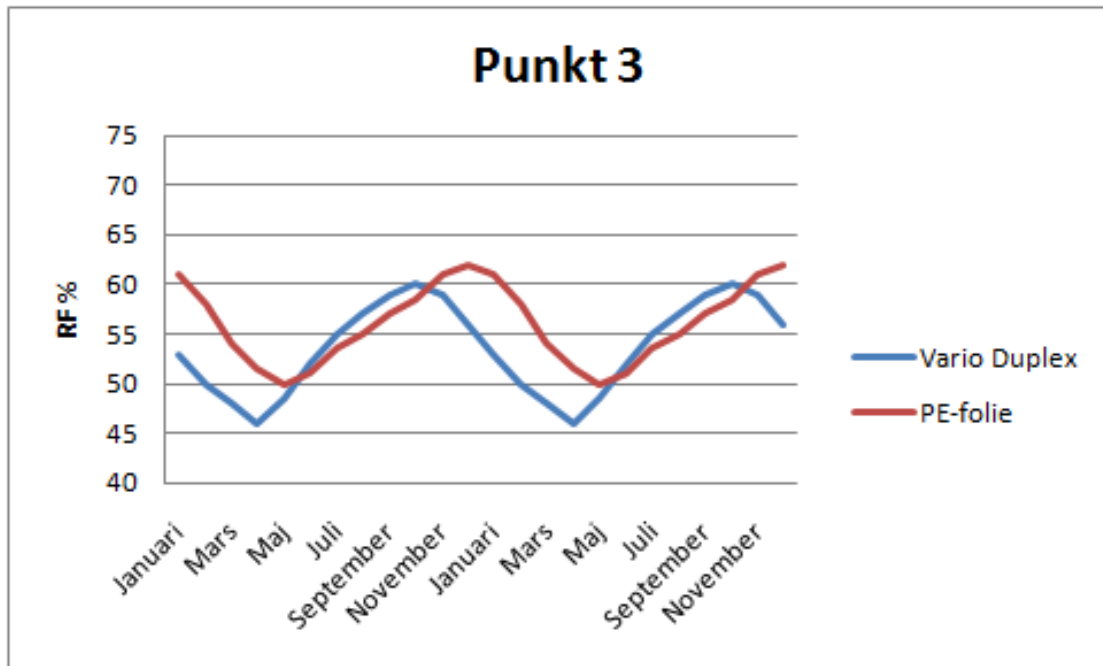
Nedan visas diagram med dygnsmedelvärden för fuktigheten för de tre punkterna som beräknats i WUFI för väggsektionen.



Figur 19: Relativ fuktighet under två år för punkt 1.



Figur 20: Relativ fuktighet under två år för punkt 2.



Figur 21: Relativ fuktighet under två år för punkt 3.

De fullständiga graferna kan läsas i sin helhet i bilaga 2-9.

8 Slutsatser och analys

Att bygga passivhus eller andra energisnåla hus är ett enkelt sätt att med befintlig teknik minska energianvändningen för våra bostäder. Att minska energianvändningen är ett viktigt första steg i övergången mot ett mer hållbart samhälle i väntan på förnyelsebara och mer hållbara energilösningar. En viktig aspekt att beakta i vägg och takkonstruktioner är utförandet av ångspärren. Detta är inte bara viktigt ur energisynpunkt utan även ur fuktsynpunkt. Eftersom passivhusen och dess konstruktionsutformningar fortfarande är i en utvecklingsfas är det viktigt att följa upp befintliga passivhus och undersöka hur fukten påverkar konstruktionen under tid. Våra beräkningar visade att fukthalten i väggen ökade något under de första åren simuleringarna utfördes. Något som även bör tas hänsyn till är att resultatet från beräkningsmodellen i WUFI inte säkert motsvarar de verkliga förhållandena. Yttre omständigheter som skador i ångspärr eller luftläckage vid genomföringar kan påverka fuktsituationen avsevärt.

Något som eventuellt kan påverka funktionen i passivhus i framtiden är beständigheten på tätningsmassa och den tejp som används för att täta skarvar och andra otätheter på ångspärren. Vid referensobjektet klarades täthetskraven med marginal vilket troligen beror på noggrant genomförande vid tejpning av ångspärren. Det går därför att konstatera att det går att bygga hus i stor skala med en täthet som klarar kraven för passivhus med marginal. Detta är en indikation på att kraven för lufttäthet eventuellt bör skärpas ytterligare.

PE-folie har under en längre tid använts som ångspärr och lufttätande skikt, därför är dess beständighet väl dokumenterad. Fastsättning av ångspärren har nästan uteslutande skett genom häftning och klämda skarvar. Tejpning har inte använts i någon större utsträckning och dess hållbarhetsegenskaper är därför osäkra. Tillverkare menar att hållbarheten inte skall vara några problem. Det är svårt att simulera tidens påverkan på tejpens klister och därför är det viktigt att följa upp konstruktioner där tejpning använts. För att säkerställa en långvarig funktion är det viktigt att även använda sig av tidigare metoder. Därför bör t.ex. plastskarvar även klämmas fast i skarvar och inte enbart tejpas, då det finns risk att tejpens mister sin funktion med åren. Det är inget som säger att täthetskravet vid uppförandet är någon långsiktig garanti på ångspärrens prestanda. Ett alternativ för att minska riskerna för dåligt genomförande är att införa ett obligatoriskt provtryckningskrav efter att huset är helt färdigställt. På detta sätt skulle medvetenheten troligen öka hos byggnadsarbetarna även efter att den första provtryckningen genomförts.

Våra beräkningar som genomfördes på lufttätheten visar att storleksordningen på den yta som otätheten motsvarar är väldigt liten. På de husen som vi studerat motsvarar det lägsta luftläckaget på $0,06 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$ en otäthet med ytan 1 dm^2 . Det kan i en första anblick ses som en relativt stor sammanlagd otäthet. Sett i proportion till husets totala omslutningsarea på ca 380 m^2 är det en relativt liten yta. Kravet på luftläckage för passivhus ($0,3 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$) motsvarar en otäthet på 5 dm^2 . Lufttätheten som åstadkommit vid vårt referensobjekt klarar därför med god marginal täthetskraven, även om det skulle uppstå ett ökat luftläckage med tiden. Det bör dock ha i åtanke att ett dåligt genomförande vid plastningen med tiden kan leda till ett markant ökat luftläckage

Det resultat som WUFI gav oss i simuleringarna med de två olika ångspärrarna ger oss ett relativt svårtolkat resultat. I punkt 1 (se figur 19) svänger den relativa fuktigheten mellan ca 71 % och 61 % för Vario Duplex och mellan 62 och 56 % för PE-folien. Fuktigheten är här konsekvent är högre för den variabla ångspärren jämfört med PE-folien vilket beror på att det sker en större fuktvandring från insidan genom den variabla ångspärren än genom PE-folien. Det är framförallt under sommaren då den relativa luftfuktigheten är hög som det stora tillskottet av fukt inifrån sker. Anmärkningsvärt då fuktkurvorna för punkt 1 jämförs är att kurvan för den variabla ångspärren är förskjuten två till tre månader framåt i tiden jämfört med PE-folien. Den högsta och lägsta fuktigheten noteras således vid olika tidpunkter på året. Väggen med den variabla ångspärren når högst fuktighet i februari månad och lägst fuktighet under juli. Väggen med den konventionella ångspärren når sin högsta fuktighet under oktober medans den lägsta istället inträffar i april. Fukthalterna medför ingen större risk för mögelväxt i någon av försöksupställningarna eftersom de högsta fukthalterna i den aktuella punkten endast uppträder under vintern då temperaturen i väggens yttre delar är låg. Se figur 2

I punkt 2 (se figur 20) är fuktighetsvariationerna lite större än i punkt 1. Här pendlar fuktigheten mellan ca 55 och 64 % för den variabla ångspärren och mellan ca 45 och 62 % för PE-folien. Här inträffar den maximala fuktigheten under sommaren för de båda konstruktionstyperna vilket innebär att temperaturen är den samma då fuktigheten är som störst. Enligt Viitanens diagram (figur 2) är det för torrt för mögelpåväxt. Att fuktigheten är högre i konstruktionen med den variabla ångspärren beror även i denna punkt på att det sker ett fuktillskott genom ångspärren. Eftersom punkt 2 är belägen längre in i konstruktionen än punkt 1 är skillnaden i fuktighet större mellan de olika konstruktionstyperna. Att det blir mycket torrare under vintern med PE-folien kan ha en negativ inverkan på träreglarna eftersom de kan torrspricka eller deformeras.

Vad gäller punkt 3 (se figur 21) framgår det av fuktdiagrammen att konstruktionen med PE-folien har något högre fuktighet än konstruktionen med den variabla ångspärren. Förklaringen till detta är att PE-folien har högre ånggenomgångsmotstånd. Det skiljer mer då den lägsta fukthalten jämförs. Konstruktionen med den variabla ångspärren har en lägsta relativ fuktighet på drygt 45 % och den konventionella ångspärren ca 50 % RF. Fuktigheten är i punkt 3 så pass låg att den lite högre temperaturen i väggen enligt Viitanens riskdiagram inte finns någon risk för mögelproblem.

Simuleringarna visar att det sker en viss ångtransport genom framförallt den variabla ångspärren. Det kan även antas att det sker en inte obetydlig konvektionstransport i otätheter hos båda de typerna av ångspärrar. Det är därför viktigt att beakta ångtätheten hos alla de material som ingår i konstruktionen. I väggsektionen som studerats finns en fibercementskiva som har ett relativt högt ånggenomgångsmotstånd vilket kan leda till att fukt från insidan bromsas upp och orsakar olägenheter längre ut i väggen. Det problemet finns framförallt då en variabel ångspärr används eftersom fuktvandringen är betydligt större jämfört med den konventionella ångspärren. Se bilaga 2 och 3 där skillnaden i fuktflöde kan avläsas. Om en variabel ångspärr används i en konstruktion är det viktigt att se över materialens

ånggenomgångsmotstånd i hela konstruktionen och framförallt de yttre delarna. En rekommendation som kan ges är att t.ex. använda sig av en utegipsskiva istället för fibercementskiva som vindtätning i ytterväggen eftersom gipsen som regel har högre permeabilitet. Att vindskivan har högt ånggenomgångsmotstånd behöver nödvändigtvis inte vara negativt eftersom den kan ha en utjämnande effekt på fuktrörelserna då den även stoppar fuktvandringen utifrån. Däremot bör en noggrann bedömning göras innan flera materialskikt används som är relativt täta, speciellt då det rör sig om tjocka konstruktioner som har lång uttorkningstid. Vid konstruktionslösningar med dubbla täta skikt som t.ex. plastmatta i våtrum som ytskikt och ångspärr i väggen är det viktigt att det inre skiktet har betydligt högre ånggenomgångsmotstånd än det yttre. Vid sådana lösningar kan en variabel ångspärr med fördel användas. Dessutom har den variabla ångspärren en positiv inverkan på eventuell byggfukt då uttorkning kan ske åt två håll.

Om fuktproblematiken lämnas och vi istället fokuserar på passivhusets värmeisolerande egenskaper kan även dessa ställa till med problem om inte huset planeras och konstrueras på rätt sätt. U-värdet på väggen från referensobjektet som vi använt oss av i våra simuleringar har vi beräknat till $0,069 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$. Detta kan skapa problem med övertemperatur framförallt under sommaren. Därför är det speciellt viktigt att ta hänsyn till fönsterplacering, solavskärmning och rumsorientering när ett passivhus ritas.

Vad gäller effektbehovet sätter passivhusnormen begränsningar som kan inskränka på komforten. Eftersom normen anger total maxeffekt som går ut till husets värmesystem tar det således ingen hänsyn till vilken uppvärmningsmetod som används. Detta innebär i praktiken att direktverkande el ofta används vid uppvärmning. Reglerna borde därför ändras för att stimulera att t.ex. värmepumpar används i större utsträckning. Eftersom investeringen är så pass stor för en värmepumpsanläggning och energibehovet är relativt lågt leder detta till en lång återbetalningsperiod. Sett till ett längre perspektiv borde det dock vara försvarbart att investera i en mer hållbar energikälla än direktverkande el.

9 Referenser

Tryckta källor:

- Petersson, B-Å. (2007): *Tillämpad Byggnadsfysik*. Scangraphic, Danmark 2007.
Nevander, L-E. (2006): *Fukthandbok:Praktik och teori*. Svensk Byggtjänst 2006.
Viitanen, H. (2001): *Factors affecting mould growth on kiln dried wood*.
Isover. (2006): *Isover vario duplex, den variabla ångbromsen*.
Isover. (2009): *System för lufttäthet och fuktsäkerhet*.
FEBY. (2009): *Kravspecifikation för passivhus*.
Icopal akvaden. (2009) *Byggfolie för väggar tak och golv*.

Elektroniska källor:

Statistik från Sveriges Byggindustrier: Byggsektorns andel av den totala energianvändningen:

<http://www.bygg.org/miljofragor.asp> hämtad 2010-02-22

Boverket [1] om BBR:

<http://www.boverket.se/Bygga--forvalta/Bygga--och-konstruktionsregler-ESK/Boverkets-byggregler/Allmant-om-BBR-/> hämtad 2010-03-10

SP [1] fukthalter och mögelpåväxt:

http://www.sp.se/sv/index/services/moist/crawl_space/Sidor/default.aspx hämtad 2010-03-19

Artikel från SP med mögeltabell:

<http://www.magnoxit.se/pdf/Mogelrapport.pdf> hämtad 2010-03-19

Omboende; fuktteori:

<http://www.omboende.se/sv/Agal/Inomhusmiljo/Fuktteori-/> hämtad 2010-03-26

Boverket; fukt i byggnader:

<http://www.boverket.se/Bygga--forvalta/Bygga-nytt/Fukt-i-Byggnader/> hämtad 2010-04-03

SP; allmänt om fukt:

<http://www.sp.se/sv/index/services/moist/general/Sidor/default.aspx> hämtad 2010-04-03

Muntliga källor:

- Hillmarson, H. Olofsson bygg, Konsultation och handledning vid referensobjekt.
Hagentoft, C-E. Byggnadsteknologi vid Chalmers, konsultation och handledning.
Pallin, S. Byggnadsteknologi vid Chalmers. Konsultation och handledning.

Bilaga 1 - Provtryckningsprotokoll

Protokoll sammansättning av klimatskåp
Datum 2008-11-24

Datum 2008-11-24
Protokoll sammansättning av klimatskåp


Beställare
Hålder Hillmarsson
Olofsson Bygg
Högskolegatan
515 21
Nacka
Fastighet
Pumpskälsögen
Vägarors
Hus 13

Beställning
Adress
Husen

| | Sum | Del 1 | Del 2 | Del 3 | Del 4 | Del 5 | Del 6 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Golvsläcking | 117 | 117 | | | | | |
| Väggsläcking | 148,1 | 148,1 | | | | | |
| Källarvägg | 0 | | | | | | |
| Snedskak | 0 | | | | | | |
| Stödbenning | 0 | | | | | | |
| Vindsläcking | 117,8 | 117,8 | | | | | |
| Herdsläcking | 0 | | | | | | |
| Ovrigt | 0 | | | | | | |
| Summa | 380,9 | | | | | | |

Måttinstrument
Måttmanometer best 512 ser 2052066 kalibrerad hos SP 2008-07-01 med kalibreringsbevis ETKaF8 13123-3.
Furness Pocket Manometer FCO 10 kalibrerad hos SP 2008-07-01 med kalibreringsbevis ETKaF8 13123-4.
Båda dessa "elektriska" manometrar kontrollerades vid mätningarna bogen mot en vätske-manometer.

Mätarevärde



| | | |
|---------------|----------------|-----|
| Klimat | Lufttryck | RF |
| Utslämp | -3,8 | 987 |
| Inlämp | 1,2 | 70 |
| Vind | 2-8 m/s | 40 |
| Prövning byck | +/-Pa vid 0 Pa | 3 |



 Pos
 Luftenskt mätör undertryck
 1,202
 Pos
 Luftenskt mätör överttryck
 1,272

| | | | |
|---|--|--|--|
| Stora mätörer | Formel | Lilla mätörer | Formel |
| Stora mätör enligt kalibrering S-P 2008-06-26 $q = 98,90297 \sqrt{dp} / dens \text{ luft} \text{ upphöjt till } 0,48526$ | ##### 0. tryck ##### U. tryck | Lilla mätörer enligt kalibrering S-P 2008-06-26 $q = 6,29308 \sqrt{dp} / dens \text{ luft} \text{ upphöjt till } 0,59169$ | ##### 0. tryck ##### U. tryck |

Överttrycksprovning

Använt mätör

| | Pa | Po | m3/h | m3/h | m3/h | l/s/m2 | l/s/m2 |
|----------------------|------|------|------|------|------|--------|--------|
| dp klimatskärm | 10 | 23 | 33 | 41 | 55 | | |
| dp mätör | 31 | 98 | 114 | 100 | 212 | | |
| Bev. Node mätör | 31 | 52 | 60 | 77 | 02 | 0 | 0 |
| Korr. Node skärm eid | 33 | 65 | 63 | 62 | 87 | 0 | 0 |
| Läcknode | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.0 | 0.0 |
| Läcknode | 0.02 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.00 | 0.00 |

1,058

Undertrycksprovning

Använt mätör

| | Pa | Po | m3/h | m3/h | m3/h | l/s/m2 | l/s/m2 |
|----------------------|------|------|------|------|------|--------|--------|
| dp klimatskärm | 13 | 22 | 32 | 42 | 56 | 0 | 0 |
| dp mätör | 130 | 51 | 115 | 161 | 225 | 0 | 0 |
| Bev. Node mätör | 65 | 41 | 62 | 73 | 87 | 0 | 0 |
| Korr. Node skärm eid | 62 | 38 | 59 | 69 | 82 | 0 | 0 |
| Läcknode | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.0 | 0.0 |
| Läcknode | 0.05 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.00 | 0.00 |

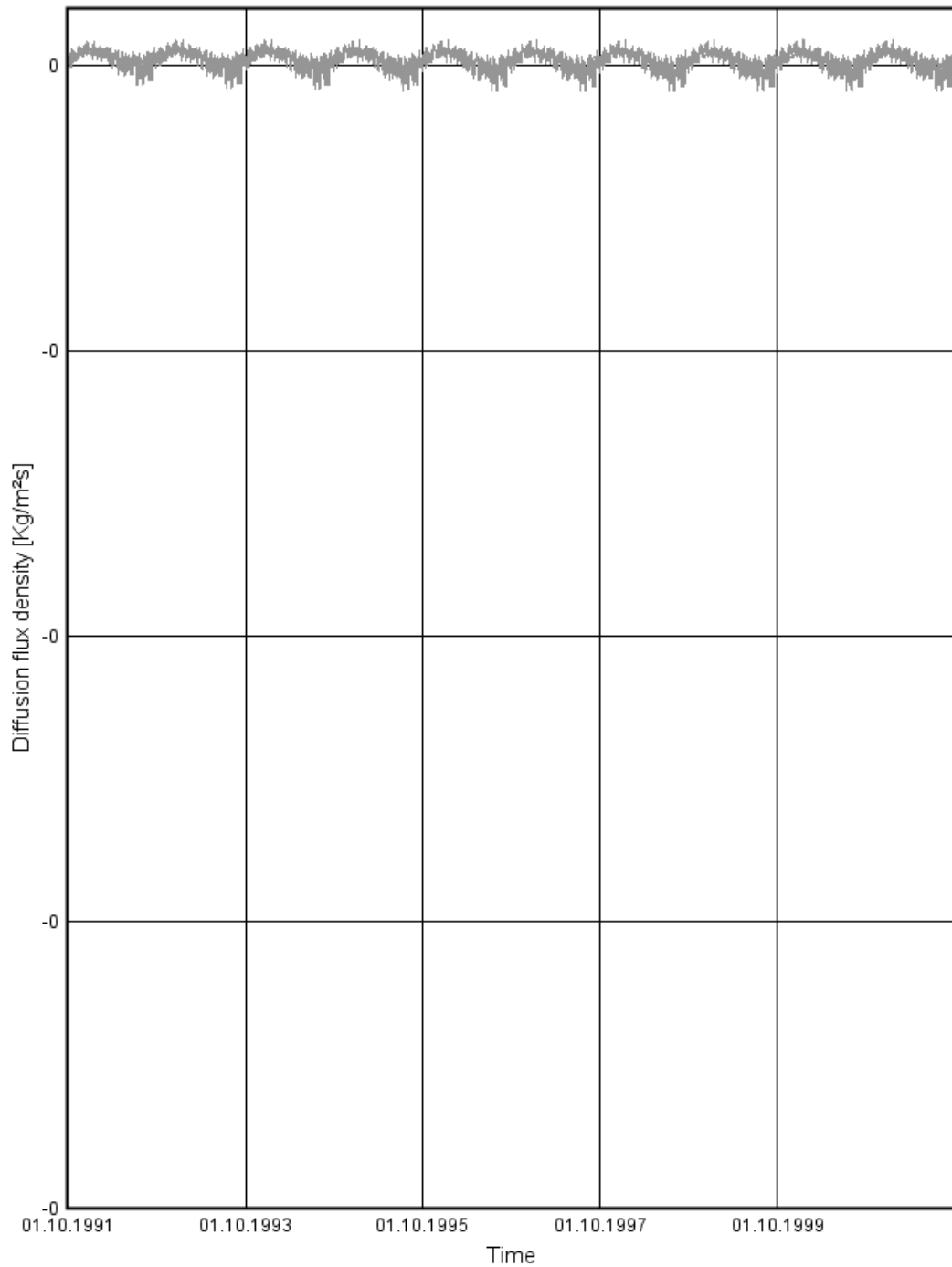
0,946

Läckfaktor
0,06 l/s/m2

Bilaga 2 – Fuktlöde för PE-folie

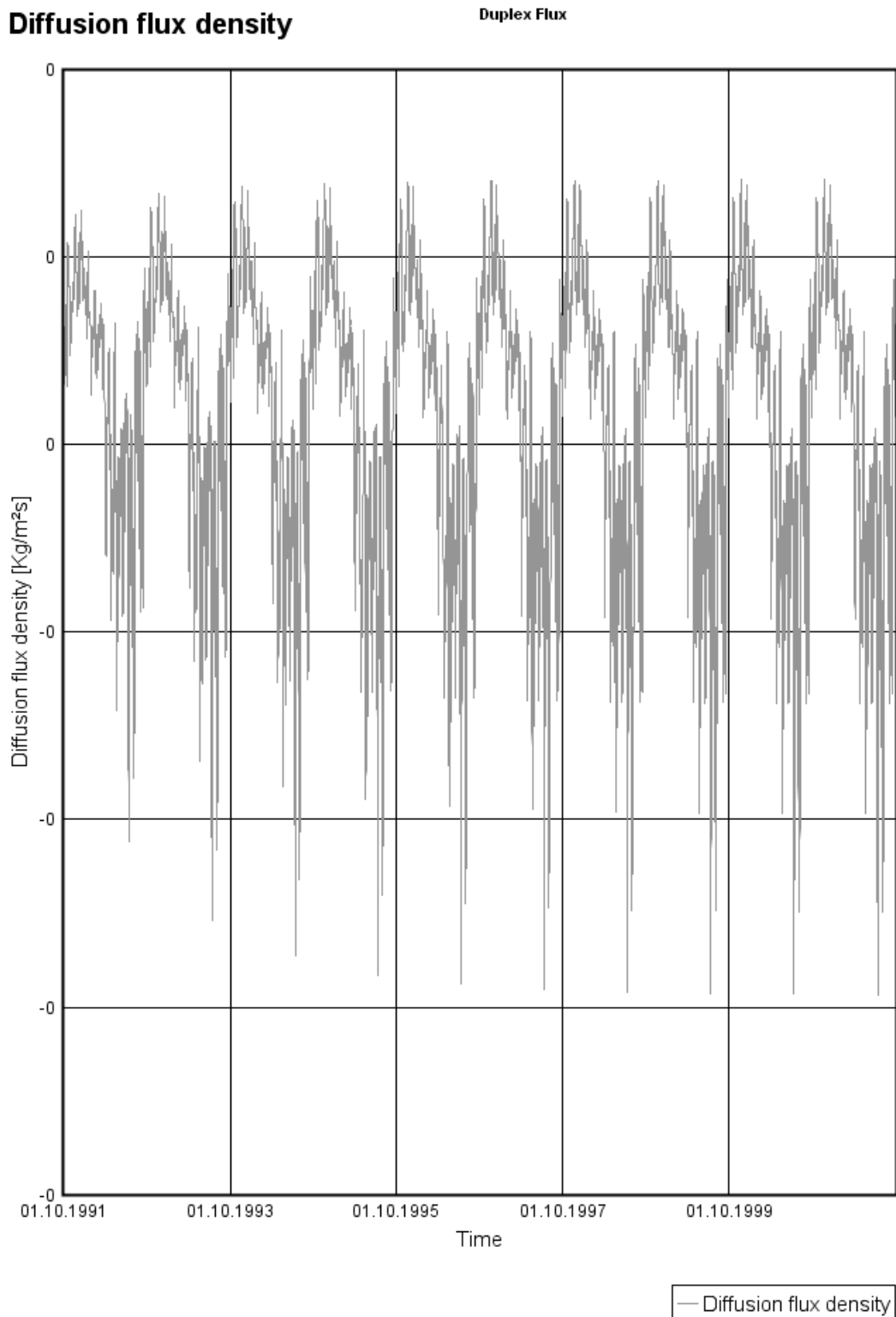
Diffusion flux density

ÅS Flux

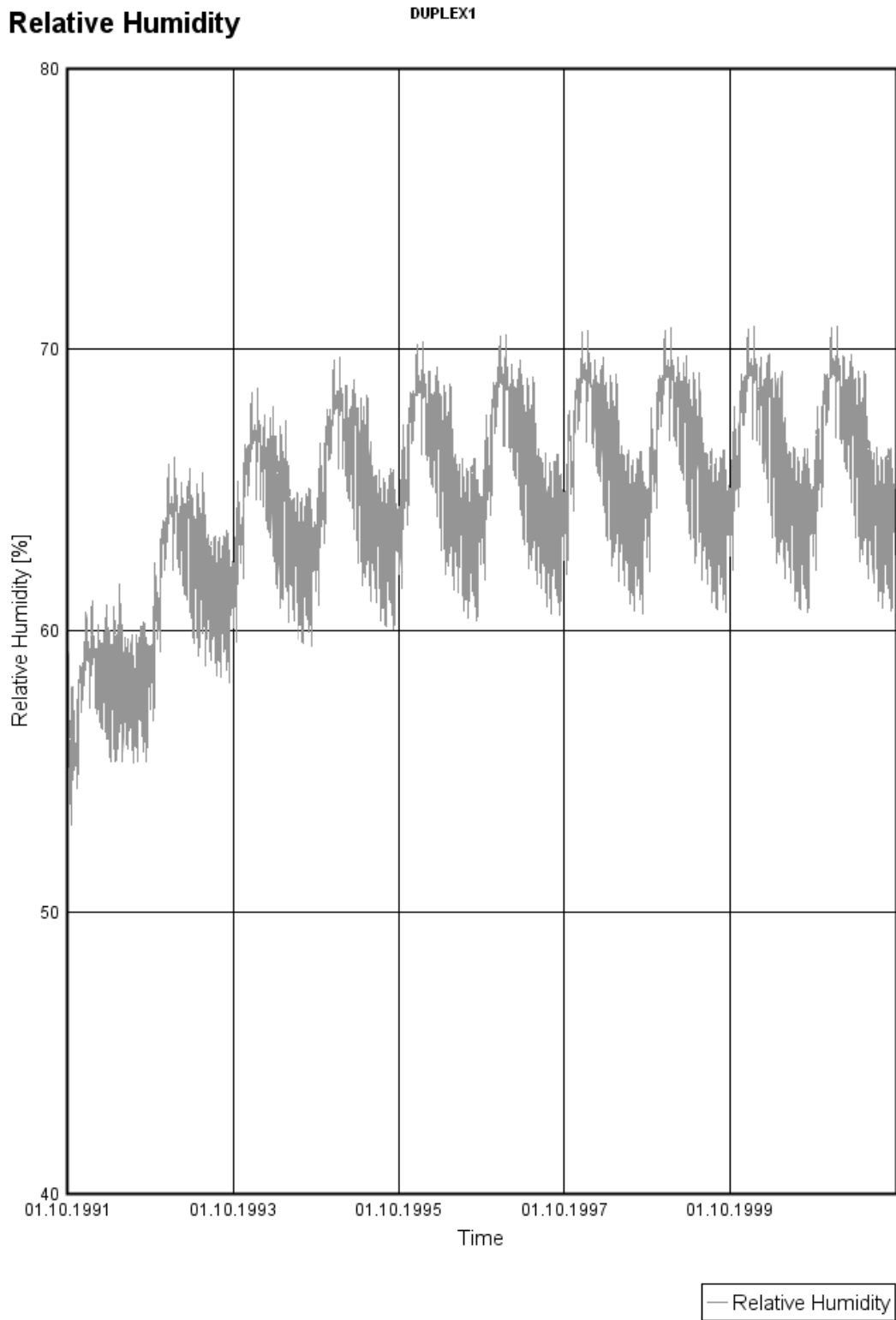


— Diffusion flux density

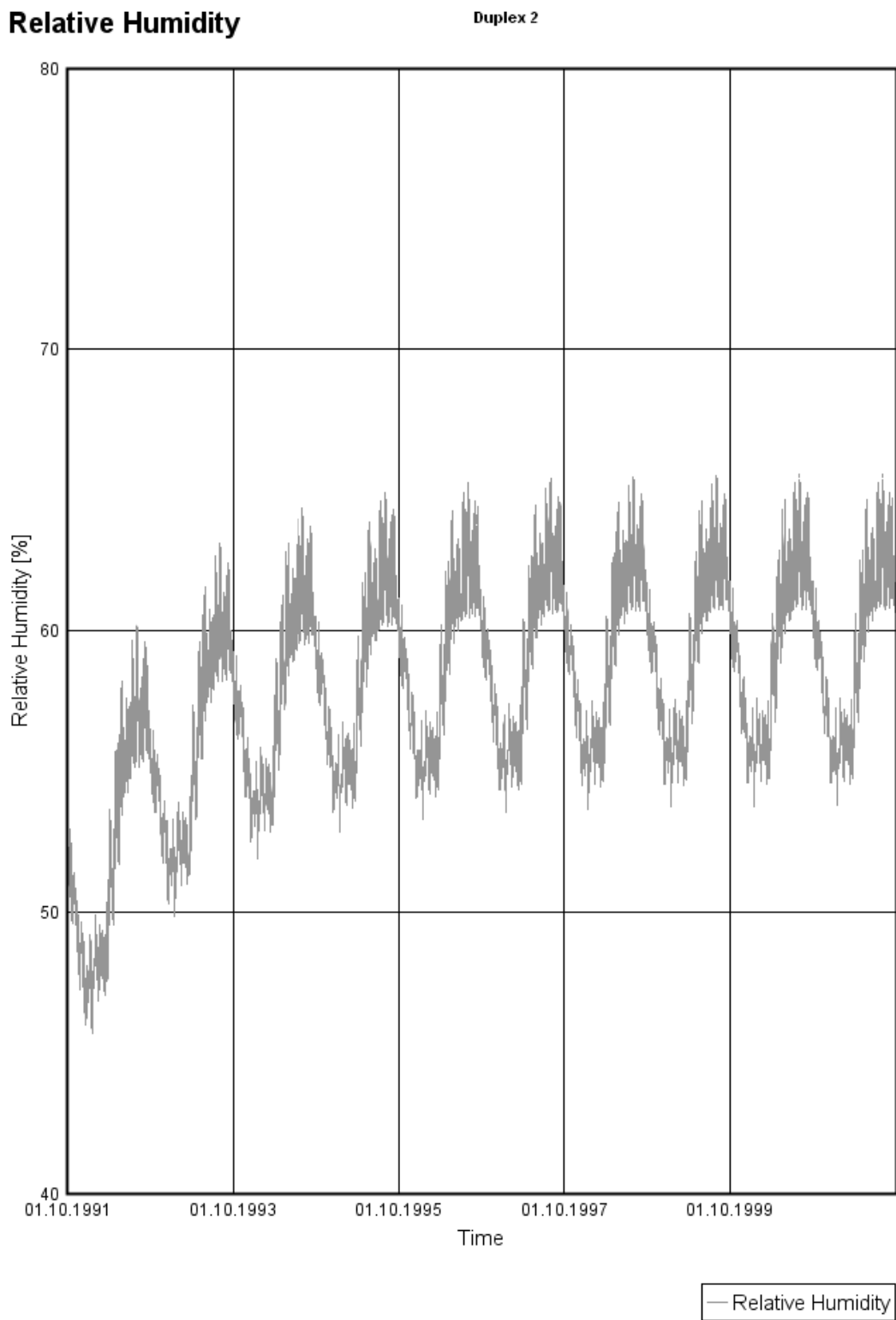
Bilaga 3 – Fuktlöde för den variabla ångspärren



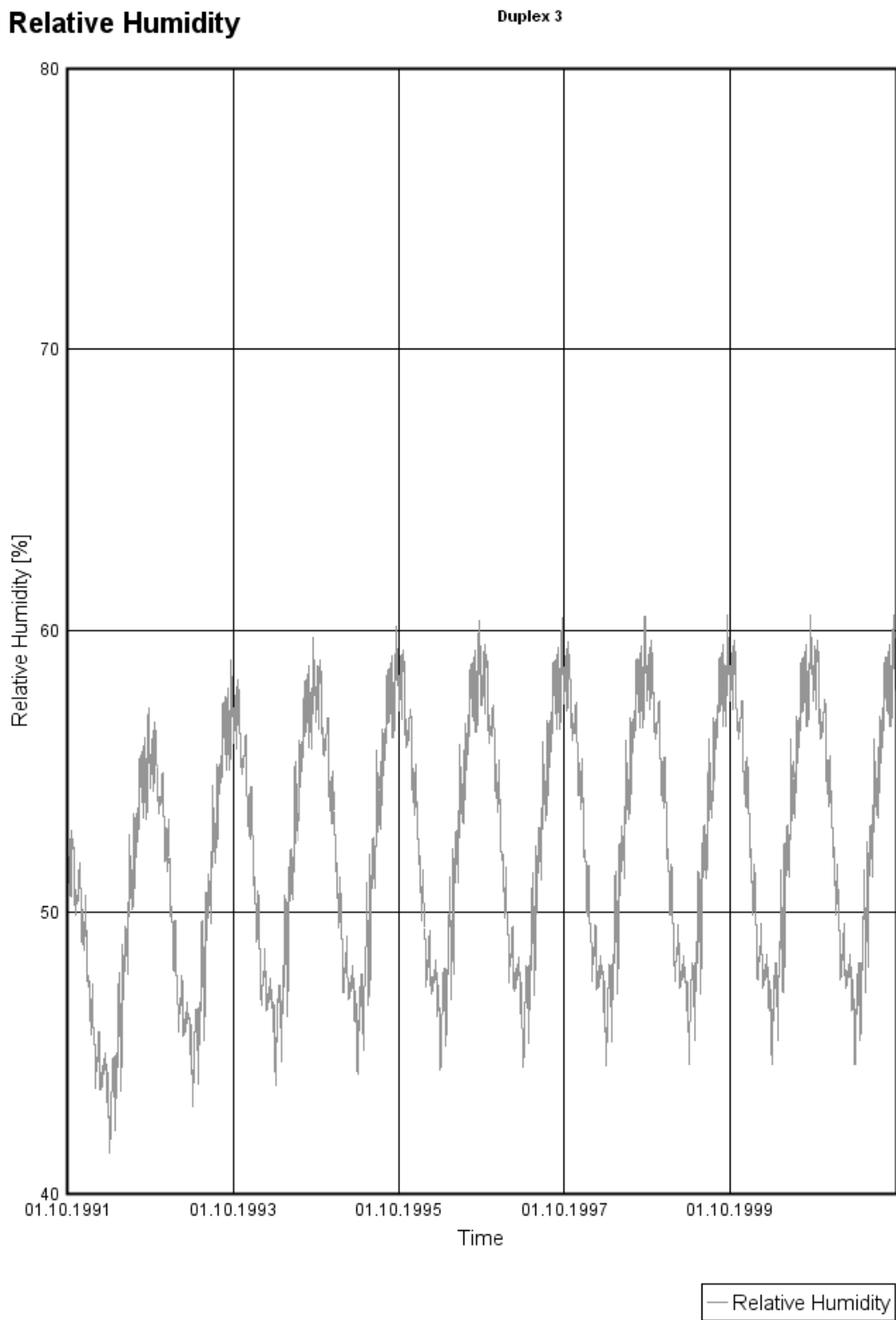
Bilaga 4 – Relativ fuktighet med variabel ångspärr punkt 1



Bilaga 5 – Relativ fuktighet med variabel ångspärr punkt 2



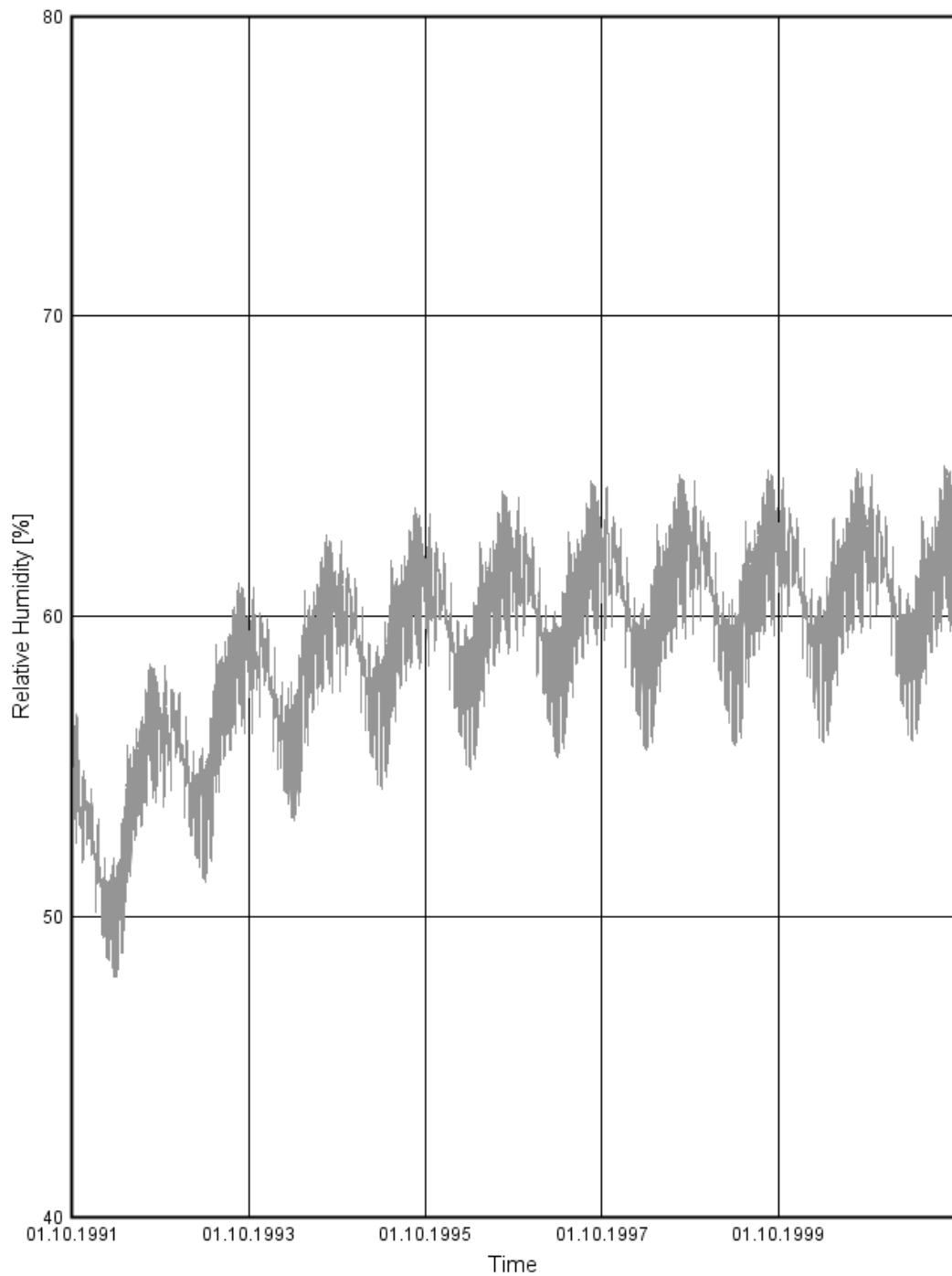
Bilaga 6 – Relativ fuktighet med variabel ångspärr punkt 3



Bilaga 7 – Relativ fuktighet med PE-folie punkt 1

Relative Humidity

Ås 1

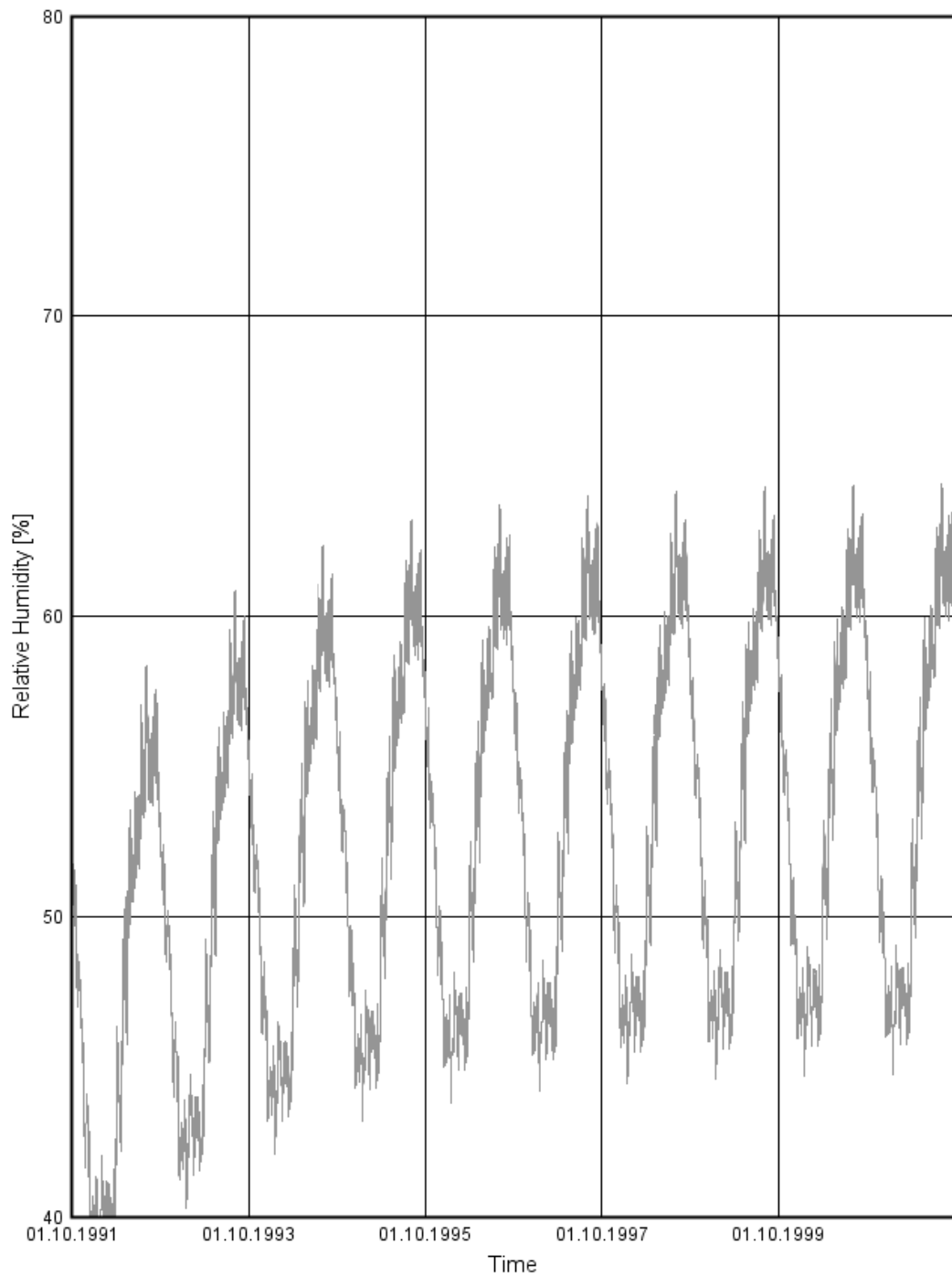


— Relative Humidity

Bilaga 8 – Relativ fuktighet med PE-folie punkt 2

Relative Humidity

AS 2

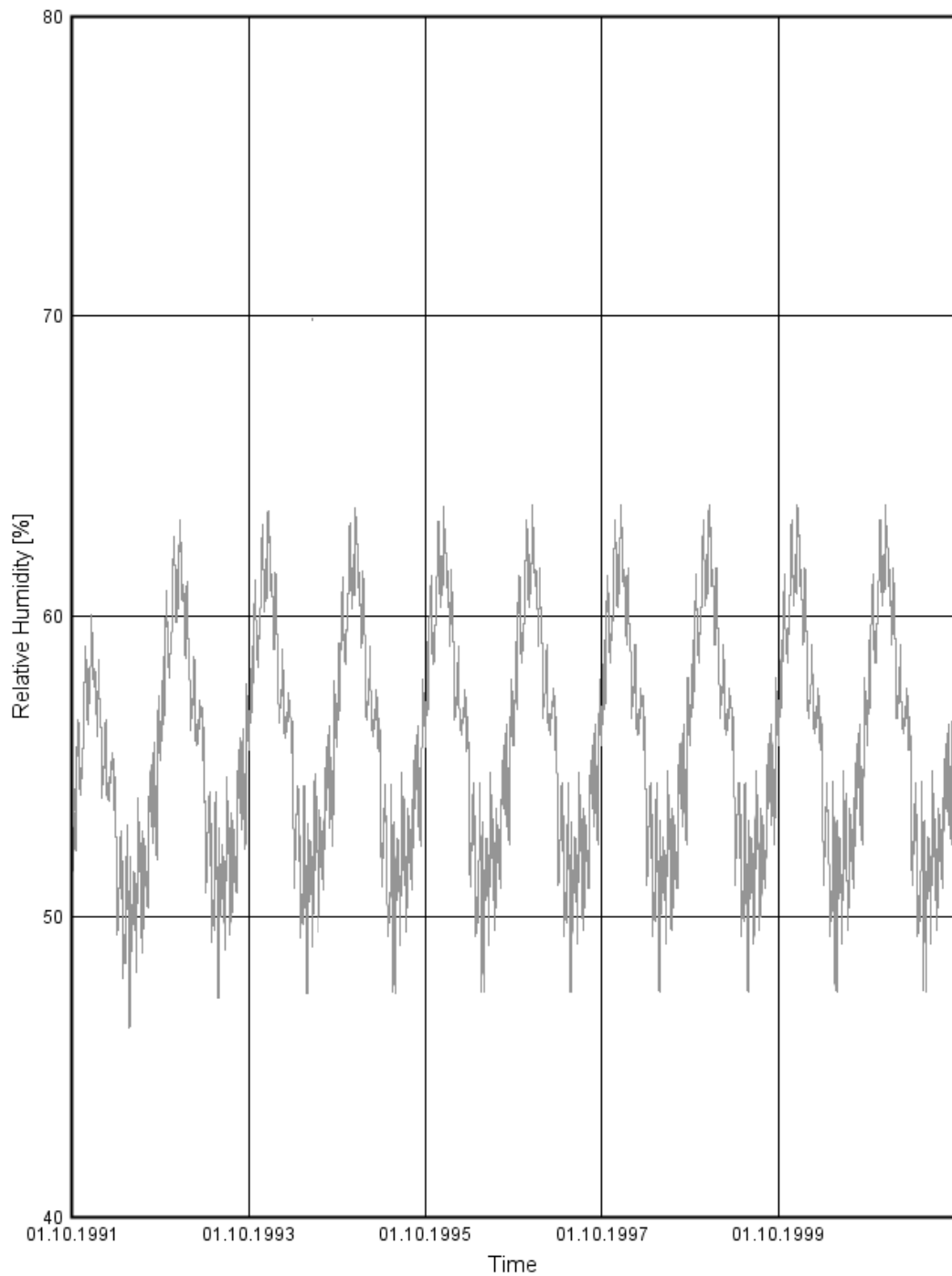


— Relative Humidity

Bilaga 9 – Relativ fuktighet med PE-folie punkt 3

Relative Humidity

As 3



— Relative Humidity

Bilaga 10 – Fuktberäkning genom vägg i februari

| FEBRUARI | Dim | λ | R | ΔT | Temp | V_s | δ | Z | ΔV | V | RÅ |
|---------------|-------|-----------|----------|-------------|-------------|---------|----------|------------|------------|----------|-------|
| Material | m | W/m^2C | m^2C/W | $^{\circ}C$ | $^{\circ}C$ | g/m^3 | m^2/s | s/m | g/m^3 | g/m^3 | % |
| Ute | | | | | -1,20 | 4,45 | | | | 3,4 | 76,4% |
| Rse | | | 0,04 | 0,5 | | | | | | | |
| Yta1 | | | | | -0,75 | 4,59 | | | | 3,4 | 74,1% |
| Träpanel | 0,045 | 0,14 | 0,321 | 0,5 | | | 0,000002 | 22500 | | | |
| Yta2 | | | | | -0,30 | 4,74 | | | | 3,421509 | 72,2% |
| Luftspalt | 0,025 | 0 | 0 | 0,0 | | | | 0 | | | |
| Yta3 | | | | | -0,30 | 4,74 | | | | 3,421509 | 72,2% |
| Västkustskiva | 0,08 | 0,031 | 2,581 | 3,6 | | | 0,00001 | 8000 | | | |
| Yta4 | | | | | 3,34 | 6,07 | | | | 3,429157 | 56,5% |
| Mineritskiva | 0,004 | 1 | 0,004 | 0,0 | | | 0,000006 | 666,666667 | | | |
| Yta5 | | | | | 3,35 | 6,07 | | | | 3,429794 | 56,5% |
| Isolering | 0,17 | 0,037 | 4,595 | 6,5 | | | 0,00001 | 17000 | | | |
| Yta6 | | | | | 9,82 | 9,29 | | | | 3,446046 | 37,1% |
| Isolering | 0,145 | 0,037 | 3,919 | 5,5 | | | 0,00001 | 14500 | | | |
| Yta7 | | | | | 15,35 | 13,07 | | | | 3,459908 | 26,5% |
| PE-folie | 0,001 | 0 | 0 | 0,0 | | | | 3000000 | | | |
| Yta8 | | | | | 15,35 | 13,07 | | | | 6,327824 | 48,4% |
| Isolering | 0,145 | 0,037 | 3,919 | 5,5 | | | 0,00001 | 14500 | | | |
| Yta9 | | | | | 20,87 | 18,21 | | | | 6,341686 | 34,8% |
| OSB skiva | 0,012 | 0,14 | 0,086 | 0,1 | | | | 50000 | | | |
| Yta10 | | | | | 20,99 | 18,32 | | | | 6,389484 | 34,9% |
| Träpanel | 0,022 | 0,14 | 0,157 | 0,2 | | | 0,000002 | 11000 | | | |
| Yta11 | | | | | 21,21 | 18,32 | | | | 6,4 | 34,9% |
| Rsi | | | 0,13 | -0,2 | | | | | | | |
| Inne | | | | | 21,00 | 18,32 | | | | 6,4 | 34,9% |
| Väggjocklek= | 0,649 | Rrot= | 15,752 | | | | Ztot= | 3138167 | DeltaV= | 3 | |

Bilaga 11 – Fuktberäkning genom vägg i juli

| JULI | Dim | λ | R | ΔT | Temp | Vs | δ | Z | ΔV | V | RÅ |
|---------------|-------|-----------|--------------------|------------|-------|------------------|-------------------|------------|------------------|------------------|-------|
| Material | m | W/m°C | m ² C/W | °C | °C | g/m ³ | m ² /s | s/m | g/m ³ | g/m ³ | % |
| Ute | | | | | 17,50 | 14,91 | | | | 10,8 | 72,4% |
| Rse | | | 0,04 | 0,1 | | | | | | | |
| Yta1 | | | | | 17,57 | 14,91 | | | | 10,8 | 72,4% |
| Träpanel | 0,045 | 0,14 | 0,321 | 0,1 | | | 0,000002 | 22500 | | | |
| Yta2 | | | | | 17,64 | 14,91 | | | | 10,82151 | 72,6% |
| Luftspalt | 0,025 | 0 | 0 | 0,0 | | | | 0 | | | |
| Yta3 | | | | | 17,64 | 14,91 | | | | 10,82151 | 72,6% |
| Västkustskiva | 0,08 | 0,031 | 2,581 | 0,6 | | | 0,00001 | 8000 | | | |
| Yta4 | | | | | 18,22 | 15,55 | | | | 10,82916 | 69,6% |
| Mineritskiva | 0,004 | 1 | 0,004 | 0,0 | | | 0,000006 | 666,666667 | | | |
| Yta5 | | | | | 18,22 | 15,55 | | | | 10,82979 | 69,6% |
| Isolering | 0,17 | 0,037 | 4,595 | 1,0 | | | 0,00001 | 17000 | | | |
| Yta6 | | | | | 19,24 | 16,49 | | | | 10,84605 | 65,8% |
| Isolering | 0,145 | 0,037 | 3,919 | 0,9 | | | 0,00001 | 14500 | | | |
| Yta7 | | | | | 20,11 | 17,38 | | | | 10,85991 | 62,5% |
| PE-folie | 0,001 | 0 | 0 | 0,0 | | | | 3000000 | | | |
| Yta8 | | | | | 20,11 | 17,38 | | | | 13,72782 | 79,0% |
| Isolering | 0,145 | 0,037 | 3,919 | 0,9 | | | 0,00001 | 14500 | | | |
| Yta9 | | | | | 20,98 | 18,32 | | | | 13,74169 | 75,0% |
| OSB skiva | 0,012 | 0,14 | 0,086 | 0,0 | | | | 50000 | | | |
| Yta10 | | | | | 21,00 | 18,32 | | | | 13,78948 | 75,3% |
| Träpanel | 0,022 | 0,14 | 0,157 | 0,0 | | | 0,000002 | 11000 | | | |
| Yta 11 | | | | | 21,03 | 18,32 | | | | 13,8 | 75,3% |
| Rsi | | | 0,13 | 0,0 | | | | | | | |
| Inne | | | | | 21,00 | 18,32 | | | | 13,8 | 75,3% |
| Väggtycklek= | 0,649 | Rtot= | 15,752 | | | | Ztot= | 3138167 | DeltaV= | 3 | |

Bilaga 12 – Sammanställning fuktberäkningar

| Material | Januari RÅ% | Februari RÅ% | Mars RÅ% | April RÅ% | Maj RÅ% | Juni RÅ% | Juli RÅ% | Augusti RÅ% | September RÅ% | Oktober RÅ% | November RÅ% | December RÅ% |
|---------------|----------------|-----------------|-------------|--------------|------------|-------------|-------------|----------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| Ute | 81,9 | 76,4 | 73,6 | 68,8 | 63,8 | 67,7 | 72,4 | 73,4 | 78,8 | 80,2 | 82,1 | 83,8 |
| Rse | | | | | | | | | | | | |
| Yta1 | 79,2 | 74,1 | 71,6 | 67,5 | 63 | 67,3 | 72,4 | 73 | 77,9 | 78,7 | 80,5 | 81,6 |
| Träpanel | | | | | | | | | | | | |
| Yta2 | 76,7 | 72,2 | 70 | 66,4 | 62,5 | 67,1 | 72,6 | 72,7 | 77,6 | 77,9 | 78,7 | 79,8 |
| Luftspalt | | | | | | | | | | | | |
| Yta3 | 76,7 | 72,2 | 70 | 66,4 | 62,5 | 67,1 | 72,6 | 72,7 | 77,6 | 77,9 | 78,7 | 79,8 |
| Västkustskiva | | | | | | | | | | | | |
| Yta4 | 60,1 | 56,5 | 56,6 | 56,6 | 57 | 63,2 | 69,6 | 69,8 | 71,7 | 68,7 | 66 | 64,9 |
| Mineritskiva | | | | | | | | | | | | |
| Yta5 | 60,2 | 56,5 | 56,6 | 56,6 | 57 | 63,2 | 69,6 | 69,8 | 71,7 | 68,7 | 66,1 | 64,9 |
| Isolering | | | | | | | | | | | | |
| Yta6 | 39,8 | 37,1 | 39,1 | 43,1 | 48,2 | 57,2 | 65,8 | 68,2 | 62,5 | 54,8 | 48,9 | 45,5 |
| Isolering | | | | | | | | | | | | |
| Yta7 | 28,6 | 26,5 | 29,1 | 34,5 | 41,8 | 52,8 | 62,5 | 61,5 | 55,6 | 45,8 | 38,2 | 34 |
| PE-folie | | | | | | | | | | | | |
| Yta8 | 50,4 | 48,4 | 50,1 | 54,1 | 59,8 | 69,9 | 79 | 78,2 | 73,2 | 64,7 | 58,2 | 54,9 |
| Isolering | | | | | | | | | | | | |
| Yta9 | 36,5 | 34,8 | 37,6 | 43,6 | 52,4 | 64,5 | 75 | 73,4 | 65,2 | 54 | 45,8 | 41,4 |
| OSB skiva | | | | | | | | | | | | |
| Yta10 | 36,5 | 34,9 | 37,6 | 43,6 | 52,3 | 64,4 | 75,3 | 73,6 | 65,4 | 54 | 45,8 | 41,4 |
| Träpanel | | | | | | | | | | | | |
| Yta 11 | 36,6 | 34,9 | 37,7 | 43,7 | 52,4 | 64,4 | 75,3 | 73,7 | 65,5 | 54 | 45,9 | 41,85 |
| Rsi | | | | | | | | | | | | |
| Inne | 36,6 | 34,9 | 37,7 | 43,7 | 52,4 | 64,4 | 75,3 | 73,7 | 65,5 | 54 | 45,9 | 41,5 |