



**MÄLARDALENS HÖGSKOLA
ESKILSTUNA VÄSTERÅS**

UTVÄRDERING AV BEFINTLIGA PASSIVHUS

En byggnadsfysikalisk bedömning och mätningar om temperatur, och fukt analys på ytterväggarna

HAZHAR HUSSEINI



mimer 

Akademien för hållbar samhälls- och
teknikutveckling
Examensarbete 15hp

Magisterprogram Energioptimering för
byggnader

*Utfört av: Hazhar Hussein
Handledare: Fredrik Wallin
Examinator: Adel Karim*

Västerås, 2012-03-29

ABSTRACT

Energy price are on the way up to a high level that will not diminish in the future make us to focus more on the sustainable development for a better solution of residential houses. Passive house or low energy housing are one of the solution to make residential more environment friendly, in same time it's a financial security using less energy, and saving money. The last 10 years in Germany and all around Europe the concept of passive house been developed, and people aim to know more about these concept that leading the market more attractive for passive houses. A passive house is a well designed building highly insulated and air tight with mechanical ventilated system for the whole building envelope that minimizes the use of energy for heating [1].

The housing company Mimer has chosen to invest in low energy consumption in every new housing project. These future plan projects are decided to use less than 75 kwh per square meter annually in purchased energy [2].

This thesis is about new constructed passive houses, and focuses on the evaluations of the temperature, and moisture condition for attic, external walls and joist. Reason for doing this investigation is to see if passive houses fulfill the building codes regarding moisture, and temperature changes, and to find in early stage suspicious changes that could affect badly on the building envelop. The aim of this study is

- Moisture risk analyses of the attic, external walls and joist
- Studying temperature analysis

With highly insulated walls the risk for moistures extra sensitive than normal building construction. Also during summer time the comfort inside may be surprised by high indoor temperature and one solution for that could be using sun shading.

Key Words: low energy building, passive house, moisture transfer, external walls, temperature, thermal comfort.

FÖRORD

Det här examensarbetet på 15 högskolepoäng, och är den avslutande delen på magisterprogrammet i energioptimering för byggnader, 60 hp på Mälardalens högskola, HST, akademin för hållbar utveckling och samhällsteknik. Studien har genomförts på vårterminen 2012.

Jag vill tacka handledare på MDH Adel Karim, Fredrik Wallin, och övriga lärare inom programmet. Vill tacka för ert intresse och engagemang samt den värdefulla tid som ni har avsatt.

Idén för examensarbetet har tagits fram tillsammans med Mälardalens högskola, HST, för att säkerställa passivhusteknikens funktion med dessa förutsättningar utförs här en inventering av de passiva hus som är byggda av fastighetsägaren Mimer, och göra mätningar på temperatur, och fuktanalys av vindsutrymme, ytterväggarna och syllen, samt energi balansen för de passiva husen.

Området Bergsgrottan ligger på Pettersberget i Västerås, och där det har byggts 10 radhusliknande villor, och som uppfyller kravet för passiv hus.

Hoppas att resultatet från detta studien kommer till nytta för Mimer, och för deras kommande projekt i framtiden.

Sist men inte minst vill tacka våra familjer för visat stöd och tålamod under arbetets gång, och alla de familje medlemmar på Bergsgrottan för deras samarbete.

Västerås, April 2012

Hazhar Husseini

SAMMANFATTNING

Energipriset är på väg upp till en hög nivå som inte kommer att minska i framtiden, och det leder till att vi fokuserar oss mer på hållbar utveckling för en bättre lösning av bostäder. Passivhus eller lågenergihus är en av lösningen för att göra bostäder mer miljövänliga, samtidigt är det ett ekonomisk trygghet att använda mindre energi, och sparar pengar. De senaste 10 åren i Tyskland och hela Europa begreppet passivhus har utvecklats, och intresset för dessa hus har ökat, och folk vill veta mer om dessa koncept som har let marknaden mer attraktiv för passivhus. Ett passivhus är en väl utformad byggnad mycket isolerad och lufttät med mekanisk ventilation för hela byggnaden som minimerar användningen av energi för uppvärmning [1].

Fastighetsbolaget Mimer har valt att investera i låg energiförbrukning i varje ny bostadsprojekt. Dessa framtida projekt har tänkt att använda mindre än 75 kWh per kvadratmeter per år köpt energi [2].

Denna examensarbete handlar om nya konstruerade passiva hus, och fokus ligger på att utvärdera temperatur och fukt förutsättning för vindsutrymme, ytterväggar och syllen. Anledning till denna undersökning är att kartlägga om passivhus uppfyller byggbestämmelser beträffande fukt och temperaturförändringar över de yttreväggar, och hitta i tidiga skede misstänkta förändringar som kan påverka dåligt på väggarna.

Examensarbetens Syfte är

- Fukt riskanalys av vindsutrymme, ytterväggar och syllen
- Analysera temperaturförändringen över de byggnadsdelar

Med mycket tjocka isolerväggar är risken för fuktigheter extra känsliga än i traditionella byggnadskonstruktioner, också under sommaren kan inomhustemperaturen bli överraskande hög och påverka den termiska komforten, och att använda solskydd kan vara en lösning för denna problem.

Nyckelord: lågenergihus byggnad, passivhus, fukttransport, ytterväggar, temperatur, termisk komfort.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

ABSTRACT.....	I
FÖRORD	II
SAMMANFATTNING	III
1 INLEDNING	3
1.1 Bakgrund.....	3
1.2 Mål och syfte.....	3
1.3 Avgränsning	4
1.4 Metod.....	4
1.5 Litteraturstudie	4
2 VAD MENAS MED "PASSIV HUS"?	5
2.1 källor till passiv energi	5
2.2 Klimatskal	6
2.3 Byggnadstekniska lösningar	7
2.3.1 Lätta klimatskal (trä eller stålreglar).....	7
2.3.2 konventionell vägg och passivhusvägg	9
2.4 Låg energianvändning	11
2.4.1 Lufttäthet.....	11
2.4.2 Vindskydd	13
2.5 Fuktsäkerhet	14
2.5.1 Boverkets byggregler om fukt.....	14
2.5.2 Fuktrisker för yttre del av yttervägg	16
2.5.3 Tidsaspekt	16
3 MÄTPUNKTERNAS RESULTAT.....	17
3.1 Mätputs placeringar	17
3.2 Resultat analys	18

3.2.1	Vind utrymme.....	18
3.2.2	Vägg	21
3.2.3	Syll.....	23
4	DISKUSSION.....	25
	REFERENSLISTA	26

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Dr Wolfgang Feist var en konstruktions fysiker från Tyskland som var grundaren av passivhaus institut i staden Darmstadt där det första passiva huset byggdes enligt principen för passiv hus på 1990-talet. [3]

Passiv hus principen börjades inte användas i Sverige först förrän 2001, där först var i ytkanten av staden Göteborg som det allra första radhusen enligt principen byggdes. Siffran på befintlig byggda passiv hus idagsläge är ungefär 1450 lägenheter, och ett privat hem konstruerad enligt passivhus standard [4]. Det visar att intresset har sakta men säker ökat, och fler söker nu kunskap om att veta, och förstå pricipen för passiv hus.

Byggnader konstruerad enligt passiv hus principen förbrukar så lite energi som möjligt. Man kan säga det tas tillvara av användningen av värmeåtervinning som anges av spillvärme från elektriska apparater, instrålad sol och värme från de inneboende för att uppnå en behaglig inomhustemperatur. Det betyder att byggnaden kräver 10 W / m² tillförd värmeeffekt vid 20 grader celsius inomhus på årets kallaste dag, (för svenska standarder och vid beräknad utetemperatur). I norra klimatzonen sträcker sig detta med 4 watt per kvadratmeter.

Det är också krav på byggnades lufttätethet, vilket får inte läcka mer än 0.3 l/s /m² oms. Vid plus minus 50 pascal tryckskillnad. [4], [5].

Med dagens nyteknik har man uppnått att utveckla ny material, design och metod för att uppfylla kraven för passivhus. Viktigast dock beakta för ett passivhus är att minska värmeförluster genom klimatskalet, dvs att det byggs tät och välisolerad som möjligt och samtidigt ha ett effektivt ventilationssystem med till - och frånluft samt återvinning blir huset för det mesta självförsörjande. Det är viktigt då med att underhålla systemet, ventilationskanalerna känsliga för nedsmutsning, och det ska vara lättåtkomligt att byta filter och rensning av kanalerna, detta för ett bra inomhus klimat.

Sveriges passivhusproducent börjar ta fart nu, och det bör analyseras, och utvärderas tekniken och anpassas för Sveriges klimat. Om man jämför konventionella byggnader med passivhus, så är det passiva huset mer fukt känslig, och med byggnadsfysikaliska risk analys, och uppföljning av befintlig byggda passivhusen kan framtida problem kartläggas i fråga om komfort, verkningssätt, och beständighet undvikas [6].

1.2 Mål och syfte

Syftet med detta examensarbete är att studera de befintliga passivhusen byggda av fastighetsägaren Mimer, och analysera temperatur, och fukt för vindsutrymme, ytterväggar och syllen. Målet till att göra denna undersökning är att se om passivhus uppfyller

byggbestämmelser beträffande fukt och temperaturförändringar, och att hitta i tidigt skede misstänkta förändringar som kan påverka negativt på detta.

1.3 Avgränsning

De senaste tiderna har olika fastighetsbolag haft fuktproblem med väggarna på nybyggda flerbostadshus och radhus, och uppmärksamats i median. Nu denna examensarbete grundar sig i denna problem fast har koncentrerats till befintliga bostäder med passivhusteknik.

Det är inte egen beräkning som har behandlats här, utan det är tänkt att göra riskinventering med hjälp av skolans mätpunkter placerat hos en av de passiv husen på Bergsgrottan för att analysera fukt tillståndet på ytterväggarna, och kartlägga temperaturskillnaden allmänt på dessa byggnadsdelar. I denna examensarbete ingick alltså att göra energibalans för de befintliga passivhusen i Bergsgrottan, men det blir inte aktuellt med hänsyn till tid, och storleken på exjobbet inom ramen för 15 hp. Som avgränsning också bortses i denna rapport de boendes beteendevanor angående t.ex. energiförbrukning, vädring av fönster, och ventilationsjusteringar, samt inte tagit hänsyn till ventilation effekt på energiförbrukningen. Det är främst passiva byggnadsfysiska risker som rapporten handlar om, och behandlar aspekterna temperatur, och fukt. I anslutning till dessa har även allmänt teorin bakom fukt och dess egenskaper tagits upp.

1.4 Metod

Metodiken för denna examensarbete är studiebesök på de befintliga passivhusen på Bergsgrottan, och närmare på plats studera byggnaden i detalje, och speciellt granskning av ritningar har gjorts på vägg konstruktionen.

I denna examens arbete förväntas följande punkter utvärderas:

- Relativa fuktillståndet för vindsutrymme, ytterväggar och syllen
- In och ut temperatur i dessa byggnadsdelar

Vidare kommer de mätpunkter som MDH har placerat på plats på vissa ställen för dessa byggnadsdelar kommer dess mätdata att analyseras, också jämförs mätdata med verkligheten för säkerställa om värdena stämmer med verkligheten.

1.5 Litteraturstudie

Den teoretiska grunden till denna examensarbete har varit tidigare examensarbete inom passivhustekniken, och kurslitteratur från tidigare kurs Energy Efficient Buildings (BTA400)

har använts inom området fukt, och passivhus. Andra litteraturstudier som används för finna information har skaffats via databaser såsom Diva, och Libris, och från publicationer från internet. Indata, bilder, och detaljeritningar hämtats från MDH, och fastighetsägaren Mimer.

2 VAD MENAS MED "PASSIV HUS"?

Passivhus klarar sig på en minimal värmeförsörjning, och denna typ av lågenergihus kräver varken värmeanläggning eller värmeelement i jämförelse med konventionella hus. Det som värmer ett passivhus är den interna värmekällor som alstrar i huset i form av kroppsvärme, elektriska apparater, och belysning mm. I ett passivhus tas också tillvara värmen som finns i inomhusluften, och också som passiv energi utnyttjas solinstrålningen för att värma varmvatten, och byggnaden. studier visat att på det sättet kan man möjligen halvera energibehovet, och minska koldioxidutsläppen. Praktiskt taget vet man att tekniken i passivhus innebär att ha extra tjocka superisoleringsväggar, och med det också öka tätheten, och på så sätt minimeras värmeförlusterna genom klimatskalet och ventilationssystemet. Det är extra täta, och isolerade i golv, och fönster för att minska värmeläckage, och förbättra komforten, och ur energisynpunkt ska det vara extra låga U-värden på dörrar, och fönster med hög kvalite. Med ett sådant välisolerad, och tät konstruktion får man betydligt mindre transmissionsförluster, och när det gäller att öka inomhus komforten, och minska ventilationsförlusterna krävs att ha en effektiv värmeväxlare (mekaniskt FTX –system) med (80 - 85 %) värmeåtervinning. Med hjälp av denna värmeväxlare kan utgående luft återvinnas, och värma upp tilluften. med denna system återvinner man 85 % av energin. Elförbrukningen i ett passivhus är ungefär 40 % mindre jämfört med konventionellt hus [7].

Den tyska passivhus Institute definierar ett passivhus enligt följande:

"A Passive House is a building for which thermal comfort (ISO 7730) can be achieved solely by post-heating or post-cooling of the fresh air mass, which is required to fulfill sufficient indoor air quality conditions (DIN 1946) – without a need for re circulated air."[3].

Byggtekniken är varken komplicerad eller ny för passivhus, utan det är känd byggt teknik som tillämpas på ett effektivare sätt. Man använder sig inte av speciala produkter, utan allt är standard material som används i marknaden. men däremot för att tillhandahålla hög kvalite krävs det för passivhus projekt ett effektivare och noggrannare byggprocess från projekteringsskede till produktionsskede. Alla aktörer ska ha väldigt goda kunskaper om passivhus, och på de krav som ställs för ett sådant projekt, och för att uppnå det önskade resultatet och inte heller påverka helheten negativt är hela bygget som ett helt kompakt projekt, och inget del försummas, eller annan del byggs bättre [4].

2.1 källor till passiv energi

Passivhusen i Bergsgrottan uppfyller de kravspecifikationen för passivhus i Sverige enligt Energimyndigheten. Den köpta energin överstiger inte 45 kWh/m² exkl hushållsel.

Förbrukning av köpt energi kan variera väsentligt från hus till hus beroende på de boendes vanor, behov och komfortkrav. I Bergsgrottan har passiv energi utnjuttas redan vid planritningen för husen, där i bottenvåningen finns kök och vardagsrum i en öppen planlösning. Köket kommer bidra med extra värmestillskott vid matlagning, och i anslutning till entrén finns en hall som vid in och utgång kommer att fungera som vindfång för att undvika värmeutsläpp. Vidare har man fått plats med tvättstuga och wc med dusch där tvättstugan och handdukstorkare bidrar med extra värmestillskott. På andra våningen finner man stor balkong mot solen i söderläge i anslutning till stora sovrummet vilket bidrar med passiv värme under soliga dagar.

I Bergsgrottan har husen utrustat med diskmaskiner och tvätt. Diskmaskinen minskar energiförbrukningen jämfört med enbart handdisk. I Bergsgrottan går det åt betydligt mindre hushållsel, och bakgrunden till detta är att tappvarmvatten värms upp av fjärrvämen, också tvätt och diskmaskiner har anslutits till fjärrvärmenätet vilket bidrar till ännu lägre driftskostnad och minskad elkostnader säger Per Widerstedt, projektchef på Bostad AB Mimer [16].

2.2 Klimatskal

Hela passivhus konceptet bygger på kunskap och utbildning för alla inblandade i projektet, och det kan medföra ytterligare kostnader för de första projekten. Organisationen kan anse att projektet blir en risk för de när det aldrig har provats tidigare. Arkitekten har en viktig roll i det tidiga skedet av projektet för ett passivhus projekt vad det gäller medvetenheten om de utrymme som behövs t.ex placering för tilluftsenheter, ventilationsrör, och rätt placering av fönster, och var uppstår sol skuggor, osv.[8].

Passivhus konstruktionen ska anpassas till varje land för dess geografiska förhållande, lämplig för den aktuella klimat, och läge, och man ska vara medveten om de lösningar som tillämpas i centraleuropa inte kan antas att fungera villkorlös i andra delar av världen. Man måste ta hänsyn till omgivande traditionella byggnader, samt nationella / lokala byggnormer. dagens industri erbjuder hög kvaliterade prefabricering av byggelement, och har möjliggjort effektiva kostnadsbesparingar, och förbättrad kvalitetskontrollen. Som nämde tidigare det krävs ingen speciell konstruktionstyp för passivhus, och den är ganska lik traditionellt hus. Det är viktigt att minimera köldbryggor för hela konstruktionen, och välisolerade dörrar och fönster måste användas för hålla ner belastningen på värmesystemet, och kalldrag. Maximal fördel av solinstrålning ska tillvaratas genom att placera noggrannt fönsterplaceringen i en optimal orientering av bostaden mot söder. Välplacerad söder fönster låter vinter solen stråla in i byggnaden, och bidra till passivvärme, medan solinstrålningen under sommaren skuggas för att undvika överhettning. Är passiv huset konstruerad med tak som bidrar som överhäng över fönster ger den fördelen att under sommaren bidra med skugga, och också att minska frost, och kondens på fönsteryttan [9].

2.3 Byggnadstekniska lösningar

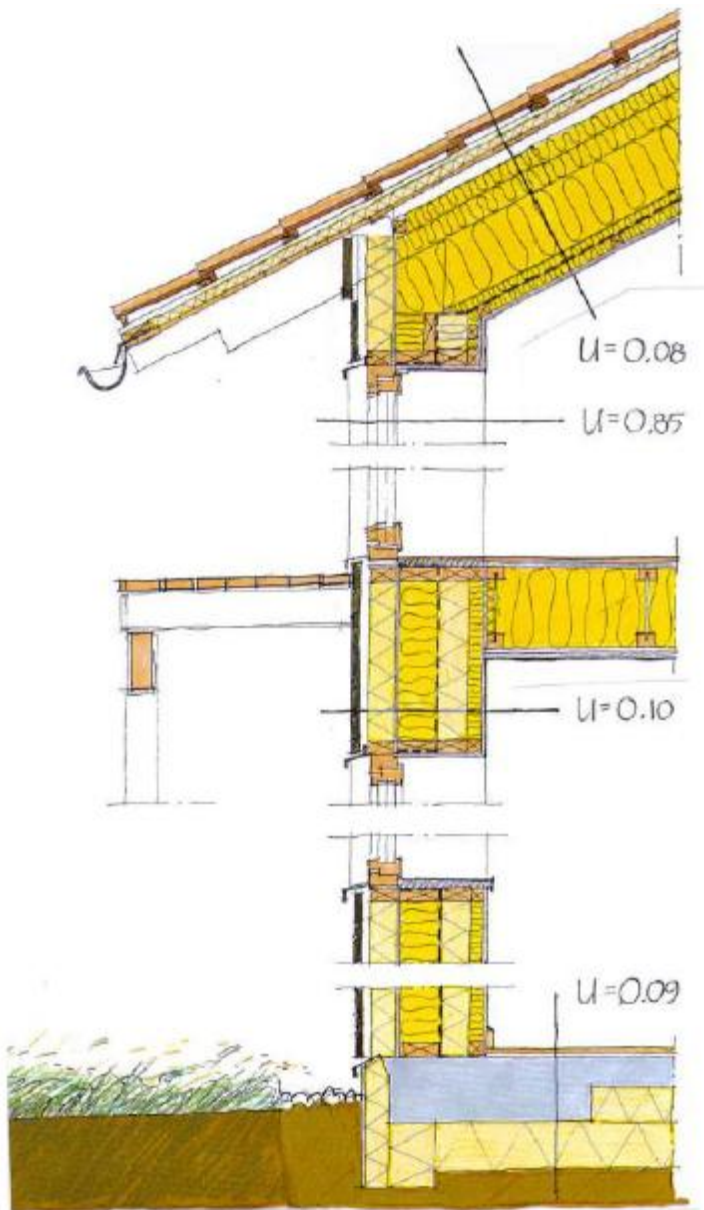
2.3.1 *Lätta klimatskal (trä eller stålreglar)*

lätta klimatskal och utfackningsväggar är hittills bland de vanliga lösningar som produceras bland passivhus och lågenergihus. Deras konstruktions detalj består av inre diffusion och lufttätning, värmeisolering mellan reglar, och på utsidan består av vindsskydd, luftspalt och fasadbeklädnad. Oftast har man vindsskyddet som värmeisolerande, och det har fördelen att minska köldbryggor, och samtidigt ökar fuktsäkerheten [10]. Se principuppbyggnad nedan.

Tabell 1 nedan visas några exempel på projekt som konstruerad med lätta klimatskal.

	U-värde grund	U-värde väggar	U-värde fönster	U-värde tak
Brogården Alingsås (ombyggnad 3 vån 300 lgh)	0.25	0.12	0,85	0,11
Frillesås (2 vån 12 lgh)	0,11	0.11	0,7	0,08
Lindås (2 vån 20 lgh)	0.12	0.10	0,85	0,09
Hamnhuset (4 vån 115 lgh)		0.17	1,1	0,09
Växjö (8 vån 64 lgh)	0,09	0.10	<1,0	0,08
Värnamo (2 vån 40 lgh)	0,09	0.10	0,85	0,08

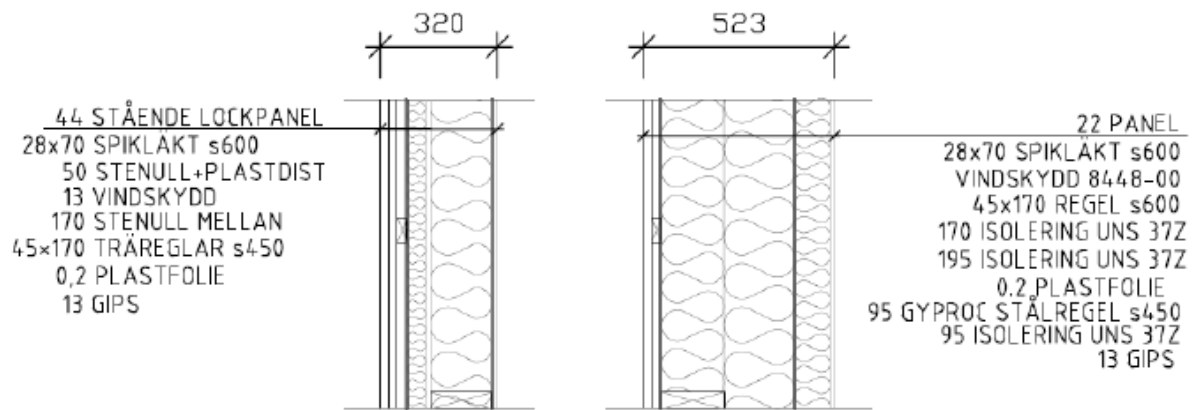
Tabell 1 U-värden på fönster och konstruktioner hos några passivhus, och lågenergihus [10].



Figur 1: utformningen på passivhus konstruktionen i Lindås. Ytterväggen har isolertjockleken 430 mm och i taket 480 mm [10].

2.3.2 konventionell vägg och passivhusvägg

Den mest vanliga skillnaden mellan konventionella vägg och passivhusets vägg, är att man har konstruerad mera isolering, och vidare har man installationsskikt, samt ett obrutet isoleringsskikt i passivhusetsvägg. Mer detalje i Figure 2 för jämförelsen.

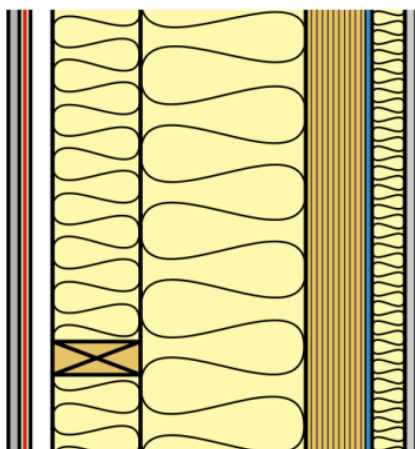


Figur 2: Jämförelse mellan konventionell vägg och passivhusvägg[11]

Konventionella väggen totalt har 220 mm isolering jämfört med passivhusväggen som har 440 isolering vilket är mer än dubbelt i stort sett. Detta ger väldigt låg U-värde på 0.095 W/m²,K jämfört med den konventionella väggen som har U-värde på 0.216 W/m²,K. Denna typ av passivhusvägg har Skanska använd vid projektering av passivhusen i Misteröd på västra Götalands Län, och passivhusen i Bergsgrottan har man också liknande vägg, med luftspalt, och träpanel i fasaden.

Det är självklart att en vägg med så låg U-värde på 0.095 W/m²,K får mindre luftgenomsläplighet, och Skanska utfört för denna typ av vägg provtryckning, och resultatet hamnat på 0.3 l/s, m², och detta klarar kravet på < 0.6 l/s,m². Som det visas tydligt i Figur 3 nedan ser man att detaljen på den passiva väggen inte skiljer sig mycket från motsvarande konventionella detaljlösning [11].

Massivträ har används på vissa passivhus / lågenergibyggnader. Man har valt att komplettera massivträet med värmeisolering för uppnå de låga U-värden som behövs. Med denna konstruktion har man uppnått ett U-värde för ytterväggs konstruktionen upp mot 0,11 W/m²K. I figur 3 har man använts massiva träelement 83 mm tjockt i projektet för Portvakten i Växjö.



Figur 3: Massiv träelement 83 mm från Martinssons Byggsystem. Teckning: Eric Werner Tecknaren [10].

Man kompletterar konstruktionen för massiv träskiva 83 mm, med en PE-folie som diffusions- och lufttätning, vilket förhindrar fukttransport genom konstruktionen. Projektet i Portvakten i Växjö som består av 8-vånings flerbostadshus har man använt denna lösning [10].

Som beskrivit tidigare ser man för passivhustekniken att man tillämpat de befintliga teknikerna, och detaljlösningar på ett smart och effektivt sett genom mer isolering. För att kunna bygga ekonomiskt, och ändå väldigt energieffektiv har det varit enklast, och billigast att bara öka på med mer isolering (nästan dubbelt) för att hålla ner transmissionsförlusterna. Det är väldigt positivt att man kunnat anpassa denna lösning med så god kvalitén, och noggrannhet för passivhus projektering. Köldbryggorna är det mest väsentliga transmissionsförluster i ett passivhus. Väldigt viktigt då att undvika köldbryggor, för om man har köldbryggor, och klimatskalet läcker, kan fuktproblem uppstå pga kondens, Man måste beakta köldbryggor med ytterst noggrannhet, och minimera de så gott det kan gå vid passivhus projektering i det tidiga skeden [11].

2.4 Låg energianvändning

I de flesta fall ligger U-värden ner mot 0.1 W/m²K. För att undvika köldbryggor, och åstadkomma god lufttätthet är det ytterst viktig med noggranna utförandet av konstruktionen och projekteringen. För att energianvändningen skall bli tillräckligt låg de noggranna planeringen, och utförandet av arbetet är väldigt nödvändiga. Ett utvändigt isolerande vindsskydd, samt flera lager korslagda träreglar med mellanliggande isolering kan bidra att de genomgående köldbryggor undvikas [10].

2.4.1 Lufttäthet

Lufttättheten har en viktig roll för effektivisera byggnadens energianvändning, beständighet, god inommiljö och också viktigast fuktsäkerheten för konstruktionen. Speciellt för passivhusen måste man lyckas bygga ett mycket bra lufttätt klimatskal för att uppnå den låga energianvändningen.

I tabellen nedan visas kartläggning från [Sandberg, Sikander 2004] de allvarliga negativa konsekvenserna av bristande lufttäthet:

	Konsekven
Fukt	Skador av fuktkonvektion
	Skador av inläckande regnvatten
Energi	Ökad energianvändning, transmissionsförluster
	Ökad energianvändning, ventilationsförluster

Komfort	Drag
	Kalla golv
Luftkvalitet	Funktion hos ventilationssystem
	Spridning av lukter, partiklar, gaser inkl radon
Annat	Frysrisk hos installationer
	Försämrad ljudisolering

Tabell 2: negativa konsekvenserna av bristande lufttätethet[12]

Idag vill vi ha hus med så låg energianvändning som möjligt, och detta har ökat motivet att satsa på lufttäta byggnadsskal. Punkterna nedan visar sambandet mellan otäta byggnader och energianvändningen.

- Bristande lufttätethet ökar ventilationsflödet i de flesta fall, och medför ökad energianvändning. Den extra mängd luftflöde som strömmar in i byggnaden vid kall och blåsig väderlek måste värmas upp, och därmed ökar energianvändningen.
- Dålig lufttätethet i byggnader utrustad med värmeåtervinning kan orsaka att luftflödena inte går igenom värmväxlaren som planerat. konsekvens av detta medför att tilluften ej förvärms som det tänkt, luften tas in och ut genom klimatskalet utan att frånluftens energiinnehåll tas tillvara.
- Isoleringens värmemotstånd försvagas / minskas när luften får möjlighet att blåsa in i isoleringen, det leder helt enkelt ökat värmeflöde genom byggnadsdelen.

En bra termisk komfort inne i byggnader uppnås genom god lufttätethet som är en av huvudfaktorerna för detta. En av de vanliga orsakerna till brister i den termiska komforten är luftläckage kring fönster och dörrar, också kall luft som läcker in i byggnadsdelar såsom golvbjälklag och ger upphov till kalla golv. Detta leder till högre energi användning, eftersom drag, och kalla ytor medför ökad inne-temperatur.

Andra orsaker till att bygga lufttätt är att undvika fuktskador på grund av fuktkonvektion. Till följd av fuktkonvektion, och invändig övertryck uppstår fuktproblem i byggnadskonstruktioner, och att det råder fukttillskott till inneluften, samtidigt som det finns otätheter där den fuktiga inneluften strömmar igenom.

Luftkvaliteten kan påverkas negativt på grund av otätheter, då luftotätheter kan orsaka spridning av partiklar, och gaser liksom brandgaser, radon, matos och röklukt som kan transporteras från en lägenhet till en annan. I och med tilluften tas ej via filter i ventilationssystemet utan tas genom klimatskalet går det ej att filtrera.

För en framgångsrik lufttät byggnad har erfarenheter visat att utbildning och information om lufttäthetsfrågor skapar förståelse för projekteringen, och arbetsutförandet av de noggranna detaljer som leder till en lyckat resultat. Alla inblandade aktörer såsom arbetsledningen, snickare, och underentreprenörer ska ta del av utbildningen, och informationen [12]. I figur 4 nedan visas exempel på en lyckat lufttät fönsteranslutning.



Figur 4: fönsteranslutningen har lufttätats genom att vika in plastfolien i fönstersmygg, och vidare mot fönsterkarm, och hörn med dubbelhäftande butylgummiband [10].

Man brukar lufttäta i skarvar, och anslutningar med hjälp av ett inre tätskikt av plastfolie som tejpas / kläms på plats. En indragen plastfolie väljs vanligen för skydda placeringen av plastfolie, och samtidigt underlätta eldragningar och infästningar utan att behöva punktera tätskiktet eller omedveten punkteras. De lösningar som är valda att användas måste ha goda beständigheter, såsom fogmassor, dubbelhäftande band eller tejper. Kvaliten, och beständigheten måste förklaras upp, och efterfrågas hos materialleverantören, samtidigt ska man försäkra sig att materialet fungerar väl parallellt med det andra materialet som samtidigt applikationen sker mot liksom trä, plastfolie eller annat. Det har testats andra kompletterande alternativ i Norge, och USA för lufttätethet. Man har testat att ha ett yttre lufttätande skikt där vindtäthet, och lufttäthet kombineras. Det är en intressant lösning som borde undersökas för den svenska klimatet. Viktigt att påpeka igen för uppnå noggranna lufttäta konstruktioner krävs det utbildning, och kunskap om arbetsutförande. För massiv trärelement har det gjorts laboriemätningar av lufttätheten, och resultatet av det visat att lufttätheten varierar beroende av fuktrörelser då trä krymper vid uttorkning. Man har kunnat uppnå lufttätheten till $0.225 \text{ l/m}^2\text{s}$ för projektet i Portvakten, vilket är utmärkt resultat där kraven är $< 0.6 \text{ l/m}^2\text{s}$. [10].

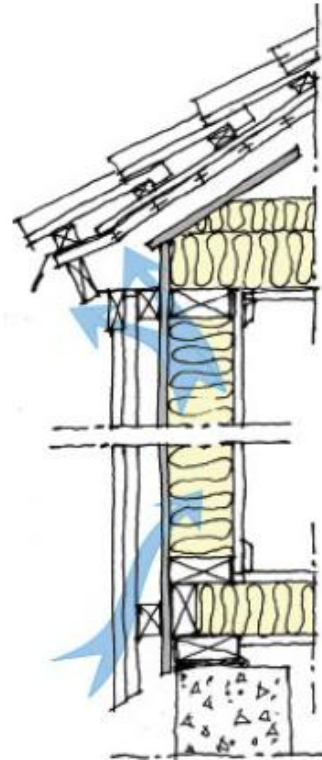
2.4.2 Vindskydd

vindskyddet är viktigt framför allt till att ha en fungerande värmeisolering, också vindskyddsskiktet hjälper till att minska vindens trycksättning av det lufttäta skiktet, som driver luftläckaget. Viktigt då att tätheten för detta skikt också säkerställs. Isolering med vindskydd eller något skivmaterial är oftast vad som används till vindskyddande skikt, och för småhus används vindskyddsväv.

Vindskydd och regntätning separerade som används i en tvåstegstät vägg har även fördelen att minska risken för vatten att pressa in genom otätheter då vinden kan pressa igenom det lufttätande skiktet [6],[17].

Bristande vindskydd leder till försämrat U-värde i vägg konstruktionen

Vindskyddet har stor inverkan för värmeisoleringens funktion i en vägg. Värmetransmissionen ökar för lätta konstruktioner som utsätts för vind då det blåser ut den varma luften igenom isoleringen och ersätts med kall luft. Som exempel för Göteborgsklimat ökar det med 15% väggens värmetransmissionsförluster i en konventionell vägg med vanlig vindskydd. Även på årsbasis påverkan på den totala energibalansen för byggnaden inte blir mycket, men å andra sidan påverkan är stor för den enskilda byggdelen. För att motverka värmetransmissionsförlusterna det är viktigt med ett riktigt utfört vindskydd, och det är extra viktigt och känslig i ett passivhus att arbetet utförs på ett bra sätt där ökade värmeförluster mer kritiskt. Studier visar att utförande av vindskydden har mer betydelse än jämfört med vilken typ av vindskydd som används. Figur 5 till höger är exempel på ofullständigt fungerande vindskydd som vinden försöker tränga in igenom den lätta väggens isolering, och driver ut den varma luften. Det blir ett utbyte av det stillastående luftlagret som försvinner och ersätts mot kallare luft vilket leder till att värmemotståndet minskar i konstruktionen [6],[17]



Figur 5: Lätt regelvägg som utsätts för luftinblåsning [6], [18].

2.5 Fuktsäkerhet

Fuktkänsliga konstruktioner bland annat trä som har låg mögelresistens ska skyddas och monteras under väderskydd. För ytterväggar ska man fuktsäkra alla detaljer och försäkra sig att på utsidan fukt ska inte tränga in i väggen. Projektet i Portvakten liksom många andra projekt har man använt prefabricerat industriella element i det här fallet massivträ, fördelen med att utföra bygget prefabricerat är att skydda konstruktions material från fukt, också det är tidsparande med att enbart montera på plats [10].

2.5.1 Boverkets byggregler om fukt

I denna avsnitt beskrivs de regler som boverket har för hantering av fukt i byggnader. I BBR:s avsnitt 6:5 Fukt, anger Boverket regler för byggnadskonstruktioner för begränsa att skadlig fukt inte uppstå.

2.4.1.1 Allmänt 6:51

”Byggnader ska utformas så att fukt inte orsakar skador, elak lukt eller hygieniska olägenheter och mikrobiell tillväxt som kan påverka människors hälsa.” [13].

2.4.1.2 Definitioner 6:511

Fukttillstånd: Nivå på fuktförhållanden i ett material. Fukttillståndet för material kan beskrivas som fukthalt, fuktkvot, relativ fuktighet m.m.[13]
Kritiskt fukttillstånd: Fukttillstånd vid vilket ett materials avsedda egenskaper och funktion inte uppfylls.[13]

2.4.1.3 Högsta tillåtna fukttillsstånd 6:52

”Vid bestämning av högsta tillåtna fukttillstånd ska kritiska fukttillstånd användas varvid hänsyn tas till osäkerhet i beräkningsmodell, ingångsparametrar (t.ex. materialdata) eller mätmetoder. För material och materialtyper, där mögel och bakterier kan växa, ska väl undersökta och dokumenterade kritiska fukttillstånd användas. Vid bestämning av ett materials kritiska fukttillstånd ska hänsyn tas till eventuell nedsmutsning av materialet. Om det kritiska fukttillståndet för ett material inte är väl undersökt och dokumenterat ska en relativ fuktighet (RF) på 75 % användas som kritiskt fukttillstånd.(BFS 2011:6).”[13]

Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (SP), har analyserat om kritiska fukttillståndet för mikrobiell tillväxt för uppdrag av Boverket. resultatet sammanfattas i tabell 3.

Materialgrupp	Kritiskt fukttillstånd [% RF]
Trä och träbaserade material	75-80
Smutsade material	
Gipsskivor med papp	80-85
Betong	90-95
Mineralullsisolering	
Cellplastisolering (EPS)	

Tabell 3: Kritiska fukttillstånd föreslagna av SP (2004)[15]

2.4.1.4 Fuktsäkerhet 6:53

”Byggnader ska utformas så att varken konstruktionen eller utrymmen i byggnaden kan skadas av fukt. Fukttillståndet i en byggnadsdel ska alltid vara lägre än det högsta tillåtna fukttillståndet om det inte är orimligt med hänsyn till byggnadsdelens avsedda användning. Fukttillståndet ska beräknas utifrån de mest ogynnsamma förutsättningarna. (BFS 2011:6).”[13].

I allt byggande fuktsäkerheten är en viktig riskaspekt, och frågan behöver uppmärksammas extra mycket i samband med passivhustekniken, föratt dess lufttäthet, och isoleringen ger nya förutsättningar särskilt genom att

- Ytterkonstruktionen i en passivhus är kallare jämfört med ett konventionellt hus med större värmeläckage, och tunnare värmeisolering
- Fukt och värmetransport via konvektion hindras i konstruktionen på grund av den stora lufttätheten
- om det används som lufttät skikt plastfolie i konstruktionen leder detta till en stor diffusionstäthet mot fuktvandring

Negativa effekter kopplade till detta är högre relativa fuktigheter, samt försämrad uttorkning av konstruktionen, dock finns fördelar också såsom minskat luftläckage från inomhusluften. De ovan nämnda fukttillstånd om temperatur- och fuktransportförhållandena i ett passivhus rör sig inte om fuktproblem eller fuktkällor, utan vad för slags konsekvenser det kan medföra i längden för passivhusen [6].

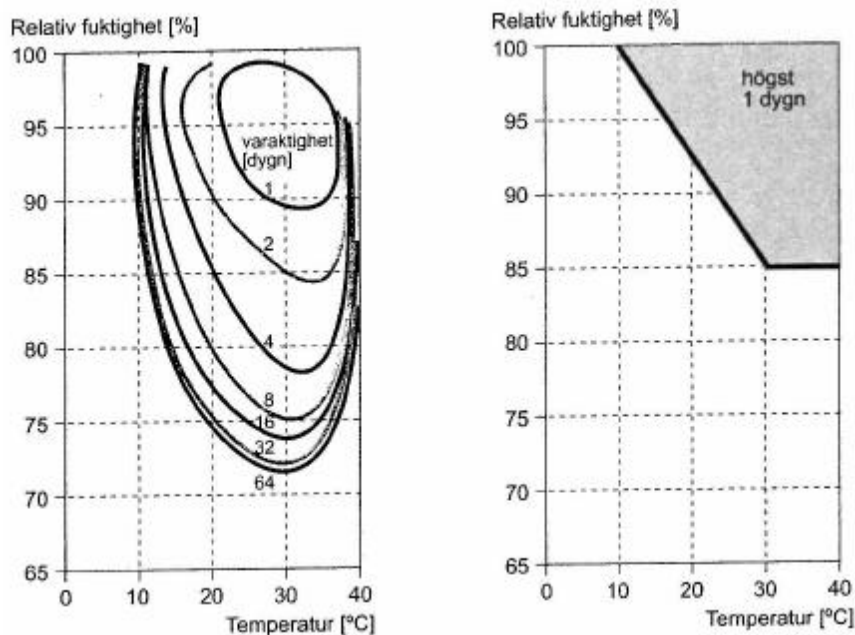
2.5.2 Fuktrisker för yttre del av yttervägg

Det relativ tjocka värmeisoleringen på passivhusen gör att ytterdelen av konstruktionen ha närmast utetemperaturen och erhålla en låg temperatur i ytterskiktet, vilket kan resultera i höga relativa fuktigheter när temperaturen sjunker. Problematiken blir svårare om det råder risk för ökad uppfuktning. Det blir väldigt svårt för fukt i väggen att torka ut med minskad konvektion, och hög lufttäthet. Dessa väggar extra känsliga för byggfukt, skador och läckage. Problematiken förstärks ännu mer med avsaknad av luftspalt bakom fasad, och de täta ytter skikten. Samuelsson Ingemar från Sveriges Tekniska Forskningsinstitut benämner ur fuktsynpunkt att dagens välisolerade väggar som riskkonstruktioner, och för att minimera riskerna rekommenderar han luftspalt / ventilerad fasadskiva för träregelkonstruktioner. Andra fuktsäkra alternativ är att använda sandwichkonstruktion med cellplast, lättbetong och puts, även här som helhet ska byggfuktpromatiken uppmärksammas vid användandet av betong.

De riskproblem som kan uppstå är sämre värmeisoleringsförmåga hos isolermaterialen, röta i trämaterial, vilket påverkar bärighet, och beständigheten, och på trä och gipsskivor få mögel, och bakteriepåväxt. Därför materialhantering, och byggfuktsuttorkning under byggskedet är extra viktig för passivhus, jätteviktig också att själva konstruktionen skyddas mot nederbörd under byggtiden. En stor riskabelt fuktbelastning kan enbart utgöras från luftfuktigheten, och detta risk kan minimeras via prefabricerade konstruktioner, speciellt för de yttre delarna. Genom hög prefabricerad konstruktion i fabrik eller fältfabrik minimeras den inbyggda fuktigheten, och snabbt få ett tätt hus vid ett villkor att själva montage av konstruktionen inte sker vid nederbörd [6].

2.5.3 Tidsaspekt

”Byggnadsmaterial kan vistas kortare tider i fukttillstånd högre än det kritiska fukttillståndet.. Detta förutsätter att materialet kan torka ut snabbt när RF sjunker under 75 %. Materialen skall således inte vara inbyggda och ligga i direkt kontakt med andra fuktigare material. Temperaturen spelar en stor roll i detta resonemang, då högre temperatur gynnar mögeltillväxten. I figur 6 redovisas hur länge ett organiskt material kan vistas i en viss relativ fuktighet och temperatur.” [15].

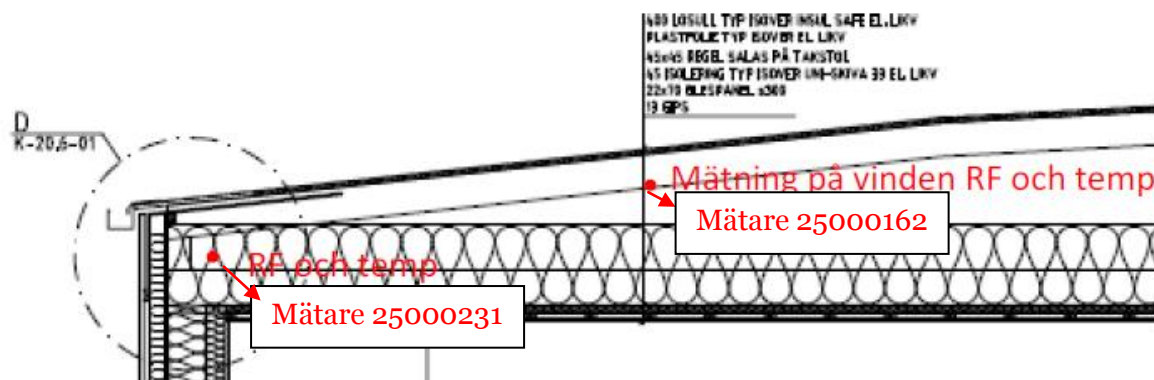


Figur 6: Högsta tillåtna RF för ett organiskt material beroende på varaktighet, och temperatur [15].

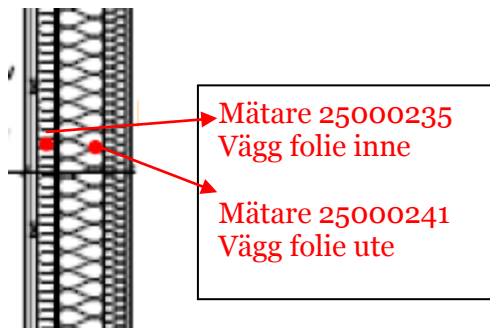
3 MÄTPUNKTERNAS RESULTAT

3.1 Mätputs placeringar

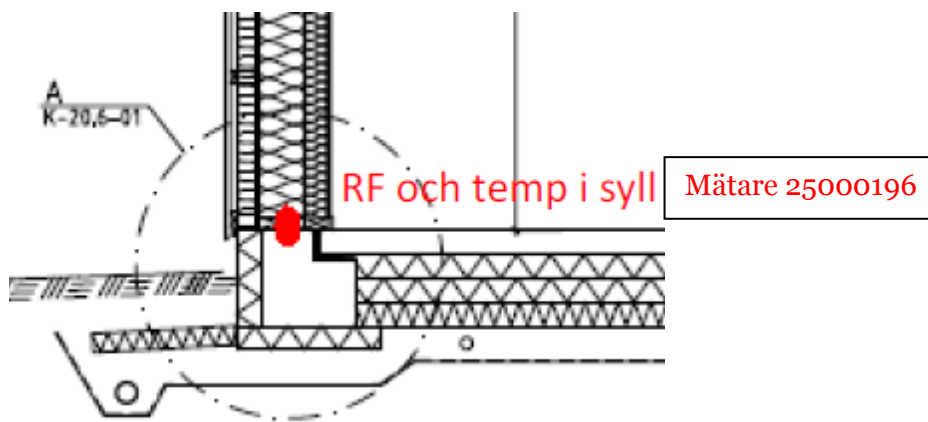
Nedas visas placeringen för de mätpunkter som har installerats för parhusen i Bergsgrottan. Mätaren indikerar temperatur, och relativa fuktigheten för varje timme. Mätdata börjar från december 2011 fram till maj 2012.



Figur 7: mätpunkts placering för vindsutrymme och vind-under isolering[16]



Figur 8: mätpunkts placering i väggen [16]



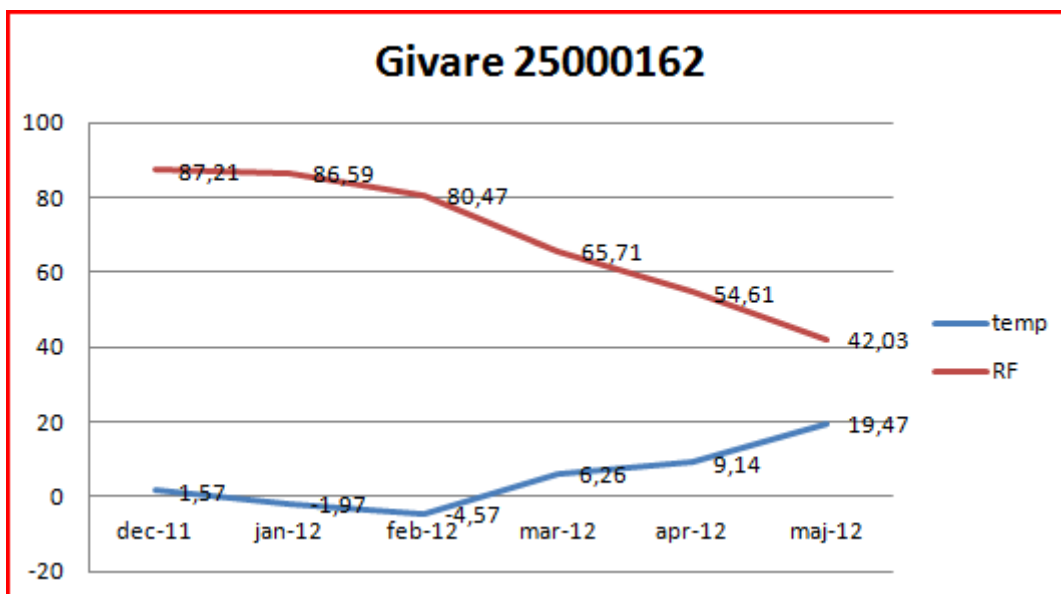
Figur 9: mätpunkts placering i syll [16]

3.2 Resultat analys

3.2.1 Vind utrymme

Datum för mätpunkt	Temperatur C	RF%
2011-12-01	1,57	87,21
2012-01-01	-1,97	86,59
2012-02-01	-4,57	80,47
2012-03-01	6,26	65,71
2012-04-01	9,14	54,61
2012-05-01	19,47	42,03

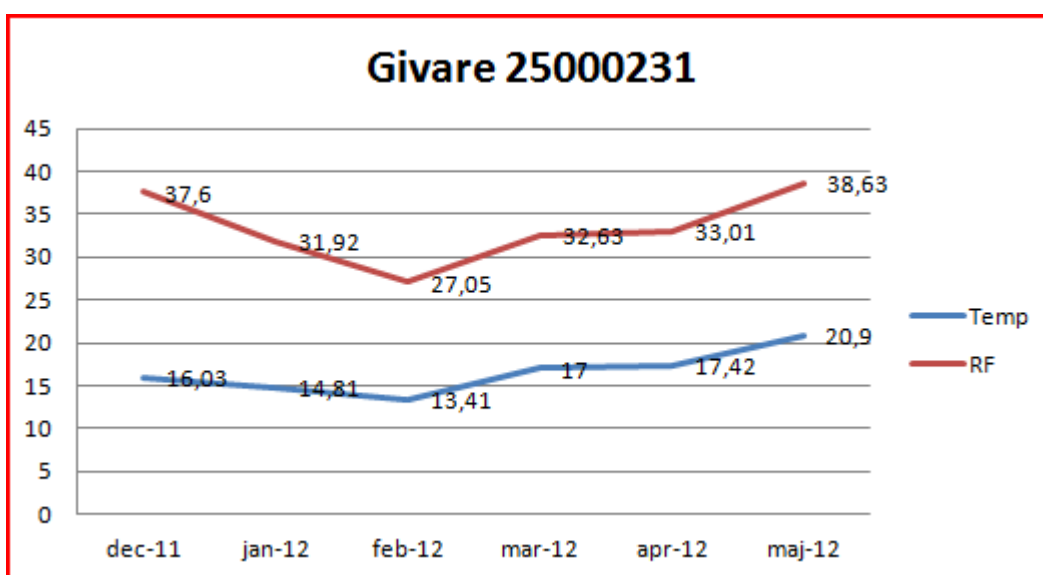
Tabell 4: Temperatur och relativ fuktighet i vindsutrymme för givare 25000162



Graf 1: förhållandet mellan temperatur och relativ fuktighet för vindsutrymme

Datum för mätpunkt	Temperatur C	RF%
2011-12-01	16,03	37,6
2012-01-01	14,81	31,92
2012-02-01	13,41	27,05
2012-03-01	17	32,63
2012-04-01	17,42	33,01
2012-05-01	20,9	38,63

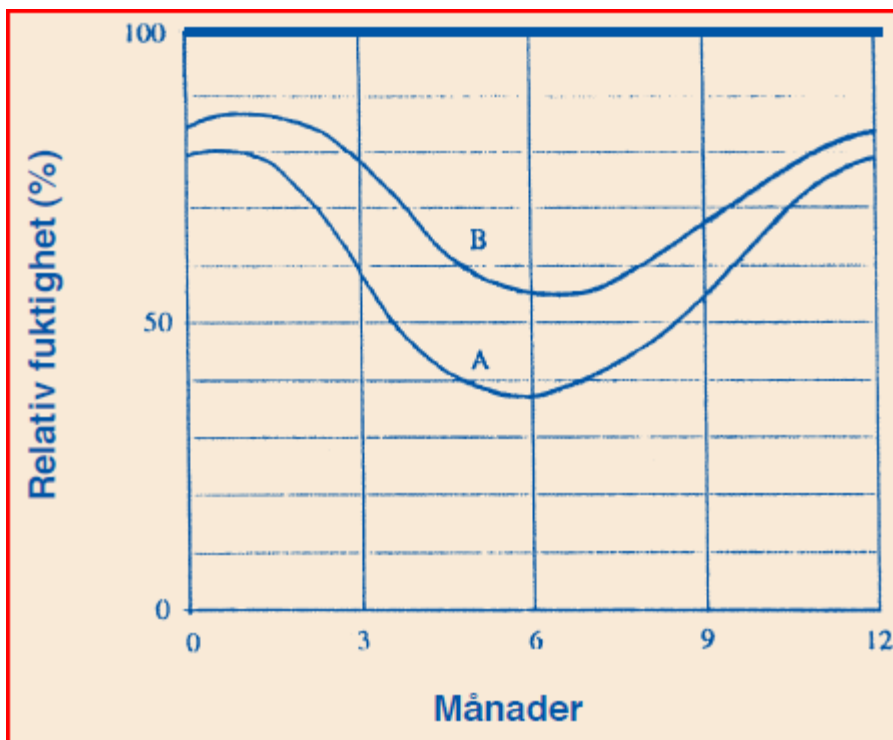
Tabell 5: Temperatur och relativ fuktighet i vind-underisolering (innetak) för givare 25000231



Graf 2: förhållandet mellan temperatur och relativ fuktighet för vind-underisolering (innetak)

Passivhusen har ett värmeisolerat bjälklag, taket är utfört med luftspalt, med öppningar i takfoten för ventilation se figur 7, och ett vattenavledande yttertak. Ett ventilerat tak har fördelen att hålla vinden kall, och därmed förhindra ojämna snösmältning, och istappsbildning, samtidigt blir klimatet som utomhus. Detta leder till att relativa fuktigheten under vinterhalvåret vara hög, detta kan man också se från givare 25000162 tabell 4, det är också vanligt att kondens uppstår på underlagstaket under klara kalla nätter då temperaturen sjunker kraftigt. Detta under höst, och våren ger detta förutsättningar för mikrobiell tillväxt särskilt på underlagstaket [19]. Från givaren kan man se att den relativa fuktigheten är under den kritiska tillståndet, och därmed risken minimalt.

Figur 10 visar genomsnittet för relativ fuktigheten i ett kallt vindsutrymme under ett års tid. Kurva A anger relativ fuktighet för normala förhållande, och kurvan B för ett tak utan solinstrålning. RF blir lägre vid högre temperatur, och i vindsutrymme följer det svängningarna i årsklimatet. Det är en fördel med det extra värmetillskott som solen erbjuder då vindsutrymmet blir varmare, och betydligt torrare [19].



Figur 10: Beräknad genomsnittlig relativ fuktighet för ett vindsutrymme, under 12 månader

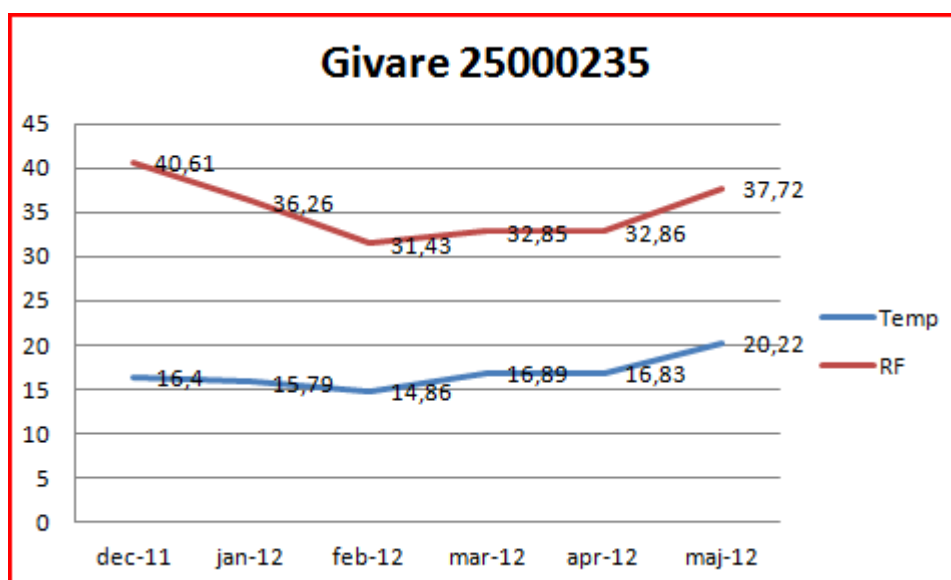
Den genomsnittliga relativ fuktighet från figur 10 i jämförelse med resultat värden från givare 25000162 tabell 4 stämmer hyfsat bra för vinterhalvåret för förhållande i vindsutrymmet. Tittar man närmare t.ex på värden från tabell 4 för mars månad får man RF värden 65.71 %, och jämförs detta med kurvan i figur 10 hamnar detta värde ungefär i mitten av kurvan A och B då detta verkar stämma med verkligheten då parhusen i Bergsgrottan är byggt separerad för sig, och får delvis med sol och värmetillskott i vindsutrymmen. Och vidare ser man att från mars fram till maj månad där temperaturen successiv ökar sjunker också den relativa fuktigheten vilket är bra tecken då förhållandet mellan temperatur och relativ fuktighet för vindsutrymmen är under normal förhållandet.

Mätvärden för vind underisolering (innetak) tabell 5 visar inte något kritiskt tillstånd för undertaket, och därmed risken för fuktskador minimalt så länge det är tät och luft inte läcker innifrån ut till undertaket.

3.2.2 Vägg

Datum för mätpunkt	Temperatur C	RF%
2011-12-01	16,4	40,61
2012-01-01	15,79	36,26
2012-02-01	14,86	31,43
2012-03-01	16,89	32,85
2012-04-01	16,83	32,86
2012-05-01	20,22	37,72

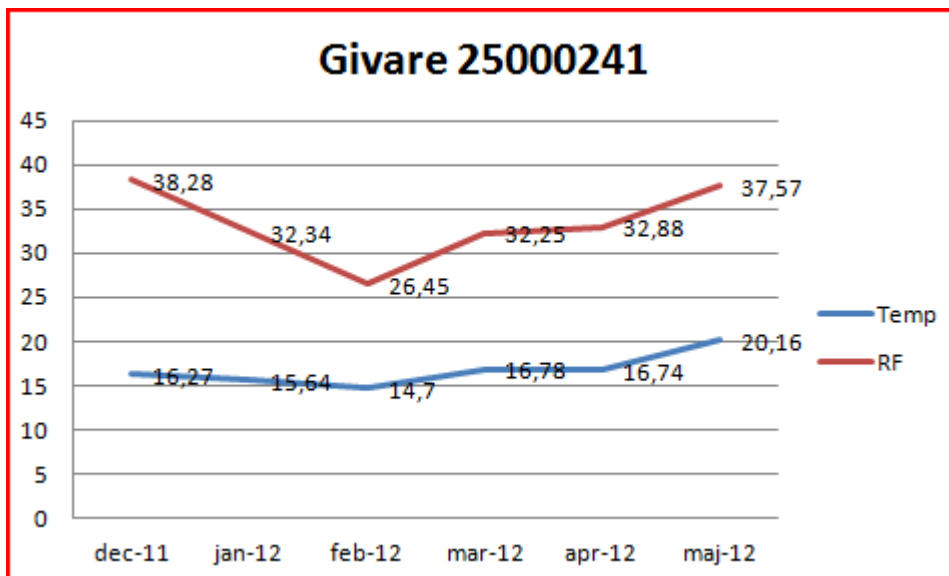
Tabell 6: Temperatur och relativ fuktighet i passivhus väggen (vägg folie inne) för givare 25000235



Graf 3: Temperatur och relativ fuktighet för väggen (vägg folie inne)

Datum för mätpunkt	Temperatur C	RF%
2011-12-01	16,27	38,28
2012-01-01	15,64	32,34
2012-02-01	14,7	26,45
2012-03-01	16,78	32,25
2012-04-01	16,74	32,88
2012-05-01	20,16	37,57

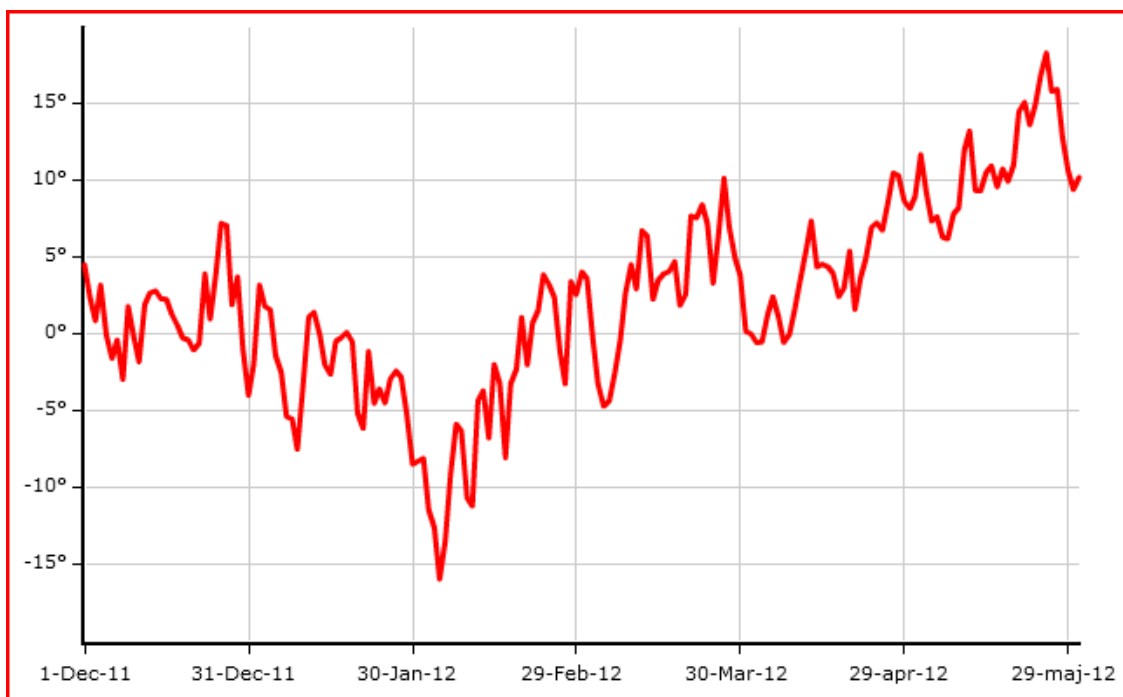
Tabell 7: Temperaturer och relativ fuktigheter i passivhus väggen (vägg folie ute) för givare 25000241



Graf 4: Temperaturer och relativ fuktigheter för väggen (vägg folie ute)

De undersökningar som gjorts på väggen både i vägg folie inne och ute visar inga tecken för fuktskador, och värdena visar under den kritiska tillståndet, vilket övergår inte relativa fuktigheten över 40 % och det visar betydligt ett jämnt temperatur, och relativ fuktighet. Det finns givetvis många parametrar som styr hur träet i väggarna påverkas av miljön runt omkring dem t.ex av brukarnas dagliga vanor, såsom tvättning, matlagning och ventilationen. Dessa väggar har luftspalt bakom fasadmaterialet, och det bidrar med goda fördelar då luftspalten ger ett kapillärbrytande skikt mellan fasadmaterialet och resterande väggen och samtidigt den underlättar uttorkning av väggen.

Från graf 4.1 ser man att ju lägre ute temperatur för Västerås medför det lägre temperatur över väggen och det samtidigt leder till lägre relativ fuktighet, också från grafen kan man se att februari har varit den kallaste månaden för 2012 nästan -16 grader, och jämför man både med graf 3 och 4 att det lägsta temperatur över väggen varit 14,86 och 14,7 grader och detta get lägst RF, och med ett jämn tempo när klimatet går mot varmare väder ökar också temperaturen över väggen, och därmed RF ökar med också, men som inte gått över det kritiska fukttillståndet för träbaserat material som visas i tabell 3. Man kan också med stort säkerhet gissa att det kommer inte kunna gå över det kritiska värdet för det svenska klimatet då ute temperature inte överstiger 30 grader, och väggen härmed blir fri från fuktskador så länge lufttätheten funkar, och läckage ej uppstår eller andra onormala olägenheter ej visar upp sig.

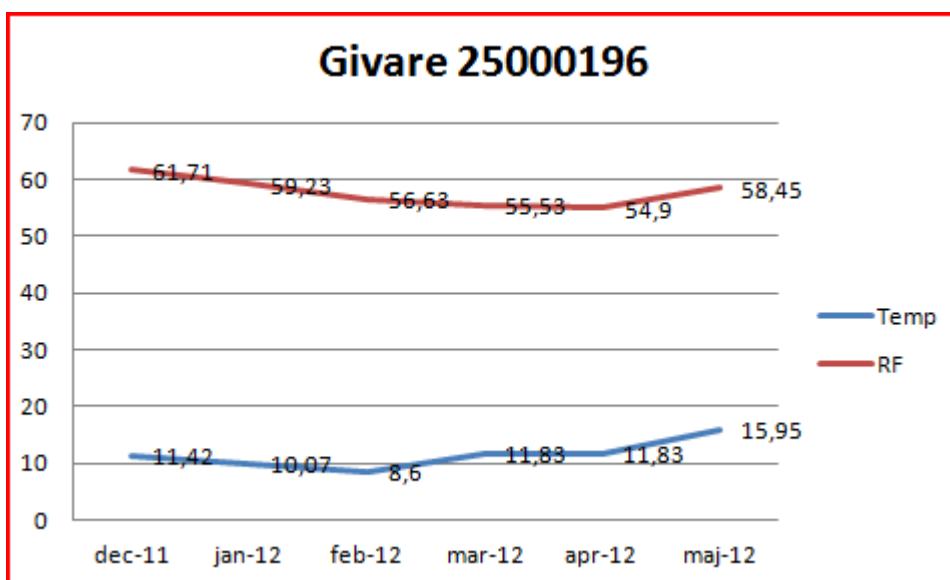


Graf 4.1: medeltemperatur över Västerås från dec 2011 till 29 maj 2012.

3.2.3 Syll

Datum för mätpunkt	Temperatur C	RF%
2011-12-01	11,42	61,71
2012-01-01	10,07	59,23
2012-02-01	8,6	56,63
2012-03-01	11,83	55,53
2012-04-01	11,83	54,9
2012-05-01	15,95	58,45

Tabell 8: Temperatur och relativ fuktighet i syll för givare 25000196



Graf 5: Temperatur och relativ fuktighet för syll

Syll undersökningen visar ett jämnt och fint temperatur och relativ fuktighet fram till april månad, men sedan under maj månad ökar temperaturen till max 18 grader, och i sin tur relativ fuktigheten nästan till 59 % RF. Tyvärr mätdatan för juni månad har inte kommit in än, men det vore intressant att veta det för hela sommaren för att se om värden överstiger den kritiska fukttillståndet. Hur som helst i dagsläge visar det inga tecken för fuktrisk i syllen.

4 DISKUSSION

Avsikten med rapporten har varit att analysera de mätningar som placerats för de befintliga passivhusen i Bergsgrottan i det här fallet parhusen. Mätningarna redovisades för vindsutrymme, väggar och syllen. Generellt är resultaten positiva med avseend på relativ fuktigheten låg för de mätpunkter som analyserats. Utifrån denna undersökning / mätningar påvisar att passivhus /parhus i Bergsgrottan har lågt risk för mögelpåväxt och att den relativa fuktighet är under den kritiska fuktillståndet. Passivhusen i Bergsgrottan är relativt nybyggda, och som passivhus är husen väldigt lufttäta och har hög kvalite därför de mätningar som tillgängliga i dagsläge som är för sex månader avgör att det blir svårt och avgöra direkt att husen är fri från fuktskador. Det behövs längre analys och mätningar än bara de sex månader som har analyserats. Man måste följa upp analysen för längre tid än så, intressant är att jämföra mätningarna efter 3 – 15 år från de färska mätningarna som tillgängliga nu, och titta närmare om relativ fuktigheten ändras och om problem har uppstått. Vidare undersökning kan vara stick prov och provbitar för de olika byggnadsdelar analyseras mer i detalje genom laboratorie analys, och andra metoder som närmare undersökning för upptäckt av mikrobiellt mögelpåxät. Denna metod av undersökning kan vara relevant för längre perioder t.ex om 3 till 15 år.

kallvindar kan drabbas av mikrobiell påväxt på underlagstaket. den ökade isoleringen på vinden leder till kallare och fuktigare klimat, och det ger en ökad känslighet för mikrobiell påväxt speciellt under vintern då temperaturen blir låg, och relativa fuktigheten hög. I nyare hus begränsas skadorna genom noggrann tätning mot fuktkonvektion inifrån huset, eller genom isolering på underlagstaket. Husen i Bergsgrottan har ventilerat vind genom takfoten, och det sker luftväxling i vinden för säkerhets skull. Vidare har väggen också luftspalt, och ur fuktsynpunkt är det en viktig aspekt för säkrare väggar mot fukt, och nederbörd inläckning utifrån till innsidan av vägg.

REFERENSLISTA

[1]

Lågenergihus – en flora av begrepp, 2008

http://www.cerbof.se/documents/Info/Lagenergihus_VVSForum_april_08.pdf

, visited on '29/03/2012'

[2] Press rum: Some press message about Mimer.

<http://www.pirab.se/bostads-ab-mimer/pressrum/pressmeddelanden/view/passivhus-med-fjarrvarme-hos-mimer-666364>, visited on '29/03/2012'

[3]

Dr. Wolfgang Feist, Passive House Institut, 1997

http://www.passivhaustagung.de/Passivhaus_D/Primary_Energy_Input_comm2007.pdf

visited on '1/04/2012'

[4]

(Passivhuscentrum, 2012).

<http://www.passivhuscentrum.se/om-passivhus/det-har-ar-ett-passivhus>

visited on '1/04/2012'

[5]

Energirådgivningen, 2011

<http://www.energiradgivningen.se>

visited on '2/04/2012'

[6]

Martinsson, Linda; Passivhusteknik i ett Svenskt perspektiv – en byggnadsfysikalisk riskinventering och erfarenhetssammanställning av befintliga passivhusprojekt; Chalmers Tekniska Högskola, Examensarbete 2008:15

[7]

Passivhusen blir fler

www.sundolitt.se/download.asp?object_id=FCE43F89D89742E8B6A7521528A6F06A.pdf
(16 April 2007)

[8]

CEPHEUS project in Rennes (Feist et al., 2005)). Feist, W., Schnieders, J., Dorer, V., & Haas, A. (2005). RE-inventing air heating; Convenient and comfortable within the frame of the Passive House concept, Energy and Buildings volume 37 pp 1186 – 1203. USA: Elsevier Science Ltd.

[9]

Passive houses in Sweden (Experiences from design and construction phase)
Licentiate Thesis, by Ulla Janson.

[10]

Teknik- och systemlösningar för lågenergihus. En översikt Eva Sikander, Svein Ruud
Energiteknik, SP Rapport 2011:68

[11]

EXAMENSARBETE, CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Passivhus det långsiktiga valet

(En konkret jämförelse mellan konventionellt byggande och passivhus)

MIKAEL GRANBOM

ROBERT THORN

[12]

ByggaL - Metod för byggande av lufttäta byggnader

Eva Sikander

Energiteknik SP Rapport 2010:73

[13]

Regelsamling för byggande

Boverkets byggregler

BBR

BBR 18, BFS 2011:6

[14]

Nilsson Lars-Olof (2007), Fukt – Byggvägledning 9. Svensk Byggtjänst,
ISBN: 978-91-73332-31-6

[15]

Fuktsäkerhetsbedömning med Wufi

Examensarbete: Eric Fredriksson, Mattias Svensson

Karlstads universitet VT-2009

[16]

Teknisk beskrivning för kv Bergsgrottan

Bostads AB Mimer

[17]

Sandberg et al (2007) Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen – Etapp B. Tekniska konsekvenser och lönsamhetskalkyler SP Rapport 2007:23
källan har används av Martinsson, Linda

[18]

Roots, P (1997) Heat transfer through a well insulated external wooden frame wall : an investigation of the effects on normal defects in the insulation resulting from incident wind and air flow through the wall Diss. Report TVBH-1009, Dept. of Building Physics, Lund University Lund: Lund University, 1997
källan har används av Martinsson, Linda

[19]

Redovisning av fältundersökning och forskningsprojekt: Kalla vindar – problem och förbättringar

Artikelförfattare är Ingemar
Samuelson och Linda Hägerhed
Engman, SP Sveriges Provnings- och
Forskningsinstitut, Energiteknik,
Byggnadsfysik och innemiljö, Borås



MÄLARDALENS HÖGSKOLA
ESKILSTUNA VÄSTERÅS

Box 883, 721 23 Västerås **Tfn:** 021-10 13 00
Box 325, 631 05 Eskilstuna **Tfn:** 016-15 36 00
E-post: info@mdh.se **Webb:** www.mdh.se