

Avdelningen för Byggnadsfysik

Examensarbete TVBH-5063

Lund 2010

Utvecklingen för passivhus i Sverige

– med fokus på flerbostadshus av massivträ

Sara Fredlund
Christian Ranevi



LUNDS UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

Utvecklingen för passivhus i Sverige

– med fokus på flerbostadshus av massivträ

Sara Fredlund
Christian Ranevi

Avdelningen för Byggnadsfysik
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund
Sverige

ISRN LUTVDG/TVBH--10/5063--SE(188)
©2010 Sara Fredlund och Christian Ranevi

Abstract

A change in how houses are built is needed to reduce energy consumption and thereby also reduce our effect on climate change. A way to do this is to build more low energy houses, for example Passive houses, with the use of environment friendly materials, for example wood. Solid wood is a suitable material for high rise buildings. In this Master Thesis the development of Passive houses in Sweden with focus on apartment buildings in solid wood is therefore studied. This is done by studying a reference building, a literature study and interviews. The reference building is Portvakten Söder, an apartment building in solid wood built with Passive house technique. The reference building is studied as it is built and with changes concerning three variables.

The heat loss through the connection between the window and the wall is simulated using the programs HEAT and MATLAB/CALFEM. In the simulations in HEAT the variables are external window frame insulation, type of window and positioning of window. Existing window and a new window is used in the analysis. The results show that the best combination is external window frame insulation, new window and placing the window just outside the load-bearing structure. A sloping window embrasure is examined using MATLAB/CALFEM. A sloping window embrasure increases the heat flow through the construction with 6 % compared to a straight window embrasure, if built as in Portvakten.

Energy performance and compliance with requirements for Passive houses are analysed using PHPP. The results show that the new design using external window frame insulation, a new window and placing the window just outside the load-bearing structure lowers the need of momentary heating effect from 11,0 W/m² to 9,7 W/m² and the need of energy for heating during one year from 18,5 kWh/(m²·år) to 14,5 kWh/(m²·år). The key factor is the lower total U-value for the windows with the new design. The new design meets both the international criteria from PHI and the Swedish criteria from FEBY, while the original design only meets the Swedish criteria from FEBY. Measured values for Portvakten are higher than the calculated values. Requirements and assumptions suitable when designing a Passive house are discussed.

A literature study is made in the categories Passive houses, solid wood and technical solutions in order to investigate the future development of building. Passive house is a good concept and solid wood is a good building material, those are the general conclusions drawn. A list of technical solutions for building a low energy house is also made.

People involved in building Portvakten are interviewed. Questions are asked concerning what was good about Portvakten, what could have been done better throughout the process of building Portvakten, what lessons has been drawn from Portvakten and the future development of building.

Sammanfattning

En förändring av hur hus byggs är nödvändig för att minska energianvändningen och därmed minska klimatförändringen. Ett led i detta är att bygga fler lågenergihus, exempelvis passivhus, och att bygga med miljövänliga material, exempelvis trä. För att bygga flerbostadshus i trä lämpar sig massivträ väl. I detta examensarbete studeras därför utvecklingen för passivhus i Sverige med fokus på flerbostadshus av massivträ. Detta görs genom en studie av ett referenshus, en litteraturstudie och intervjuer. Referenshuset är Portvakten Söder som är ett flerbostadshus av massivträ byggt med passivhusteknik. Referenshuset studeras som det är byggt och med förändringar av tre variabler.

Värmeflödet genom fönsteranslutningarna simuleras med HEAT och MATLAB/CALFEM. Variablerna i simuleringarna i HEAT är utvändigt karmisolering, fönster och fönsterplacering. Befintligt fönster och ett nytt fönster används i analysen. Resultaten visar att den mest gynnsamma kombinationen är med utvändigt karmisolering, nytt fönster och en fönsterplacering i djupled precis utanför det bärande skiktet. En sned fönstersmyg analyseras med hjälp av MATLAB/CALFEM. Sned fönstersmyg ökar värmeflödet genom konstruktionen med 6 % jämfört med raka fönstersmygar, så som det är byggt i Portvakten.

Energimässig prestanda och uppfyllande av passivhuskrav undersöks i energiberäkningsprogrammet PHPP. Resultaten visar att den nya utformningen med utvändigt karmisolering, nytt fönster och en fönsterplacering i djupled precis utanför det bärande skiktet sänker värmeeffektbehovet från $11,0 \text{ W/m}^2$ till $9,7 \text{ W/m}^2$ och specifikt värmeenergibehov från $18,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{år})$ till $14,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{år})$. Den avgörande faktorn är det lägre totala U-värdet på fönster med den nya utformningen. Den nya utformningen klarar såväl PHI:s internationella kriterier som FEBY:s svenska kriterier medan den ursprungliga utformningen, som Portvakten är byggt, enbart klarar FEBY:s svenska kriterier. Uppmätta värden för Portvakten överstiger beräknade värden. Krav och antaganden som är lämpliga vid projektering av passivhus diskuteras.

En litteraturstudie görs inom kategorierna passivhus, massivträ och tekniska lösningar för att se hur den framtida utvecklingen kan se ut för byggandet. De övergripande slutsatserna som dras är att passivhus är ett bra koncept, att massivträ är ett bra byggnadsmaterial och en sammanfattande lista görs över tekniska lösningar för att bygga ett lågenergihus.

Intervjuer genomförs med personer involverade i byggandet av Portvakten. Frågor ställs om vad som var bra med Portvakten, vad som kunde ha varit bättre med Portvakten, vilka lärdomar som dras från byggandet av Portvakten och hur framtidens byggande kan se ut.

Förord

Detta examensarbete omfattar 30 högskolepoäng på civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad och har utförts mellan augusti och december 2010. Examensarbetet är skrivet för Avdelningen för Byggnadsfysik på Lunds Tekniska Högskola.

Vi vill framförallt tacka Lars-Erik Harderup, vår handledare på LTH, för din förmåga att ge nya infallsvinklar, din hjälp att förstå vad som är intressant att studera samt ditt engagemang och stöd.

Vi vill även tacka de personer som hjälpt oss under arbetets gång:

- Niclas Coucher, NCC Construction Sverige AB
- Magnus Fransson, Hyresbostäder i Växjö
- Per Ragnarsson, NorDan AB
- Håkan Risberg, Martinsons Byggsystem AB
- Svante Wijk, NCC Teknik
- Tommy Wesslund, Wesslunds VVS-teknik AB
- Kent Persson, LTH, för att du har hjälpt oss med CALFEM
- Stephen Burke, LTH, för att du har hjälpt oss med HEAT
- S. Olof Hägerstedt, LTH, för dina tips och din inspiration
- Håkan Fjällström, för uppmuntran och guide i rätt riktning

Sist men inte minst vill vi tacka alla på Tyréns AB i Malmö för en trevlig höst hos er.

Malmö i december 2010

Sara Fredlund och Christian Ranevi

Begrepp och beteckningar

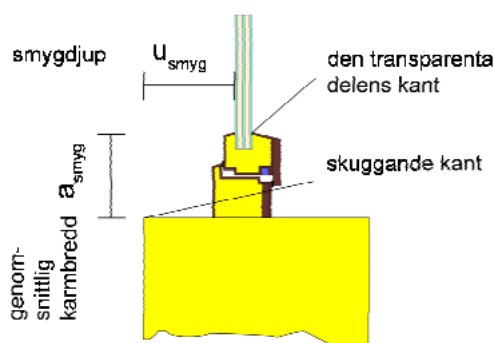
Här förklaras viktiga begrepp och beteckningar som används i rapporten utan att förklaras närmre i rapporten och som inte finns med i Teorikapitlet.

λ -värde: värmekonduktivitet, den värmemängd som per sekund passerar genom en m^2 av ett material med en meters tjocklek då temperaturdifferensen är $1^\circ C^1$

A_{temp} : golvarean räknat med invändiga mått i temperaturreglerade utrymmen innanför klimatskalet med högre inomhustemperatur än $10^\circ C^2$

Avstånd från övre glaskant till utsprång: vertikalt avstånd från underkant vägg ovanför fönster till synlig glaskant, motsvarande karmbredden i ovankant³

Avstånd glaskant – smyg: horisontellt avstånd från ytterkant vägg bredvid fönster till synlig glaskant, motsvarande karmbredden på sidorna, i figur 1 benämnd a_{smyg} ³



Figur 1 Horisontalsektion fönsteranslutning³

DUT_{20} och $DVUT$: dimensionerande utomhustemperatur respektive dimensionerande vinterutomhustemperatur, det dimensionerande värdet på utomhustemperatur som används vid värmeeffektbehovsberäkning²

Fönstersmygens djup: horisontellt avstånd från ytterkant vägg bredvid fönster till ytterkant glas, i figur 1 benämnd u_{smyg} ³

g -faktor: avskärmningsfaktor, solavskärmningen relateras till avskärmningsfaktorn g , där exempelvis ett oskyddat treglasfönster har $g = 0,7$ medan en markis har $g = 0,2^4$

KL -trä: en massiv flerskiktsträskiva med vartannat skikt korslagt⁵

LCC : Life Cycle Cost, investeringskalkyl där hänsyn tas till alla kostnader relaterade till åtgärden under dess livslängd⁶

1 Sandin K, 1996. Värme och fukt. Lunds Tekniska Högskola, Lund.

2 Boverket, 2008. Regelsamling för byggande, BBR 2008. Boverket, Karlskrona.

3 Feist W, Pfluger R, Kaufmann B, Schnieders J och Kah O, 2007. Passivhus projekteringspaket 2007 – PHPP 2007 – Krav på kvalitetskontrollerade passivhus. PHI-2007/1(SE). Svensk redaktör: Hans Eek. Passivhaus Institut, Darmstadt.

4 Abel E och Elmroth A, 2006. Byggnaden som system. Forskningsrådet Formas, Stockholm.

5 Martinsons. Formstabil, starkt och enkelt att montera. <http://www.martinsons.se/bostader/kl-traskivor> (2010-11-23)

6 FoU-Syd Sveriges Byggindustrier, 2008. Undvik fel och fallor som ökar energianvändningen i byggnader. FoU-Syd Sveriges Byggindustrier, Malmö.

Primärenergi: innefattar värme, varmvatten, fastighets- och hushållsel, alltså all energianvändning i byggnaden¹

R: värmeövergångsmotstånd i material eller vid ytor²

Referensarea: för bostäder är det golvarean innanför klimatskalet utifrån de fria måtten mellan byggdelarna i rum som tillhör bostaden. I flerbostadshus inkluderas alltså inte trapphuset i referensarean. För en mer detaljerad beskrivning, se PHPP-manualen.¹

REI: brandklasserna R, E och I som anges som funktionskrav för brandmotstånd för en konstruktionsdel där R står för bärförmåga, E för täthet och I för isoleringsförmåga. Åtföljs av en tidsangivelse i minuter för hur länge dessa funktioner ska kunna upprätthållas av konstruktionen.³

Specifikt värmeenergibehov: det energibehov per kvadratmeter golvyta och år som krävs för uppvärmning av en byggnad [$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{år})$]²

Utsprångets djup: horisontellt avstånd från ytterkant vägg ovanför fönster till ytterkant glas, vanligtvis samma som fönstersmygens djup¹

U-värde: värmegenomgångskoefficient, den värmemängd som per tidsenhet passerar genom en ytenhet av konstruktionen då skillnaden i lufttemperatur på ömse sidor om konstruktionen är 1°C ²

Värmeeffektbehov: den värmeeffekt per kvadratmeter golvyta som momentant krävs för att upprätthålla en bestämd inomhustemperatur vid dimensionerande utomhustemperatur [W/m^2]²

1 Passivhaus Institut. PHPP 2007: Passive House Planning Package 2007 Manual + CD-Rom – Other languages.
<http://www.passivehouse.com/> (2010-08-19)

2 Sandin K, 1996. Värme och fukt. Lunds Tekniska Högskola, Lund.

3 Boverket, 2008. Regelsamling för byggande, BBR 2008. Boverket, Karlskrona.

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.1.1	Klimatförändringen och dess effekter	1
1.1.2	Klimatmål och hur de kan uppnås	2
1.1.3	Byggande i trä	3
1.1.4	Val av studier i detta examensarbete	3
1.2	Syfte	4
1.3	Frågeställning	4
1.4	Avgränsningar	4
1.5	Målgrupp	5
2	Metodik	7
2.1	Anslutningar	7
2.1.1	Anslutning mellanbjälklag i betong mellan plan 1 och 2 – HEAT2	8
2.1.2	Fönsteranslutning – HEAT3	8
2.1.3	Sned fönstersmyg Portvakten – MATLAB/CALFEM	9
2.2	Energianvändning och uppfyllande av passivhuskrav	10
2.2.1	PHPP	10
2.3	Litteraturstudier	10
2.4	Intervjuer	10
3	Teori	13
3.1	Värme	13
3.1.1	Köldbryggor	13
3.2	Ventilation	14
3.2.1	Värmeåtervinningsaggregat	14
3.3	Inomhusklimat	15
4	Introduktion till passivhus	19
4.1	Passivhusdefinitionen	19
4.2	En jämförelse mellan passivhuskriterier	19
4.3	Passivhusets historik och statistik	21
5	Att bygga i massivträ	23
5.1	Stomsystem	23
5.2	Byggmetoder	24
6	Objektsbeskrivning	25
6.1	Portvakten	25
6.1.1	Väggelement i massivträ	26
6.1.2	Betongelement	27
6.1.3	Bjälklag i massivträ	28
6.1.4	Lägenhetsavskiljande väggar	28
6.1.5	Installationer	29
6.1.6	Täthetsprovning	30
6.1.7	Köldbryggor	30
6.2	Martinsons	32
6.2.1	Företaget	32
6.2.2	Byggsystemet	32
6.3	Fönster	32
6.3.1	Portvaktens fönster – ursprungligt fönster	32
6.3.2	Nytt fönster	33
7	Antaganden och kommentarer till indata	35
7.1	Anslutningar	35
7.1.1	Anslutning mellanbjälklag i betong mellan plan 1 och 2	35
7.1.2	Fönsteranslutning	36
7.1.3	Sned fönstersmyg Portvakten	39

7.2	Energianvändning och uppfyllande av passivhuskrav	39
7.2.1	Verifiering	39
7.2.1.1	Inomhustemperatur	39
7.2.1.2	Antal personer	40
7.2.1.3	Interna värmertilskott	40
7.2.2	Fönstertyp	41
7.2.3	Skuggning	41
7.2.4	Ventilation	42
7.2.4.1	Värmeåtervinning	42
7.2.4.2	Infiltrationsluftomsättning	42
7.2.4.3	Infiltration	43
7.2.4.4	Tilluftsbehov	43
7.2.4.5	Frånluftsbehov	43
7.2.5	Effektbehov	44
7.2.5.1	Dimensionerande utomhustemperaturer	44
7.2.5.2	Max tilluftstemperatur	45
7.2.6	Sommar	45
7.2.7	Klimatdata	45
8	Resultat och analys	47
8.1	Anslutningar	47
8.1.1	Anslutning mellanbjälklag i betong mellan plan 1 och 2	47
8.1.2	Fönsteranslutning	47
8.1.2.1	Utvändig karmisolering	48
8.1.2.2	Fönster	49
8.1.2.3	Fönsterplacering	51
8.1.2.4	Synergieffekter av utvärdig karmisolering och fönster	52
8.1.2.5	Synergieffekter av fönster och fönsterplacering	54
8.1.2.6	Synergieffekter av utvärdig karmisolering, fönster och fönsterplacering	55
8.1.2.7	Sammanfattning av monteringsköldbryggor	57
8.1.2.8	Värmekamera	57
8.1.3	Sned fönstersmyg Portvakten	58
8.2	Energianvändning och uppfyllande av passivhuskrav	60
8.2.1	Jämförelser och uppfyllande av passivhuskrav	60
8.2.1.1	Specifikt värmeenergibehov	61
8.2.1.2	Effektbehov	64
8.2.1.3	Variabelstudie inomhustemperatur	66
8.2.2	Jämförelse med andra energiberäkningar	67
8.2.2.1	NCC Teknik (Enorm 2004)	68
8.2.2.2	NCC Teknik (IDA 3.0)	69
8.2.2.3	Framtidens trähus (DEROB-LTH)	69
8.2.2.4	Sammanfattning	69
8.2.3	Jämförelse med mätvärden	70
9	Litteraturstudie	73
9.1	Passivhus	73
9.2	Massivträ	90
9.3	Tekniska lösningar	99
10	Intervjuer	115
10.1	Portvakten	116
10.2	Framtidens byggande	118
11	Slutsatser och diskussion	121
11.1	Anslutningar	121
11.2	Energianvändning och uppfyllande av passivhuskrav	121
11.3	Litteraturstudie	123
11.3.1	Passivhus	123

11.3.2	Massivträ	125
11.3.3	Tekniska lösningar	125
11.4	Intervjuer	126
11.4.1	Portvakten	126
11.4.2	Framtidens byggande	126
11.5	Lämpliga antaganden och krav	127
12	Förslag på framtida forskning	129
	Referenser	131
	Bilagor	139
	Bilaga 1 - Indata	139
	Bilaga 2 - Involverade parter i byggandet av Portvakten	141
	Bilaga 3 - PHPP	143
	Bilaga 4 - Beräkningar	165
	Bilaga 5 - Intervjuer	171

1 Inledning

1.1 Bakgrund

1.1.1 Klimatförändringen och dess effekter

Alltmer tyder på att de ökade utsläppen av växthusgaser orsakade av mänsklig aktivitet påverkar klimatet. En större mängd växthusgaser i atmosfären hindrar mer av den utgående värmestrålningen vilket ökar återstrålningen mot jordytan. Konsekvensen blir framförallt högre temperaturer vid jordytan.¹ Förbränningen av fossila bränslen är den mänskliga aktivitet som anses bidra mest till ökningen av mängden växthusgaser. Förbränningen av fossila bränslen har ständigt ökat sedan industrialismens början, särskilt de senaste decennierna, i takt med ökningen av energianvändningen.²

Den förväntade globala temperaturökningen i världen kan medföra effekter som krympning av snötäckta områden och minskning av havsisomfattning, vilket leder till ökade havsnivåer och översvämningar. Frekvensen av värmeböljor och extremnederbörd kan öka samtidigt som stora delar av världen kan drabbas av torka och minskad tillgång till färskvatten. Upp till 40 % av världens ekosystem kan påverkas och 30 % av världens arter dö ut. Allt detta innan världens årsmedeltemperatur har ökat med 5°C relativt 1980-1999.³

SMHI:s klimatmodelleringsenhet Rossby Centre har utifrån en global klimatmodell gjort regionala simuleringar för Sveriges klimat. De visar på en ökning av Sveriges årsmedeltemperatur med 3-5°C till 2080 jämfört med 1961-1990. Temperaturökningen förväntas vara större under vinterhalvåret än på sommaren. Med enbart en ökning av medeltemperaturen med 1°C får södra Sverige samma klimat som centrala Tyskland.⁴

Ett mildare vinterklimat kan i Sverige innebära minskat uppvärmningsbehov med 10-40 % beroende på landsdel. Samtidigt leder ökade sommartemperaturer till ett större kylbehov under sommarhalvåret. En förväntad ökning av extrema vindlaster kan dock leda till ökat värmebehov eftersom luftrörelserna genom klimatskalet påverkas. Högre krav kommer därför att behöva ställas på lufttäthet i byggnader. Till viss del kan dessa faktorer därmed ta ut det minskade uppvärmningsbehovet.⁵

I relation till den förväntade temperaturökningen kan nämnas att golfströmmen kan minska med cirka 25 % i styrka över de närmsta hundra åren på grund av klimatförändringen³. Då golfströmmen transporterar värme och påverkar atmosfären lokalt längs dess sträckning⁶, skulle det kunna innebära att klimatet i Sverige blir kallare. Hur dessa effekter motverkar varandra är dock okända.

Klimatförändringen förväntas i Sverige även leda till ökad nederbörd, både i mängd och i frekvens. Framförallt en ökning av frekvensen av slagregn och intensiva regn kan medföra större risk för fuktskador. Även en ökning av luftfuktigheten i utomhusluften kan öka risken

1 SMHI, 2009-06-23. Växthuseffekten. <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/vaxthuseffekten-1.3844> (2010-10-19)

2 SMHI, 2009-06-23. Klimatförändringar orsakade av människan. <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimatforandringar-orsakade-av-manniskan-1.3833> (2010-10-19)

3 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. Climate Change 2007, IPCC Fourth Assessment Report (AR4). Hämtad från: www.ipcc.ch (2010-08-19)

4 Naturvårdsverket, 2008-02-19. Så påverkas Sverige. <http://www.naturvardsverket.se/sv/Klimat-i-forandring/Sa-forandras-klimatet/Sa-paverkas-Sverige/> (2010-08-19)

5 Miljödepartementet, 2007. SOU 2007:60 Klimat- och sårbarhetsutredningen. Miljödepartementet, Stockholm.

6 Minobe S, Kuwano-Yoshida A, Komori N, Xie S-Pg och Small R J. Influence of the Gulf Stream on the troposphere. Nature 452, 206-209, 2008-03-13. Hämtad från: <http://www.nature.com/nature/journal/v452/n7184/abs/nature06690.html> (2010-08-23)

för fuktskador. I norra Sverige förväntas luftfuktigheten öka under hela året, medan i södra Sverige förväntas den minska under sommaren. Kombinationen av högre luftfuktighet och högre temperaturer förväntas ge synergieffekter och därmed öka risken ännu mer för framförallt mögel och röta.¹

1.1.2 Klimatmål och hur de kan uppnås

1997 skrevs Kyotoprotokollet vars mål är att minska utsläppen av växthusgaser med i genomsnitt 5 % under åren 2008-2012 jämfört med 1990 för 37 industriländer och EU:s medlemsländer². Vidare förband EU:s medlemsländer sig 2008 till en minskning av utsläppen av växthusgaser med minst 20 % till 2020 jämfört med 2005 års nivå³. I december 2009 hölls klimatförhandlingarna COP 15 i Köpenhamn. Inga klara mål sattes för utsläppen av växthusgaser förutom att de ska minska. Mötet erkände dock att temperaturökningen inte får överstiga 2°C, för att undvika för stora effekter av klimatförändringen.⁴ Den 29 november – 10 december 2010 hålls ett nytt möte, COP 16, i Cancún, Mexico där förhoppningar finns om att ett nytt avtal ska kunna nås⁵.

40 % av energianvändningen och 36 % av koldioxidutsläppen i EU beror på byggsektorn, inklusive både byggprocessen och förvaltningsskedet⁶. I Sverige står byggsektorn för cirka 40 % av Sveriges energi- och materialanvändning. Därför är det viktigt med en hållbar utveckling inom byggsektorn.⁷ Enligt *European Commission Joint Research Centre Institute for Energy* är en av de största potentiella energibesparingarna i samhället minskning av energianvändningen i byggnader⁸.

I regeringens proposition 2009/10:155 *Svenska miljömål - för ett effektivare miljöarbete* återfinns även delmålet att *den totala energianvändningen per uppvärmd areaenhet i bostäder och lokaler ska minska. Minskningen bör vara 20 % till år 2020 och 50 % till år 2050 i förhållande till användningen 1995.*⁹ Vi anser att ett led i att minska energianvändningen är att bygga passivhus, och för att snabbast nå utsatta miljömål kan flerfamiljshus prioriteras före enfamiljshus.

Det finns planer på att införa passivhuskonceptet som byggnorm i Tyskland 2012, i Storbritannien 2013 och i EU 2016. Österrike har redan infört passivhuskonceptet som byggnorm i vissa delar av landet. Där ges ekonomiskt stöd till låginkomsttagare för att de ska ha råd att bygga passivhus.¹⁰

1 Miljödepartementet, 2007. SOU 2007:60 Klimat- och sårbarhetsutredningen. Miljödepartementet, Stockholm.

2 UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). Kyoto Protocol. Hämtad från: http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php (2010-08-20)

3 Commission of the European Communities, 2008-01-23. 20 20 by 2020 Europe's climate change opportunity. Hämtad från: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0030:FIN:EN:PDF> (2010-08-20)

4 UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), 2010-03-30. Report of the Conference of the Parties on its fifteenth session, held in Copenhagen from 7 to 19 December 2009. Hämtad från: <http://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/eng/11a01.pdf> (2010-08-20)

5 WWF, 2010. Klimatförhandlingarna. <http://www.wwf.se/vrt-arbete/klimat/klimatfrhandlingarna/1252184-klimatfrhandlingarna> (2010-12-03)

6 European Commission – Energy, 2010-06-21. Energy Efficiency in Buildings. http://ec.europa.eu/energy/efficiency/buildings/buildings_en.htm (2010-08-19)

7 Naturvårdsverket, 2009-04-29. Smarta byggnader och byggande. <http://www.naturvardsverket.se/sv/Sveriges-miljomal--for-ett-hallbart-samhalle/Vad-ar-ett-hallbart-samhalle/Hallbara-stader/Vara-ansvarsomraden-inom-hallbara-stader/Smarta-byggnader-och-byggande/> (2010-08-18)

8 European Commission – Joint Research Centre – Institute for Energy, 2010-08-11. The European GreenBuilding Programme. <http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/greenbuilding/index.htm> (2010-08-19)

9 Miljödepartementet, 2010-03-23. Prop. 2009/10:155 Svenska miljömål - för ett effektivare miljöarbete. Hämtad från:

http://www.regeringen.se/download/dca35b38.pdf?major=1&minor=142456&cn=attachmentPublDuplicator_0_attachment (2010-08-19)

10 Passivhuscentrum. Vad är passivhus?. <http://www.passivhuscentrum.se/passivhus.html> (2010-08-19)

1.1.3 Byggande i trä

Regeringen satte 2004 som mål att inom 10-15 år ska minst 30 % av de årligen nyproducerade byggnaderna ha trä som stommaterial. Detta för att uppnå en hållbar tillväxt av byggandet samt bidra till regional utveckling.¹

Tekniken att bygga i massivträ har funnits länge, men har i Norden mest utnyttjats för att bygga mindre timmerhus². I och med att Boverkets byggregler (BBR) trädde i kraft 1994 förändras brandkraven för träbyggnader från att ha varit begränsade till två våningar till att omfatta funktionskraven REI som tillåter användning av trä i höghus så länge dessa uppfylls³. De nya reglerna innebär att det finns bättre förutsättningar för att bygga höghus i trä.

1.1.4 Val av studier i detta examensarbete

En byggnads inomhusklimat styrs av utomhusklimatet, byggnadens verksamhet, klimatskalets tekniska egenskaper och egenskaperna för de klimatstyrande tekniska installationerna. Det innebär att för ett lågenergihus är det mest centralt att projektera klimatskalets utformning och ventilations- och värmesystemen för att säkerställa ett gott inomhusklimat då utomhusklimat och byggnadens verksamhet är svåra att påverka. Klimatskalets utformning samt ventilations- och värmesystemen påverkar även byggnadens energianvändning i stor utsträckning.⁴ Därför är det intressant att studera dessa faktorer och hur den framtida utvecklingen kan se ut.

Avgörande för inomhusklimatet samt byggnadens energianvändning kan vara inverkan av köldbryggor eftersom dessa leder till lägre yttemperaturer på insidan av klimatskalet och ökade värmeförluster genom klimatskalet⁵. Köldbryggor kan stå för upp till 20-25 % av energiförlusterna genom klimatskalet i en modern byggnad⁶. Låga yttemperaturer kan även i värsta fall leda till hög relativ fuktighet i delar av konstruktionen och därmed fuktskador om konstruktionen innehåller fuktkänsliga material⁵. Desto bättre värmeisolerat huset är desto större blir den relativa inverkan av köldbryggor. Med radiatorer kan värmeavgivning från varmvattenrören, som ofta placeras längs ytterväggarna, kompensera för köldbryggor men i passivhus utan traditionellt uppvärmningssystem saknas denna effekt.⁴

Köldbryggor uppkommer oftast vid komplicerade konstruktionsdetaljer, fogar och anslutningar, exempelvis mellan fönsterkarm och yttervägg⁴. Även eftersom värmeisoleringen normalt är sämre för fönster än för väggar blir valet och monteringen av fönsterkonstruktion kritisk⁷. Den värmeisolerande förmågan för glaset i fönster har förbättrats till den grad att det numera ofta är fönsterkarm och båge som är den svaga länken⁴. Därför är det intressant att studera utformningen av denna anslutning med hänsyn till köldbryggor.

1 Näringsdepartementet, 2004-02-04: Ds 2004:1 Mer trä i byggandet: underlag för en nationell strategi att främja användningen av trä i byggandet. Hämtad från:

http://www.sweden.gov.se/download/c05175ea.pdf?major=1&minor=1236&cn=attachmentPublDuplicator_0_attachment (2010-08-19)

2 Träteck – Institutet för träteknisk forskning. Bygga med massivträ i Norden. kontenta 0211041. Träteck – Institutet för träteknisk forskning, Stockholm, Växjö och Skellefteå.

3 Jönsson R, Hansson P, Frantzich H, Grahn E och Johansson A L, 2006-02-28. Förstudie revidering Boverkets Byggregler Kapitel 5 Brandskydd. Lunds Tekniska Högskola, Lund och Bengt Dahlgren AB. Hämtad från:

www.boverket.se/.../Brandskydd/Framtidens%20brandregler/Förstudie%20revidering%20BBR%20060228%20skyddad.pdf (2010-08-19)

4 Abel E och Elmroth A, 2006. Byggnaden som system. Forskningsrådet Formas, Stockholm.

5 Passivhaus Institut, 2006-09-23. Design avoiding thermal bridges.

http://www.passivhaustagung.de/Passive_House_E/passive_house_avoiding_thermal_bridges.html (2010-09-10)

6 Energiilotsen, 2009-11-30. Samarbete mellan energisamordnare och byggherre. Hämtad från:

http://www.energilotsen.nu/energilotsen/kap_4_byggherre.pdf (2010-09-30)

7 Avdelningen för byggnadsteknik, 1994. Byggnadsteknikens grunder. Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm.

Hus A1 i Portvakten Söder i Växjö är ett av fem hus som utvärderas i projektet *Framtidens trähus*. Projektet finansieras av VINNOVA¹ och är ett FoU-projekt². Byggnaden har en bärande stomme av massivträelement från Martinsons och är byggt till stor del med passivhusteknik. I rapporten *Framtidens trähus – energieffektiva med god inommiljö* framförs bland annat en avsaknad av detaljstudie av köldbryggan vid lutande fönstersmygar.³ Allt detta gör det intressant att studera detta objekt och använda som referenshus. Byggnaden benämns i denna rapport som Portvakten och presenteras noggrannare i objektsbeskrivningen i kapitel 6.

1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att tillämpa den kunskap vi tillägnat oss under utbildningen, samt fördjupa våra kunskaper, för att med vårt examensarbete kunna bidra till utvecklingen för passivhus i Sverige med fokus på flerbostadshus av massivträ.

1.3 Frågeställning

Syftet ska uppnås genom att utifrån ett referenshus studera:

- Prestanda på fönsteranslutningarna med hänsyn till monteringsköldbryggor och invändiga yttemperaturer utifrån följande tre variabler:
 - Utvändig karmisolering
 - Fönster
 - Fönsterplacering i djupled
- Energimässig prestanda och uppfyllande av passivhuskrav utifrån följande:
 - Portvakten som det är byggt
 - Portvakten med bästa utformning baserad på variabelstudien av fönsteranslutningarna

Syftet ska även uppnås genom att via undersökningar av dagens lösningar ta reda på hur utvecklingen kan se ut för passivhus och byggande i massivträ i framtiden.

1.4 Avgränsningar

Examensarbetets fokus kommer att ligga på energianvändning i studien av referenshuset. Undersökningen av energianvändningen i referenshuset avgränsas till energianvändningen specifikt för uppvärmning och till värmeeffektbehov. Primärenergianvändning analyseras inte. Mätningar på Portvakten görs inte i examensarbetet eftersom dessa redan gjorts eller ska göras. Jämförelser mellan gjorda mätningar, andra beräkningar och våra beräkningar kommer dock att göras. Beräkningarna och simuleringarna i examensarbetet avgränsas till ett referenshus, men undersökningen av den framtida utvecklingen avgränsas inte till detta.

1 Framtidens trähus. Forskning för framtidens trähus. <http://www.framtidenstrahus.se> (2010-10-11)

2 SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. Effektiv energianvändning – pågående FoU-projekt. <http://www.sp.se/sv/index/research/effenergi/ongoing/Sidor/default.aspx> (2010-10-11)

3 Kildsgaard I och Prejer E, 2010. Framtidens trähus – energieffektiva med god inommiljö. Framtidens trähus – SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

Fokus för köldbryggsberäkningar kommer att ligga på fönsteranslutningen för vilken köldbryggsberäkningar saknas. Denna anslutning anses även mest intressant att studera eftersom den har identifierats som en kritisk anslutning. Fönstren kommer inte att studeras i detalj eftersom infästningarna är i fokus. Anledning till att två olika fönster har valts är för att se skillnaden inte enbart i anslutningen utan även i val av fönster. Köldbryggsberäkning görs även för andra anslutningar där köldbryggsberäkningar saknas. Fukt behandlas inte i samband med dessa analyser.

Tyngdpunkt för undersökningen av framtida utvecklingen kommer att vara på nybyggnation av flerbostadshus och på passivhus, men även renovering av befintliga flerbostadshus tas upp och undersökningar görs även mer generellt för energisnåla hus eftersom passivhuskonceptet kan vidareutvecklas. Byggnadsförhållanden, regler och traditioner i Sverige studeras för att se hur dessa kan utvecklas. För att se hur utvecklingen skulle kunna se ut studeras även utländska regler och traditioner för att se hur dessa kan implementeras i Sverige. Fokus ligger på trä och massivträ vid materialrelaterade studier. Undersökningen av framtida utvecklingen för byggande i massivträ kommer att utöver energi att behandla exempelvis komfort, fukt, brand och akustik som kan vara avgörande för byggnader i trä.

Fokus i examensarbetet kommer att ligga på passiva lösningar. Även energieffektiva aktiva lösningar för uppvärmning, varmvatten och kylning som kan behövas i ett passivhus kommer att tas upp. Områden som kommer att ha mindre fokus är exempelvis ekonomi, brukarbeteende, val av hushållsapparater och val av energislag.

1.5 Målgrupp

Målgruppen för examensarbetet är personer med byggteknisk bakgrund och företag/organisationer intresserade av passivhus och byggande i trä.

2 Metodik

Frågeställningarna har studerats genom teoretiska beräkningar och simuleringar. Källor för indata till beräkningar och simuleringar redovisas i bilaga 1. Antaganden görs när indata har saknats eller när valmöjligheter funnits. Dessa redovisas och motiveras i rapporten i kapitel 7. Alla källor som används har granskats kritiskt. Källhänvisning för listor görs i meningen innan listan, före kolonet varpå listan följer.

2.1 Anslutningar

Dokumentanalyser görs för att utvärdera anslutningar. Detta genom att kvantitativ data samlas in om referensobjektet och fönstertyper. Baserat på dokumentanalyserna utförs simuleringar av anslutningarna med hänsyn till köldbryggor och invändiga yttemperaturer. Anslutningen till mellanbjälklag i betong mellan plan 1 och 2 och fönsteranslutningar samt val av fönster analyseras. Fönsteranslutningarna analyseras genom en kontroll av hur positionering av fönster i djupled och användande av utvändig karmisolering påverkar monteringsköldbryggans storlek och yttemperaturer. Val av ny positionering görs utifrån vad som framkommit i litteraturstudier där kvalitativ data har samlats in, se kapitel 9.3. Den nya positioneringen i simuleringarna blir precis utanför det bärande massivträet, det vill säga att fönstret flyttas in. Bilder tas med värmekamera på fönsteranslutningar i Portvakten för jämförelse med analysen. Även effekten av sneda fönstersmygar analyseras med hänsyn till värmefflöde och temperaturfördelning.

Alla analyser av anslutningar görs stationära eftersom det inte anses väsentligt i detta sammanhang att studera transient värmefflöde.

De anslutningar som undersöks är:

- Anslutning mellanbjälklag i betong mellan plan 1 och 2 i HEAT2
 - Med hänsyn till köldbryggor och invändig yttemperatur golv
 - ψ -värden för köldbryggan används som indata till PHPP
- Fönsteranslutningar i HEAT3
 - Med hänsyn till monteringsköldbryggor och invändig yttemperatur fönsterhörn
 - ψ -värden för monteringsköldbryggan används som indata till PHPP
 - Effekterna av val av utvändig karmisolering, fönster och positionering av fönster i djupled studeras
- Fönsteranslutningar i MATLAB/CALFEM
 - Med hänsyn till värmefflöde och temperaturfördelning
 - Effekten av sneda fönstersmygar studeras

2.1.1 Anslutning mellanbjälklag i betong mellan plan 1 och 2 – HEAT2

Anslutningen till mellanbjälklaget i betong mellan plan 1 och 2 analyseras i HEAT2 för Portvakten. Denna analys görs eftersom köldbryggsberäkning för Portvakten saknas för denna anslutning. Framräknade ψ -värden divideras med två för att gälla per sida. Längden av köldbryggan dubblas därför sedan och ψ -värdena räknas om till utvändiga mått i PHPP. Antaganden presenteras i kapitel 7.1.1.

2.1.2 Fönsteranslutning – HEAT3

Fönsteranslutning med raka fönstersmygar analyseras i HEAT3. Fönsteranslutningen är en komplex anslutning som varierar i tre dimensioner. En tredimensionell analys krävs därför för att analysera monteringsköldbryggan även i fönsterhörn. En analys i HEAT3 innebär inte särskilt mycket merarbete jämfört med en analys i HEAT2. Det går dessutom att skriva in mått för element i HEAT3, medan i HEAT2 måste elementen dras till rätt storlek vilket tar lite längre tid att få exakt.

Effekten av nedanstående val (gråmarkerade) för fönsteranslutningen studeras i HEAT3:

Tabell 1 Utvärdig karmisolering

	Alternativ 1	Alternativ 2
Utvändig karmisolering	Utan	Med
Fönster	Ursprungligt	Ursprungligt
Fönsterplacering	Ny	Ny

Tabell 2 Fönster

	Alternativ 1	Alternativ 2
Utvändig karmisolering	Utan	Utan
Fönster	Ursprungligt	Nytt
Fönsterplacering	Ursprunglig	Ursprunglig

Tabell 3 Fönsterplacering

	Alternativ 1	Alternativ 2
Utvändig karmisolering	Utan	Utan
Fönster	Ursprungligt	Ursprungligt
Fönsterplacering	Ursprunglig	Ny

Tabell 4 Synergieffekter av utvändig karmisolering och fönster

	Alternativ 1	Alternativ 2
Utvändig karmisolering	Utan	Med
Fönster	Ursprungligt	Nytt
Fönsterplacering	Ursprunglig	Ursprunglig

Tabell 5 Synergieffekter av fönster och fönsterplacering

	Alternativ 1	Alternativ 2
Utvändig karmisolering	Utan	Utan
Fönster	Ursprungligt	Nytt
Fönsterplacering	Ursprunglig	Ny

Tabell 6 Synergieffekter av utvändig karmisolering, fönster och fönsterplacering

	Alternativ 1	Alternativ 2
Utvändig karmisolering	Utan	Med
Fönster	Ursprungligt	Nytt
Fönsterplacering	Ursprunglig	Ny

Antaganden presenteras i kapitel 7.1.2.

2.1.3 Sned fönstersmyg Portvakten – MATLAB/CALFEM

I HEAT kan endast linjer och ytor parallella med koordinataxlarna användas. Skillnaden mellan rak och sned fönstersmyg studeras därför i MATLAB med CALFEM istället för att bygga upp en sned linje stegvis i HEAT.

Luftens övergångsmotstånd vid ytan tas inte hänsyn till automatiskt i MATLAB/CALFEM. Därför blir resultatbilderna missvisande, men påverkar inte jämförelsen mellan rak och sned fönstersmyg avsevärt eftersom båda simuleras i MATLAB/CALFEM. Dessutom ska yttemperaturer inte tas ifrån dessa simuleringar. Flödet ut genom elementen längs yttre randen summeras för att kunna jämföra rak och sned fönstersmyg.

Antaganden presenteras i kapitel 7.1.3.

2.2 Energianvändning och uppfyllande av passivhuskrav

Dokumentanalyser görs för att utvärdera energianvändningen. Detta genom att kvantitativ data samlas in från tidigare undersökningar av referensobjektet, och övrigt underlag, exempelvis ritningar, berörande denna. Baserat på dokumentanalyserna utförs en parameterstudie av referensobjektet med PHPP. PHPP förklaras nedan.

Resultaten från PHPP används för att analysera energianvändningen och effektbehovet för uppvärmning. Resultaten från PHPP används även för att kontrollera uppfyllande av passivhuskrav, för jämförelser med tidigare genomförda energibalansberäkningar på Portvakten i andra beräkningsprogram samt jämförelse med uppmätta värden för Portvakten. En parameterstudie av val av inomhustemperatur görs.

Antaganden som görs presenteras i kapitel 7.2 och i bilaga 3.

2.2.1 PHPP

PHPP, Passivhus projekteringspaket, är framtaget av PHI, Passiv Haus Institut, för att användas under projekteringsstadiet. PHPP ska användas som en planeringshjälp för att projektera ett certifierat passivhus enligt PHI:s passivhuskriterier och används vid internationell certifiering. PHPP är relativt lätthanterligt och resultaten av förändringar i indata kan lätt ses. PHPP bygger på Excel-blad fyllda med byggnads- och installationstekniska formler med stationära energibalansberäkningar som är validerade av dynamiska simuleringar. I Excel-bladen matas indata in i gulmarkerade inmatningsfält och resultat som kan jämföras med kriterier fås ut i grönmärkade celler.¹

För att få rimliga svar krävs en tidskonstant på mer än 200 timmar. Det gör beräkningarna enbart applicerbara på passivhus, som brukar ha en tidskonstant på mer än 200 timmar. Andra begränsningar som nämns i PHPP:s manual är bland annat att vid beräkning av frekvensen av övertemperaturer sommartid. En separat dynamisk byggnadssimulering kan anses befogad vid stora interna värmelaster, koncentrerade i tid eller rum, eftersom frekvensen av övertemperaturer då kan underskattas i PHPP. Detta beror på att timvis klimatdata inte används utan månadsmedelvärden och att studien av frekvensen av övertemperaturer görs för hela byggnaden. Inte heller dynamiska effekter av byggnadens värmetröghet på dygnsvariationer av inomhustemperaturen kan simuleras i PHPP.¹

2.3 Litteraturstudier

Datinsamling sker genom litteraturstudier där kvalitativ data samlas in för bakgrunden till arbetet samt för att få fördjupad kunskap om framtida byggande. Litteraturstudien görs inom områdena framtiden för passivhus, framtiden för byggande i massivträ och framtida tekniska åtgärder. Undersökningen av framtida tekniska åtgärder resulterar i en sammanfattande lista av viktiga principer för att bygga energisnålt.

2.4 Intervjuer

Kvalitativ data fås även genom att korta intervjuer genomförs med berörda parter i projektet Portvakten.

¹ Feist W, Pfluger R, Kaufmann B, Schnieders J och Kah O, 2007. Passivhus projekteringspaket 2007 – PHPP 2007 – Krav på kvalitetskontrollerade passivhus. PHI-2007/1(SE). Svensk redaktör: Hans Eek. Passivhaus Institut, Darmstadt.

Dels för att få en helhetsbild av husets komfort och kvalitet och för att få indikationer på vad som kan förbättras. Intervjun är halvstrukturerad med möjlighet för anpassning beroende på berörd parts del i projektet. Syftet är att sammanfatta Portvaktens prestanda utifrån olika synvinklar och dra lärdom från projektet för framtidens byggande.

Dels för att få deras syn på framtidens byggande av passivhus i Sverige. Intervjun är öppet riktad med en huvudfråga ”Hur ser du på framtiden för byggandet av passivhus i Sverige?” som kan följas upp med frågor om hur synen på utvecklingen för passivhus påverkas vid inriktning mot byggande i trä och byggandet av flerbostadshus, samt med på förhand inte bestämda följdfrågor. Syftet är att sammanfatta olika synvinklar från erfarna personer på hur framtiden för passivhus i Sverige kan se ut.

Utöver nämnda frågor ställs frågor om personens namn, utbildning, företag/organisation och befattning om det är lämpligt för syftet. I slutet av intervjun och/eller via mail sammanfattar vi de svar vi fått från den intervjuade för att säkerställa att vi har uppfattat svaren korrekt. En sammanfattande transkribering görs för att spara tid. Informationen från alla intervjuer sammanställs sedan för att användas som hjälp när vi drar slutsatser kring Portvaktens komfort och kvalitet samt framtiden för byggandet av passivhus.

3 Teori

Här beskrivs teori som är viktig för examensarbetet

3.1 Värme

Värme kan överföras genom konvektion, ledning och strålning. Genom fasta, ogenomskinliga material kan enbart värmetransport via ledning ske. Storleken på värmeledningen beror på materialets värmekonduktivitet och temperaturgradienten. Genom fasta, genomskinliga material kan även värmetransport via strålning ske. Storleken på värmestrålningen beror på det strålande materialets emittans och temperaturskillnad jämfört med omgivande ytor. I gaser och vätskor kan även värmetransport via konvektion ske genom rörelser i gasen eller vätskan. I luft och porösa material kan därför värmetransport ske via alla tre värmetransportsätten. Storleken på värmekonvektionen beror på skillnader i temperatur mellan en yta och omgivande mediums temperatur och med vilken hastighet mediet rör sig.¹

Värmen som återvinns i luftvärmväxlare är internvärme. Internvärmen är den värme som tillförs rummets luft genom konvektion från människor, apparater, belysning och golv, innerväggar och tak. Värmen från golv, innerväggar och tak kommer ursprungligen från solinstrålning, ljus och värmestrålning från människor, apparater och belysning. Den största posten är lagring och avgivning av värme från solinstrålning. Solstrålarna värmer ytor som sedan både strålar värme och värmer luften vid ytan vilket ger upphov till konvektion som sprider värmen. Desto större värmekapacitet golv, innerväggar och tak som står i kontakt med inomhusluften har ju mer fördröjs värmeavgivningen.²

3.1.1 Köldbryggor

Oavsett om det är varmare eller kallare inne i byggnaden än utanför kommer värme att transporteras genom klimatskalet³. Värmetransporten sker enklaste vägen med minst värmemotstånd. Vägen är i många fall inte rak utan transporten sker genom materialen med högst värmeledningsförmåga. Om material med avsevärt högre värmeledningsförmåga bryter igenom omkringliggande material skapas en köldbrygga.⁴ En köldbrygga är därmed ett lokalt område på klimatskalet där värmeflödet är större i jämförelse med angränsande områden⁵.

En köldbrygga kan vara konstruktiv – bero på skiktens uppbyggnad, exempelvis träreglar i isoleringslagret. Dessa ingår i byggnadsdelens U-värde. En köldbrygga kan även vara geometrisk – vid möte av byggnadsdelar. Dessa beräknas separat.⁶

En köldbrygga kan vara linjär, som är fallet med en utkragande balkong, eller punktuell, som är fallet med kramlor som håller fasadteglet och penetrerar isoleringen. Linjära köldbryggor

1 Sandin K, 1996. Värme och fukt. Lunds Tekniska Högskola, Lund.

2 Abel E och Elmroth A, 2006. Byggnaden som system. Forskningsrådet Formas, Stockholm.

3 Passipedia. Integrated thermal protection.

http://passipedia.passiv.de/passipedia_en/planning/thermal_protection/integrated_thermal_protection (2010-09-10)

4 Passivhaus Institut, 2006-09-23. Design avoiding thermal bridges.

http://www.passivhaustagung.de/Passive_House_E/passive_house_avoiding_thermal_bridges.html (2010-09-10)

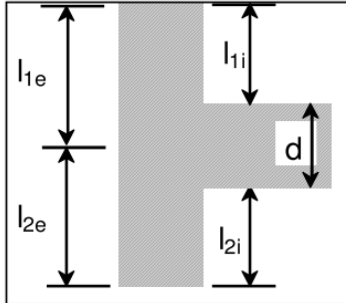
5 Passipedia. Thermal bridges. http://passipedia.passiv.de/passipedia_en/basics/building_physics_-_basics/heat_transfer/thermal_bridges (2010-09-10)

6 Energilotsen, 2009-11-30. Samarbete mellan energisamordnare och byggherre. Hämtad från:

http://www.energilotsen.nu/energilotsen/kap_4_byggherre.pdf (2010-09-30)

beskrivs med den linjära köldbryggskoefficienten Ψ [W/(m·K)] och punktuella köldbryggor med köldbryggskoefficienten χ [W/K].¹

Köldbryggor beräknas olika i Sverige och Tyskland. I Sverige beräknas köldbryggor med hänsyn till inre mått. I Tyskland beräknas köldbryggor med hänsyn till yttre mått. I figur 2 visas de olika måtten för en anslutning mot ett mellanbjälklag.



Figur 2 Skillnad mellan inre och yttre mått

Om värmeförlusten genom konstruktionen är lägre än 0,01 W/(m·K) benämns konstruktionen enligt PHI som köldbryggsfri och förlusterna anses försumbara. Om konstruktionen görs köldbryggsfri och yttermåtten används vid areaberäkningar enligt PHI:s standard kommer de beräknade värmeförlusterna att överstiga de faktiska.² Detta beror på att när man räknar med yttre mått räknas vissa ytor två gånger.

3.2 Ventilation

3.2.1 Värmeåtervinningsaggregat

För att värma utomhusluften till 15-20°C med hjälp av frånluften kan antingen återluftföring eller ett värmeåtervinningsaggregat användas³. Eftersom återluftföring försämrar luftkvaliteten anses detta inte aktuellt i ett passivhus.

Vid värmeväxling skiljs mellan⁴:

- Rekuperativ värmeväxling – värmen strömmar genom en värmeväxlande yta
- Regenerativ värmeväxling – ett material omväxlande värms och kyls

De vanligaste värmeåtervinningsaggregaten är⁴:

- Plattvärmeväxlare
- Roterande värmeväxlare
- Batterivärmeväxlare

1 Kaufmann B, Feist W, John M och Nagel M, 2002. Das Passivhaus – Energie-Effizientes-Bauen. holzbau handbuch. Passivhaus Institut, Darmstadt.

2 Passivhaus Institut, 2006-09-23. Design avoiding thermal bridges.

http://www.passivhaustagung.de/Passive_House_E/passive_house_avoiding_thermal_bridges.html (2010-09-10)

3 Warfvinge C, 2003. Installationsteknik AK för V. Rapport TABK--94/7016. Lunds Tekniska Högskola, Lund.

I en plattvärmeväxlare sker rekuperativ värmeväxling. Plåtar arrangeras så att frånluft och tilluft passerar vinkelrätt mot varandra i intilliggande kanaler så att värmeöverföring sker genom plåtarna. Ingen fuktöverföring sker. En plattvärmeväxlare brukar ha en temperaturverkningsgrad på ungefär 70 %.¹ Utvecklingen går dock framåt och nu finns plattvärmeväxlare med högre temperaturverkningsgrad.

I en roterande värmeväxlare sker regenerativ värmeväxling. Ett rotorhjul, oftast gjort av ett lindat korrugerat metallblad, med många små kanaler roterar mellan från- och tilluftskanalen. I frånluftskanalen lagras värme och fukt i de små kanalerna från den varma frånluften för att avges till den kalla utomhusluften som tas in i tilluftskanalen. Detta innebär en risk för återluft, men en renblåsningssektor minskar partikelöverföringen. En roterande värmeväxlare kan ha en temperaturverkningsgrad uppemot cirka 85 %. Verkningsgraden kan regleras genom att ändra varvtalet på rotorn.¹

I en batterivärmeväxlare sker indirekt rekuperativ värmeväxling. Ett batteri placeras i frånluftskanalen och ett batteri i tilluftskanalen och mellan dessa cirkuleras en vätska. Vätskan tar upp värme i batteriet i frånluftskanalen och överför värme till tilluften i batteriet i tilluftskanalen. Ingen fuktöverföring sker. En batterivärmeväxlare brukar ha en temperaturverkningsgrad på ungefär 60 %. Verkningsgraden kan regleras med en shuntventil.¹

Eftersom värmeåtervinningsaggregatet inte alltid klarar av att höja temperaturen på utomhusluften tillräckligt används ofta ett eftervärmningsbatteri.¹

Ett annat sätt att ta tillvara på värmen i frånluften är att använda en frånluftsvärmepump. I en frånluftsvärmepump sker indirekt rekuperativ värmeväxling. Ett köldmedium cirkulerar mellan en förångare där värme tas upp genom att vätskan övergår till ångfas, via en kompressor som ökar trycket och temperatur på ångan, och en kondensator där värme avges genom att ångan övergår till vätskefas. Trycket och temperaturen sänks sedan i en strypventil på vägen tillbaka till förångaren. Förångaren placeras i frånluftkanalen och kondensorn kopplas antingen till ett vattenburet värmesystem eller till tappvarmvattensystemet för att återvinna värmen.¹

3.3 Inomhusklimat

Inomhusklimatet kan delas in i fyra områden¹:

- Termiskt klimat
- Hygieniskt klimat
- Ljusförhållanden
- Ljudförhållanden

¹ Warfvinge C, 2003. Installationsteknik AK för V. Rapport TABK--94/7016. Lunds Tekniska Högskola, Lund.

Det **termiska klimatet** bestäms av¹:

- Lufttemperatur
 - 18-22°C vintertid är optimalt
 - 22-24°C sommartid är optimalt
- Omgivande ytors temperatur och vertikala temperaturgradienter
 - < 3°C skillnad mellan fötter och huvud
- Golvets temperatur
 - 16-27°C tillåts
 - 20-24°C är idealiskt
 - Komforttemperaturer för olika golvmaterial:
 - Sten, marmor, betong 27-30°C
 - Linoleum, PVC 25-29°C
 - Trä, kork 23-28°C
 - Textil (matta) 21-28°C
- Medellufthastighet
 - < 0,15 m/s i vistelsezonen om operativa temperaturen är 20-24°C
- Luftfuktighet

Vid termisk komfort är människan nöjd gällande ovanstående faktorer. Det är högst personligt hur ett visst klimat upplevs och faktorer som klädsel och aktivitet påverkar även.¹

Operativa temperaturen är ett samlat mått på den termiska upplevelsen och fås som $(t_a + t_r)/2$ där t_a är lufttemperaturen och t_r är medelstrålningstemperaturen. Medelstrålningstemperaturen fås som $F_1 \cdot t_1 + \dots + F_n \cdot t_n$ där F_n är det relativa vinkelförhållandet, som beror på avståndet, mellan studerad punkt och omgivande ytan n och t_n är omgivande ytans temperatur.¹

I *R1 – Riktlinjer för specifikation av inneklimatkrav* föreskrivs målvärden för den operativa temperaturen beroende på typ av byggnad/rum och klädsel. Nedan anges målvärdena för bostäder².

- 20-24°C vintertid (med normal inomhusklädsel motsvarande 1 clo – en isoleringsförmåga på klädseln motsvarande 0,155 (m²·K)/W)

¹ Warfvinge C, 2003. Installationsteknik AK för V. Rapport TABK--94/7016. Lunds Tekniska Högskola, Lund.

² SIS, Swedish Standards Institute, 2006. R1 – Riktlinjer för specifikation av inneklimatkrav. SIS, Swedish Standards Institute, Stockholm.

- 23-26°C sommartid (med lätt sommarklädsel motsvarande 0,5 clo)

En aktivitet motsvarande 1,2 met (vila, sittande) antas för båda fallen¹. 1 met motsvarar metabolismen i W/m² för en sovande person².

Det **hygieniska klimatet** bestäms av²:

- Syreinhåll
 - 0,03 l/(s·person) ventilationsflöde krävs för tillräcklig syretillförsel till en person i vila
- Koldioxidinhåll och lukt
 - < 1 000 ppm koldioxid för bra luft
- Luftfuktighet
 - Ett ventilationsflöde på 2 l/(s·person) krävs för att luftfuktigheten inte ska överstiga 70 % vilket anses för högt

Följande faktorer bestämmer ventilationsbehovet:

- > 0,35 l/(s·m²) tilluftsflöde i vistelserum enligt BBR³
- > 4 l/s tilluftsflöde per sovplats enligt rekommendation²
- > 10 l/s frånluftsflöde i kök och badrum vid mekanisk ventilation enligt rekommendation²

När det gäller **ljusförhållanden** ska följande beaktas:

- Belysningen ska²
 - vara tillräcklig
 - vara rätt fördelad
 - vara rätt riktad utan skuggbildning och bländning
 - återge naturliga färger
- Dagsljus och chans till utblick i rum där människor vistas mer än tillfälligt³
 - Fönsterglasarea motsvarande mer än 10 % av golvarean om 2- eller 3-glasfönster med klarglas används enligt allmänt råd i BBR

1 SIS, Swedish Standards Institute, 2006. R1 – Riktlinjer för specifikation av inneklimatkrav. SIS, Swedish Standards Institute, Stockholm.

2 Warfvinge C, 2003. Installationsteknik AK för V. Rapport TABK--94/7016. Lunds Tekniska Högskola, Lund.

3 Boverket, 2008. Regelsamling för byggande, BBR 2008. Boverket, Karlskrona.

- Om glas med lägre ljusgenomsläpplighet används och/eller om avskärmningen från omkringliggande byggnader överstiger 20 % bör fönsterglasarean ökas enligt allmänt råd i BBR
- I SS 91 42 01 finns en metod för att uppskatta lämplig fönsterglasarea

Hur stor fönsterarea som är optimalt är komplext och varierar därför beroende på byggnad.

Gällande **ljudförhållanden** ska buller, för människan icke önskvärt ljud, undvikas. Störningsnivån bestäms av¹:

- Ljudets volym
 - >35 dBA dagtid och >30 dBA nattetid för momentana ljud anses vara sanitär olägenhet
- Ljudets tonhöjd
- Verksamheten som störs
- Personlig attityd mot ljudet och ljudkällan

¹ Warfvinge C, 2003. Installationsteknik AK för V. Rapport TABK--94/7016. Lunds Tekniska Högskola, Lund.

4 Introduktion till passivhus

4.1 Passivhusdefinitionen

Ett passivhus är en energieffektiv byggnad med bra inomhusklimat där luftflödet som uppfyller det hygieniska kravet klarar av att distribuera värme. Detta ska kunna göras med hjälp av värmeväxlare utan behov av traditionellt, aktivt värmesystem. Ett passivhus kan åstadkommas genom ökad termisk prestanda – ökad isoleringsgrad, minskning av köldbryggor, ökad lufttäthet samt termiskt högpresterande fönster.¹ När den värmeisolerande förmågan för fönster ökas drastiskt, innebär det att risken för kallras elimineras och att radiatorer inte längre är ett måste². Ett separat värme- eller kylsystem kan dock användas så länge energikrav alternativt effektkrav uppfylls³.

Begrepp snarlika passivhus existerar, exempelvis⁴:

- Passiva system – system som upprätthåller inomhuskomforten genom att utan aktiva komponenter använda och kontrollera naturliga energiflöden runt byggnaden, från exempelvis sol och vind. Exempel på detta är fönster som tillåter insläpp av dagsljus.
- Passiv design – byggnader designade med integrerade aktiva komponenter som kräver betydligt mindre mängd tillförd energi än mängden energi som fås ur de naturliga energiflödena som komponenten kontrollerar. Exempel på detta är värmepumpar.

Ett passivhus enligt definitionen ovan kan därmed innehålla såväl passiva system som vara av passiv design. I södra Europa menas dock med passivhus generellt ett hus som på något sätt har konstruerats med passiv design, utan passivhusets krav.⁴

4.2 En jämförelse mellan passivhuskriterier

Själva definitionen är en tekniskt neutral, funktionell definition där huvudkriteriet är det högsta tillåtna effekt- eller energibehovet för värme. I den ursprungliga definitionen av PHI, Passiv Haus Institut, är kravet antingen 10 W/m^2 för effektbehovet eller $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{år})$ för värmeenergiebehovet. I Sverige har FEBY, Forum för Energieffektiva Byggnader, tagit fram egna kriterier. I dessa ställs krav på större luftflöde och för att anpassa kriterierna till byggnader i norra Sverige tillåts högre effektbehov för värme. En konsekvensanalys av skillnaderna som FEBY har gjort visar på att för ett identiskt småhus fås närliggande resultat, om samma läckflöde antas. Om högre läckflöde antas fås en större effektförlust och därmed sämre resultat. I deras exempel fås högre läckflöde med PHI:s kriterier¹, beroende på byggnadens area/volym-förhållande och enhetsskillnader för läckflödet. PHI:s läckflöde relaterar till byggnadens volym och FEBY:s läckflöde relaterar till byggnadens omslutande area.

1 Sandberg E, Erlandsson M, Ruud S och Jansson U, 2009. FEBY – Kriteriejämförelse av Passivhus enligt PHI och FEBY. LTH rapport EBD-R--09/29, ATON rapport 0906, IVL rapport nr A1731. Forum för energieffektiva byggnader.

2 Abel E och Elmroth A, 2006. Byggnaden som system. Forskningsrådet Formas, Stockholm.

3 Feist W, Pfluger R, Kaufmann B, Schnieders J och Kah O, 2007. Passivhus projekteringspaket 2007 – PHPP 2007 – Krav på kvalitetskontrollerade passivhus. PHI-2007/1(SE). Svensk redaktör: Hans Eek. Passivhaus Institut, Darmstadt.

4 Passive-On project. Passive House or Passivhaus. Hämtad från: <http://www.passive-on.org/CD/5.%20Long%20Description/Passive-On%20-%20Long%20Description%20-%20English.pdf> (2010-08-19)

En utförligare beskrivning av de viktigaste skillnaderna kan ses i tabell 7¹. I detta arbete utgår vi framförallt ifrån PHI:s passivhuskriterier. Bedömningskriterierna för certifiering har fetstilsmarkerats i nedanstående tabell.

Tabell 7. Jämförelse av olika parametrar i de svenska och tyska kriterierna för passivhus

	FEBY	PHI
Effektkrav, värme	< 10 – 12 W/m ²	< 10 W/m ² , eller energikravet uppfyllt
Effektkrav, småhus	< 12 – 14 W/m ²	< 10 W/m ² , eller energikravet uppfyllt
Klimatkyla	1)	< 15 kWh/(m ² ·år)
DUT	SS024310	Egen bestämning av 2 DUT
Energikrav, värme	-	15 kWh/(m²·år), eller effektkravet uppfyllt
Beräkningsmetod	Öppen redovisad	PHPP- programmet
Luftflöde	> 0,35 l/(s·m ²)	0,3 – 0,4 oms/h
Täthet vid +/- 50 Pa	0,30 l/(s·m²)	0,6 oms/h
Interna värmetilskott + sol vid DUT	4 W/m ²	1,6 W/m ² exkl. sol (ca 1 W/m ²)
Interna värmetilskott värmeenergiber.	Verklig enl. metod	2,1 W/m ²
U-värde fönster	0,90 W/(K·m²)	0,8 W/(K·m ²)
U _m -värde	-	0,15 W/(K·m ²) 2)
Värmeåtervinning	> 70 % (börvärde)	> 75 % (skallkrav, egen mätmetod)
Varmvatten	3)	Sol/värmepump
Viktad köpt el / Primärenergi	60 – 68 kWh/(m²·år) 4)	120 kWh/(m²·år) (inkl hushållsel)
Inomhustemp vid värmeber.	22 °C	20 °C
Max tilluftstemperatur	52 °C	52 °C

1) FEBY har ännu inte utarbetat kriterier för lokaler med verksamhet som har större spillvärmekällor utöver brukarna själva.

2) Definierat på extern area, exklusive fönster.

3) Val av bättre blandare och fördelningsmätning kan beaktas i energikalkylen.

4) Enl. BBRs definition för energiprestanda och viktning av elenergi med 2,0. Det lägre värdet för södra Sverige.

¹ Sandberg E, Erlandsson M, Ruud S och Jansson U, 2009. FEBY – Kriteriejämförelse av Passivhus enligt PHI och FEBY. LTH rapport EBD-R--09/29, ATON rapport 0906, IVL rapport nr A1731. Forum för energieffektiva byggnader.

För att få kalla en byggnad *Quality Approved Passive House* måste ovanstående fetstilta krav av PHI verifieras med PHPP. Följande ska även skickas in¹:

- Utförliga ritningar och tekniska beskrivningar
- Dokumentation av lufttäthetsprovning och injustering av ventilationssystemet
- Deklaration av arbetsledaren att byggnaden uppförts enligt projektering
- Foton av den färdiga byggnaden

För få kalla en byggnad för *Projekterad för Passivhus enligt FEBY* respektive *Verifierat Passivhus enligt FEBY* måste BBR:s krav, ovanstående fetstilta krav samt följande krav uppfyllas²:

- Ljudklass B i sovrum och undervisningsrum
- Energianvändning för hushållsel, fastighetsel och värmeenergi, och vattenvolym för varmvattenberedning, ska kunna avläsas separat minst månadsvis och antal boende ska även noteras

För att få använda den senare av de två formuleringarna måste underlag finnas som visar att byggnaden klarar kraven i drift².

4.3 Passivhusets historik och statistik

Passivhuskonceptet kommer ursprungligen ifrån Tyskland. Passivhuscentrum eller liknande finns i Tyskland, Sverige, Österrike, Schweiz, Nederländerna och Belgien. Det finns planer på att starta upp nya passivhuscentrum även i Kina, Norge, Danmark och Finland.³ Det finns även information att tillgå för att kunna projektera passivhus på engelska, italienska, franska, polska, ungerska, slovenska, ryska och tjeckiska⁴.

Det första passivhuset byggdes år 1991 i Tyskland och år 2006 var cirka 5000 bostäder i Tyskland byggda enligt passivhuskonceptet. I nuläget produceras hundratals certifierade passivhus varje år i Tyskland.⁵

Första passivhusen i Sverige, enligt FEBY:s standard, var radhusen i Lindås Park utanför Göteborg år 2001.⁶ På passivhuscentrums hemsida finns statistik från mars 2010 över beståndet av passivhus i Sverige, som kan ses i tabell 8⁷. De som anges är dock inte verifierade passivhus utan hus som angetts som passivhus av byggherrar, arkitekter med flera.

1 Feist W, 2009. Certification as "Quality Approved Passive House" – Criteria for Residential-Use Passive Houses. Passivhaus Institut, Darmstadt.

2 Erlandsson M, Ruud S, Sandberg E, Wall M, Eek H och Wahlström Å, 2009. FEBY Kravspecifikation för Passivhus. Version 2009. LTH rapport EBD-R--09/25, IVL rapport nr A1592. ATON rapport 0902. Forum för Energieffektiva Byggnader.

3 Passivhuscentrum. Internationellt. <http://www.passivhuscentrum.se/internationellt.html> (2010-08-19)

4 Passivhaus Institut. PHPP 2007: Passive House Planning Package 2007 Manual + CD-Rom – Other languages. <http://www.passivehouse.com/> (2010-08-19)

5 Passive-On project. Passive House or Passivhaus. Hämtad från: <http://www.passive-on.org/CD/5.%20Long%20Description/Passive-On%20-%20Long%20Description%20-%20English.pdf> (2010-08-19)

6 Wall M och Janson U, 2006. Passivhus – Energieffektiva bostäder i Sverige. Lunds Tekniska Högskola, Lund. Hämtad från: http://www.lth.se/fileadmin/energiportalen/Files/Om_Energiportalen/Invigning/Posters/Passivhus_Energieffektiva_bost_der1_Maria_Wall_och_Ulla_Janson.pdf (2010-08-23)

7 Passivhuscentrum. Passivhus i Sverige. <http://www.passivhuscentrum.se/projekt.html> (2010-08-19)

Tabell 8. Statistik för passivhusbeståndet från mars 2010

Boendeform	Färdigställda	Påbörjade eller planerade
Villor	26	18
Lägenheter	1 331	1 344
Radhus	103	0
Skolor	1	2
Förskolor	2	4
Kontor	0	1

Detta kan jämföras med statistik enligt SCB, Statistiska centralbyrån, för det totala byggandet enbart under första halvåret 2010¹:

Tabell 9. Statistik för det totala byggandet för första halvåret 2010

Boendeform	Färdigställda	Påbörjade
Småhus	2 607	3 137
Bostäder i flerbostadshus	3 479	6 668

2009 fanns det totalt 1 678 600 bostäder i flerbostadshus i Sverige².

1 Statistiska centralbyrån, 2010-08-19. Statistiska meddelanden BO 14 SM 1003: Byggnade: Ny- och ombyggnad av bostadshus och nybyggnad av lokalhus 1:a halvåret 2010. Hämtad från:

http://www.scb.se/Pages/PublishingCalendarViewInfo___259923.aspx?PublObjId=11798 (2010-09-23)

2 Statistiska centralbyrån, 2010-05-31. Pressmeddelande 2010:149: Kalkylerat bostadsbestånd 2009-12-31: Allt fler bostadsrätter. http://www.scb.se/Pages/PressRelease___294758.aspx (2010-09-23)

5 Att bygga i massivträ

Ett massivträsystem definieras som ett byggsystem med bärande element av solitt trä¹. Vid byggnation av hus i trä skiljs det mellan tre olika stomsystem och byggmetoder²:

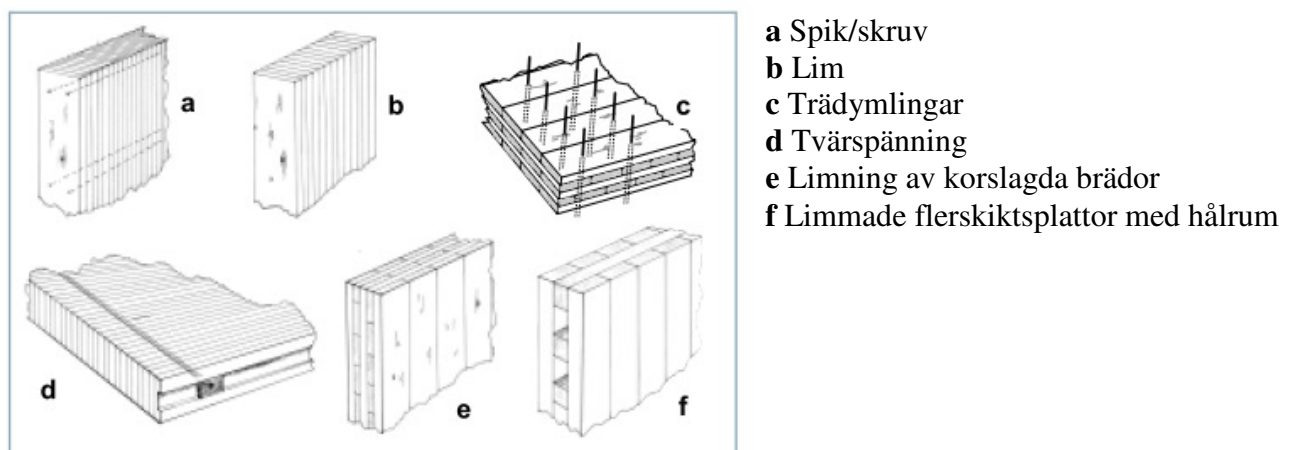
- Stomsystem
 - Pelar-balk-system
 - Platt- eller skivsystem
 - Regelsystem
- Byggmetoder
 - Platsbygge
 - Prefabricerade planelement
 - Prefabricerade volymelement

5.1 Stomsystem

Väggelement i massivträ kan delas in i två grupper³:

- Plattor eller skivor av korslagda och sammanlimmade brädor av trä
- Plattor eller skivor av spikade, dymlade eller tvärsända brädor av trä

Vanligast är skivor av korslagda och sammanlimmade brädor av trä³. Principer för sammanfogning av massivträelement kan vara de i figur 3⁴:



Figur 3 Principer för sammanfogning av massivträelement⁴

1 Trätek – Institutet för träteknisk forskning. Bygga med massivträ i Norden. kontenta 0211041. Trätek – Institutet för träteknisk forskning, Stockholm, Växjö och Skellefteå.

2 Stehn L, Rask L-O, Nygren I och Östman B, 2008. Byggandet av flervåningshus i trä - Erfarenheter efter tre års observation av träbyggnadens utveckling. LTU-TR--08/18--SE. Luleå tekniska universitet, Luleå.

3 TräGuiden. Bjälklagsselement och väggelement av massivträ. <http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=7444> (2010-09-28)

4 Aarstad J och Bunkholt A. FOKUS på tre Nr. 20. Massivtre. TreFokus AS och Norsk Treteknisk Institutt, Oslo.

Dessa utgör sedan stomelement vars tvärsnittsarea brukar vara stor, och därmed även dess bärförmåga och styvhet¹. För att klara lasterna i ett femvåningshus krävs dock enbart en tjocklek på 72-95 mm på väggelementen². Massivträelementen kan användas som skivstabiliserande med tanke på vindlast. Viktigt är då att utforma anslutningarna mellan elementen rätt.³

5.2 Byggmetoder

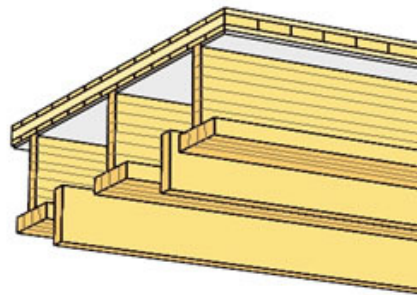
För massivträ är de aktuella byggmetoderna framförallt prefabricerade planelement eller volymelement. Planelement har lägre prefabriceringsgrad än volymelement och monteras samman på plats. De är oftast på förhand isolerade, gipsade och fasadbeklädda samt förberedda för installationssystem.⁴ Väggar av planelement måste på byggarbetsplatsen sammanfogas med exempelvis bjälklag².

Massivträbjälklag brukar delas in i tre grupper²:

- Plattbjälklag – planelement i form av spikade eller dymlade plattor, tvärspända plattor, limträplattor eller flerskiktiga massivträskivor, se figur 4
- Kassettbjälklag, se figur 5
- Samverkansbjälklag mellan trä och betong



Figur 4 Tvärspänd massivträplatta²



Figur 5 Kassettbjälklag²

Massivträbjälklag brukar kunna klara av en spännvidd på 6 m men kan för kassettbjälklag och samverkansbjälklag klara uppemot 12 m. Planelement måste kompletteras med undertak eller övergolv för att klara ljudkraven.²

För volymelement ingår bjälklag och i princip allt, till och med köksutrustning, kan vara färdigmonterat på fabrik⁴. Volymelementen lyfts på plats i sin helhet och sammanfogas på byggarbetsplatsen för att sedan kompletteras med platsbyggt yttertak eller prefabricerade takelement⁵.

Planelementens lägre prefabriceringsgrad innebär större flexibilitet med hänsyn till planlösning, utformning och konstruktion. Jämfört med volymbyggnation tar dock en byggnation med planelement längre tid både på byggplatsen och totalt sett.⁴

1 Industrikonstiet Massivträ, 2006. Massivträ. Handboken 2006. Industrikonstiet Massivträ.

2 TräGuiden. Bjälklagselement och väggelement av massivträ. <http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=7444> (2010-09-28)

3 Glasø G, 2008. FOKUS på tre Nr. 32 Fleretasjes trehus. TreFokus AS och Norsk Treteknisk Institutt, Oslo.

4 Stehn L, Rask L-O, Nygren I och Östman B, 2008. Byggandet av flervåningshus i trä - Erfarenheter efter tre års observation av träbyggandets utveckling. LTU-TR--08/18--SE. Luleå tekniska universitet, Luleå.

5 TräGuiden. Massivträ och volymsmoduler. <http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=7443> (2010-09-28)

6 Objektsbeskrivning

6.1 Portvakten

Kvarteret Portvakten Söder i Växjö består av två åttavåningshus. Den nordvästra av dessa två, i rapporten *Framtidens trähus – energieffektiva med god innemiljö* benämnd som A1 och i figur 6 nr. 30, är den som kommer att studeras. Huset består av 32 lägenheter, varav 16 är tvårummare på 64 m², 15 är trerummare på 83 m² och en är tvårummare på 66 m². Bottenvåningen har en fri takhöjd på 2,6 m medan övriga våningar har 2,508 m i fri takhöjd. Huset har även en vindsvåning där ventilationsaggregatet är placerat, som täcker en del av vindsutrymmet och är uppvärmt till 13-15°C. Resterande del av vinden är en kallvind.¹ I figur 7 ses en fasadritning av byggnaden.



Figur 6 Situationsplan över Portvakten Söder²

Figur 7 Fasadritning av byggnaden²

Husen invigdes i september 2009. Stommen av trä är byggd med passivhusteknik med ett tätt stomsystem och inget traditionellt värmesystem.³ En lista över de involverade parterna i projektet finns i bilaga 2.

Husets stomme består av massivträ i form av KL-skivor från Martinsons byggsystem⁴, förutom bottenvåningen som är i betong¹.

1 Kildsgaard I och Prejer E, 2010. Framtidens trähus – energieffektiva med god innemiljö. Framtidens trähus – SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

2 Hyresbostäder i Växjö AB. Välkommen till Portvakten Söder!. Hämtad från:

<http://www.hyresbostaderivaxjo.se/documents/hyresbostader/documents/omr%c3%a5desinformation/sigridsomr%c3%a5det/portvaktens%c3%b6derbofaktasv.pdf> (2010-11-30)

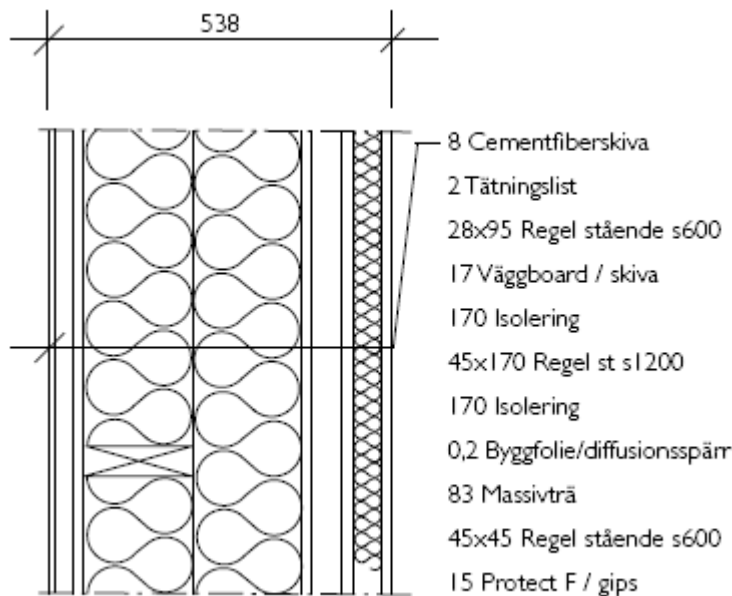
3 Martinsons. Höga flerbostadshus med massivträstomme. <http://www.martinsons.se/hus-3-8-vaningar> (2010-08-19)

4 Hyresbostäder i Växjö AB, 2009. Informationsfolder Portvakten Söder. Hämtad från:

<http://www.hyresbostaderivaxjo.se/Pages/Page.aspx?pageId=457&versionId=1> (2010-08-26)

6.1.1 Väggelement i massivträ

Väggelementen i massivträ är 538 mm tjocka, inklusive fasad-/cementfiberskiva från Ivarssons. Dess uppbyggnad kan ses i figur 8.¹



Figur 8 Uppbyggnad av väggelement i massivträ¹

Cementfiberskivan är levererad av Ivarsson och är att döma av den information som varit tillgänglig av typen Ivarit DuraCo+. Den tillhör brandklass A och är miljövänligt tillverkat enligt tillverkaren.²

Väggborden är av typen PAROC 1352 (PAROC WAB 10ttp). Det är en stenullsboard med glasfiberflor på en sida och papper på den andra. Den har en värmeledningsförmåga på 0,037 W/(m·K). Dess ånggenomgångsmotstånd är cirka 3000 s/m. Skivan tillhör Eurobrandklass A1.³

Isoleringen som används är av typen PAROC 1303 (PAROC UNS 37). Dess värmeledningsförmåga är 0,037 W/(m·K), dess densitet är 28 kg/m³ och den tillhör Eurobrandklass A1.³

Gipsskivorna är av typen Gyproc GF 15 Protect F. Under ytskiktet av kartong är skivan gjord av glasfiberarmerad gips med tillsatser av dimensionsstabiliserande mineraler. Skivan är anpassad för att klara stora brandlastar och krymper då mindre än vanliga gipsskivor. Skivan tillhör Eurobrandklass A2. Skivans värmeledningsförmåga är 0,25 W/(m·K). Dess ånggenomgångsmotstånd är 3000-4500 s/m.⁴

¹ Hyresbostäder i Växjö AB, 2009. Informationsfolder Portvakten Söder. Hämtad från:

<http://www.hyresbostaderivaxjo.se/Pages/Page.aspx?pageId=457&versionId=1> (2010-08-26)

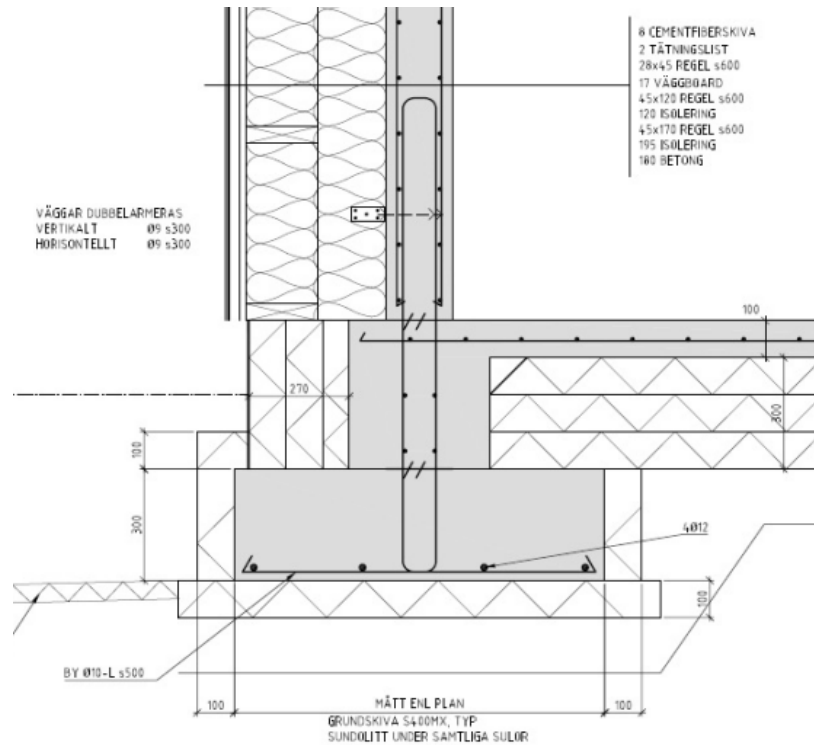
² Ivarsson, Ivarit DuraCo+ - Stark fasadskiva. Hämtad från: <http://www.ivarssonsverige.se/Produkter/Byggskivor/ivarit-Duraco.aspx?ShowIpaper=161> (2010-10-06)

³ PAROC AB, 2002. Byggboken, flik 2. Produktinformation. Rekv.nr. 312/1. PAROC AB, Skövde.

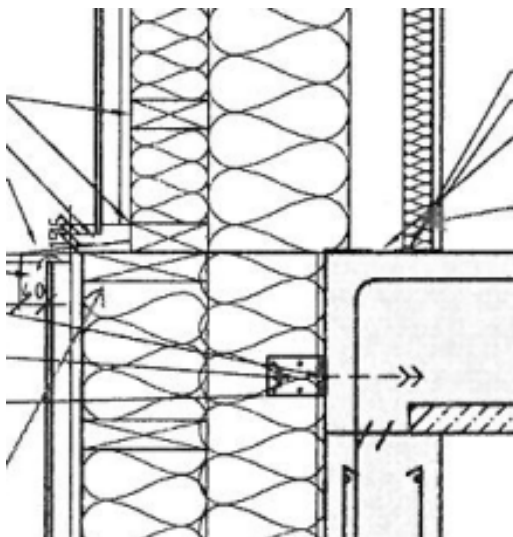
⁴ Gyproc AB, 2008. Produktdatablad Gyproc GFE 15 Protect F Ergo Gyproc GF 15 Protect F. Hämtad från: http://www.gyproc.se/files/PDF/Sweden/PRD/SE_GF-GFEDataBlad.pdf (2010-10-06)

6.1.2 Betongelement

Såväl grundplattan som väggarna på plan 1 och det nedersta bjälklaget är i betong. Grundplattan är 100 mm med 300 mm isolering under och betongväggarna på bottenvåningen har 390 mm isolering¹, se figur 9. Anslutningen mellanbjälklag i betong mellan bottenvåningens betongvägg och andra våningens massivträvägg kan ses i figur 10.



Figur 9 Anslutning mellan grundplatta och betongvägg bottenvåning²



Figur 10 Anslutning mellanbjälklag i betong (tjocklekarna på isoleringsskikten för massivträväggen är felaktiga i denna figur, men den totala isolertjockleken stämmer)²

¹ Kildsgaard I och Prejer E, 2010. Framtidens trähus – energieffektiva med god inommiljö. Framtidens trähus – SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

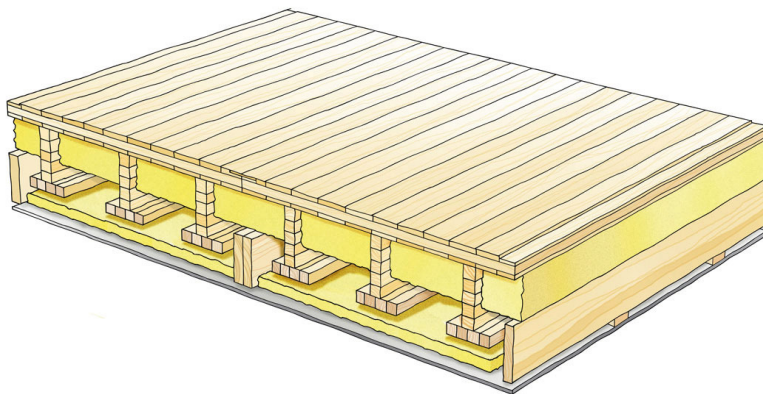
² Tyréns AB

Isoleringen under grunden är av typen Sundolitt. Under fundamenten har grundskiva S400MX använts, som klarar större belastningar. Under resterande del av grunden antas grundskiva S100 ha använts med värmeledningsförmåga $0,037 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$.¹ För att förhindra tjällyftning lades 800-1200 mm bred värmeisoleringsremsa i lutning ut från byggnadens grundsula². Denna utgjordes av Sundolitt grundskiva S100 med en tjocklek på 50 mm.

6.1.3 Bjälklag i massivträ

Träbjälklagen är 492 mm tjocka medan betongbjälklaget är 280 mm tjockt. Träbjälklagen har en total isoleringshöjd på 240 mm.² I figur 11 ses en illustration av träbjälklaget.

Takbjälklaget utgörs av en konstruktion motsvarande ett träbjälklag som isoleras med 500 mm mineralull ovanför.

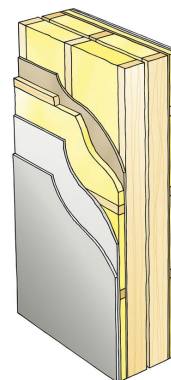
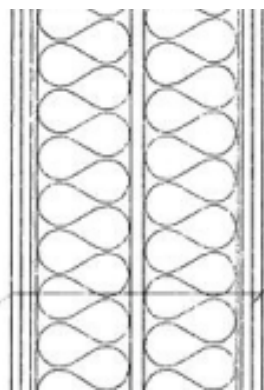


Figur 11 Illustration av massivträbjälklag³

6.1.4 Lägenhetsavskiljande väggar

Den lägenhetsavskiljande vägg vi utgår från i vår rapport ses i figur 12-13.

2x15	Protect F
8	K-board
70x145	Regel s600
145	Isolering
20	Luftspalt
70x145	Regel s600
145	Isolering
8	K-board
2x15	Protect F



Figur 12 Lägenhetsskiljande vägg⁴

Figur 13 Illustration av lägenhetsskiljande vägg⁵

1 Sundolitt AB, 2004. Grundskiva S100. <http://www.sundolitt.se/default.asp?menu=153> (2010-10-06)

2 Kildsgaard I och Prejer E, 2010. Framtidens trähus – energieffektiva med god inommiljö. Framtidens trähus – SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

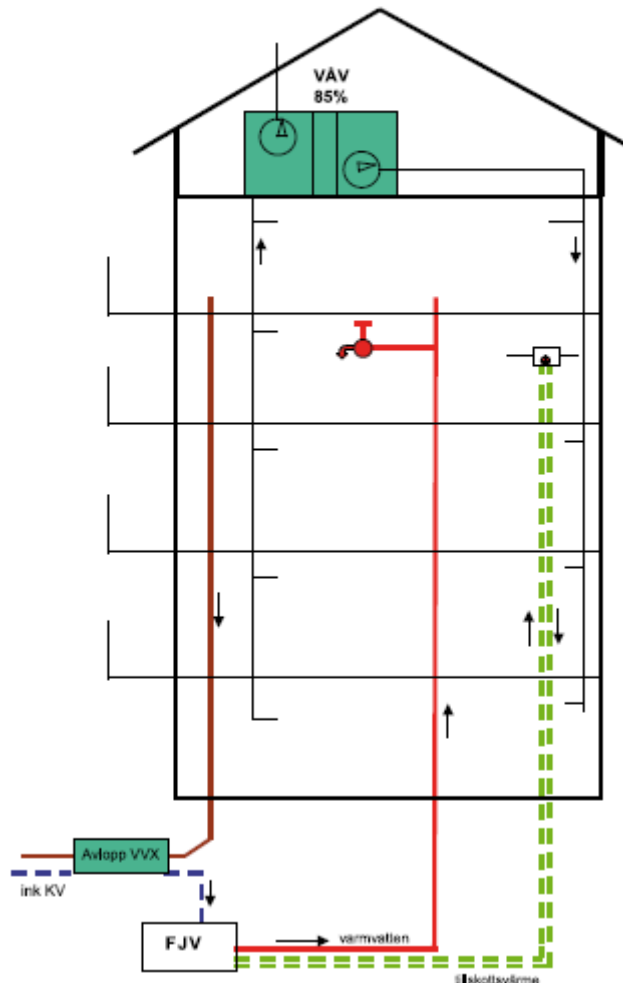
3 Martinsons. Byggdelar. <http://www.martinsons.se/byggdelar> (2010-08-19)

4 Tyréns AB

5 Martinsons. Byggdelar. <http://www.martinsons.se/byggdelar> (2010-08-19)

6.1.5 Installationer

En illustration av de installationssystem som används i Portvakten ses i figur 14.



Figur 14 Illustration av installationssystem i Portvakten¹

Huset har ett FTX-system där de centralt placerade dubbla plattvärmeväxlarna har en total värmeåtervinningsgrad på 85 %, och en specifik fläkteffekt på 1,27 kW/(m³/s) vid ett luftflöde på 1 m³/s och ett kanaltryckfall på 200 Pa, enligt produktdata. De är av typen Flexomix size 300 air handling unit, en produkt från IV Produkt, och värmer tilluften till 15-16°C. För tillskottsvärme finns centralt ett värmebatteri på 12 kW och i varje badrum ett värmebatteri på 1,2 kW, som alla är inkopplade till fjärrvärmesystemet.²

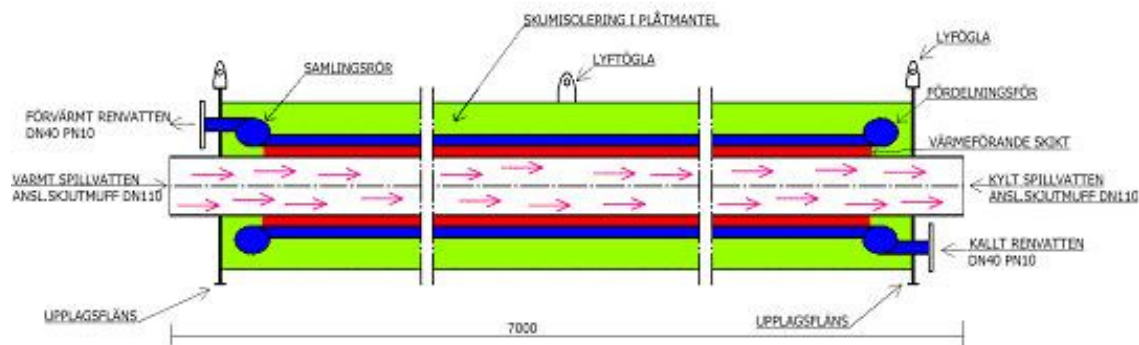
När det är kallare än 9°C värmer det centrala värmebatteriet luften från värmeväxlaren till 18°C. Annars släpps luften från värmeväxlaren direkt in i rummen utan uppvärmning av det centrala värmebatteriet, dock med möjlighet att värma luften med de individuella värmebatterierna. De boende kan välja inomhustemperaturer mellan 17 och 21°C.²

¹ Hyresbostäder i Växjö AB, 2009. Informationsfolder Portvakten Söder. Hämtad från:
<http://www.hyresbostaderivaxjo.se/Pages/Page.aspx?pageId=457&versionId=1> (2010-08-26)

² Kildsgaard I och Prejer E, 2010. Framtidens trähus – energieffektiva med god inomhusmiljö. Framtidens trähus – SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

Det centrala värmebatteriet kan även användas för att förhindra frysning under de kallaste dagarna på året genom att värma avluften enligt *Framtidens trähus – energieffektiva med god innemiljö*. För att förhindra frysning finns även en bypass-funktion som tillåter kall utomhusluft att strömma genom värmebatteriet istället för genom värmeväxlaren och därmed ökar andelen varm inomhusluft som strömmar igenom värmeväxlaren i relation till andelen kall utomhusluft. När bypass-funktionen måste användas minskar följaktligen värmeåtervinningsgraden.¹

Varmvattnet värms med fjärrvärmevatten och med en avloppsvärmeväxlare². Avloppsvärmeväxlaren är av typen Super Singlex DN 200/DN 65, en produkt från Power Products Europé, se figur 15. Enligt tillverkaren kan den spara 1000-1500 kWh/(lägenhet·år).¹



Figur 15 Illustration av avloppsvärmeväxlaren³

Från början var det tänkt att använda solcellsanläggningar på taket för att minska behovet av el från elnätet, men rationaliserade bort främst på grund av kostnadsskäl. Det finns dock möjlighet att i framtiden installera solcellsanläggningar på taket.¹ Hushållsel samt varm- och kallvatten mäts individuellt för varje lägenhet och kan ses på en display av den boende².

6.1.6 Täthetsprovning

Den slutgiltiga täthetsprovningen av byggnaden fick resultatet $0,19 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ vid $\pm 50 \text{ Pa}$, med en antagen felmarginal på $\pm 10 \%$. Vid första täthetsprovningen noterades störst läckflöde vid fönsterhörn.¹

6.1.7 Köldbryggor

Enligt beräkningar utförda av NCC Teknik med hjälp av Isolerguiden Bygg 06 har byggnaden köldbryggor motsvarande 12,6 % av energianvändningen. I beräkningarna inkluderades fönsteranslutningarna samt även anslutningarna av balkongerna till fasaden¹, se figur 16.

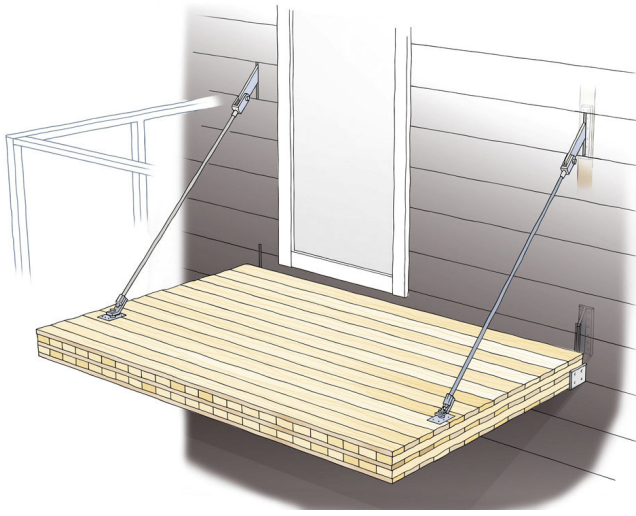
I NCC Teknicks köldbryggsberäkning noteras inte om och i så fall hur mycket storleken på köldbryggan kan variera med olika anslutningslösningar. Martinsons beräknade köldbryggorna till 53 W/K för massivträelementen, inkluderat köldbryggor runt fönstren, vid

1 Kildsgaard I och Prejer E, 2010. Framtidens trähus – energieffektiva med god innemiljö. Framtidens trähus – SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

2 Hyresbostäder i Växjö AB, 2009. Informationsfolder Portvakten Söder. Hämtad från: <http://www.hyresbostaderivaxjo.se/Pages/Page.aspx?pageId=457&versionId=1> (2010-08-26)

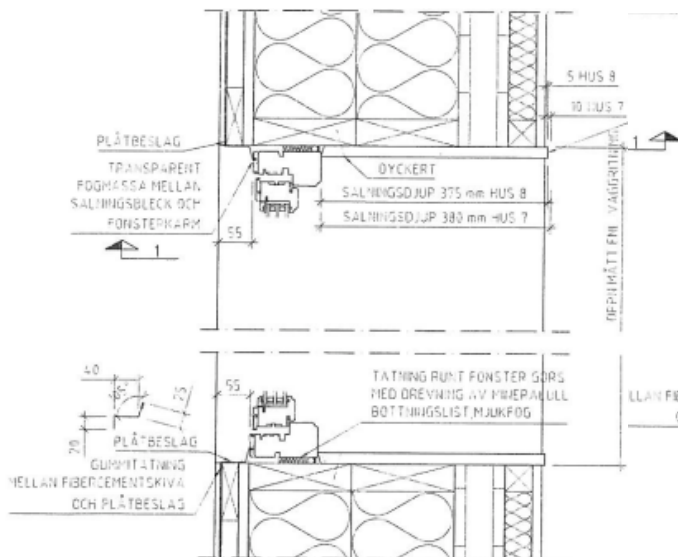
3 Power Products Europe AB. Super Singlex spillvattenvärmeväxlare. <http://www.powerproductseurope.se/sida5/sida5.htm> (2010-08-19)

hörnor och vid balkonginfästningar. Det motsvarar köldbryggor i storleksordningen 10 % av energianvändningen för den del av byggnaden som är byggd i trä. I slutberäkningarna i Framtidens trähus antogs 13 % köldbryggor i enlighet med NCC Tekniks resultat.¹

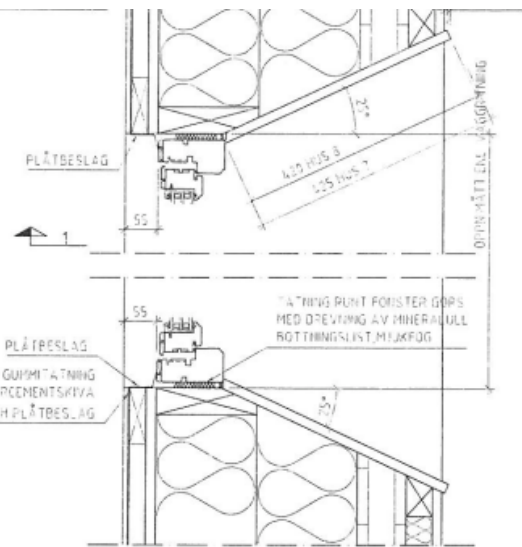


Figur 16 Illustration av balkongkonstruktionen²

Fönstren är fastsatta mot träreglarna i väggkonstruktionen vilket resulterar i en köldbrygga, se horizontalsnitt av anslutningen i figur 17. En del fönsteröppningar gjordes med 25 graders lutande fönstersmygar för att tillåta att mer solljus kommer in i lägenheterna, se horizontalsnitt av anslutningen i figur 18.



Figur 17 Fönsteranslutning rak fönstersmyg³



Figur 18 Fönsteranslutning sned fönstersmyg³

1 Kildsgaard I och Prejer E, 2010. Framtidens trähus – energieffektiva med god inomklimat. Framtidens trähus – SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

2 Martinsons. Byggdelar. <http://www.martinsons.se/byggdelar> (2010-08-19)

3 Tyréns AB

6.2 Martinsons

6.2.1 Företaget

Martinsons är ett familjeföretag där grundaren Karl Martinson etablerade företaget som ett sågverk på slutet av 1920-talet. 1954 bildades ett aktiebolag.¹ En del av företaget är specialiserat på byggsystem i massivträ och är ledande i Sverige inom branschen². Stomsystemen i massivträ ses som en del i steget mot byggandet av hållbara städer. Martinson kan antingen ansvara för hela stomentreprenaden eller enbart vara materialleverantör.³

6.2.2 Byggsystemet

Martinsons byggsystem i massivträ tillverkas på fabrik av KL-trä. Det kan levereras som kompletta stomsystem med integrerade el- och rörinstallationer och färdig in- och utvändigt beklädnad.⁴ För att klara kraven för lågenergihus använder Martinsons en enligt egen utsago genomtänkt konstruktion med täta byggelement och skarvar, tjocka väggar, gasfyllda treglasfönster, värmeväxlare/FTX på duschvattnet och ett behovsstyrt ventilationssystem anpassat till antingen värmeväxlare/FTX eller värmepump.⁵

6.3 Fönster

Här presenteras de fönster som används i beräkningar och simuleringar. Det bör påpekas att båda tillverkarna kan leverera fönster med högre termisk prestanda.

6.3.1 Portvaktens fönster – ursprungligt fönster

Fönster i Portvakten är NorDan ND Villa Toppsving, Safir 6132 m/ES/Kr/TGI 7035, byggda som 6*+10G+4+12G+ES4. 6* betyder att fönstret innehåller två stycken 3 mm glas med Safirbeläggning mellan glasen. 10G betyder 10 mm glasdistans där utrymmet är fyllt med Kryptongas. 4 betyder 4 mm glas. 12G betyder 12 mm glasdistans där utrymmet är fyllt med Kryptongas. ES4 betyder 4 mm glas med energibeläggning. Alla glas är ”solar control glasses”: glasen i fönstren har en ljustransmittans på 54 % och en total soltransmittans på 31 %, och balkongdörrarnas fönster har en ljustransmittans på 53 % och en total soltransmittans på 31 %. G-faktorn sätts därför till 0,31. AGC Glas tillverkade glasen. Det vanligast förekommande fönstret i Portvakten är ett fönster med måtten 988x1288 mm.⁶

Vi har av fönsterleverantören NorDan fått tekniska specifikationer för motsvarande fönster, NorDan NTech Villa 105/67, Safir 6132 w/lam and Planitherm one, TGI, Krypton byggda som 6*+10G+4+12G+ES4.⁷

Dess tekniska specifikationer är⁷:

1 Martinsons. Från sågverk till marknadsledande koncern. <http://www.martinsons.se/historik> (2010-08-26)

2 Martinsons. En naturlig del av framtiden. <http://www.martinsons.se/om-foretaget> (2010-08-26)

3 Martinsons. Framtidens naturliga sätt att bygga. <http://www.martinsons.se/byggsystem> (2010-08-26)

4 Martinsons. Det naturliga sättet att bygga flerbostadshus. <http://www.martinsons.se/bostader> (2010-08-26)

5 Martinsons. Den nya generationens lågenergihus. <http://www.martinsons.se/lagenergihus> (2010-08-26)

6 Kildsgaard I och Prejer E, 2010. Framtidens trähus – energieffektiva med god innemiljö. Framtidens trähus – SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

7 NorDan. NorDan NTech Villa 105/67 Sash. NorDan, Moi.

Tabell 10 Tekniska specifikationer NorDan-fönster

Fönstrets totala U_w -värde [$W/(m^2 \cdot K)$]	0,84 (1,23 x 1,48 m)
Karmens U_F -värde [$W/(m^2 \cdot K)$]	1,31 (sidor) 1,28(ovkant) 1,42 (underkant)
Glaset's U_g -värde [$W/(m^2 \cdot K)$]	0,5
g-faktor	0,31
Ψ_{distans} [$W/(m \cdot K)$]	0,040
Glastjocklek [mm]	36 (6-10-4-12-4)
Karmhöjd [mm]	103 (sidor) 104 (ovkant) 106 (underkant)

Karmdjupet är 105 mm och bågdjupet är 67 mm på det fönster som användes i Portvakten enligt Per Ragnarsson på NorDan.

Valet av "solar control glasses" motiverades med att övertemperaturer under sommarhalvåret skulle kunna undvikas och att solavskärmning på fasadens utsida inte skulle behövas. Användandet av "solar control glasses" kan dock ifrågasättas då det även minskar mängden ljusinstrålning under vinterhalvåret då det verkligen behövs. Avsaknaden av utvändigt solavskärmning kan även medföra större risk för kondens på utsidan av fönstren vid kalla, klara nätter med hög relativ fuktighet i utomhusluften.¹

6.3.2 Nytt fönster

Valt nytt fönster är Energate 1042 i standardutförande med HäußlerPassivTherm glas. Fönstret är relativt likvärdigt NorDan:s fönster.

Fönstret är i huvudsak uppbyggt av trä i gran och furu och lämpar sig enligt tillverkaren för passivhus och även för GreenBuilding-projekt samt koldioxidneutrala projekt. För uppbyggnad se figur 19.²

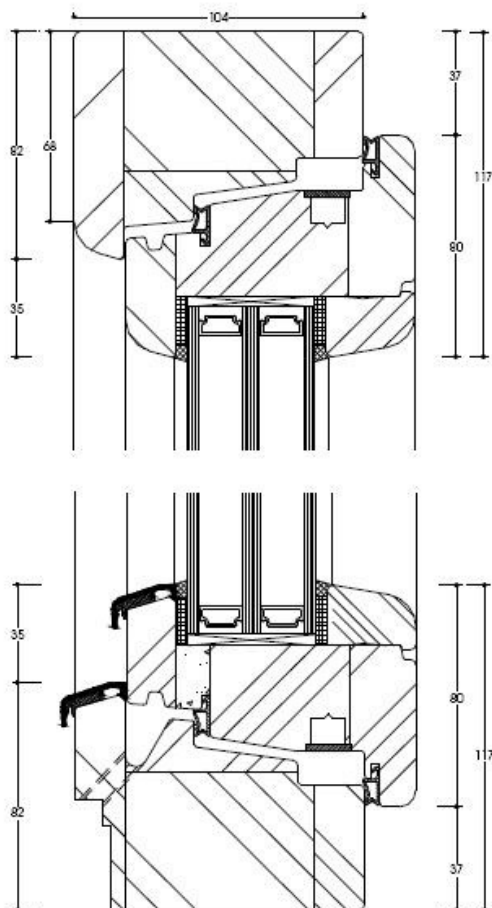
Dess tekniska specifikationer är²:

1 Kildsgaard I och Prejer E, 2010. Framtidens trähus – energieffektiva med god inomhusmiljö. Framtidens trähus – SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

2 Energate, 2008. Energate 1042 – Spara energi på naturlig väg. <http://www.energate.com/index.php?id=43&L=6> (2010-09-03)

Tabell 11 Tekniska specifikationer Energate-fönster

Fönstrets totala U_w -värde [$W/(m^2 \cdot K)$]	0,77 (1,23 x 1,48 m)
Karmens U_F -värde [$W/(m^2 \cdot K)$]	0,9 (sidor och ovkant) 0,95 (underkant)
Glaset U_g -värde [$W/(m^2 \cdot K)$]	0,6
g-faktor	0,51
Ψ_{distans} [$W/(m \cdot K)$]	0,028
Glastjocklek [mm]	46 (4-16-6-16-4)
Karmhöjd [mm]	117
Karmdjup [mm]	104



Figur 19 Uppbyggnad för Energate-fönstret¹

¹ Energate, 2008. Energate 1042 – Spara energi på naturlig väg. <http://www.energate.com/index.php?id=43&L=6> (2010-09-03)

7 Antaganden och kommentarer till indata

7.1 Anslutningar

För att ge tydligare resultatbilder antas tidskonstanten vara två dygn vilket ger lägre dimensionerande vinterutetemperatur, DVUT, $-13,3^{\circ}\text{C}$ i Växjö¹. DVUT har ersatt DUT_{20} enligt norm från Boverket och används därför här trots att FEBY har valt att använda DUT_{20} ². Inomhustemperaturen sätts till 21°C enligt SVEBY³. Samma inomhus- och utomhustemperaturer läggs in i HEAT2, i HEAT3 och i MATLAB/CALFEM.

Övriga antaganden som gäller för flera anslutningar är:

- Ritar inte in drevning eller salning runt fönster
- λ -värdet för trä antas vara $0,14 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ precis som antogs i PHPP⁴
- Ventilationen av luftspalten antas vara fullständig, vilket innebär att luftspalten och fasadbeklädnadens värmemotstånd inte räknas med⁵

7.1.1 Anslutning mellanbjälklag i betong mellan plan 1 och 2

För Portvakten görs följande antaganden:

- 17 mm väggboard approximeras till 20 mm
- 83 mm KL-trä approximeras till 80 mm
- 45 mm träregel och mineralull approximeras till 50 mm
- 15 mm gips approximeras till 20 mm

Det resulterar i modellen i figur 20.

1 Boverket, 2009. Dimensionerande vinterutetemperatur, DVUT. Boverket, Karlskrona.

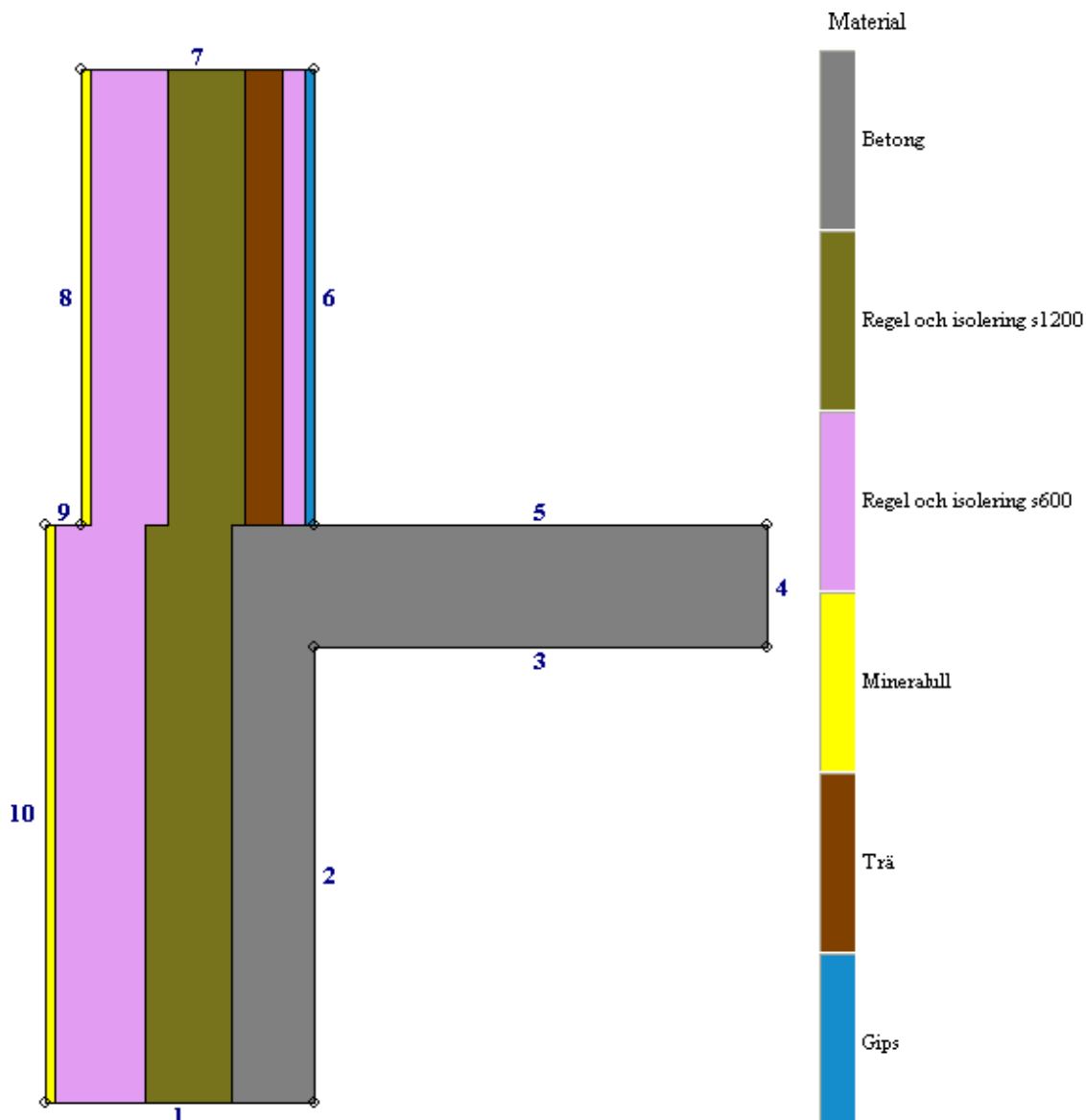
2 Erlandsson M, Ruud S, Sandberg E, Wall M, Eek H och Wahlström Å, 2009. FEBY Kravspecifikation för Passivhus. Version 2009. LTH rapport EBD-R--09/25, IVL rapport nr A1592. ATON rapport 0902. Forum för Energieffektiva Byggnader.

3 Sveby, 2009. Brukarindata för energiberäkningar i bostäder. Sveby, Stockholm.

4 Anderlind G och Stadler C-G, 2006. Isolerguiden Bygg 06. Swedisol.

http://www.stenull.paroc.se/produktdata/pdf_down/IsolerguidenBygg06_1.pdf (2010-09-24)

5 Sandin K, 1996. Värme och fukt. Lunds Tekniska Högskola, Lund.



Figur 20 Modell för anslutning mellanbjälklag i betong mellan plan 1 och 2 Portvakten

7.1.2 Fönsteranslutning

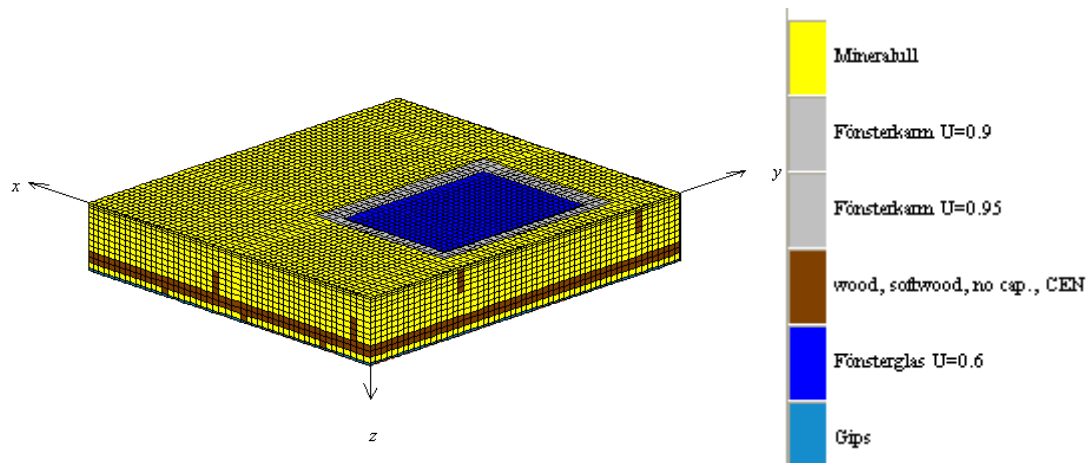
Endast en grov modell görs av fönstret med indelning i fönsterglas och fönsterkarm, inklusive båge, eftersom det är anslutningen till väggen som framförallt studeras. Fönsterkarmarna modelleras alltså utan detaljer. Distansköldbryggan tas inte med i simuleringarna eftersom den annars måste räknas bort vid köldbryggsberäkning, se beräkningar i bilaga 4. Fönsterkarmarna har olika U-värden beroende på om placeringen är vid sidan, över eller under glaset. Valet av vilken fönsterkarm som ska dras ända ut till intilliggande regel i modellen görs utifrån vilket som är värsta fall. Alltså av de två fönsterkarmar som möts i ett hörn dras den fönsterkarm med högst U-värde ut till intilliggande regel i modellen.

Fönsteranslutningen som valts att studera har den mest förekommande fönsterstorleken i Portvakten. Placeringen, nära ett annat fönster, är även vanligt förekommande i Portvakten. Avståndet från fönstret och ut till randen av modellen har baserats på Portvaktens utformning och valts till:

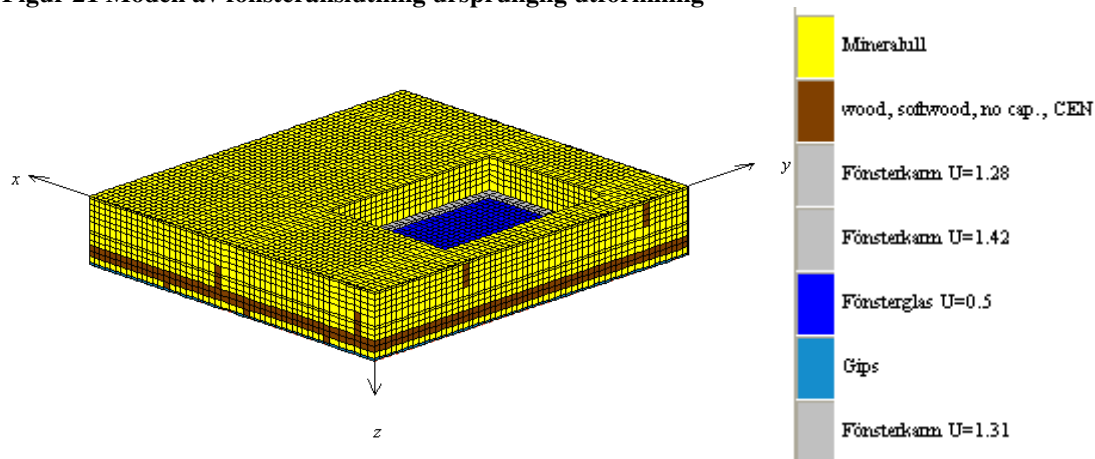
- Halva avståndet till nästa fönster, på grund av symmetrin sker inget flöde genom randen
- Hela avståndet till nästa vertikala regel på den sida där det inte finns ett intilliggande fönster
- Hela avståndet till övre horisontella regel
- Hela avståndet till undre horisontella regel

Flödet genom alla dessa ränder sätts till noll.

I figur 21 ses HEAT3-modellen för den ursprungliga utformningen av Portvakten, snett utifrån, utan utvändig karmisolering, med ursprunglig fönsterplacering och med ursprungligt fönster. I figur 22 ses HEAT3-modellen för den nya utformningen av Portvakten, snett utifrån, med utvändig karmisolering, med ny fönsterplacering och med nytt fönster.



Figur 21 Modell av fönsteranslutning ursprunglig utformning



Figur 22 Modell av fönsteranslutning ny utformning

Fönsterkarmens djup är 105 mm och fönsterbågens djup är 67 mm på det fönster som användes i Portvakten¹. Eftersom vi inte vet höjden på karmen respektive bågen används

¹ NorDan. NorDan NTech Villa 105/67 Sash. NorDan, Moi.

medelvärde av djupet för karm och båge 86 mm som höjd i modellen. För bild på anslutningen mellan fönster och vägg se figur 17 i kapitel 6.1.7.

Det nya fönstrets karmdjup är 104 mm och fönsterbågens djup ser på de ritningar vi fått ut att också vara 104 mm, bara lite förskjutet inåt¹, se figur 19 i kapitel 6.3.2. Därför antas att 104 mm kan användas som djup på både fönsterkarm och båge.

Vid simuleringen av den utvändiga karmisoleringen antas följande andelar av fönsterkarmen vara isolerad:

- Övre 50 %
- Sidor 50 %
- Undre 25 %

Anledningen att den undre karmen isoleras mindre är att det ska finnas plats för fönsterbleck. Ett annat antagande som görs är att utvändigt isolering av fönsterkarm görs med ett material med samma λ -värde som mineralullen, 0,037 W/(m·K). Ursprunglig placering av fönster i djupled lämnar inte så mycket plats till utvändigt karmisolering. Därför läggs endast utvändigt karmisolering in i simuleringar med ny fönsterplacering i djupled. Skivor som täcker utvändigt karmisolering försummas. Vid simuleringen av inflyttat fönster i djupled placeras fönstret precis utanför det bärande massivträet.

Befintlig materiallista i HEAT har använts, men för nytt material som läggs in i HEAT sätts värmekapaciteten till 1. Detta går bra eftersom värmekapaciteten inte tas hänsyn till i stationära beräkningar som görs i detta examensarbete. λ -värde för den yttre väggboarden i Portvaktens vägg antas vara som mineralullen: $\lambda = 0,037$ W/(m·K).

U-värdet är givet för karm och glas var för sig i informationen om fönstren. För att kunna lägga in fönsterdelarna i HEAT måste U-värdet räknas om till ett λ -värde utan övergångsmotståndet i luften inräknat eftersom det tas med automatiskt i HEAT. Därför måste luftens övergångsmotstånd räknas bort först. För beräkningar, se bilaga 4.

Övriga antaganden till HEAT3-modellerna är:

- Inlagda mått på fönstren i alla modeller i HEAT3 är 1x1,3 m
- Avståndet från karmens ytterkant till fönsterglasets ytterkant har satts till 20 mm i alla HEAT3-beräkningar
- Plastfolie är inte inlagd eftersom den kan försummas vid termiska beräkningar

¹ Energate, 2008. Energate 1042 – Spara energi på naturlig väg. <http://www.energate.com/index.php?id=43&L=6> (2010-09-03)

7.1.3 Sned fönstersmyg Portvakten

Figurer 17-18 i kapitel 6.1.7 visar skillnaderna mellan rak och sned fönstersmyg.

Den inre 45x45-regeln flyttas så att den är placerad längst in mot fönstersmygen även i simuleringen med raka fönstersmygar för att få mer jämförbara resultat.

Eftersom det antas att det inte sker något flöde över symmetrilinjen på mitten av fönstret så avslutas modellen 0,5 m från fönsterinfästningen.

7.2 Energianvändning och uppfyllande av passivhuskrav

Nedan redovisas antaganden i PHPP som berör skillnader mellan svensk och tysk standard generellt och skillnader mellan svenska och internationella kravkriterier för passivhus. Dessutom redovisas skillnader mellan Portvakten som det är byggt och Portvakten med bästa utformning baserad på variabelstudien av fönsteranslutningarna. Rubrikerna på flikarna i PHPP har använts som underrubriker i detta kapitel för att det ska vara lätt att följa. Övriga antaganden och kommentarer redovisas i bilagor tillsammans med skärmdumpar av flikarna i PHPP för hur Portvakten är byggt. I antaganden utgår från vad som krävs för verifiering enligt PHI vilket ofta finns förinställt i PHPP.

Generella skillnader är att begrepp som omslutningsvolym och nettoluftvolym för provtryckning inte används i Sverige. Vid provtryckning i Sverige relateras till klimatskalets area. Skillnad finns även i hur längder för köldbryggor och areor tas fram. För köldbryggor används i Sverige invändiga mått och i Tyskland utvändiga mått, se kapitel 3.1.1. I Sverige används A_{temp} och i Tyskland används en referensarea som relaterar till boarean. För beräkning av referensarea, se bilaga 4.

7.2.1 Verifiering

7.2.1.1 Inomhustemperatur

Följande val kan göras:

- PHPP¹ 20°C
- FEBY² 20°C för värmeeffektbehovsberäkning
22°C för energibehovsberäkning
- SVEBY³ 21°C

Inomhustemperaturen väljs till 20°C enligt standard i PHPP. De boende i Portvakten kan välja 17-21°C⁴. Enligt CEPHEUS undersökningar av befintliga passivhus var medelinomhustemperaturen 21,4°C⁵. Därför används dessa temperaturer för parameterstudien av val av inomhustemperatur i PHPP.

1 Passivhaus Institut. PHPP 2007: Passive House Planning Package 2007 Manual + CD-Rom – Other languages. <http://www.passivehouse.com/> (2010-08-19)

2 Erlandsson M, Ruud S, Sandberg E, Wall M, Eek H och Wahlström Å, 2009. FEBY Kravspecifikation för Passivhus. Version 2009. LTH rapport EBD-R--09/25, IVL rapport nr A1592. ATON rapport 0902. Forum för Energieffektiva Byggnader.

3 Sveby, 2009. Brukarindata för energiberäkningar i bostäder. Sveby, Stockholm.

4 Kildsgaard I och Prejer E, 2010. Framtidens trähus – energieffektiva med god innemiljö. Framtidens trähus – SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

5 Schnieders J, 2003. CEPHEUS – measurement results from more than 100 dwelling units in passive houses. Passivhaus Institut, Darmstadt.

7.2.1.2 Antal personer

Följande val kan göras:

- PHPP:s verifieringskrav¹ 63,5 personer
 - Baseras på antagande om en boarea på 35 m²/person
- FEBY² 55,5 personer
 - Baseras på antagande om att 1,5 personer bor i 2 rum och kök och att 2 personer bor i 3 rum och kök
 - Motsvarar 40 m²/person
- SVEBY³ 60,4 personer
 - Baseras på antagande om att 1,63 personer bor i 2 rum och kök och att 2,18 personer bor i 3 rum och kök
 - Motsvarar 36,8 m²/person

Antal personer väljs till 63,5 personer enligt verifieringskrav i PHPP. Skillnaderna innebär att schablonvärden i Tyskland ger en större boendetäthet än i Sverige och/eller att vi i Sverige bygger större lägenheter. Antal personer påverkar tilluftsbehovet och beräkningen av elanvändning. Energibehovet för uppvärmning styrs dock inte av antalet personer eftersom tilluftsbehov i vårt fall blir mindre än frånluftsbehovet och balanserad ventilation används. Därför görs ingen variabelstudie av antal personer.

7.2.1.3 Interna värmestillskott

Följande val kan göras:

- PHPP¹ 2,1 W/m²
- FEBY² 4 W/m²

Interna värmestillskott väljs till 2,1 W/m² enligt standard för bostäder i PHPP. Vid effektbehovsberäkning används 1,6 W/m² enligt standard för bostäder i PHPP. Skillnaden beror på att enligt PHI:s kriterier inräknas att de boende inte alltid är hemma. Anledningen till att FEBY:s värde är så mycket större beror på att solvärmestillskottet inkluderas, vilket räknas separat i PHPP.

1 Passivhaus Institut. PHPP 2007: Passive House Planning Package 2007 Manual + CD-Rom – Other languages.
<http://www.passivehouse.com/> (2010-08-19)

2 Erlandsson M, Ruud S, Sandberg E, Wall M, Eek H och Wahlström Å, 2009. FEBY Kravspecifikation för Passivhus. Version 2009. LTH rapport EBD-R--09/25, IVL rapport nr A1592. ATON rapport 0902. Forum för Energieffektiva Byggnader.

3 Sveby, 2009. Brukarindata för energiberäkningar i bostäder. Sveby, Stockholm.

7.2.2 Fönstertyp

Tabell 12 Jämförelse av indata för glas

Glas	g-värde	U _g -värde [W/(m ² ·K)]
Safir 6132 m/ES/Kr/TGI 7035 ¹	0,31	0,5
Häußler Passiv Therm ²	0,51	0,6

Tabell 13 Jämförelse av indata för karm

Karm	U _f -värde karm [W/(m ² ·K)]	Bredd vänster [m]	Bredd höger [m]	Bredd uppe [m]	Bredd nere [m]	Ψ _{distans} [W/(m·K)]	Ψ _{montering} [W/(m·K)]
NorDan Villa Toppsving ¹	1,33	0,103	0,103	0,104	0,106	0,040	0,045
Energate 1042 ²	0,91	0,117	0,117	0,117	0,117	0,028	-0,004

U-värdena för karmarna antas till medelvärdet av de olika karmdelarnas U-värden. Köldbryggsvärden för distansen antas till givna ψ-värden och monteringen antas till framräknade ψ-värden. Den utvändiga karmisoleringen antas inte påverka mer än att minska monteringsköldbryggan.

7.2.3 Skuggning

Följande val kan göras för total avskärmningsfaktor:

- PHPP³ <0,75
- SVEBY⁴ 0,5

För fast eller rörlig solavskärmning kan en solavskärmningsfaktor på 0,71 antas⁴, men eftersom ingen finns i Portvakten antas ingen avskärmning från solavskärmning. Skuggning från skuggande objekt, exempelvis andra byggnader, balkonger, fönstersmyg och fönsterutsprång matas dock in. I PHPP antas utöver skuggning en solavskärmningsfaktor på 0,95 för smuts och 0,85 för ej lodrät instrålning⁵. Med angiven skuggning fås, bortsett från i öster, en totalt sett högre solavskärmningsfaktor i PHPP än den totala solavskärmningsfaktor som kan antas enligt PHPP och SVEBY.

1 NorDan. NorDan NTech Villa 105/67 Sash. NorDan, Moi.

2 Energate, 2008. Energate 1042 – Spara energi på naturlig väg. <http://www.energate.com/index.php?id=43&L=6> (2010-09-03)

3 Feist W, Pfluger R, Kaufmann B, Schnieders J och Kah O, 2007. Passivhus projekteringspaket 2007 – PHPP 2007 – Krav på kvalitetskontrollerade passivhus. PHI-2007/1(SE). Svensk redaktör: Hans Eek. Passivhaus Institut, Darmstadt.

4 Sveby, 2009. Brukarindata för energiberäkningar i bostäder. Sveby, Stockholm.

5 Feist W, Pfluger R, Kaufmann B, Schnieders J och Kah O, 2007. Passivhus projekteringspaket 2007 – PHPP 2007 – Krav på kvalitetskontrollerade passivhus. PHI-2007/1(SE). Svensk redaktör: Hans Eek. Passivhaus Institut, Darmstadt.

Fönstersmygens djup och utsprångets djup antas till:

- Ursprunglig placering¹ 75 mm
- Ny placering 311 mm

Avstånd glaskant – smyg och avstånd från övre glaskant till utsprång antas till:

- Ursprungligt fönster¹ 100 mm
- Nytt fönster 117 mm

Gäller ej för balkongdörrar där avstånd från övre glaskant till utsprång antas till 91 mm enligt ritning för Portvakten². Den utvändiga karmisoleringen antas inte påverka skuggningen.

7.2.4 Ventilation

7.2.4.1 Värmeåtervinning

Följande antaganden görs för värmeåtervinningsgraden (effektiv):

- Portvakten 73 %
 - Enligt produktblad är värmeåtervinningsgraden 85 %² och avdrag på 12 % ska enligt PHPP-manualen göras på icke certifierade aggregat³

Avloppsvärmeväxlaren som förvärmer inkommande vatten som ska bli varmvatten för Portvakten ska enligt Framtidens trähus kunna återvinna 1000-1500 kWh per lägenhet och år². Detta minskar alltså totalt energibehov, men inte specifikt värmeenergiebehov där uppvärmning av varmvatten inte är inräknat.

7.2.4.2 Infiltrationsluftomsättning

Följande antaganden görs:

- Portvakten $n_{50} = 0,283$ oms/h
 - Baseras på att uppmätt infiltrationsluftflöde i Portvakten vid provtryckning var $q_{50} = 0,19$ l/(s·m²), vilket motsvarar $n_{50} = 0,283$ oms/h²

Skillnad finns alltså i hur läckflödet anges. Enligt tysk standard relateras läckflödets volymflöde n_{50} , angett i m³/h, till nettoluftsvolymen V_{n50} och enligt svensk standard relateras läckflödets volymflöde q_{50} , angett i l/s, till klimatskalets area A_{skal} . Omräkning sker enligt följande formel: $n_{50} = q_{50} \cdot 3,6 \cdot A_{skal} / V_{n50}$. Klimatskalets area A_{skal} är 2502 m² och nettoluftvolymen V_{n50} är 6044 m³, vilket antas till fri golvarea i lägenheter och trapphus multiplicerat med takhöjden och antal våningar eftersom hela huset provtrycktes. För beräkning av nettoluftvolymen, se bilaga 4.

1 Tyréns AB

2 Kildsgaard I och Prejer E, 2010. Framtidens trähus – energieffektiva med god inommiljö. Framtidens trähus – SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

3 Feist W, Pfluger R, Kaufmann B, Schnieders J och Kah O, 2007. Passivhus projekteringspaket 2007 – PHPP 2007 – Krav på kvalitetskontrollerade passivhus. PHI-2007/1(SE). Svensk redaktör: Hans Eek. Passivhaus Institut, Darmstadt.

7.2.4.3 Infiltration

I PHPP tas infiltration hänsyn till genom två vindskyddskoefficienter som är beroende av avskärmningen av byggnaden från vind samt om byggnaden påverkas av vind från flera sidor. Med en balanserad ventilation används vindskyddskoefficienten e för att skala om luftomsättningen vid provtryckningen till en infiltrationsluftomsättning. f tar hänsyn till om flera sidor påverkas¹. Dessa faktorer är desamma enligt svensk standard². Vindskyddskoefficienten e antas till 0,07 och f till 15 på grund av måttlig avskärmning och påverkan från flera sidor. För värmeeffektberäkningen ökas dock vindskyddskoefficienten med en faktor 2,5 i PHPP för att ta hänsyn till värsta fall en blåsig dag.¹

Enligt SVEBY bör de boendes vädringsvanor även tas hänsyn till genom påslag. De föreslår ett schablonpåslag på den specifika energianvändningen på 4 kWh/(m²·år). Det kan dock även göras enligt SVEBY genom att anta ett större läckflöde för tryckprovningresultatet eller genom att anta ett större fläktstyrt luftflöde i beräkningsprogrammet (5 l/s per lägenhet).³ Detta påslag görs dock inte eftersom vi följer PHPP:s standard.

7.2.4.4 Tilluftsbehov

Följande schablonvärden för bostäder kan antas:

- PHPP⁴ 30 m³/(h·person) (minst 0,3 oms/h)
- FEBY⁵/SVEBY⁶ 0,35 l/(s·m²)

Tilluftsbehovet väljs till 30 m³/(h·person) enligt standard i PHPP för bostäder. Tilluftsbehovet påverkas alltså av antalet personer med PHPP:s sätt att räkna. Ju fler personer desto större blir tilluftsbehovet. Oavsett val av antal personer når inte tilluftsbehovet framräknat med PHPP:s schablonvärde upp till den svenska standarden. Med 63,5 personer fås ett tilluftsbehov enligt tyska standarden på 1904 m³/h. Med svensk standard fås ett tilluftsbehov på 777,5 l/s då golvarean är 2221,4 m². Det motsvarar 2799 m³/h. Det är nästintill en faktor 1,5 jämfört med värdet enligt tysk standard. Lägre tilluftsbehov kan om frånluftsbehovet även blir lägre innebära lägre energibehov för ventilationssystemet. Tilluftsbehovet blir dock inte dimensionerande i det här fallet.

7.2.4.5 Frånluftsbehov

Följande schablonvärden kan antas:

- PHPP¹
 - Kök 60 m³/h
 - Badrum 40 m³/h

1 Feist W, Pfluger R, Kaufmann B, Schnieders J och Kah O, 2007. Passivhus projekteringspaket 2007 – PHPP 2007 – Krav på kvalitetskontrollerade passivhus. PHI-2007/1(SE). Svensk redaktör: Hans Eek. Passivhaus Institut, Darmstadt.

2 Erlandsson M, Ruud S, Sandberg E, Wall M, Eek H och Wahlström Å, 2009. FEBY Kravspecifikation för Passivhus. Version 2009. LTH rapport EBD-R--09/25, IVL rapport nr A1592. ATON rapport 0902. Forum för Energieffektiva Byggnader.

3 Sveby, 2009. Brukarindata för energiberäkningar i bostäder. Sveby, Stockholm.

4 Feist W, Pfluger R, Kaufmann B, Schnieders J och Kah O, 2007. Passivhus projekteringspaket 2007 – PHPP 2007 – Krav på kvalitetskontrollerade passivhus. PHI-2007/1(SE). Svensk redaktör: Hans Eek. Passivhaus Institut, Darmstadt.

5 Erlandsson M, Ruud S, Sandberg E, Wall M, Eek H och Wahlström Å, 2009. FEBY Kravspecifikation för Passivhus. Version 2009. LTH rapport EBD-R--09/25, IVL rapport nr A1592. ATON rapport 0902. Forum för Energieffektiva Byggnader.

6 Sveby, 2009. Brukarindata för energiberäkningar i bostäder. Sveby, Stockholm.

- SVEBY¹
 - Kök 10 l/s
 - Forcering 30 minuter per dag
 - Badrum 10 l/s
 - Forcering till 15 l/s eller 30 l/s
 - Om golvarean är större än 5 m² bör minsta frånluftsflöde ökas med 1 l/(s·m²)

PHPP:s schablonvärden resulterar i ett totalt frånluftsbehov på 3200 m³/h. I lägenheterna på 2 rum och kök är badrummen 6 m² (förutom en lägenhet med ett badrum på 7,8 m²) och i lägenheter på 3 rum och kök är badrummen 7,8 m². Det innebär 11 l/s för de 16 lägenheter med 6 m² badrum och 12,8 l/s för de 16 lägenheter med 7,8 m² badrum enligt den svenska standarden. För Portvakten resulterar det i ett totalt frånluftsbehov (utan forcering) på 700,8 l/s, vilket motsvarar 2523 m³/h. Om en forcering till 15 l/s antas i kök och badrum fås ett totalt frånluftsbehov på 960 l/s, vilket motsvarar 3456 m³/h.

Luftflödet dimensionerades till 848 l/s för Portvakten, 25 l/s för de mindre lägenheterna och 28 l/s för de större lägenheterna², vilket motsvarar 3053 m³/h. Vid frånluftsforcering av köksventilationen kan det ökas upp till 45 l/s respektive 48 l/s per lägenhet enligt Tommy Wesslund. Om vi antar att köksfläkten används samtidigt i alla lägenheterna fås ett maximalt luftflöde på 45·16+48·16=1488 l/s, vilket motsvarar 5357 m³/h. Detta maxflöde antas gälla en halvtimme per dygn i enlighet med SVEBY:s rekommendationer. $q_{\text{innan forcering}} / q_{\text{efter forcering}} = 3053 / 5357 = 0,57$ anges som faktor för standardventilationen som antas gälla resten av dygnet.

Genomsnittliga luftomsättningen understiger frånluftsbehovet framräknat av PHPP på 3200 m³/h. Vi utgår dock ifrån dimensionerade värde 3053 m³/h enligt ovan.

7.2.5 Effektbehov

7.2.5.1 Dimensionerande utomhustemperaturer

Följande värden kan antas:

- PHPP³
 - -13,2°C en klar dag
 - -7,9°C en mulen dag

1 Sveby, 2009. Brukarindata för energiberäkningar i bostäder. Sveby, Stockholm.

2 Kildsgaard I och Prejer E, 2010. Framtidens trähus – energieffektiva med god inomhusmiljö. Framtidens trähus – SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

3 Feist W, Pfluger R, Kaufmann B, Schnieders J och Kah O, 2007. Passivhus projekteringspaket 2007 – PHPP 2007 – Krav på kvalitetskontrollerade passivhus. PHI-2007/1(SE). Svensk redaktör: Hans Eek. Passivhaus Institut, Darmstadt.

- FEBY¹
 - DUT₂₀, -8,5°C, för värmeeffektbehovsberäkning (tidskonstant 300 h)
 - Aktuellt utomhusklimat vid energibehovsberäkning

Dimensionerande utomhustemperaturer väljs till -13,2°C en klar dag och -7,9°C en mulen dag enligt klimatdata i PHPP.

7.2.5.2 Max tilluftstemperatur

Följande värden antas:

- Portvakten 50°C
 - Baseras på uppgifter från Tommy Wesslund om att maximal tilluftstemperatur är 18°C för stora värmebatteriet och 50°C för lägenhetsbatterierna, därför väljs 50°C

7.2.6 Sommar

Följande val kan göras för övertemperaturgränsen:

- PHPP² 25°C
- FEBY¹ 26°C

Övertemperaturgränsen antas till 25°C enligt standard i PHPP.

7.2.7 Klimatdata

Kalmar väljs som klimatregion i enlighet med NCC:s energiberäkningar eftersom klimatdata för Växjö saknas i PHPP. För anpassning av klimatdata till Växjös klimat ändras höjd över havet till 170 m utifrån topografisk karta från SGU eftersom utomhustemperaturen påverkas av höjden över havet.

¹ Erlandsson M, Ruud S, Sandberg E, Wall M, Eek H och Wahlström Å, 2009. FEBY Kravspecifikation för Passivhus. Version 2009. LTH rapport EBD-R--09/25, IVL rapport nr A1592. ATON rapport 0902. Forum för Energieffektiva Byggnader.

² Feist W, Pfluger R, Kaufmann B, Schnieders J och Kah O, 2007. Passivhus projekteringspaket 2007 – PHPP 2007 – Krav på kvalitetskontrollerade passivhus. PHI-2007/1(SE). Svensk redaktör: Hans Eek. Passivhaus Institut, Darmstadt.

8 Resultat och analys

8.1 Anslutningar

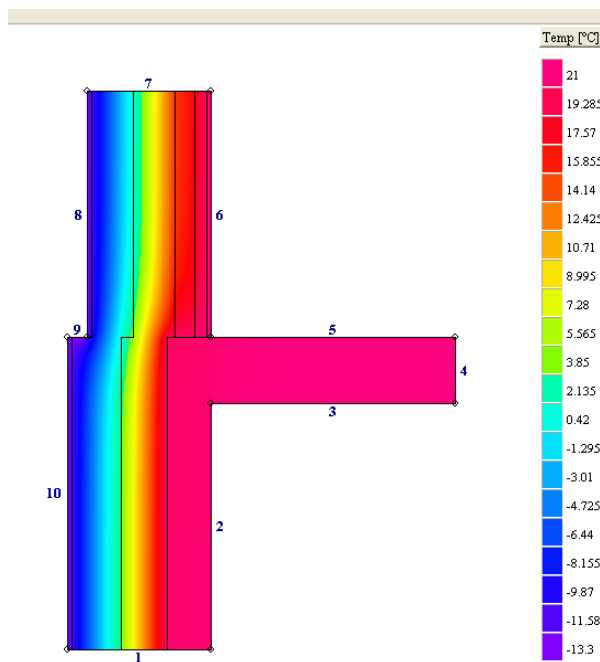
8.1.1 Anslutning mellanbjälklag i betong mellan plan 1 och 2

För Portvakten fås följande resultat:

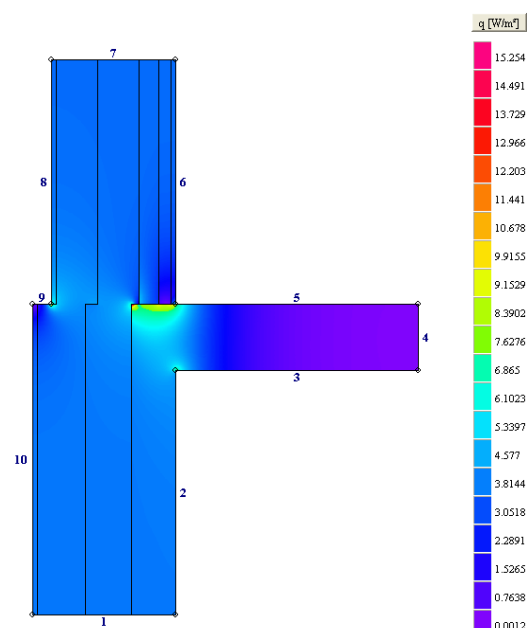
I HEAT2 fås att ψ -värdet för anslutningen är 0,0056 W/(m·K). Omräknat i PHPP till utvändigt övre och undre ψ -värde fås -0,011 W/(m·K) respektive -0,012 W/(m·K). Medelvärdet -0,0115 W/(m·K) används därför i PHPP.

Om inomhustemperaturen antas till 21°C och utomhustemperatur till -13,3°C fås lägsta yttemperatur till 20,4°C på golvet i simuleringen av Portvaktens anslutning. Temperaturdifferensen mellan fötter och huvud är därmed 0,6°C och ligger gott och väl under komfortgränsen 3°C.

I figur 23 visas temperaturbilder och i figur 24 flödet med inomhustemperaturen antagen till 21°C och utomhustemperatur till -13,3°C.



Figur 23 Temperaturbild Portvakten



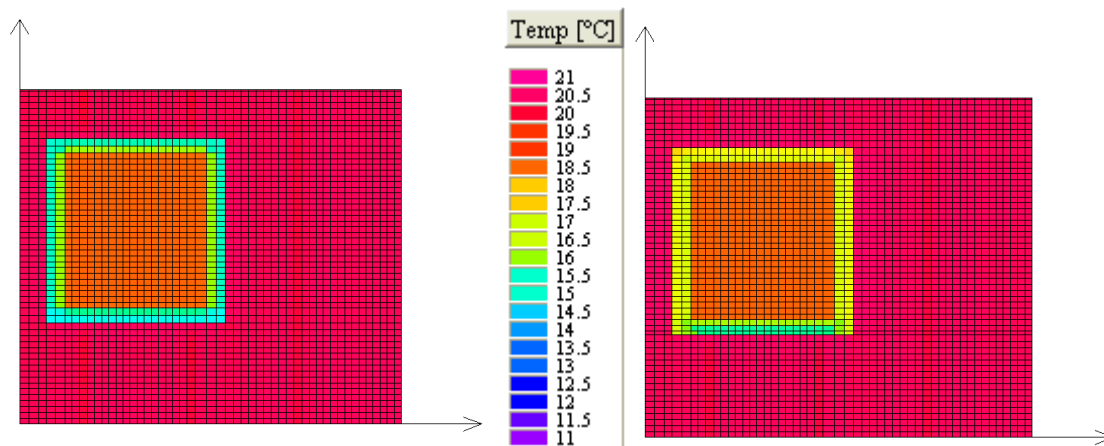
Figur 24 Flödesbild Portvakten

8.1.2 Fönsteranslutning

Beräkningar för att få fram monteringsköldbryggan från resultaten i HEAT3 kan ses i bilaga 4.

För varje jämförelse gråmarkeras i tabellen förändrad variabel.

8.1.2.1 Utvändig karmisolering

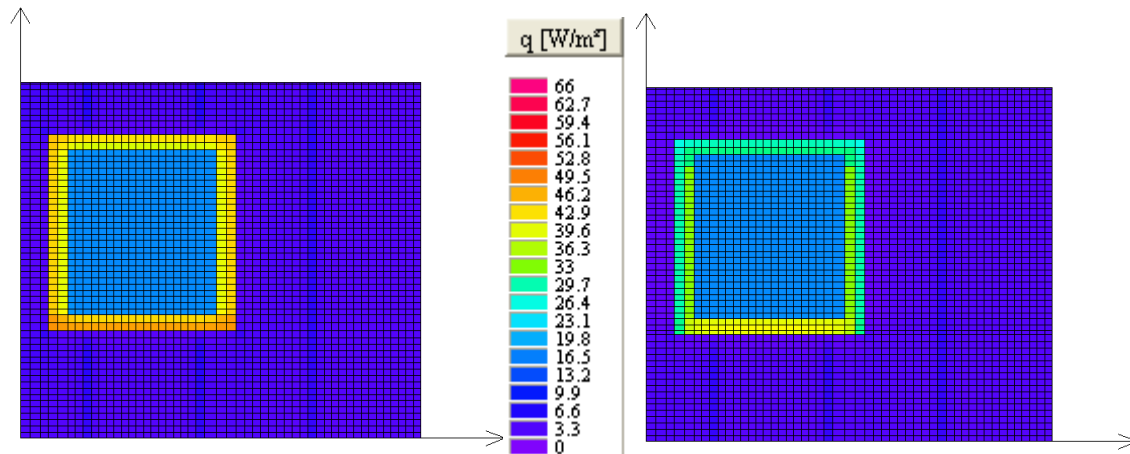


Figurer 25-26 Bilder på invändiga temperaturer

Utvändig karmisolering: Utan
Fönster: Ursprungligt
Fönsterplacering: Ny

Utvändig karmisolering: Med
Fönster: Ursprungligt
Fönsterplacering: Ny

Fördelningen av de invändiga yttemperaturerna blir olika beroende på om karmen isoleras utvändigt eller inte. Utan utvändig karmisolering är det lika låg yttemperatur hela vägen runt fönstret. Med utvändig karmisolering är det högre yttemperatur på övre karmen och lägst yttemperatur på nedre. Den nedre karmen har en lägre andel utvändig isolering för att det ska finnas plats för fönsterbleck vilket förklarar varför yttemperaturen är lägre där. Lägsta yttemperaturen i båda simuleringarna blir ungefär 15°C.



Figurer 27-28 Flödesbilder

Utvändig karmisolering: Utan
Fönster: Ursprungligt
Fönsterplacering: Ny

Utvändig karmisolering: Med
Fönster: Ursprungligt
Fönsterplacering: Ny

På dessa bilder syns det tydligt att i simuleringen med utvändig karmisolering är den nedre karmen den svaga länken. I simuleringen med utvändig karmisolering har den delen av karmen som är närmast fönsterglas ett större flöde än den delen som är närmast väggen. Detta beror på att den delen av karmen som är närmast väggen är isolerad på utsidan i den simuleringen.

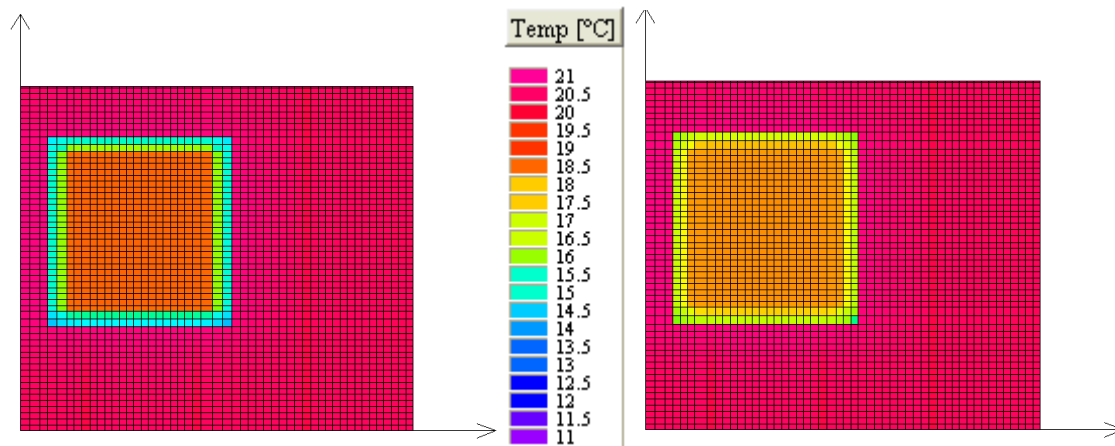
I simuleringen utan utvändigt karmisolering är nedre karmen och hörnen de svaga länkarna. Delarna av karmen närmast väggen har ett högre flöde än delarna närmast fönsterglaset i simuleringen utan utvändigt karmisolering.

Tabell 14 Köldbryggor

Utvändig karmisolering	Utan	Med
Fönster	Ursprungligt	Ursprungligt
Fönsterplacering	Ny	Ny
$\Psi_{\text{montering}}$ [W/(m ² ·K)]	0,042	-0,004

Monteringsköldbryggan med utvändigt karmisolering blir mindre än utan utvändigt karmisolering.

8.1.2.2 Fönster

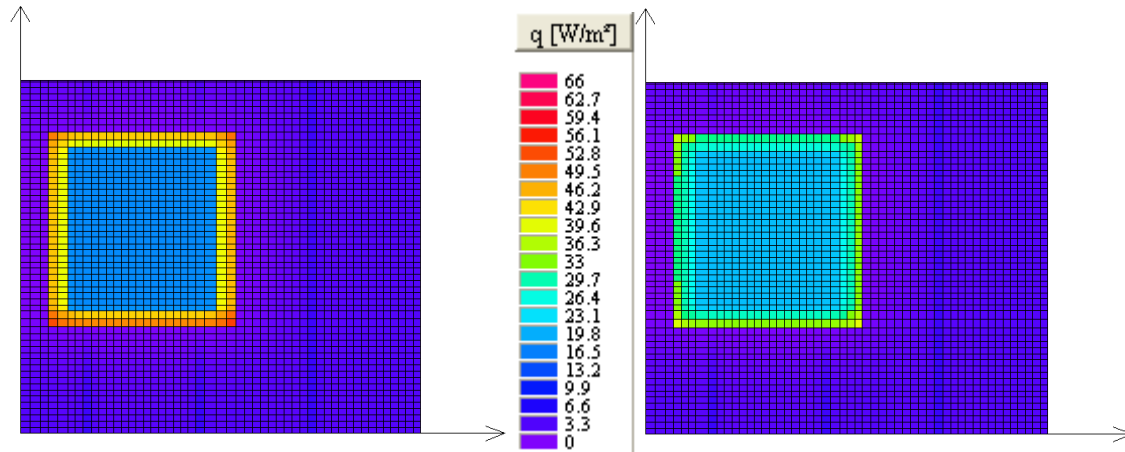


Figurer 29-30 Bilder på invändiga temperaturer

Utvändig karmisolering: Utan
 Fönster: Ursprungligt
 Fönsterplacering: Ursprunglig

Utvändig karmisolering: Utan
 Fönster: Nytt
 Fönsterplacering: Ursprunglig

Simuleringen med ursprungligt fönster ger kallare invändiga ytemperaturer. Det blir ungefär 15°C runt hela fönstret. Den lägsta ytemperaturen blir i nedre högra hörnet 14,5°C. Simuleringen med nytt fönster ger ungefär 16°C runt hela fönstret. Den lägsta ytemperaturen blir i nedre högra hörnet 15,5°C. Det blir alltså ungefär 1°C skillnad på grund av byte av fönster i simuleringen, men det blir ungefär samma fördelning av temperaturen.



Figurer 31-32 Flödesbilder

Utvändig karmisolering: Utan
 Fönster: Ursprungligt
 Fönsterplacering: Ursprunglig

Utvändig karmisolering: Utan
 Fönster: Nytt
 Fönsterplacering: Ursprunglig

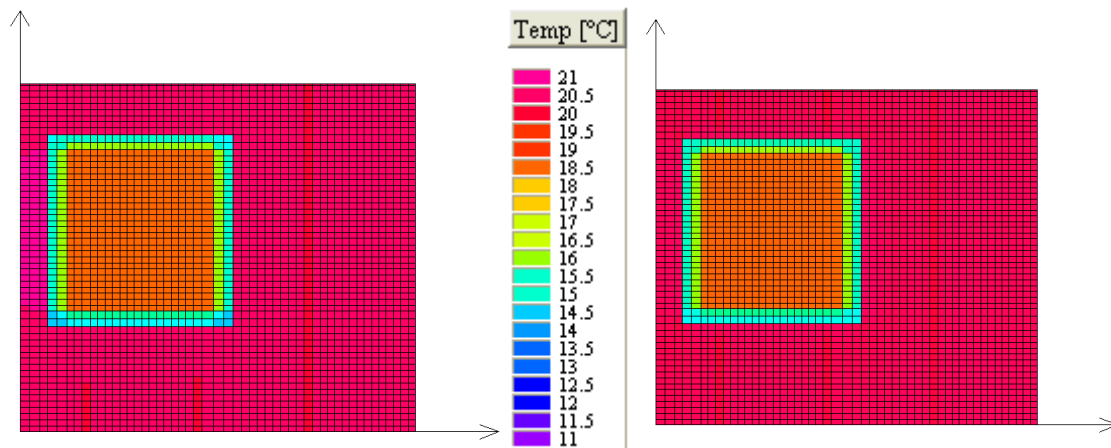
På dessa flödesbilder ses att simuleringen med ursprungligt fönster ger ett större flöde. De svaga länkarna är desamma, hörn och nedre karm, oavsett fönsterval. Anledningen att glaset i ursprungligt fönster har ett lägre flöde är att U-värdet för glasdelen är högre för nytt fönster.

Tabell 15 Köldbryggor

Utvändig karmisolering	Utan	Utan
Fönster	Ursprungligt	Nytt
Fönsterplacering	Ursprunglig	Ursprunglig
$\Psi_{\text{montering}}$ [W/(m·K)]	0,045	0,036

Monteringsköldbryggan med nytt fönster blir 1,25 gånger mindre än med ursprungligt fönster. Detta kan bero på att karmarna är olika djupa. Fönsterkarmen är 86 mm djup i ursprungligt fönster och fönsterkarmen är 104 mm djup i nytt fönster.

8.1.2.3 Fönsterplacering

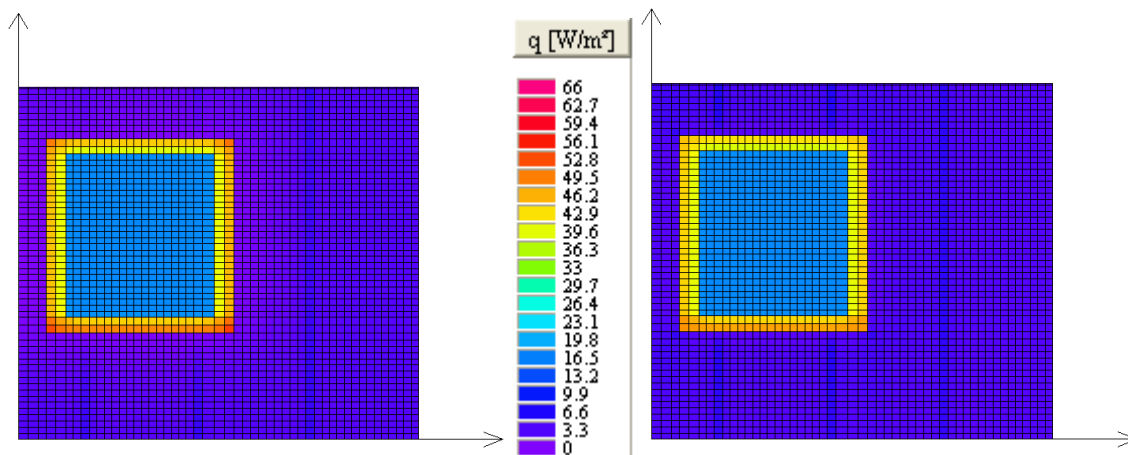


Figurer 33-34 Bilder på invändiga temperaturer

Utvändig karmisolering: Utan
Fönster: Ursprungligt
Fönsterplacering: Ursprunglig

Utvändig karmisolering: Utan
Fönster: Ursprungligt
Fönsterplacering: Ny

Det blir ingen större skillnad på de invändiga yttemperaturerna när fönsterplaceringen ändras med ursprungligt fönster.



Figurer 35-36 Flödesbilder

Utvändig karmisolering: Utan
Fönster: Ursprungligt
Fönsterplacering: Ursprunglig

Utvändig karmisolering: Utan
Fönster: Ursprungligt
Fönsterplacering: Ny

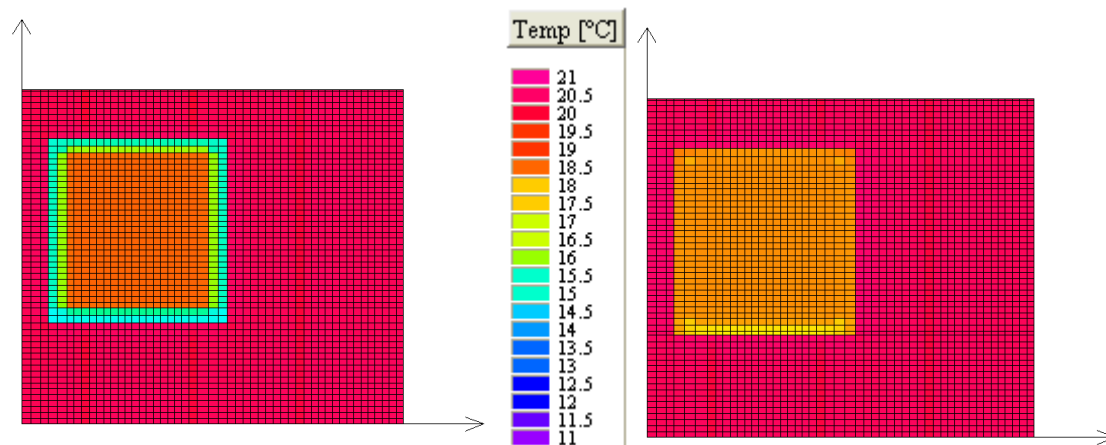
På dessa flödesbilder ses att de svaga länkarna, hörn och nedre karm, är desamma oavsett placering. Flödena blir dock olika stora, störst för ursprunglig placering.

Tabell 16 Köldbryggor

Utvändig karmisolering	Utan	Utan
Fönster	Ursprungligt	Ursprungligt
Fönsterplacering	Ursprunglig	Ny
$\Psi_{\text{montering}}$ [W/(m ² ·K)]	0,045	0,042

Monteringsköldbryggan med ny fönsterplacering blir 1,07 gånger mindre än ursprunglig fönsterplacering. Det blir inte så stor skillnad om bättre fönster används i båda simuleringarna för variabelstudien av fönsterplacering vilket kan ses i den slutliga tabellen i kapitel 8.1.2.7.

8.1.2.4 Synergieffekter av utvändig karmisolering och fönster

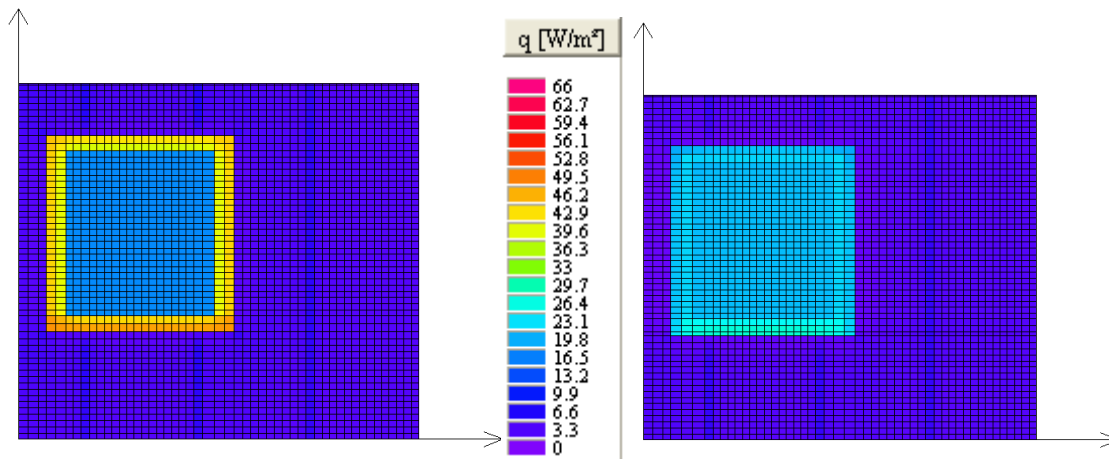


Figurer 37-38 Bilder på invändiga temperaturer

Utvändig karmisolering: Utan
 Fönster: Ursprungligt
 Fönsterplacering: Ny

Utvändig karmisolering: Med
 Fönster: Nytt
 Fönsterplacering: Ny

Tillsammans gör utvändig karmisolering och fönster relativt stor skillnad på de invändiga ytemperaturerna. Utan utvändig karmisolering och med ursprungligt fönster blir det ungefär 15°C runt hela fönstret. Med utvändig karmisolering och nytt fönster blir det ungefär 17°C som lägst, längs den nedre karmen. De invändiga ytemperaturerna för de andra karmdelarna blir uppemot 18°C, samma som för fönsterglaslet.



Figurer 39-40 Flödesbilder

Utvändig karmisolering: Utan
 Fönster: Ursprungligt
 Fönsterplacering: Ny

Utvändig karmisolering: Med
 Fönster: Nytt
 Fönsterplacering: Ny

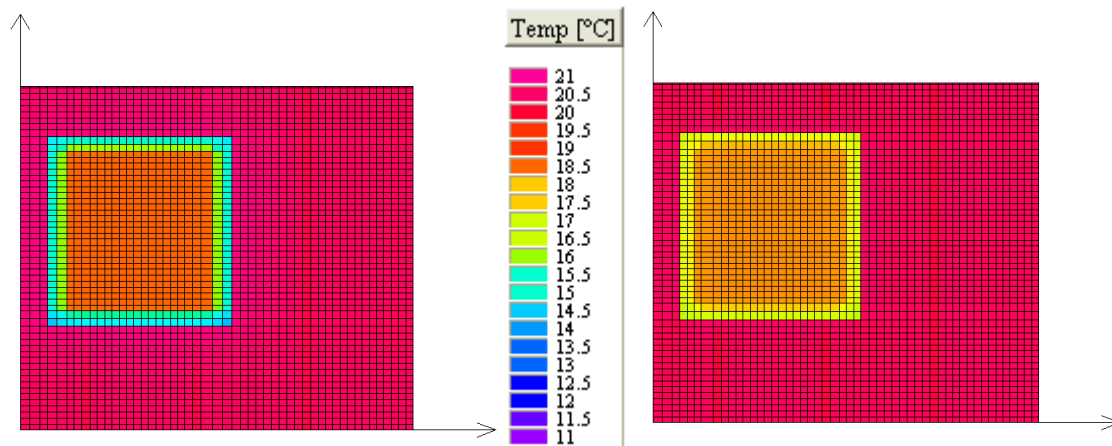
Dessa flödesbilder visar både vilka de svaga länkarna är och att flödesmängden i de svaga länkarna skiljer simuleringarna åt. Vilka de svaga länkarna är beror enligt tidigare simuleringar på utvändig karmisolering. Flödesmängden beror på fönsterval enligt tidigare simuleringar.

Tabell 17 Köldbryggor

Utvändig karmisolering	Utan	Med
Fönster	Ursprungligt	Nytt
Fönsterplacering	Ny	Ny
$\Psi_{\text{montering}}$ [W/(m·K)]	0,042	-0,004

Monteringsköldbryggan med utvändig karmisolering och nytt fönster blir mindre än utan utvändig karmisolering och med ursprungligt fönster.

8.1.2.5 Synergieffekter av fönster och fönsterplacering

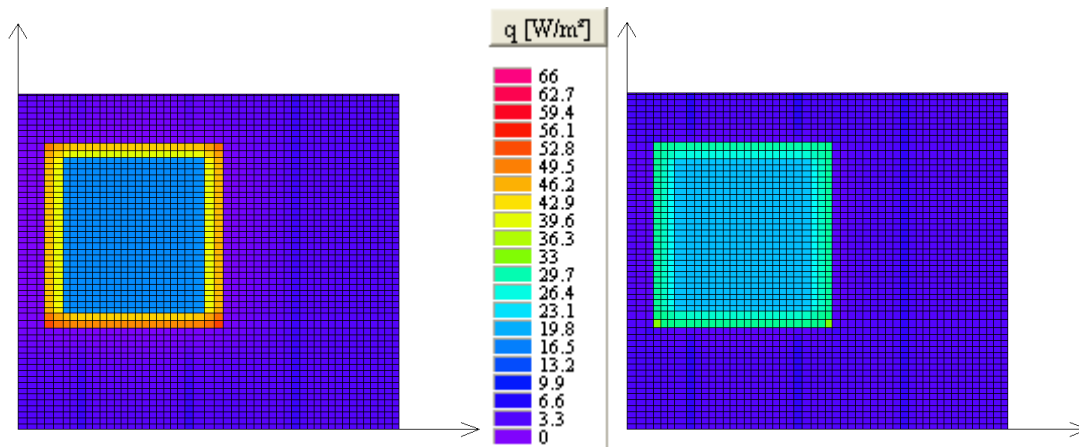


Figurer 41-42 Bilder på invändiga temperaturer

Utvändig karmisolering: Utan
Fönster: Ursprungligt
Fönsterplacering: Ursprunglig

Utvändig karmisolering: Utan
Fönster: Nytt
Fönsterplacering: Ny

Det blir ingen större skillnad på fördelningen av de invändiga yttemperaturerna. Storleken däremot skiljer sig. Med ursprungligt fönster och ursprunglig fönsterplacering i djupled blir det ungefär 15°C runt om hela fönstret. Med nytt fönster och ny fönsterplacering i djupled blir det ungefär 17°C runt hela fönstret.



Figurer 43-44 Flödesbilder

Utvändig karmisolering: Utan
Fönster: Ursprungligt
Fönsterplacering: Ursprunglig

Utvändig karmisolering: Utan
Fönster: Nytt
Fönsterplacering: Ny

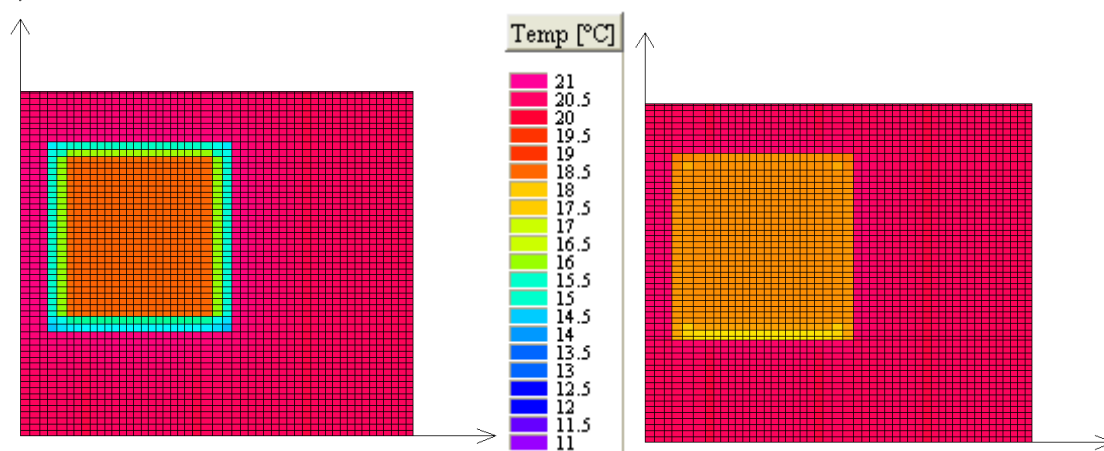
Flödet blir avsevärt mycket mindre med nytt fönster och ny fönsterplacering i djupled.

Tabell 18 Köldbryggor

Utvändig karmisolering	Utan	Utan
Fönster	Ursprungligt	Nytt
Fönsterplacering	Ursprunglig	Ny
$\Psi_{\text{montering}}$ [W/(m ² ·K)]	0,045	0,034

Monteringsköldbryggan med ny fönsterplacering av nytt fönster blir mindre än med ursprunglig fönsterplacering av nytt fönster.

8.1.2.6 Synergieffekter av utvändig karmisolering, fönster och fönsterplacering

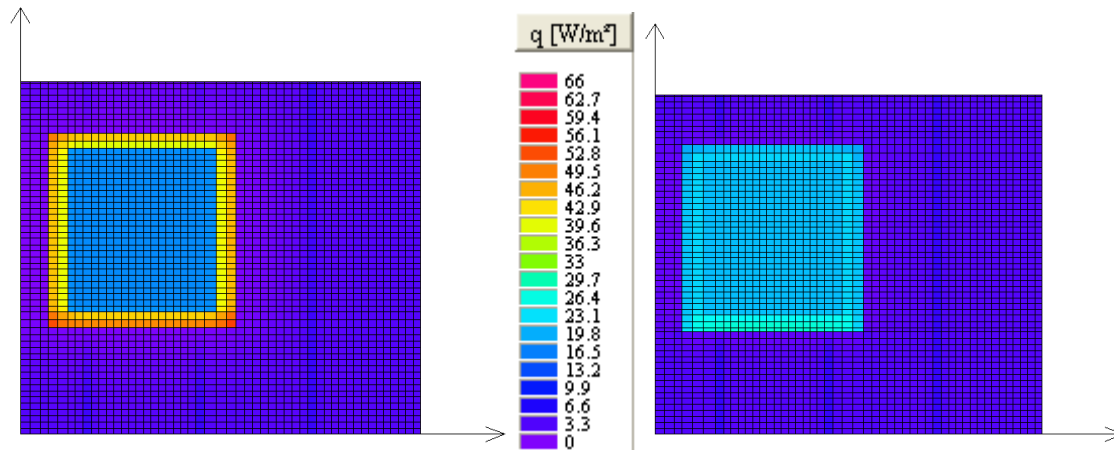


Figurer 45-46 Bilder på invändiga temperaturer

Utvändig karmisolering: Utan
 Fönster: Ursprungligt
 Fönsterplacering: Ursprunglig

Utvändig karmisolering: Med
 Fönster: Nytt
 Fönsterplacering: Ny

Denna jämförelse ger den största skillnaden på invändiga yttemperaturer. Den bästa kombinationen ger lägsta invändiga yttemperaturer på ungefär 17°C. Den sämsta kombinationen ger lägsta invändiga yttemperaturer på ungefär 15°C. Dessutom blir fördelningen av de svaga länkarna annorlunda.



Figurer 47-48 Flödesbilder

Utvändig karmisolering: Utan
 Fönster: Ursprungligt
 Fönsterplacering: Ursprunglig

Utvändig karmisolering: Med
 Fönster: Nytt
 Fönsterplacering: Ny

Denna jämförelse ger den största skillnaden på flödesbilderna, såväl i fördelning som storleksmässigt i de svaga punkterna.

Tabell 19 Köldbryggor

Utvändig karmisolering	Utan	Med
Fönster	Ursprungligt	Nytt
Fönsterplacering	Ursprunglig	Ny
$\Psi_{\text{montering}}$ [W/(m·K)]	0,045	-0,004

Monteringsköldbryggan med utvändig karmisolering och ny fönsterplacering av nytt fönster blir mindre än utan utvändig karmisolering och med ursprunglig fönsterplacering av ursprungligt fönster.

8.1.2.7 Sammanfattning av monteringsköldbryggor

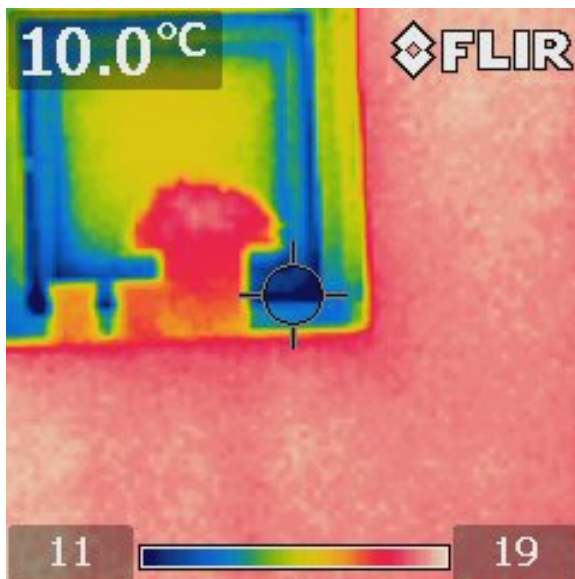
Tabell 20 Översiktlig tabell köldbryggor

Utvändig karmisolering	Fönster	Fönsterplacering	$\Psi_{\text{montering}}$ [W/(m·K)]
Utan	Ursprungligt	Ursprunglig	0,045
Utan	Ursprungligt	Ny	0,042
Utan	Nytt	Ursprunglig	0,036
Utan	Nytt	Ny	0,034
Med	Ursprungligt	Ny	-0,004
Med	Nytt	Ny	-0,004

Fönsterplaceringen gör inte så stor skillnad i simuleringarna av monteringsköldbryggor jämfört med hur stor skillnad det blir med utvändig karmisolering och olika fönster. En ändring av fönsterplaceringen är dock en mycket billigare förändring och ger plats för utvändig karmisolering. Störst skillnad i simuleringarna av monteringsköldbryggor blir det om utvändig karmisolering används. Även fönstervalet har betydelse i simuleringarna av monteringsköldbryggorna. Detta kan bero på att karmarna är olika djupa.

8.1.2.8 Värmekamera

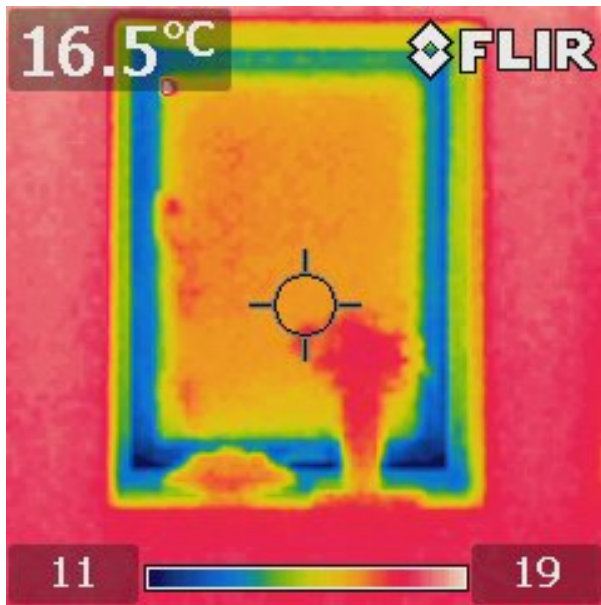
Bilder har tagits med vanliga kamera och värmekamera på den infraröda strålningen i en outhyrd lägenhet i Portvakten, se figurer 49-52. Värmekameran var inte finjusterad vilket innebär att bilderna främst ska tas som indikationer, inte som fakta. Inomhustemperaturen i lägenheten var vid tillfället cirka 18,5°C och utomhustemperaturen cirka -0,5°C.



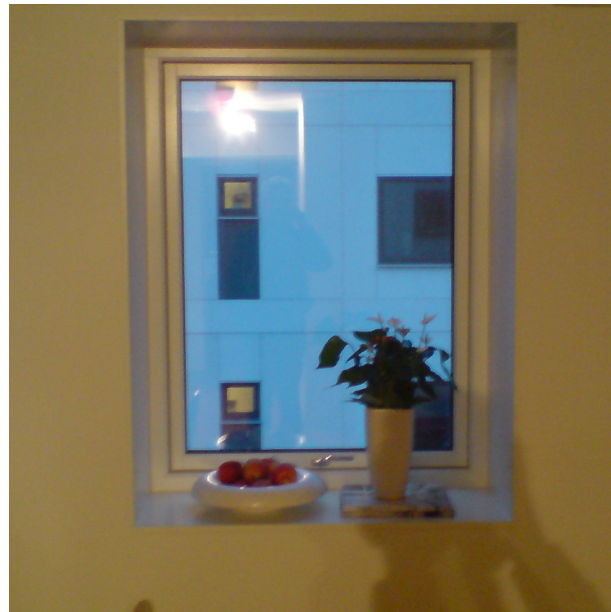
Figur 49 Värmekamerabild badrumsfönster



Figur 50 Foto badrumsfönster



Figur 51 Värmekamerabild vardagsrumsfönster



Figur 52 Foto vardagsrumsfönster

Figurer 49 och 51 indikerar hur stor köldbrygga karmarna och anslutningarna mellan karm och vägg är och hur kritiskt fönsterhörn är. Det kan även ses att den nedre fönsterkarmen är sämre än övriga och att förlusterna genom karmarna är mer betydande för mindre fönster eftersom karmandelen är större.

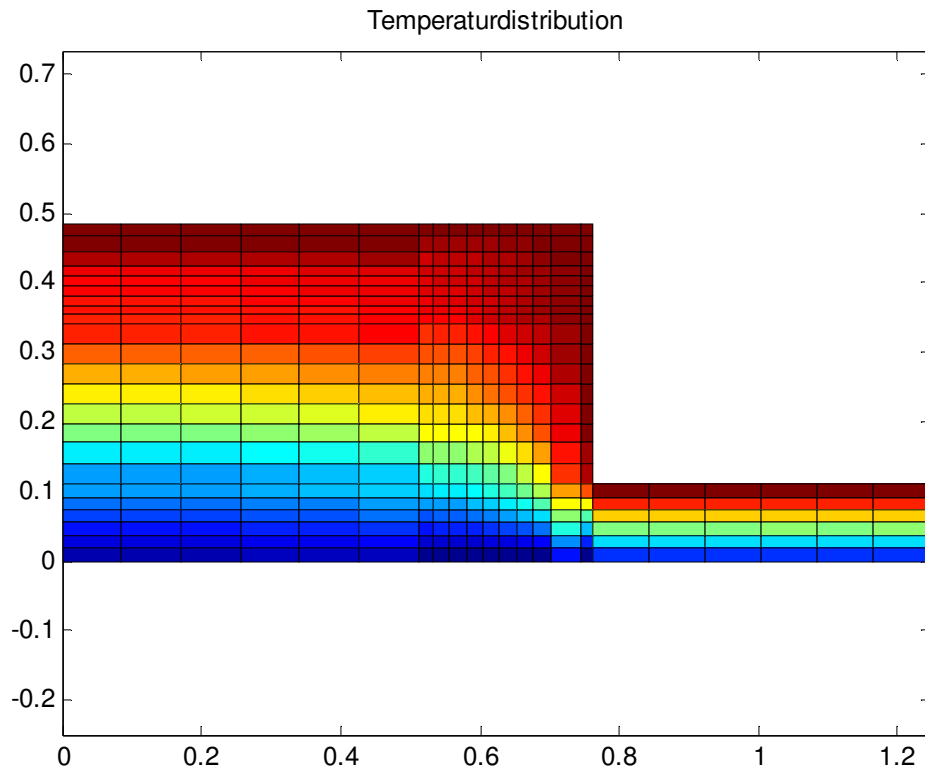
8.1.3 Sned fönstersmyg Portvakten

Flödet ut genom yttre randen blir $448,1 \text{ W/m}^2$ om det är sned fönstersmyg. Om det är rak fönstersmyg blir flödet ut genom yttre randen $422,3 \text{ W/m}^2$.

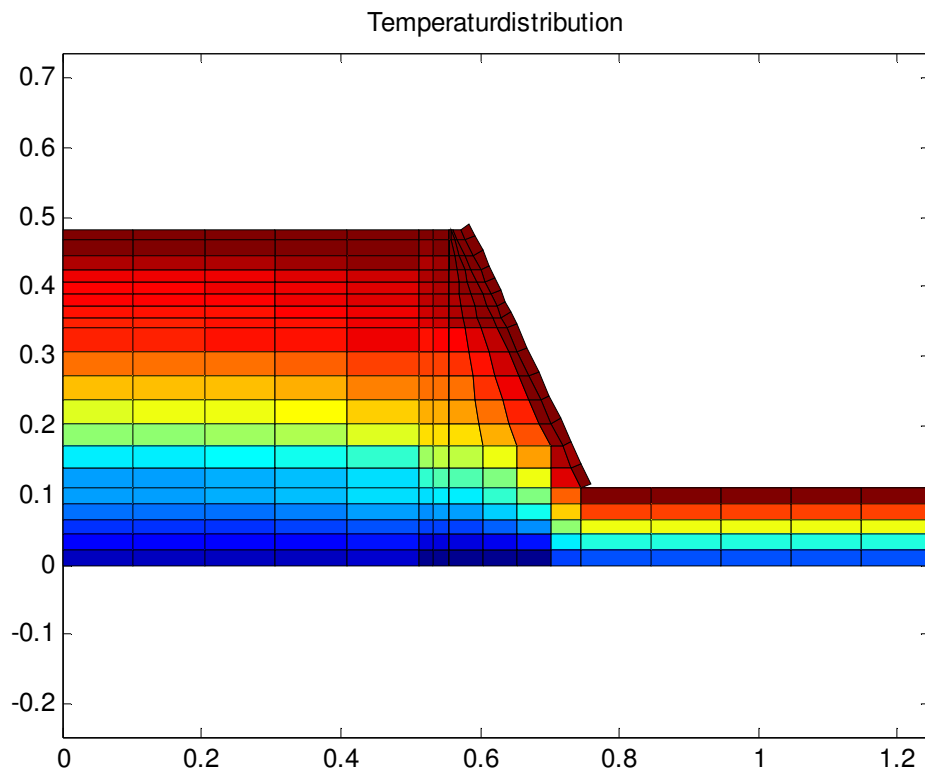
$$448,1 / 422,3 = 1,061$$

Alltså ökar värmeflödet med ungefär 6 % vid sned fönstersmyg jämfört med rak fönstersmyg med vald utformning i Portvakten och de antaganden som gjorts.

Temperaturspridningsbilder i MATLAB/CALFEM kan ses i figurer 53-54.



Figur 53 Temperaturspridningsbild rak fönstersmyg



Figur 54 Temperaturspridningsbild sned fönstersmyg

Om fönsterandelen räknas ut för en lägenhet på 3 rum och kök med golvarea 79 m² på plan 2-8 fås fönsterandelen till 10 % då fönsterarean fås till $1,492 \cdot 1,3 \cdot 2 + 0,6 \cdot 0,6 \cdot 1 + 1 \cdot 1,3 \cdot 3 = 8,14$ m². Fönsterandelen kan anses för liten med hänsyn till dagsljusinsläpp enligt BBR, se kapitel 3.3, eftersom glas med lägre ljusgenomsläplighet än klarglas används. Solvärmestillskottet är dock så lågt vintertid jämfört med transmissionsförlusterna genom fönster att en relativt låg fönsterandel anses motiverad. Eftersom fönsterandelen är låg är det även en bra grundtanke med sneda fönstersmygar för att öka dagsljusinsläppet, men som analysen visar ökar då transmissionsförlusterna med vald utformning av den sneda fönstersmygen och placering av fönster.

Som kan ses i isothermfiguren bidrar inte den innersta delen av den invändiga kanten på fönstersmygen i särskilt stor utsträckning till den värmeisolerande förmågan. Den skulle därför kunna avfasas utan att påverka värmeflödet genom väggen i för stor utsträckning. Med ovanstående argument skulle en mindre avfasning ha varit mer lämplig, gärna tillsammans med en placering av fönstret längre in i konstruktionen i djupled enligt tidigare resultat.

8.2 Energianvändning och uppfyllande av passivhuskrav

8.2.1 Jämförelser och uppfyllande av passivhuskrav

Med alla gjorda antaganden fås följande resultat för specifikt värmeenergiebehov och värmeeffektbehov för Portvakten som det är byggt (benämnd ursprunglig) och för Portvakten med bästa utformning baserad på variabelstudien av fönsteranslutningarna (benämnd ny):

Tabell 21 Resultat från PHPP för specifikt värmeenergiebehov och värmeeffektbehov med hänsyn till referensarean 2221,4 m²

	Specifikt värmeenergiebehov [kWh/(m ² ·år)]	Värmeeffektbehov [W/m ²]
Ursprunglig	18,5	11,0
Ny	14,5	9,7

Som kan ses fås lägst specifikt värmeenergiebehov och värmeeffektbehov för den nya utformningen. Med ursprunglig utformning överstigs kraven för passivhus enligt PHI (specifikt värmeenergiebehov <15 kWh/(m²·år) och värmeeffektbehov <10 W/m²)¹, medan med den nya utformningen klaras kraven. För den nya utformningen är specifikt värmeenergiebehov 78 % och värmeeffektbehov 88 % av det för den ursprungliga utformningen.

¹ Feist W, 2009. Certification as "Quality Approved Passive House" – Criteria for Residential-Use Passive Houses. Passivhaus Institut, Darmstadt.

Om $A_{temp} = 2433 \text{ m}^2$ används istället för referensarean, vilket ska användas enligt FEBY:s kriterier¹, fås följande resultat:

Tabell 22 Resultat från PHPP för specifikt värmeenergiebehov och värmeeffektbehov med hänsyn till $A_{temp} 2433 \text{ m}^2$

	Specifikt värmeenergiebehov [kWh/(m ² ·år)]	Värmeeffektbehov [W/m ²]
Ursprunglig	16,9	10,0
Ny	13,2	8,9

Därmed klaras FEBY:s krav på värmeeffektbehov (<10 W/m²)¹ med den ursprungliga utformningen.

Portvakten oavsett ny eller ursprunglig utformning klarar enligt PHPP uppvärmningsbehovet med uppvärmning med tilluften.

Nedan analyseras delarna i specifikt värmeenergiebehov och värmeeffektbehov närmre.

8.2.1.1 Specifikt värmeenergiebehov

Tabell 23 Resultat från PHPP för transmissionsförluster [kWh/år]

	Yttervägg	Tak	Grund	Fönster	Ytterdörr	Köldbryggor	Totalt
Ursprunglig	13 783	1 584	1 755	27 877	415	-2 751	42 662
Ny	13 783	1 584	1 755	21 130	415	-2 751	35 915

Den enda skillnaden är givetvis för fönster, där ursprunglig utformning innebär 32 % högre transmissionsförluster genom fönster än ny utformning. I absoluta tal är förlusterna 6 747 kWh/år större och motsvarar 3,0 kWh/(m²·år) räknat med referensarean. Negativa värden för köldbryggor fås eftersom köldbryggor räknas med yttre mått.

Fönstrens påverkan är stor på de totala transmissionsförlusterna. De står för 65 % av de totala transmissionsförlusterna med ursprunglig utformning och 59 % med ny utformning.

Tabell 24 Resultat från PHPP för totala värmeförluster [kWh/år]

	Totalt
Ursprunglig	71 696
Ny	64 949

Totala transmissionsförlusterna står för cirka 60 % av de totala värmeförlusterna och därmed ventilationsförlusterna för cirka 40 %.

¹ Erlandsson M, Ruud S, Sandberg E, Wall M, Eek H och Wahlström Å, 2009. FEBY Kravspecifikation för Passivhus. Version 2009. LTH rapport EBD-R--09/25, IVL rapport nr A1592. ATON rapport 0902. Forum för Energieffektiva Byggnader.

Tabell 25 Resultat från PHPP för solvärmertilskott [kWh/år]

	Totalt
Ursprunglig (ursprungligt fönster)	8 024
Ny (nytt fönster)	10 346

De ursprungliga fönstren ger förutom större transmissionsförluster dessutom ett lägre solvärmertilskott på grund av den lägre g-faktorn. Solvärmertilskottet är 78 % av solvärmertilskottet som fås genom de nya fönstren. I absoluta tal är tillskottet 2 322 kWh/år större med ny utformning, vilket motsvarar 1,0 kWh/(m²·år) räknat med referensarean.

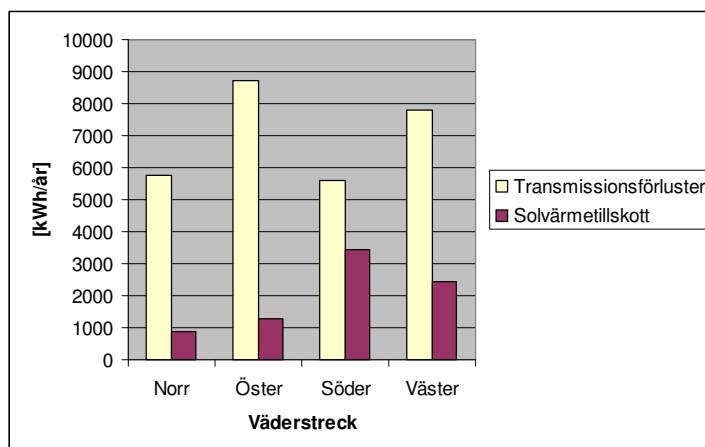
Solvärmertilskottet genom fönster i specifika riktningar kan direkt jämföras med transmissionsförlusterna genom samma fönster i specifika riktningar. Förhållandet solvärmertilskott dividerat med transmissionsförluster är speciellt intressant, alltså solvärmertilskottets täckningsgrad av transmissionsförlusterna. Optimalt är om förhållandet överstiger 100 % eftersom det innebär att det inte blir några värmeförluster totalt sett genom fönster, enbart värmevinster. Solvärmertilskottet beräknas utifrån hur solen står på vintern.

För ursprunglig utformning fås följande:

Tabell 26 Resultat från PHPP för förhållande mellan transmissionsförluster och solvärmertilskott för fönster för ursprunglig utformning [kWh/år]

	Transmissionsförluster [kWh/år]	Solvärmertilskott [kWh/år]	Täckningsgrad [%]
Norr	5 769	888	15
Öster	8 704	1 261	14
Söder	5 604	3 442	61
Väster	7 800	2 433	31

Diagram 1 Resultat från PHPP för förhållande mellan transmissionsförluster och solvärmertilskott för fönster för ursprunglig utformning [kWh/år]



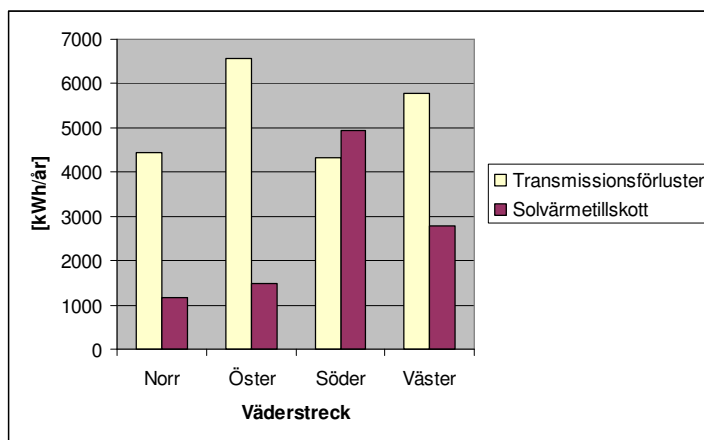
Som kan ses är fönster i söder mest fördelaktigt eftersom merparten av transmissionsförlusterna genom södervända fönster vägs upp av solvärmestillskotten. Anledningen till att förhållandet är så lågt i öster är skuggning från grannhuset. Normalt är förhållandet lägst för fönster riktade mot norr. Denna analys ger incitament för att öka fönsterandelen söderut och minska i de andra riktningarna. Hänsyn måste dock tas till övertemperaturer sommartid i södervända rum.

För ny utformning fås följande:

Tabell 27 Resultat från PHPP för förhållande mellan transmissionsförluster och solvärmestillskott för fönster för ny utformning [kWh/år]

	Transmissionsförluster [kWh/år]	Solvärmestillskott [kWh/år]	Täckningsgrad [%]
Norr	4 455	1 149	26
Öster	6 562	1 482	23
Söder	4 325	4 941	114
Väster	5 787	2 775	48

Diagram 2 Resultat från PHPP för förhållande mellan transmissionsförluster och solvärmestillskott för fönster för ny utformning [kWh/år]



Som kan ses är förhållandena bättre med ny utformning. Det är till och med så bra för södervända fönster att de totalt sett innebär värmevinster.

Tabell 28 Resultat från PHPP för totalt värmestillskott [kWh/år]

	Totalt
Ursprunglig	30 655
Ny	32 663

Om det interna värmestillskottet räknas med, som är samma oavsett ny eller ursprunglig utformning, och nyttjandegrad tas hänsyn till fås det totala värmestillskottet i kWh/år.

Solvärmetillskottet står för 26 % av det totala värmetillskottet med ursprunglig utformning och 32 % med ny utformning. Därmed blir det interna värmetillskottet 74 % med ursprunglig utformning och 68 % med ny utformning.

Tabell 29 Resultat från PHPP för värmeenergiebehov [kWh/år]

	kWh/år	kWh/(m ² ·år)
Ursprunglig	41 039	18,5
Ny	32 286	14,5

Subtraheras det totala värmetillskottet från de totala värmeförlusterna fås värmeenergiebehovet i kWh/år. Divideras sedan detta tal med referensarean fås värmeenergiebehovet i kWh/(m²·år) i vilket kravet anges enligt tidigare.

Det som ursprunglig utformning förlorar mest på är de större transmissionsförlusterna som står för cirka 74 % av den totala skillnaden i värmeenergiebehov mellan systemen. Det mindre solvärmetillskottet står därmed för cirka 26 %.

8.2.1.2 Effektbehov

Den kalla klara dagen är dimensionerande oavsett ny eller ursprunglig utformning. En jämförelse görs därför mellan resultaten för den kalla klara dagen.

Tabell 30 Resultat från PHPP för transmissionsförluster [W]

	Yttervägg	Tak	Grund	Fönster	Ytterdörr	Köldbryggor	Lägenhetsskiljande vägg	Totalt
Ursprunglig	5 141	591	364	10 399	155	-975	443	16 118
Ny	5 141	591	364	7 882	155	-975	443	13 601

Värdena skiljer sig på samma sätt som för värmeenergiebehovsberäkningen, förutom att här tas även hänsyn till de lägenhetsskiljande väggarna. Totalt är transmissionsförluster med ny utformning 84 % av de med ursprunglig utformning, precis som för värmeenergiebehovsberäkningar. I absoluta tal är förlusterna 2 517 W större för Portvakten vid värmeeffektbehovsberäkningen.

Tabell 31 Resultat från PHPP för totala värmeförluster [W]

	Totalt
Ursprunglig	28 917
Ny	26 401

Transmissionsförlusterna står för cirka 55 % av de totala värmeförlusterna och därmed ventilationsförlusterna för cirka 45 %, vilket kan jämföras med 60 % respektive 40 % för värmeenergiebehovsberäkningen.

Tabell 32 Resultat från PHPP för solvärmestillskott [W]

	Totalt
Ursprunglig	941
Ny	1 260

Förhållandet mellan utformningarna är 75 % jämfört med 78 % för värmeenergiehavsberäkningen. I absoluta tal är tillskottet 319 kWh/år större med ny utformning.

Tabell 33 Resultat från PHPP för totalt värmestillskott [W]

	Totalt
Ursprunglig	4 495
Ny	4 814

Om det interna värmestillskottet räknas med, som är samma oavsett ny eller ursprunglig utformning, och nyttjandegrad tas hänsyn till fås det totala värmestillskottet i W.

Solvärmestillskottet står för 21 % med ursprunglig utformning och 26 % med ny utformning av det totala värmestillskottet och därmed det interna värmestillskottet för 79 % respektive 74 %. Solvärmestillskottet är därmed lägre i förhållande till det interna värmestillskottet för värmeeffektbehavsberäkningen än för värmeenergiehavsberäkningen.

Tabell 34 Resultat från PHPP för värmeeffektbehov

	W	W/m ²
Ursprunglig	24 422	11,0
Ny	21 586	9,7

Subtraheras det totala värmestillskottet från de totala värmeförlusterna fås värmeeffektbehovet i W. Divideras sedan detta tal med referensarean fås värmeenergiehavsbehovet i W/m² i vilket kravet anges enligt tidigare.

Det som ursprunglig utformning förlorar mest på är de större transmissionsförlusterna som står för nästan 89 % av den totala skillnaden i värmeeffektbehov mellan systemen. Det mindre solvärmestillskottet står för cirka 11 %. Förhållandet mellan faktorerna skiljer sig alltså från det för värmeenergiehavsberäkningen.

För att tydliggöra skillnaderna mellan utformningarna kan en jämförelse göras mellan U-värdet för fönstren inklusive monteringsköldbryggan:

Tabell 35 Jämförelse av totalt U-värde inkl. monteringsköldbrygga [$W/(m^2 \cdot K)$]

Ursprunglig (ursprungligt fönster)	1,05
Ny (nytt fönster)	0,78

Eftersom fönsterandelen är 10 % av golvytan fås att per kvadratmeter fönster innebär skillnaden $0,027 W/(m^2 \cdot K)$ i större värmeeffektbehov där ytan som syftas på är golvytan. Som kan ses tidigare innebär detta totalt 2 517 W, med valda klimatdata, vilket motsvarar cirka $1,1 W/m^2$ räknat med referensarean.

För övertemperaturfrekvensen märks g-värdets betydelse sommartid.

Övertemperaturfrekvensen är 8,5 % med ny utformning, men enbart 3,5 % med ursprunglig utformning. Med tanke på g-värdets negativa påverkan på värmeenergiebehovet kan utvändigt solavskärmning användas istället för glas med låg g-faktor. Ny utformning ligger nära gränsen för övertemperaturfrekvens på 10 %¹, vilket även indikerar att utvändigt solavskärmning borde användas. En solstudie av ett utsatt rum i söderläge kan vara intressant att göra för att undersöka hur stor övertemperaturfrekvensen är för detta rum. Det finns en risk att övertemperaturfrekvensen överskrider 10 % med ny utformning.

8.2.1.3 Variabelstudie inomhustemperatur

Om inomhustemperaturen sätts till 21°C fås följande resultat med ursprunglig utformning med hänsyn till referensarean:

Tabell 36 Resultat från PHPP för specifikt värmeenergiebehov och värmeeffektbehov för 21°C

	Specifikt värmeenergiebehov [$kWh/(m^2 \cdot \text{år})$]	Värmeeffektbehov [W/m^2]
Ursprunglig	20,3	11,5

Både specifikt värmeenergiebehov och värmeeffektbehov ökar för båda systemen om inomhustemperaturen höjs med 1°C. Störst procentuell effekt fås på specifikt värmeenergiebehov där ökningen är cirka 10 %.

Om inomhustemperaturen sätts till 21,4°C fås följande resultat med ursprunglig utformning:

Tabell 37 Resultat från PHPP för specifikt värmeenergiebehov och värmeeffektbehov för 21,4°C

	Specifikt värmeenergiebehov [$kWh/(m^2 \cdot \text{år})$]	Värmeeffektbehov [W/m^2]
Ursprunglig	21,0	11,6

Återigen ökar såväl specifikt värmeenergiebehov som värmeeffektbehov och återigen är den procentuella ökningen som störst för specifikt värmeenergiebehov. Det ökar till 103 % av vad det är med inomhustemperaturen 21°C.

Om inomhustemperaturen sätts till 22°C fås följande resultat med ursprunglig utformning:

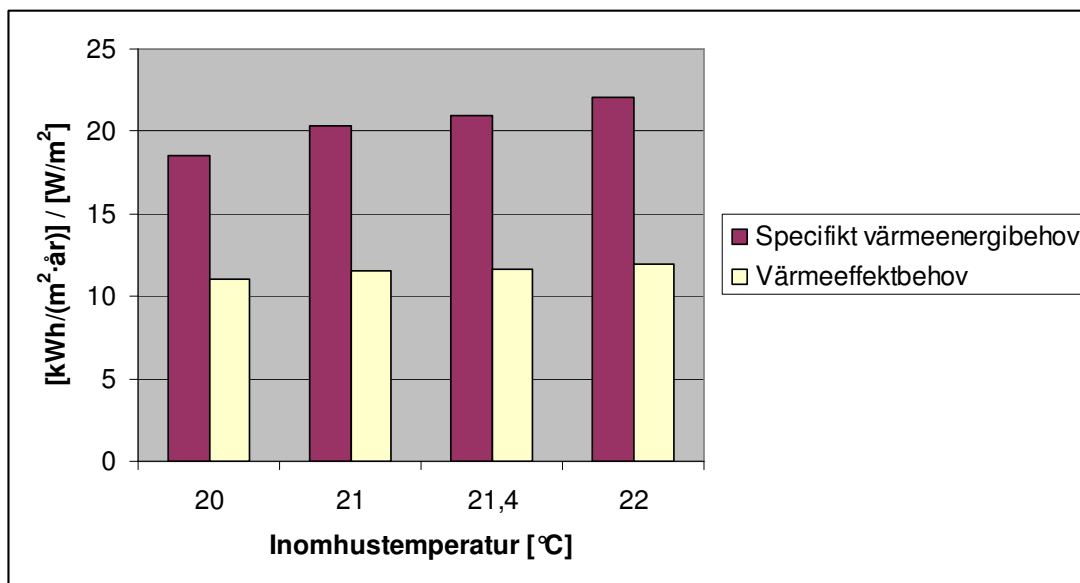
¹ Feist W, Pfluger R, Kaufmann B, Schnieders J och Kah O, 2007. Passivhus projekteringspaket 2007 – PHPP 2007 – Krav på kvalitetskontrollerade passivhus. PHI-2007/1(SE). Svensk redaktör: Hans Eek. Passivhaus Institut, Darmstadt.

Tabell 38 Resultat från PHPP för specifikt värmeenergibehov och värmeeffektbehov för 22°C

	Specifikt värmeenergibehov [kWh/(m ² ·år)]	Värmeeffektbehov [W/m ²]
Ursprunglig	22,1	11,9

Återigen ökar såväl specifikt värmeenergibehov som värmeeffektbehov. Den procentuella ökningen av specifikt värmeenergibehovet är 105 % av vad det är med inomhustemperaturen 21,4°C. Jämfört med vad det är med inomhustemperaturen 20°C är det 119 %. En skillnad på 2°C kan alltså motsvara en cirka 20 procentig ökning av specifikt värmeenergibehov.

Diagram 3 Resultat från PHPP för specifikt värmeenergibehov och värmeeffektbehov för de olika inomhustemperaturerna med ursprunglig utformning



För ytterligare variabelstudier, av isoleringstjocklek, U_w -värde fönster, g-faktor, solavskärmning, temperaturverkningsgrad värmeväxlingsaggregat, vädning och lufttäthet hänvisas till rapporten *Framtidens trähus – energieffektiva med god inommiljö*.

8.2.2 Jämförelse med andra energiberäkningar

En jämförelse görs mellan resultat i PHPP och resultat i andra genomförda energiberäkningar för Portvakten. Dessa är gjorda av:

- NCC Teknik, utförd med Enorm 2004 (2008-01-24)
 - Information har fåtts från Magnus Fransson, Hyresbostäder i Växjö AB
- NCC Teknik, utförd med IDA 3.0 (2008-06-10)
 - Information har fåtts från Svante Wijk, NCC Teknik
- Framtidens trähus, utförd med DEROB-LTH (förord i rapport daterad 2010-04)
 - Information har fåtts från rapporten *Framtidens trähus – energieffektiva med god inommiljö*

Nedan presenteras en sammanfattning av de viktigaste skillnaderna i antaganden för de olika beräkningarna:

Tabell 39 Sammanfattning av de viktigaste skillnaderna i antaganden för de olika beräkningarna

	PHPP	NCC Teknik (Enorm)	NCC Teknik (IDA 3.0)	Framtidens trähus (DEROB-LTH)
Inomhustemperatur [°C]	20	20	21	20
Interna värmetilskott [W/m ²]	2,1/1,6	-	0	4
Värmeåtervinningsgrad VVX [%]	73	80	80	70
Luftflöde [m ³ /h]	3053	3330	3065,6	3053
Infiltrationsluftflöde [l/(s·m ²)]	0,19	0,3	0,2	0,2
Max tilluftstemperatur [°C]	50	-	52	52
DUT [°C]	-13,2/ 7,9	-15	-20	*
g-faktor	0,31	-	0,33	0,31

- Ingen uppgift

* Enligt klimatdata för Jönköping i DEROB-LTH

På grund av dessa skillnader och eftersom olika klimatdata använts i de olika beräkningarna är denna jämförelse inte mer än indikativ.

För att kunna jämföra används referensarean eftersom använd A_{temp} skiljer sig mellan beräkningarna. En jämförelse mellan antagna andelar köldbryggor, 10 % enligt Martinsons för delarna av huset i trä och 13 % för hela huset enligt NCC Teknik, kan inte göras eftersom det i PHPP räknas med utvändiga mått istället för invändiga mått.

8.2.2.1 NCC Teknik (Enorm 2004)

För nettobehovet av värmeenergi fås i Enorm-beräkningarna följande resultat (inom parentes resultat från PHPP för Portvakten):

Tabell 40 Poster i Enorm-energiberäkning med motsvarande poster i PHPP inom parentes [kWh/år]

Transmissionsförluster och luftläckage	63 677 (42 662 exkl. luftläckage)
Ventilationsförluster	26 977 (29 034 inkl. luftläckage)
Internt värmetilskott	-61 582 (-22 897)
Solvärmetilskott	-24 266 (-8 024)
Totalt	4 806 (41 039)

Som kan ses antas större transmissionsförluster och förluster genom luftläckning i Enorm-beräkningarna, men samtidigt även betydligt större internt värmestillskott och solvärmestillskott. Den totala summan blir därför osannolikt låg. 4806 kWh/år motsvarar 2,2 kWh/(m²·år) räknat med referensarean. Det måste föreligga skillnader i vad som innefattas i beräkningarna. Tas värmeenergiebehov för uppvärmning av varmvatten med fås totalt 65 659 kWh/år vilket motsvarar 29,6 kWh/(m²·år) räknat med referensarean, vilket är ett på tok för högt värde för att anses representativt.

I Enorm-beräkningen för Portvakten beräknades värmeeffektbehov till 21,08 kW (dygnsmedeleffekt). Det motsvarar 9,5 W/m², vilket kan jämföras med 11,0 W/m² i PHPP.

8.2.2.2 NCC Teknik (IDA 3.0)

Klimatdata för Kalmar har använts i beräkningarna. Specifikt värmeenergiebehov fås i IDA-beräkningarna till 26 249 kWh/år. Det kan jämföras med 41 039 kWh/år enligt PHPP. 26 249 kWh/år motsvarar 11,8 kWh/(m²·år) räknat med referensarean. I IDA-beräkningarna fås ett värmeeffektbehov på 9 W/m². Det har beräknats med $A_{temp} = 2574 \text{ m}^2$. Omräknat till referensarean blir värdet 10,4 W/m². Det kan jämföras med 11,0 W/m² enligt PHPP.

IDA-beräkningarna ger därmed genomgående lägre resultat än PHPP. Det kan förklaras bland annat med den högre antagna temperaturverkningsgraden för värmeväxlingsaggregatet. I IDA:s värmeeffektbehovsberäkningar har dock inte ventilationsförluster för den styrda ventilationen och internt värmestillskott tagits hänsyn till, vilket gör jämförelsen för värmeeffektbehovet svårare.

8.2.2.3 Framtidens trähus (DEROB-LTH)

I *Framtidens trähus – energieffektiva med god innemiljö* görs simuleringar i DEROB-LTH för värmeeffektbehov och specifikt värmeenergiebehov. Med antagandena 0,2 l/(s·m²) läckflöde, använda fönster, inomhustemperaturen 20°C och temperaturverkningsgrad 70 % fås ett specifikt värmeenergiebehov på 16,3 kWh/(m²·år) och ett värmeeffektbehov på 10,6 W/m². Det har beräknats med $A_{temp} = 2433 \text{ m}^2$. Omräknat till referensarean blir värdena 11,6 W/m² och 17,9 kWh/(m²·år). Värmeeffektbehovet ligger därmed 0,6 W/m² över det beräknade i PHPP, medan specifikt värmeenergiebehov blir 0,6 kWh/(m²·år) lägre än i PHPP.

8.2.2.4 Sammanfattning

Tabell 41 Sammanfattning av jämförelsen med hänsyn till referensarean 2221,4 m²

	Specifikt värmeenergiebehov [kWh/(m ² ·år)]	Värmeeffektbehov [W/m ²]
PHPP	18,5	11,0
Enorm	2,2	9,5
IDA	11,8	10,4
DEROB-LTH	17,9	11,6

Tabell 42 Sammanfattning av jämförelsen med hänsyn till A_{temp} 2433 m²

	Specifikt värmeenergiebehov [kWh/(m ² ·år)]	Värmeeffektbehov [W/m ²]
PHPP	16,9	10,0
Enorm	2,0	8,7
IDA	10,8	9,5
DEROB-LTH	16,3	10,6

Enligt Hyresbostäder i Växjö AB själva ska specifikt värmeenergiebehov vara 15 kWh/(m²·år)¹. Generellt sett blir specifikt värmeenergiebehov och värmeeffektbehov från de andra beräkningarna lägre än i beräkningarna med PHPP.

8.2.3 Jämförelse med mätvärden

Mätvärden för energianvändningen i Portvakten har fått för oktober 2009 till augusti 2010, alltså för 11 månader. För att räkna per år antas värdet för september 2010 till medelvärdet av värdet oktober 2009 och augusti 2010. Då fås följande energianvändning för uppvärmning:

Tabell 43 Uppmätt energianvändning för uppvärmning [kWh]

Månad	Värme	VVX ventilation	Total energianvändning värme
Oktober	4323	862	3461
November	6880	555	6325
December	10197	1446	8751
Januari	13033	3287	9746
Februari	10894	2124	8770
Mars	8312	932	7380
April	1791	110	1681
Maj	1843	29	1814
Juni	103	0	103
Juli	103	0	103
Augusti	99	0	99
September	2211	431	1780
Summa	59789	9776	50013

¹ Hyresbostäder i Växjö AB, 2009. Informationsfolder Portvakten Söder. Hämtad från:
<http://www.hyresbostaderivaxjo.se/Pages/Page.aspx?pageId=457&versionId=1> (2010-08-26)

För att kunna göra jämförelsen används referensarean 2221,4 m². Det ger en uppmätt specifik värmeanvändning på **22,5 kWh/(m²·år)**. Används A_{temp} = 2433 m² fås **20,5 kWh/(m²·år)**. Det är alltså större än beräknat i PHPP och visar att PHI:s krav för passivhus (<15 kWh/(m²·år))¹ inte efterlevs.

Om inomhustemperaturen sätts till 22°C fås ett specifikt värmeenergiebehov i PHPP nära uppmätt specifikt värmeenergiebehov, 22,1 kWh/(m²·år). Men eftersom hyresgästerna enbart kan sätta inomhustemperaturen till max 21°C² underskattar våra beräkningar i PHPP verkligt specifikt värmeenergiebehov. Detta eftersom om inomhustemperaturen 21°C användes i PHPP blev specifikt värmeenergiebehov 20,3 kWh/(m²·år) vilket är mindre än uppmätta 22,5 kWh/(m²·år). Nämnas kan att om påslag görs för vädring med 4 kWh/(m²·år)³ på resultatet för inomhustemperaturen 20°C fås ett specifikt värmeenergiebehov på 22,5 kWh/(m²·år). Det är samma som uppmätt värde 22,5 kWh/(m²·år).

1 Feist W, 2009. Certification as "Quality Approved Passive House" – Criteria for Residential-Use Passive Houses. Passivhaus Institut, Darmstadt.

2 Kildsgaard I och Prejer E, 2010. Framtidens trähus – energieffektiva med god innemiljö. Framtidens trähus – SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

3 Sveby, 2009. Brukarindata för energiberäkningar i bostäder. Sveby, Stockholm.

9 Litteraturstudie

9.1 Passivhus

Den definition av passivhus som görs av PHI kan anses framgångsrik enligt EU-sponsrade Passive-On project vars syfte var att sprida passivhuskonceptet eftersom energi- och kvalitetskrav föreskrivs och standardlösningar ges för hur dessa kan uppnås. Förutsättningar finns därmed för att passivhus kan bli en väldefinierad produkt där alla vet vad de får och kan förstås av såväl beställare, projektörer som förvaltare.¹

När Lindås Park-projektet sammanfattas konstateras att de boende överlag är mycket nöjda med sitt boende och att det därmed går att bygga passivhus med dagens teknik där de boende kan trivas. Bland annat tycker brukarna att luftkvaliteten är bättre än i deras tidigare boenden och att de är nöjda med ljusförhållanden, ljud utifrån och mellan lägenheter samt inomhustemperaturen. Dock kan det vid enstaka fall bli för kallt för en- och tvåpersonshushållen i gavellägenheterna eftersom dessa lägenheter är mest utsatta och det interna värmetilskottet är litet.²

Andra anledningar till framgång för passivhus är att extrakostnaden för att bygga ett passivhus inte behöver överstiga 10 % av byggnationskostnaden för ett standardproducerat hus. Ett passivhus kan dock byggas för samma kostnad som ett standardproducerat hus, men erfarenheter visar på i genomsnitt 4-6 % högre byggnationskostnader för ett passivhus. I driftskedet kan sedan värmeenergikostnaderna vara 15-25 % av de för ett standardproducerat hus. Det betyder att ett passivhus kan betalas tillbaka på mindre än 20 år, i vissa fall så kort tid som 4 år.¹

Totala energianvändningen halverades i bostäderna i Lindås Park jämfört med traditionella bostadshus. Denna halvering av energianvändningen ansågs väga upp den aningen högre investeringskostnaden.³

I *Trälyftet – Ett byggsystem i massivträ för flervåningshus* nämns att poster i en investeringskalkyl kan rankas i vad som är viktigast enligt följande⁴:

1. Nyttan för de boende
2. Investeringskostnaden
3. Risker i bostadsprojektet
4. Kostnader för drift och underhåll

Mentaliteten att kostnader för drift och underhåll spelar minst roll kan ses som ett hinder för utvecklingen av passivhus eftersom dessa ofta innebär högre investeringskostnad.

1 Passive-On project. Passive House or Passivhaus. Hämtad från: <http://www.passive-on.org/CD/5.%20Long%20Description/Passive-On%20-%20Long%20Description%20-%20English.pdf> (2010-08-19)

2 Boström T, Glad W, Isaksson C, Karlsson F, Persson M-L och Werner A, 2003. Tvärvetenskaplig analys av lågenergihusen i Lindås Park, Göteborg. Hämtad från: http://www.liu.se/energi/publikationer/tvarprojekt/1.26587/arbetsnotat_25_lagenergihus_lindas_park.pdf (2010-10-07)

3 Ruud S och Lundin L, 2004. Bostadshus utan traditionellt uppvärmningssystem - resultat från 2 års mätningar. SP Rapport 2004:31. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

4 AB Svensk Byggtjänst, 2005. Trälyftet – Ett byggsystem i massivträ för flervåningshus. AB Svensk Byggtjänst, Stockholm.

I rapporten *Energieffektiva byggnader – Riktlinjer för effektiv användning av projekteringshjälpmedel i byggprocessen* konstateras att fram tills för några år sedan har energipriser och driftskostnader inte varit tillräckligt i fokus utan byggkostnader har prioriterats, men dagens ökande energipriser skapar incitament för att bygga lågenergihus och renovera befintliga hus.¹ I *Passive-On project* belyses att det inte får glömmas bort att ett passivhus erbjuder mer än lägre driftskostnader. Ett passivhus erbjuder även högre komfort för användaren och därmed bättre levnadsförhållanden, vilket kan göra återbetalningstiden mindre betydelsefull.²

För att nå utsatta klimatmål krävs en omfattande expansion av byggandet av passivhus. Undersökningar visar att om koldioxidutsläppen ska ligga på 2006 års nivå år 2020 måste alla nya hus byggas enligt passivhuskonceptet, och en årlig renovering av 2-5 % av det befintliga byggnadsbeståndet enligt passivhuskonceptet måste ske. Även om alla nybyggda hus byggs enligt passivhuskonceptet skulle koldioxidutsläppen öka. För att kunna nå utsatta klimatmål går det därmed inte att enbart bygga nya hus enligt passivhuskonceptet eller bättre, utan det enda sättet att minska koldioxidutsläppen är att renovera det befintliga byggnadsbeståndet.²

Det bästa sättet att skapa intresse för en produkt är genom egenupplevelser eller via berättelser från familj och vänner. Det innebär ett problem då det idag inte finns så många passivhus. Det kan liknas vid ett hönan- och äggetsyndrom där en avsaknad av möjligheter att uppleva känslan av att bo i ett passivhus leder till en ovilja att investera i passivhus. Dock kan subventionerade demonstrationsprojekt bidra stort till spridandet av konceptet i början av marknadsutvecklingen.²

Även i Ulla Jansson licentiatavhandling förespråkas demonstrationsobjekt då känslan att uppleva inomhusmiljön i ett passivhus, exempelvis att känna att ytan på fönstret är varm trots att det är kallt utomhus, kan vara något av en uppenbarelse. Informationsspridning från lyckade projekt anses även viktigt för att sprida konceptet passivhus och lärdomar om hur det kan byggas. Ett nätverk för passivhusbyggare skulle kunna vara en lösning på detta. Ulla Jansson poängterar dock vikten av att inte återanvända för mycket lösningar från tidigare projekt utan att i varje projekt försöka hitta de mest optimerade lösningarna.³

Genom intervjuer med 60 personer involverade i byggandet av lågenergihus har *The Passive-On project* definierat förslag som kan stimulera utvecklingen av passivhus. De som tas upp är²:

- Förbättrad utbildning av arkitekter och byggare
- Omställning av byggnadsregler
- Utvecklandet av stimulerande ekonomiska mekanismer
- Utbredning av ackreditering och certifiering

Nedan diskuteras dessa förslag närmre.

1 Kvist H och Nordström C, 2008. Energieffektiva byggnader – Riktlinjer för effektiv användning av projekteringshjälpmedel i byggprocessen. Rapport EBD-R-08/23. Lunds Tekniska Högskola, Lund.

2 *Passive-On project*. Passive House or Passivhaus. Hämtad från: <http://www.passive-on.org/CD/5.%20Long%20Description/Passive-On%20-%20Long%20Description%20-%20English.pdf> (2010-08-19)

3 Jansson U, 2008. Passive houses in Sweden – Experiences from design and construction phase. Rapport EBD-T-08/9. Lunds Tekniska Högskola, Lund.

Förbättrad utbildning

När erfarenheterna från byggandet av Beckomberga Passivhus sammanfattas poängteras gällande själva processen vikten av information och utbildning av inblandade parter om kraven på passivhus, gemensamt satta mål och samarbete och kunskapsöverföring mellan aktörer och faser.¹ Även i Ulla Jansson licentiatavhandling påpekas vikten av att alla är utbildade i vad konceptet passivhus innebär och av samarbete mellan alla parter från allra första början i projektet. Den traditionella arbetsgången arkitekt → byggnadskonstruktör → VVS-konstruktör anses förkastlig vid byggande av passivhus eftersom detta låser utformningen, vilket försvårar arbetet att nå optimala lösningar och information kan gå förlorad vid överlämning mellan aktörerna. Bildandet av ett arbetsteam som för en ständig diskussion ses som det bästa alternativet.²

Precis som delarna i ett hus samverkar måste aktörerna i projekteringsfasen samverka i en integrerad process där kombinationer av systemlösningar analyseras utifrån hur de samverkar med varandra och dess totala effekt utvärderas. Byggnaden måste redan i projekteringsfasen ses som ett system bestående av samverkande delar för att kunna bygga energisnåla hus.³ Projektledaren anses spela en extra stor roll vid byggandet av passivhus, och får gärna ha god kunskap om passivhus och vara en bra lyssnare.² Bra kommunikation och samverkan samt rätt kompetens och sunda värderingar anses enligt Anders Ekholm, projektledare för forskningsprojektet *Värdeskapande och kundnytta i ett industrialiserat byggande*, vara viktigt i byggprojekt för att de ska vara lyckosamma.⁴

I Lasse Sundings licentiatavhandling *Gemensamt problemlösande och värdeskapande i byggprojekt* ses att befintliga arbetsmetoder och kommunikation inom byggbranschen tar upp vad som skall uppnås, men inte *hur* och vilka förutsättningar som finns för att det ska göras. Dessa tre faktorer påverkar varandra inbördes och krävs tillsammans för effektivt, medvetet, värdeskapande. För att uppnå detta behöver involverade personer *förståelse, vilja* och *kunskap*, men det är även viktigt att *agera korrekt*. Lasse Sunding anser att den viktigaste resursen, människan, förbises genom att fokus läggs enbart på antingen kompetens eller motivation. Korrekt agerande krävs inte, vilket enligt Lasse Sunding är det viktigaste eftersom det leder till resultat. För att kunna uppnå nämnt värdeskapande rekommenderar Lasse Sunding en iterativ process med samtidig problemlösning och reflektion i projekten.⁵

Påpekas kan även att kvalitet tar tid och kräver noggrannhet i alla faser. Genom att högre krav ställs på yrkesskickligheten och att resultaten av denna tydligare syns anses medföra ökad yrkesstolthet och ökat engagemang hos inblandande.¹

Arbetsutförandet spelar stor roll för att byggnaden ska bli tät. Det finns konstruktionslösningar som är i princip omöjliga att göra täta men även bra konstruktionslösningar går att utföra otäta.⁶ I SP Rapport 2004:22 konstateras att en förbättring av lufttäteten i byggnader främst beror på mer och bättre utbildning. Utbildningen måste kombineras med förbättrade detaljlösningar, utarbetandet av förbättrade arbetsmetoder,

1 Svensson A, Fänge M, Winblad J och Roos M, 2009. Beckomberga Passivhus. Brunberg & Forshed Arkitektkontor AB, Stockholm och NCC Boende AB, Solna.

2 Jansson U, 2008. Passive houses in Sweden – Experiences from design and construction phase. Rapport EBD-T--08/9. Lunds Tekniska Högskola, Lund.

3 Kvist H och Nordström C, 2008. Energieffektiva byggnader – Riktlinjer för effektiv användning av projekteringshjälpmedel i byggprocessen. Rapport EBD-R—08/23. Lunds Tekniska Högskola, Lund.

4 Nilsson G, 2009. Värdeskapande och kundnytta i ett industrialiserat byggande. Formas-BIC 2006-1691. BIC, Byggsektorns innovationscentrum. <http://www.bic.nu/sa/node.asp?node=755> (2010-09-21)

5 Sunding L, 2006. Gemensamt problemlösande och värdeskapande i byggprojekt. Licentiatavhandling. Lunds Tekniska Högskola, Lund.

6 Wahlgren P, 2010. Goda exempel på lufttäta konstruktionslösningar. SP rapport 2010:9. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

användandet av bättre material och produkter och förbättrade metoder för inspektion och kvalitetssäkring.¹

Utbildning och erfarenhetsåterföring är som sagt viktigt vid byggnation av lufttäta hus. Det kan vara en bra idé att förklara för alla inblandade varför det är viktigt att bygga lufttätt. En planering kan göras över på vilka möten lufttätthet ska tas upp och vilka utbildningar och studiebesök som ska finnas. Erfarenhetsåterföring kan också planeras in, till exempel kan det vara bra att göra täthetsprovning² och termografering³ på en lägenhet och använda erfarenheten till nästa lägenhet. Att tilldela ansvar för täthetsarbeten och certifiera de som ska utföra täthetsarbeten kan även vara bra idéer. Det krävs bra planering och skydd för att plastfolien inte ska skadas av vassa kanter på byggarbetsplatsen.²

I Jonas Nässéns licentiatavhandling ses även ett behov av utökad uppföljning och kunskapsöverföring i byggbranschen mellan aktörer och projekt. Inlärningskurvan för en organisation visar på att med ökad ackumulerad kunskap inom organisationen minskar kostnaderna, vilket gör att insatser för att öka kunskapen idag kan i framtiden leda till socialekonomiska vinster. Ett problem kan vara att den som initierar insatsen inte får del av vinsterna. Två utmaningar som detta medför är hur privata aktörer uppmuntras att investera i lärandeprocesser och hur det säkerställs att framtagen kunskap tillämpas. Därför föreslås offentlig upphandling på alla nivåer för att tvinga aktörer att ta sig igenom inlärningskurvan och skapandet av projekt som fokuserar på små marknadsnischer som kan vara villiga att investera i lärandeprocesser.⁴

För att effektivisera processer och arbetsmetoder kan inspiration tas från LEAN. LEAN härstammar från TOYOTA:s produktionssätt. LEAN Forum Bygg sprider kunskap om LEAN-tänkande och arbetsmetoder som ökar kundvärde och minskar slöseri. Målet är att göra mer med mindre resurser.⁵

Inom LEAN ska ständiga förbättringar göras och slöseri som inte tillför kunden något värde ska identifieras och minimeras. Slöseri anses vara⁵:

- Väntan
- Rörelse
- Lager
- Omarbete
- Överarbete
- Transporter

1 Sandberg P I och Sikander E, 2004. Luftrörelser i och kring konstruktion del 3 – Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen – Kunskapsinventering, laboratoriemätningar och simuleringar för att kartlägga behov av tekniska lösningar och utbildning. SP Rapport 2004:22. SP Sverige Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

2 Wahlgren P, 2010. Goda exempel på lufttäta konstruktionslösningar. SP rapport 2010:9. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

3 FoU-Syd Sveriges Byggindustrier, 2008. Undvik fel och fallor som ökar energianvändningen i byggnader. FoU-Syd Sveriges Byggindustrier, Malmö.

4 Nässén J, 2005. Energy efficiency and the challenge of climate change – Studies of the Swedish building sector. Licentiatavhandling. Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.

5 Lean Forum Bygg. Vad är Lean?. <http://www.leanforumbygg.se/default.asp> (2010-09-01)

- Överproduktion
- Outnyttjad kreativitet

Ett kontinuerligt flöde av produkter i produktionsprocessen eftersträvas. Aktiviteter ska planeras, genomföras och sedan utvärderas för att effektivisera processen. Frågan om hela processen effektiviseras av att aktiviteten effektiviseras måste också ställas.¹

För att beskriva LEAN illustreras ofta ett tempel. Grunden är standardisering och mätning för att kunna kontrollera och förbättra. Pelarna är ”Just in time” och kvalitet. Alltså ska produktionen vara behovsstyrd och fel ska undvikas. Mellan pelarna finns engagemang eftersom förbättringsarbetet ska ha utgångspunkt i produktionen vilket engagerar anställda genom delaktighet. Taket är kontinuerliga förbättringar och överst står kundfokus.¹

Ann-Charlotte Stenberg, doktor vid Byggnadsekonomi på Chalmers, ser hur olika aktörer har olika syn på vad som är viktigt för *grönt byggande* och hur koncerners eller företags miljöpolicyer därför kan förändras, till och med förloras, när de förmedlas av ledning till medarbetare på grund av tolkningar och profileringar på olika nivåer inom organisationen. Profilering mellan avdelningar kan göra att insatser kan motverka varandra och miljösamordnare som ska hålla ihop miljöarbetet ges ofta inte tillräckliga beslutsmandat. Ann-Charlotte Stenberg drar slutsatsen att en hållbar utveckling kräver kontinuerliga diskussioner om miljöfrågor där miljösamordnare och andra miljöexperter inom organisationerna involveras och ges beslutsmandat samt att fokus läggs på åtgärder med störst miljömässig vinst.²

Omställning av byggregler

EU-kommissionen har tagit fram ett direktiv om att alla nybyggda hus ska vara nära nollenergibyggnader senast år 2021. Energimyndigheten och Boverket har därför fått i regeringsuppdrag att ta fram en strategi för främjandet av lågenergihus som ska vara Näringsdepartementet tillhanda i oktober 2010. BBR ska även revideras till 1 oktober 2011, och sedan till 2015 och 2019. Energimyndigheten och Boverket säger trots EU-direktivet att krav på nära nollenergibyggnader inte kommer att skrivas in BBR, utan att en halvering av dagens energikrav till BBR 2019 räcker. Denna syn delas av byggbolagen enligt en enkätundersökning. Enkätundersökningen visar dock att byggbolagen vill se fler långsiktiga beslut om energikrav, att kraven för 2019 års BBR fastställs redan nu. I nästa revidering kommer dock en sänkning av kraven med 20 kWh/(m²·år), utan specificering av kraven för 2019, att föreslås av Boverket. Byggbolagen efterlyser även energikrav vid ombyggnad.³

Energimyndighetens och Boverkets hållning motiveras av att i Sverige sker mycket av uppvärmningen med fjärrvärme som till stor del fås från biobränsle i motsats till stora delar i Europa där fossila bränslen används i större utsträckning. Enligt Nikolaj Tolstoy, enhetschef på avdelningen för bygg och förvaltning på Boverket, står byggsektorn enbart för 10 % av koldioxidutsläppen i Sverige. Det kan jämföras med närmare 40 % för hela EU, vilket tidigare nämnts. Energimyndighetens och Boverkets hållning får dock mothåll från bland annat Passivhuscentrum. Även biobränsle tär på våra resurser och just fjärrvärmenätet ses som ett

1 Lean Forum Bygg. Vad är Lean?. <http://www.leanforumbygg.se/default.asp> (2010-09-01)

2 Stenberg A-C, 2006. The Social Construction of Green Building: Diachronic and Synchronic Perspectives. Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.

3 Köhler N. Inga nollenergihus när EU skärper kraven. byggIndustrin, 2010-10-15. http://www.byggindustrin.com/energi--miljo/inga-nollenergihus-nar-eu-skarper-kraven__8266 (2010-10-20)

hinder för utvecklingen av lågenergihus eftersom energisnåla byggnader kräver mindre energi. Därför krävs en utveckling av nya tekniska system och affärsmodeller från fjärrvärmebolagen för att kunna göra fjärrvärmens lönsam även i ett energisnållare samhälle. Nystartade, av bland annat Passivhuscentrum, IVL och Lunds tekniska högskola, paraplyorganisationen *Sveriges centrum för nollenergibyggnader* vill se passivhuskonceptet som byggnorm helst 2016 och senast 2020.¹

I Jonas Nässéns licentiatavhandling nämns åtgärder för beslutsfattare gällande omställning av byggregler för att öka energieffektiviseringen och minska utsläppen:

- Att införa regler som påverkar användarbeteende

Individuell mätning och debitering av energianvändning för uppvärmning medför ett förändrat användarbeteende som leder till lägre energianvändning. Individuell mätning och debitering av energianvändning för uppvärmning kan därför göras obligatorisk vid nybyggnation för att minska energianvändningen för uppvärmning.²

Enligt Energilotsen är det svårt att få system för individuell mätning och debitering av energianvändning för uppvärmning lönsamt i välisolerade hus. Systemen bygger oftast på att inomhustemperaturen mäts eller att energin som används för uppvärmning mäts. Därför kan det bli orättvist eftersom exempelvis solinstrålning och temperaturutjämnning mellan lägenheter inte kan tas hänsyn till.³

- Att införa regler som medför ökad teknisk prestanda

Byggnader som följer nuvarande energistandard för byggnader har mycket låg energieffektivitet jämfört med de mest energieffektiva byggnaderna. En ny välfungerande energistandard för byggnader, som föreskriver en låg maximal nivå på energianvändning per golvareanhet och ställer krav på verifikation och uppföljning av nybyggda hus och samtidigt ställer tydligare krav vid renovering, kan medföra ett mer energieffektivt byggnadsbestånd.²

Inte enbart bättre byggregler utan vikten av specificerade krav för byggnadens energieffektivitet från beställaren nämns i Ulla Jansson licentiatavhandling som viktigt för att bygga energieffektivare byggnader.⁴

I Jonas Nässéns licentiatavhandling nämns även en tredje åtgärd för beslutsfattare för att öka energieffektiviseringen och minska utsläppen²:

- Att inte stödja substitution av energislag på bekostnad av energieffektivisering

En utveckling av fjärrvärmesystem kräver en viss ”energidentitet” för att anses lönsam. Byggandet av energieffektiva byggnader passar därför inte bra ihop med fjärrvärmesystem eftersom dessa bidrar till en låg energidentitet. En utveckling av

1 Köhler N. Inga nollenergihus när EU skärper kraven. byggIndustrin, 2010-10-15. http://www.byggindustrin.com/energi--miljo/inga-nollenergihus-nar-eu-skarper-kraven__8266 (2010-10-20)

2 Nässén J, 2005. Energy efficiency and the challenge of climate change – Studies of the Swedish building sector. Licentiatavhandling. Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.

3 Energilotsen, 2009-11-30. Samarbete mellan energisamordnare och byggherre. Hämtad från: http://www.energilotsen.nu/energilotsen/kap_4_byggherre.pdf (2010-09-30)

4 Jansson U, 2008. Passive houses in Sweden – Experiences from design and construction phase. Rapport EBD-T--08/9. Lunds Tekniska Högskola, Lund.

fjärrvärmesystemet kan därmed hindra utvecklingen av energieffektiva byggnader. Substitution av energislag är även prissensitivt – en substitution kan vara kortsiktigt lönsam om prisincitament finns vid substitutionen, men om sedan priserna (exempelvis på biobränsle) ökar äts lönsamheten upp. Energieffektiviserande åtgärder är däremot lönsamma oberoende av prisförändringar och erbjuder därför en långsiktig lösning för att minska utsläpp.

Statistik från Statens energimyndighet visar att flerbostadshus som använder olja för uppvärmning hade störst energianvändning för uppvärmning och varmvatten 2008, se nedan. Det visar sig även att i flerbostadshus med fjärrvärme var energianvändningen för uppvärmning och varmvatten större än i flerbostadshus som använder el för uppvärmning.¹

Tabell 44 *Energianvändning för olika värmekällor*¹

Värmekälla	Energianvändning för uppvärmning och varmvatten [kWh/(m ² ·år)]
Olja	176,1
Fjärrvärme	148
El	123

Faktorerna bakom att energianvändningen för uppvärmning och varmvatten var större för flerbostadshus med fjärrvärme än för flerbostadshus uppvärmt med el kan vara många, men kan antyda att fjärrvärme inte är den mest energieffektiva uppvärmningskällan enligt tidigare resonemang.

Enligt Energimyndigheten var den genomsnittliga energianvändningen för uppvärmning och varmvatten under 2008 i flerbostadshus 145 kWh/(m²·år)¹, vilket kan jämföras med 120,9 kWh/(m²·år) för småhus². Det styrker att individuell mätning och debitering av uppvärmning leder till minskad energianvändning.

Vid beräkning av energianvändningen för uppvärmning och varmvatten kan olika brukarindata antas för flerbostadshus och småhus. SBUF, Svenska byggbranschens utvecklingsfond, anger lämpliga antaganden, se figur 55. Den enda skillnaden i antaganden mellan flerbostadshus och småhus är att tappvarmvattenschablonen antas till 25 kWh/(m²·år) för flerbostadshus och 20 kWh/(m²·år) för småhus. Om individuell mätning och debitering av tappvarmvatten antas i flerbostadshuset kan dock tappvarmvattenschablonen antas till 20 kWh/(m²·år).³

1 Statens energimyndighet. Energistatistik för flerbostadshus 2008. ES 2009:08. Hämtad från: <http://213.115.22.116/System/TemplateView.aspx?p=Energimyndigheten&view=default&cat=%2fRapporter&id=dac4605222e74e4985251c013981c887> (2010-10-20)

2 Statens energimyndighet. Energistatistik för småhus 2008. ES 2009:07. Hämtad från: <http://213.115.22.116/System/TemplateView.aspx?p=Energimyndigheten&view=default&cat=/Rapporter&id=60373ee0cdc743898284fec420067527> (2010-10-20)

3 SBUF. Brukarindata för energiberäkningar i bostäder. SBUF informerar Nr 09:07. Hämtad från: http://www.mynewsdesk.com/se/view/document/8813/download/resource_document (2010-10-20)

Parameter	Värden för flerbostadshus	Värden för småhus
Innetemperatur vid uppvärmning	21 °C	21 °C
Behovsstyrt luftflöde vid forcering i kök	30 min per dag	30 min per dag
Vädringspåslag på energiprestanda	4 kWh/m ² år	4 kWh/m ² år
Solvskärningsfaktor	0,5	0,5
Tappvarmvattenschablon	25 kWh/m ² år	20 kWh/m ² år
Individuell mätning och debitering av tappvarmvatten	20 % besparing	Ingår i värdet ovan
Internvärme från tappvarmvatten som är möjlig att tillgodogöras	20 %	20 %
Hushållschablon	30 kWh/m ² år	30 kWh/m ² år
Internvärme från hushållsel som är möjlig att tillgodogöras	70 %	70 %
Närvarotid för personvärme	14 timmar per dygn	14 timmar per dygn
Effektavgivning per person	80 W	80 W

Figur 55 Brukarindata för energiberäkningar i bostäder¹

Utvecklandet av stimulerande ekonomiska mekanismer

I Jonas Nässéns licentiatavhandling om energieffektivt byggande konstateras att nivån på den specifika energianvändningen för uppvärmning i kWh/(m²·år) i byggnader följer energiprisnivåerna. Om energipriserna tredubblas kan det anses medföra en 30 procentig reduktion av energianvändningen. En långsammare ökning av energipriser under åren 1985 till 2000 kan förklara den stagnation i utvecklandet av energieffektivare byggnader som avhandlingen konstaterar mellan dessa år. Kopplingen mellan specifik energianvändning för uppvärmning och energipris är något svagare för nybyggnationer än för befintliga byggnader. Det kan förklaras av att fokus för beställaren är kortsiktig på investeringskostnaden och att LCC-analyser används bristfälligt vid planering av nybyggnationer. Därmed kan beställaren inte uppskatta energiprisets påverkan på livscykelkostnaden och energipriset är inte lika stort incitament för att energieffektivisera. Konstateras kan att energipriser är ett kraftfullt verktyg för att påverka intresset att bygga energieffektivt.²

Pay off-metoden ska inte användas när lönsamhet beräknas. Med *pay off*-metoden fås antalet år som det tar innan investeringen är intjänad. Efter att den tiden har gått sparas pengar resten av brukstiden vilket också bör tas med i beräkningarna av lönsamheten. Det är därför mer rättvisande jämförelse att räkna ut livscykelkostnaden, LCC, istället.³

Utbredning av ackreditering och certifiering

För att kunna projektera, klassa och kvalitetssäkra sunda och energieffektiva byggnader har flera verktyg och klassningar tagits fram. Utöver passivhuscertifieringarna som beskrivs i kapitel 4 nämns några andra nedan:

1 SBUF. Brukarindata för energiberäkningar i bostäder. SBUF informerar Nr 09:07. Hämtad från:

http://www.mynewsdesk.com/se/view/document/8813/download/resource_document (2010-10-20)

2 Nässén J, 2005. Energy efficiency and the challenge of climate change – Studies of the Swedish building sector. Licentiatavhandling. Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.

3 FoU-Syd Sveriges Byggindustrier, 2008. Undvik fel och fallor som ökar energianvändningen i byggnader. FoU-Syd Sveriges Byggindustrier, Malmö.

- Miljöklassning av byggnader

För att bidra till en hållbar, miljöanpassad och hälsoinriktad, byggbransch har ett nationellt miljöklassningssystem arbetats fram av forskargrupper i Sverige och publicerades 2008 genom ByggaBoDialogen. De tre områden där fokus ligger är energi, inomhusmiljö och kemiska ämnen. Inom områdena klassas byggnaden från A-D där A är bäst och C är grundkrav. Miljöklassningen kan dels användas för att kontrollera hur en byggnad fungerar i sin helhet och dels som ett projekteringsverktyg. Den kan användas som underlag för förbättringsåtgärder och kan ses som ett komplement till energideklarationen.¹ I Jonas Nässéns avhandling från 2005 förespråkas energiklassningar. Inom energiklassningssystemet skulle även ekonomiska incitament kunna användas för att stimulera byggande i bättre energiklass.²

- P-märkt inomhusmiljö och energianvändning

Sunda och samtidigt energisnåla byggnader kan uppnås genom ett anpassningsbart kvalitetssäkringssystem för P-märkning av inte enbart inomhusmiljö utan även av energianvändning, framtaget av SP. Det innehåller ett ledningssystem som ska kunna användas under förvaltningsskedet för att på ett systematiskt sätt regelbundet kontrollera att energianvändningen ligger på en bra nivå, eftersom utan uppföljning ger energieffektiviseringsåtgärder ofta inga varaktiga resultat. Om energianvändningen skulle öka ska kvalitetssäkringssystemet kunna bidra med tillvägagångssätt och lämpliga åtgärder.³

- Fuktsäkring i byggprocessen

För att uppnå fuktsäkra byggnader har Lunds Tekniska Högskola och SP utvecklat verktyg som ska kunna användas i alla skeden i byggprocessen för att systematiskt säkerställa fuktsäkra byggnader. Detta efter att undersökningar gjorts som visat på att otydliga krav och otydlig ansvarsfördelning i kombination med att befintlig kunskap inte används leder till många av dagens fuktproblem. Spridning av kunskap till alla parter, införandet av rutiner för kommunikation och dokumentation, tydligare krav från beställare, förbättrade tidplaner och attitydförändring identifierades som viktiga faktorer för att komma till rätta med problemen. Det allra viktigaste är att fuktsäkerheten betänks redan från början av projektet.⁴

- Energiloten

För att få hjälp att projektera sunda och energieffektiva byggnader har Energiloten tagits fram med formulär och handledningsdokument för berörda parter i byggprocessen. Exempelvis kan byggherren få hjälp att skapa en kravspecifikation,

1 ByggaBoDialogen. Miljöklassning av byggnader. Hämtad från: http://www.byggabodialogen.se/upload/Pdf-filer/Miljoklassningbroschyr_screen_sv.pdf (2010-09-27)

2 Nässén J, 2005. Energy efficiency and the challenge of climate change – Studies of the Swedish building sector. Licentiatavhandling. Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.

3 Wahlström Å, 2005. P-märkt inomhusmiljö och energianvändning – Handbok inför certifiering av energianvändning. SP Rapport 2005:41. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

4 Mjörnell K och Wihlborg C, 2005. Fuktsäkring i byggprocessen. Bygg & teknik 5/05. Hämtad från: http://www.fuktcentrum.lth.se/fileadmin/fuktcentrum/Publikationer/Bygg-Teknik/5_05_21.pdf (2010-09-27)

arkitekten kan få hjälp att utforma en energieffektiv byggnad ur designperspektiv och konstruktören ur konstruktionsperspektiv.¹

- Energideklaration

Enligt EU-direktiv tog riksdagen 2006 beslut om att införa lag på energideklarationer för byggnader för att främja en effektiv energianvändning och god inomhusmiljö i byggnader. Lagen innebär att vid nybyggnation och vid försäljning av en byggnad ska en energideklaration finnas för byggnaden som aldrig får vara mer än 10 år gammal.²

- OVK, Obligatorisk ventilationskontroll

Sedan 1991 finns lagstiftning om återkommande funktionskontroll av ventilationssystem där byggnadens ägare är ansvarig för att lagstiftningen följs och kommunens byggnadsnämnd sköter tillsynen av att den följs. Kontrollen måste utföras av en behörig besiktningsman och måste dokumenteras med OVK-protokoll. Efter kontrollen ges ägaren ett intyg som ska anslås på synlig plats i byggnaden.³

Tabell 45 Kontrollintervall⁴

Byggnader	Besiktningsintervall
Skolor och vårdlokaler med S-, F-, FX-ventilation	3 år
Skolor och vårdlokaler med FT-, FTX-ventilation	3 år
Flerbostadshus och kontor med S-, F-, FX-ventilation	6 år
Flerbostadshus och kontor med FT-, FTX-ventilation	3 år
En- och tvåbostadshus med FX-, FT-, FTX-ventilation	Vid nybyggnad

Granskningsrundor görs ofta för olika faktorer som energi, fukt och lufttäthet. Ofta är kontrollerna liknande och kan samordnas för att spara tid. Lufttäthet är mätbart och är därför ett lättare mål att jobba mot än fuktsäkerhet. För att öka kvaliteten i utförande kan tävlingar arrangeras i vem som kan bygga tätast.⁵

I *Byggekologi 1 – Att bygga sunda hus* ges förutsättningar för att kunna bygga miljöanpassat⁶:

1. Uttalad vilja hos byggherren att bygga miljöanpassat
2. Val av konsulter och entreprenörer som har uttryckt en vilja att bygga miljöanpassat och som har kunskaper för att göra det

1 Energilotsen, 2009-11-30. Samarbete mellan energisamordnare och byggherre. Hämtad från: http://www.energilotsen.nu/energilotsen/kap_4_byggherre.pdf (2010-09-30)

2 Näringsdepartementet, 2006. Lag (SFS 2006:985) om energideklaration för byggnader. Hämtad från: <http://www.riksdagen.se/webbnav/?nid=3911&bet=2006:985> (2010-08-19)

3 Boverket, 2009-02-06. Obligatorisk ventilationskontroll. <http://www.boverket.se/Bygga--forvalta/Drift-och-forvaltning/Obligatorisk-ventilationskontroll/> (2010-11-15)

4 Boverket, 2009-10-06. OVK – Vilka byggnader och när? <http://www.boverket.se/Bygga--forvalta/Drift-och-forvaltning/Obligatorisk-ventilationskontroll/OVK--Vilka-byggnader-och-nar/> (2010-11-15)

5 Wahlgren P, 2010. Goda exempel på lufttäta konstruktionslösningar. SP rapport 2010:9. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

6 Bokalders V och Block M, 1997. Byggekologi 1 – Att bygga sunda hus. AB Svensk Byggtjänst, Stockholm.

3. Framtagande av en detaljerad kravspecifikation för miljö under programskedet
4. Upphandling utan att miljöintentionerna förhandlas bort
5. Kvalitetsstyrning under byggprocessen
6. Omsorgsfull överlämning där drift- och skötselråd förmedlas till förvaltare och brukare
7. Uppföljning och erfarenhetsutbyte mellan projektörer, entreprenörer och förvaltare

Det finns även **risker** med lågenergihus då högpresterande väggar i lågenergihus är känsligare för fel än äldre väggar då högre krav ställs på respektive materialskikt¹. När isoleringen ökar blir yttre delar av klimatskalet kallare än vid vanliga hus. En kallvind blir exempelvis kallare med mer isolering i vindsbjälklaget. Detta ökar relativa fuktigheten eftersom mätnadsånghalten sjunker men luften som kommer in har samma luftfuktighet. Alltså ökar risken för fuktskador med mer isolering i vindsbjälklag.² Det krävs därför noggrannhet vid projektering, materialval och montering. Små felaktigheter i respektive skikt eller vid skarvar, anslutningar och genomföringar kan få stora konsekvenser. Lufttätningen sker oftast med plastfolie och vid anslutningar mellan byggelement är det därför viktigt med omlottskarvning. Ett litet hål i plastfolien kan ge betydande luftläckage. Om luftläckaget sker utifrån och in kan drag upplevas och om det sker åt andra hållet kan den varma luften föra med sig fukt till konstruktionens kallare delar och orsaka fuktskador. Oberoende av håll orsakar luftläckaget en försämrad värmeisoleringsförmåga för väggen, vilket även felaktigheter i vindsyddet kan åstadkomma, och leder till ökat värmeeffektbehov och minskad möjlighet till värmeåtervinning av frånluften. Om byggnadens konstruktion utförs rätt är byggandet av lågenergihus ett kostnadseffektivt sätt att avsevärt minska värmebehovet i huset, konstateras i *Byggnaden som system*¹.

Dessutom kan luftkvaliteten bli sämre eftersom all luft som kommer in inte filtreras. Exempel på vad som kan försämra luften på grund av otätheter är pollen utifrån, matos från andra lägenheter och radon från källare och mark. Även spridning av brandgaser kan öka vid otätheter. Även ljudkomforten kan försämrans eftersom buller utifrån kan ta sig in genom otätheter. Luftläckagets storlek påverkas både av otätheter och av drivkrafter. Drivkrafterna som påverkar är termiska drivkrafter, tryckskillnader orsakade av vind och mekanisk ventilation. Från och tilluftsventilation ger oftast små tryckskillnader över klimatskalet vilket minskar risken för luftläckage.³ Vindsyddet är viktigare desto högre byggnaden är eftersom luftströrelserna ökar innanför fasadskiktet vid oförändrad lufttäthet, på grund av ökad vindpåverkan på högre höjder. Vid luftläckage kan även obalans i ventilationssystemet skapas. Effekterna på ventilationen blir som störst om balanserad mekanisk till- och frånluftsventilation används.¹

Under en begränsad tid på vintern är luften som tillförs övertempererad om ventilationen används som distributionssystem för uppvärmning. Då är det viktigt att tilluften har tillräcklig hastighet för att åstadkomma ordentlig omblandning. Mer isolering och bättre lufttäthet innebär att det blir högre temperaturer i ett passivhus på sommaren än i ett vanligt hus

1 Abel E och Elmroth A, 2006. Byggnaden som system. Forskningsrådet Formas, Stockholm.

2 Sikander E, Samuelsson I, Gustavsson T, Ruud S, Larsson K, Hiller C, Werner G, Gabriellii K, 2009. Lågenergihus och passivhus – vanliga frågeställningar. SP Rapport 2009:28. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

3 Wahlgren P, 2010. Goda exempel på lufttäta konstruktionslösningar. SP rapport 2010:9. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

eftersom värmen som kommer in i huset inte kan ta sig ut ur huset lika lätt. Detta innebär att passivhus kan behöva vädras längre perioder än vanliga hus.¹

När Lindås Park-projektet utvärderades påpekades en risk att passivhusets princip med uppvärmning från interna värmekällor kan leda till en större användning av hushållsel än nödvändigt. Det påpekas dock att om värme från hushållsapparater används effektivt är det mycket bra ur energisynpunkt. Det visade sig även att brukarna var missnöjda med ljudförhållande med hänsyn till internt ljud inom lägenheten. Den öppna planlösningen tillsammans med den välfungerande ljudisoleringen utifrån och in kan vara faktorerna bakom denna upplevelse hos brukarna.² Detta är också risker och missnöjesyttringar som måste hanteras vid byggandet av passivhus.

Koncept liknande passivhuskonceptet finns i länder runt om i världen. Nedan presenteras två framgångsrika koncept.

I Schweiz har ett koncept motsvarande passivhus arbetats fram, *MINERGIE-P-Standard*. Det är en registrerad kvalitetsmärkning för nybyggda och renoverade byggnader där de främsta kraven är energianvändningen för uppvärmning och brukarnas komfort vilket ska åstadkommas genom ett högkvalitativt klimatskal och god luftomsättning.

Energianvändningen för uppvärmning, varmvatten, ventilation och kylning måste kunna redovisas detaljerat var för sig. Krav finns även på användandet av ett balanserat FTX-ventilationssystem med en värmeväxlare med verkningsgrad större än 80 % samt på U-värden för byggnadsdelarna. MINERGIE erbjuder även en MINERGIE-ECO-standard där större krav ställs för exempelvis återvinningsbarhet. Precis som för passivhus finns certifierade byggnadselement och byggnadskomponenter. I MINERGIE-standarderna ställs även krav på att kostnaderna för att uppnå standarderna inte får innebära mer än 10 % högre kostnader än för motsvarande hus som inte uppnår standarderna.³

KlimaHaus/CasaClima är en standard för byggnader, som karaktäriseras av följande⁴:

- Kompakt konstruktion
- Välisolerat klimatskal
- Termiskt högpresterande fönster
- Lufttät konstruktion
- Undvikande av köldbryggor
- Användande av solenergi
- Optimerade konstruktionsmetoder

1 Sikander E, Samuelsson I, Gustavsson T, Ruud S, Larsson K, Hiller C, Werner G, Gabriell K, 2009. Lågenergihus och passivhus – vanliga frågeställningar. SP Rapport 2009:28. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

2 Boström T, Glad W, Isaksson C, Karlsson F, Persson M-L och Werner A, 2003. Tvärvetenskaplig analys av lågenergihusen i Lindås Park, Göteborg. Hämtad från: http://www.liu.se/energi/publikationer/tvarprojekt/1.26587/arbetsnotat_25_lagenergihus_lindas_park.pdf (2010-10-07)

3 MINERGIE. Planning and project The MINERGIE-Standard for Buildings – Information for Architects. Hämtad från: http://www.minergie.com/tl_files/download_en/Faltblatt_Minergie_Standard_e.pdf (2010-10-14)

4 KlimaHaus Agentur, 2007. Characteristics of KlimaHaus/CasaClima. <http://www.agenziacasaclima.it/en/climatehouse/climatehouse/characteristics-of-klimahauscasaclima.html> (2010-10-14)

- Omsorgsfullt utförande
- Hög komfort

Standarden har sitt ursprung i Sydtyrolen och första huset byggt enligt standarden stod färdigt 2002¹. Beroende på ett KlimaHaus/CasaClimas energiprestanda klassas byggnaden antingen som KlimaHaus Gold, KlimaHaus A eller KlimaHaus B. KlimaHaus Gold motsvarar en maximal energianvändning för uppvärmning på 10 kWh/(m²·år), KlimaHaus A 30 kWh/(m²·år) och KlimaHaus B 50 kWh/(m²·år).²

Det finns även andra benämningar för lågenergihus än passivhus som florerar i Sverige. Dessa presenteras nedan.

Minienergihus är en standard liknande den för passivhus, fast med lägre ställda krav, där kraven har tagits fram av FEBY och certifieringsprocessen är densamma³.

Ett *nollenergihus* är ett hus som inte behöver tillförsel av energi från externa källor utan kan utnyttja passiv solenergi och andra förnyelsebara energikällor för att tillgodose alla energibehov⁴.

Plusenergihus är ett nollenergihus som sett över ett år kan producera mer energi än vad det gör av med, och kan därmed under vissa delar av året leverera energi till exempelvis lokala elnätet⁴. Ett välkänt exempel på Plusenergihus är Villa Åkarp som uppfördes 2008. Utöver komponenterna i ett passivhus används 18 m² solfångare på taket som bidrar till uppvärmningen av huset och varmvattnet samt 32 m² solceller som producerar el som sommartid går till Eons elnät. En vattenmantlad, pelletseldad braskamin bidrar med extravärme när det behövs. Solfångarna och braskaminen är kopplad till en 2 000 liters ackumulatortank för lagring av värmen, till varmvattensystemet och till ett traditionellt radiatorsystem för distributionen av värme i huset.⁵

Boverket definierade 1991 begreppet *ekobyar*, byar som kan i stor utsträckning försörja sig själva och utnyttja kretsloppstänkande. 1999 fanns 17 ekobyar med vardera 10-50 hushåll. I dessa ekobyar utnyttjas nollenergi- eller plusenergihus.⁴

Passivhuskonceptet växte fram för att minska byggnaders energianvändning och i förlängningen bidra till ett hållbart samhälle. I ett hållbart samhälle innefattas mer än enbart energianvändning, utan även andra miljöaspekter. En kort presentation görs därför av två kända certifieringsmodeller för energisnålt och miljöanpassat byggande.

LEED står för Leadership in Energy and Environmental Design och kommer ursprungligen från U. S. Green Building Council i USA. Det är frivilligt att använda LEED. I LEED används olika nyckelområden som bedöms och betygsätts med poäng. Beroende på hur många poäng ett projekt får finns fyra olika certifikat; certifierad, silver, guld och platinum. Certifiering utförs av Green Building Certification Institute. De områden som bedöms är⁶:

1 KlimaHaus Agentur, 2007. ClimateHouse History. <http://www.agenziacasaclima.it/en/climatehouse/climatehouse/climatehouse-history.html> (2010-10-14)

2 KlimaHaus Agentur, 2007. Categories. <http://www.agenziacasaclima.it/en/climatehouse/climatehouse/categories.html> (2010-10-14)

3 Erlandsson M, Ruud S, Sandberg E och Wall M, 2009. FEBY - Kravspecifikation Minienergihus - Version 2009. LTH rapport EBD-R--09/26. IVL rapport nr A1593. ATON rapport 0903. Forum för Energieffektiva Byggnader

4 Schmitz-Günther T, 2000. Ekologiskt byggande och boende. Svenska faktaanpassade utgåvan. Könemann Verlagsgesellschaft mbH, Köln

5 Rockwool. Tekniska lösningar. <http://www.rockwool.se/inspiration/villa+%c3%a5karp/tekniska+1%c3%b6sningar> (2010-10-20)

6 U.S. Green Building Council. Welcome to USGBC. <http://www.usgbc.org/> (2010-08-19)

- Lokalisering i samhället och vad det finns för tillgång till infrastruktur
- Utbildning av boende så att energieffektiviseringen blir maximerad
- Innovativ design
- Vad som är viktigt för den regionala miljön
- Inomhusmiljö (luftkvalitet, dagsljus och akustik)
- Materialanvändning under byggarbete och användningen av huset (minska avfall och öka återvinning)
- Energianvändning (även hur den energin som används produceras)
- Effektivitet av vattenanvändningen
- Val av hållbar byggnadsplats (hur ekosystem och vattentäkter påverkas, vattenavrinning, erosion m.m.)

I Storbritannien har BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) tagits fram som används för att miljömässigt utvärdera byggnader i projekteringsfasen och miljöklassa befintliga byggnader. Enligt sig själva är de den ledande miljöutvärderingsmetoden i världen med 110 000 certifierade byggnader. BREEAM har ett inbyggt poängsystem där prestanda utöver kravnivå, som medför miljö-, komfort- eller hälsofördelar, belönas inom följande kategorier¹:

- Energi
 - Energianvändning
 - CO₂-användning
- Upphandling
- Byggledning
- Förvaltning
 - Idrifttagning
 - Förvaltningspolicy
- Hälsa och välbefinnande
 - Invändig och utvändig miljö
 - Exempelvis buller, ljus, luftkvalitet

¹ BRE Global, 2009. BREEAM – The Environmental Assessment Method for Buildings Around the World. Hämtad från: http://www.breeam.org/filelibrary/BREEAM_Around_The_World_A4.pdf (2010-10-11)

- Transporter
 - Transportrelaterad CO₂-användning
 - Platsrelaterade faktorer
- Vatten
 - Vattenanvändning
 - Vatteneffektivitet
- Material
 - Inbyggda påverkansfaktorer i byggnadsmaterial
 - Exempelvis CO₂-påverkan ur livscykelperspektiv
- Avfall
 - Resurseffektivitet i byggskedet
 - Avfallshantering
 - Avfallsminimering
- Markanvändning
 - Lokalisering av byggnaden
 - Byggnadens fotavtryck
- Föroreningar
 - Utvändig luftförorening
 - Vattenförorening
- Ekologi
 - Ekologiskt värde, bevarande och förbättring av byggnadens plats

Poängen som fås i varje kategori multipliceras med en miljömässig vägningsfaktor som tar hänsyn till kategoriernas inbördes betydelse. Poängen för kategorierna summeras sedan. Byggnaden ges därefter ett betyg på följande skala: godkänd, bra, mycket bra, utmärkt och enstående samt 1-5 stjärnor. BREEAM erbjuds i flera specialanpassade varianter, som BREEAM Multi-Residential för flerbostadshus och BREEAM EcoHomes för bostäder utanför Storbritannien.¹

¹ BRE Global, 2009. BREEAM – The Environmental Assessment Method for Buildings Around the World. Hämtad från: http://www.breeam.org/filelibrary/BREEAM_Around_The_World_A4.pdf (2010-10-11)

Flera av de områden som tas upp i dessa certifieringsmodeller omfattas inte av passivhuskonceptet, men kanske kan vara en framtida vidareutveckling av, eller ses som ett komplement till, passivhuskonceptet eftersom dessa ger ett helhetsperspektiv på vad som påverkar miljön vid nybyggnation.

Även GreenBuilding är ett etablerat begrepp. Det är ett program där hjälp kan fås med vad som kan göras bättre och hur stor potential det finns hos olika lösningar för att spara på energianvändningen, men som enbart är tillämpligt på andra byggnader än bostadshus. Därför studeras det inte närmre.¹

En del i att bygga passivhus är även att anpassa huset till solen, för att maximera vinsterna från solen och på så sätt minska behovet av tillförsel av energi på annat sätt.

I *The Passive Solar House* beskrivs 10 mer eller mindre enkla principer för att bygga ett solanpassat hus²:

1. Orientera huset med hänsyn till förhållandet mellan solen och platsen
 - a. Öppna upp huset mot öster, söder och väster för att använda energin från solen i största möjliga utsträckning
 - b. Ta hänsyn till den naturliga terrängen och träd för att i norr buffra mot kallare nordanvindar och lövbärande träd framförallt i söder för att minska risken för övertemperaturer under sommaren genom skuggning
2. Designa med hänsyn till hela året
 - a. Planera för att kunna ta vara på fördelar av solens skiftade rörelsemönster och andra naturliga säsongstyrda cykler gällande väder och vind
3. Tillhandahåll termiskt buffrande massor som kan lagra solvärmens under dagen för att avge den under natten
 - a. Uppnå termisk balans genom att utforma den värmelagrande förmågan tillräckligt stor för att klara värmebehovet under natten vintertid
4. Isolera väl och bygg tätt
 - a. Bygg tätt och med ett välisolerat klimatskal
 - b. Montera ett tätt ångspärrande skikt i inre delen av klimatskalet
 - c. Konstruera ett vindfång vid ingången som minskar energiförlusterna vid dörröppning
5. Använd fönster som solfångare och kylmekanism
 - a. Använd fönster av hög kvalitet för att inte vara beroende av radiatorer

¹ European Commission – Joint Research Centre – Institute for Energy, 2010-08-11. The European GreenBuilding Programme. <http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/greenbuilding/index.htm> (2010-08-19)

² Kachadorian J, 2006. *The Passive Solar House – The Complete Guide to Heating and Cooling Your Home*. Chelsea Green Publishing Company, Vermont.

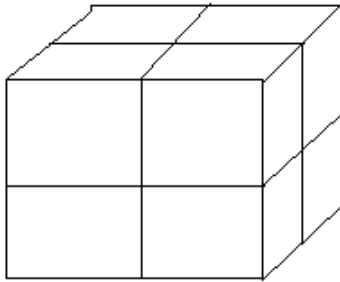
- b. Vertikala södervända fönster släpper in värme vintertid
 - c. Använd isolerade invändiga fönsterluckor för att minska värmeförlusterna nattetid vintertid och kontrollera värmetillskott dagtid sommartid
 - d. Öppningsbara fönster kan användas sommartid för att nattetid ventilera bort överflödigt värme som lagrats under dagen
6. Överdriv inte fönsterandelen
- a. Använd tillräcklig stor andel fönster för att få nog med dagsljus och solenergi, men inte mer eftersom risken då blir stor för övertemperaturer
7. Ta med vinster från solenergi och effekter av exempelvis skuggning vid energiberäkning av värme- respektive kylbehov
- a. Storleksanpassa eventuellt kompletterande värme- och kylsystem för uppvärmning och kylning enstaka dagar
8. Förse byggnaden med tilluft utan att äventyra den termiska funktionen av klimatskalet
- a. Lufttillförseln måste ske kontrollerat genom tilluftsdon och inte genom luftläckage genom klimatskalet
9. Använd konventionella material men på sätt som kan maximera energieffektiviteten och vinsterna från solenergi
- a. Arrangera om byggnadsmaterial och komponenter för flera funktioner – exempelvis såväl energimässiga som estetiska
10. Att bygga solanpassat kan vara förenligt med alla stilar av arkitektur och byggnadstekniker
- a. Solanpassade byggnader behöver inte se futuristiska ut, vara komplicerade, dyra eller kräva svårhanterlig teknik för att fungera
 - b. Bra planering och bra anpassning till omgivningen är värt mer än teknik och utrustning

Inte enbart orientering utan även husets form påverkar värmebehovet. Extra ytterytor och hörn ökar transmissionsförlusterna¹. Hörn skapar fler köldbryggor och med större omslutande area i förhållande till volymen ökar transmissionsförlusterna genom klimatskalet. Följande exempel kan illustrera det senare:

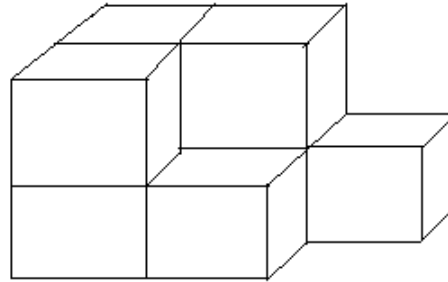
- En kub med sidorna 2 m kan anses bestå av 8 stycken kuber med sidorna 1 m. Den har alltså volymen 8 m^3 , och den omslutande arean är 24 m^2 . Area/volym-förhållandet är därmed 3. Om en av de 8 mindre kuberna istället läggs bredvid är den totala volymen densamma men den omslutande arean ökar till 28 m^2 och därmed area/volym-

¹ FoU-Syd Sveriges Byggindustrier, 2008. Undvik fel och fallor som ökar energianvändningen i byggnader. FoU-Syd Sveriges Byggindustrier, Malmö.

förhållandet till 3,5. Se figurer 56-57. Det innebär alltså att det lönar sig att bygga utan extra yttertor.



Volym: 8 m^3 Omslutande area: 24 m^2



Volym: 8 m^3 Omslutande area: 28 m^2

Figurer 56-57 Exempel på area/volym-förhållandet

Area/volym-förhållandet visar även att det är gynnsamt att bygga på höjden:

- Ett rätblock med två sidor på 2 m och en höjd på 4 m har volymen 16 m^3 och den omslutande arean 40 m^2 . Area/volym-förhållandet är därmed 2,5, vilket är mindre än 3 för kuben med sidorna 2 m.

För flerbostadshus i form av höghus blir effekten av vindbuffrande träd i norr och skuggande träd i söder mindre desto högre huset blir.

Rumshöjden påverkar även värmebehovet. Vintertid krävs mer uppvärmning vid större rumshöjd eftersom ytterväggsarean ökar. Enligt Energilotsen ökar dock energianvändningen för uppvärmning bara överslagsmässigt med 1 % om rumshöjden ökar från 2,4 m till 2,7 m i flerbostadshus. Högre rumshöjd underlättar samtidigt att tillföra ventilationsluft dragfritt¹ vid takplacerade omblandande tilluftsdon.

Passivhus byggs med passiva åtgärder utifrån dagens klimat för att minska värmebehovet, bland annat genom stora södervända fönstereor. I framtidens klimat kan värmetillskottet från solenergi som fås i passivhus leda till övertemperaturer sommartid. För att kunna anpassas till framtidens klimat kan åtgärderna behöva vara mer flexibla.²

9.2 Massivträ

I Inre Hamnen i Sundsvall har Sundsvalls kommunala bostadsbolag Mitthem byggt flerbostadshus i massivträ. Hyresgästerna i dessa hus verkar mer nöjda än Mitthems andra hyresgäster och verkar tycka att bo i trähus ger ett mervärde efter genomförda intervjuer med hyresgästerna. Detta antas till viss del bero på massivträets egenskaper och sinnesupplevelsen av trä – exempelvis doften av trä och en varm och ombonad känsla.³ Synligt trä kan medföra en känsla av komfort och ge rummen en viss akustisk upplevelse⁴. Denna upplevelse är givetvis subjektiv och skiljer sig från person till person.

1 Energilotsen, 2009-11-30. Samarbete mellan energisamordnare och byggherre. Hämtad från:
http://www.energilotsen.nu/energilotsen/kap_4_byggherre.pdf (2010-09-30)

2 Boverket, 2009. Bygg för morgondagens klimat. Anpassning av planering och byggande. Boverket, Karlskrona.

3 Boverket, 2006. Sundsvalls Inre Hamn – Ett utvecklings- och informationsprojekt för trähusbyggande i massivträ. Boverket, Karlskrona.

4 Glasø G, 2008. FOKUS på tre Nr. 32 Fleretasjes trehus. TreFokus AS och Norsk Treteknisk Institutt, Oslo.

I *Trälyftet – Ett byggsystem i massivträ för flervåningshus* nämns att genom att förmedla att trä är ett bra val ur trivsel-, energi- och miljösynpunkt direkt till brukaren kan användandet av träbyggnadssystem stimuleras¹.

Trä är nämligen en naturlig och förnyelsebar råvara som kan återanvändas, återvinnas eller energiåtervinnas samtidigt som det tillverkas med liten energiåtgång² och låga koldioxidutsläpp³. Träets värmeisolerande egenskaper minskar även inverkan av köldbryggor². Om massivträ används fås högre måttnoggrannhet och formstabilitet än för konstruktionsvirke⁴ vilket ökar möjligheterna att bygga lufttätt.

Enligt norska Trefokus har erfarenheter från tidigare byggprojekt med massivträ som bärande element visat att om projekteringsgruppen sätts ihop tidigt i byggprocessen blir gruppen mer lösningsorienterad istället för problemorienterad och bättre resultat fås. Projekteringstiden kan bli längre och dyrare, men anses återbetala sig vid senare skeden i byggprocessen.⁵

Norsk Treteknisk Institutt har tagit fram ett vägledningsdokument för alla aktörer i byggprocessen när det ska byggas med massivträelement. Den är tänkt att kunna användas som en minneslista eller checklista under projekteringen och byggskedet. Några goda allmänna råd ges⁶:

- Eftersom byggande med massivträelement innebär stor prefabriceringsgrad kan det vara värt att lägga mer tid på projektering inklusive detaljprojektering.
 - Använd beprövade standardelement/-lösningar i största möjliga mån.
 - Leta upp referensobjekt för förslag på lösningar och detaljer.
- En bra start på projektet är att hålla ett startmöte där arkitekt, byggherre, konsulter och entreprenör närvarar.
 - Ta initiativ för en fuktsäker byggprocess tidigt i projektet.

För konsulter påpekas även att ljud, brand och energi är viktiga att ta hänsyn till. Vägledningsdokumentet går att hitta på www.trefokus.no eller på www.treteknisk.no.⁶

En låg egenvikt i förhållande till bärförmåga samt att element av massivträ kan tillverkas i stora förtillverkade enheter resulterar i lägre transport-, monterings- och grundläggningskostnader⁴. Belastningen på grunden för ett hus byggt med massivträ är 1/3 av belastningen på grunden för motsvarande hus byggt med betong⁷. Att bygga med massivträ är även en torr byggmetod och massivträelement kan bära last omedelbart efter montering, vilket även minskar monteringskostnader³. Trä är även lätt att bearbeta vilket gör infästning av tekniska installationer och håltagningar i massivträelement enkla.⁸

1 AB Svensk Byggtjänst, 2005. *Trälyftet – Ett byggsystem i massivträ för flervåningshus*. AB Svensk Byggtjänst, Stockholm.

2 Carling O, 2001 (2008). *Limträ handbok*. Svenskt Limträ AB, Stockholm.

3 Trätek – Institutet för träteknisk forskning. *Bygga med massivträ i Norden*. kontenta 0211041. Trätek – Institutet för träteknisk forskning, Stockholm, Växjö och Skellefteå.

4 Gustafsson A, 2001. Sammanfattning av projekt "Väggelement av massivträ". Trätek, Skellefteå.

5 Trefokus AS, 2005-12-05. *Projektering av byggeprosjekt – Råd og tips til projektering med massivtre*. <http://www.trefokus.no/fullstory.aspx?m=523> (2010-09-27)

6 Aarstad J. *Veiledning – bygge med Massivtreelementer*. Norsk Treteknisk Institutt, Oslo.

7 Glasø G, 2008. *FOKUS på tre Nr. 32 Fleretasjes trehus*. TreFokus AS og Norsk Treteknisk Institutt, Oslo.

8 Aarstad J og Bunkholt A. *FOKUS på tre Nr. 20. Massivtre*. TreFokus AS og Norsk Treteknisk Institutt, Oslo.

I samband med bygget av Inre Hamnen i Sundsvall gjordes undersökningar som visar att prefabricerade massivträsystem för flerbostadshus kan anses konkurrenskraftiga och kan anses medge stora möjligheter att minska bygg- och förvaltningskostnaderna jämfört med om det byggs med platsgjuten betong eller platsbyggda massivträelement. Exempelvis vid förtillverkning av byggnadsdelarna i fabrik kan byggkostnaderna minskas med minst 7 % jämfört med platsbygge med trä. Byggande med massivträ kan även leda till en bättre arbetsmiljö för byggarbetarna än om det byggs i platsgjuten betong. Bland annat eftersom bullernivåerna blir lägre och trä är mer lättbearbetat.¹ Enligt TreFokus och Norsk Treteknisk Institutt är massivträelement speciellt konkurrenskraftiga när de används som mellanbjälklag. Framförallt vid dåliga grundläggningsförhållanden på grund av dess låga vikt.²

I en delrapport inom forskningsprojektet *Livscykelekonomi för flerbostadshus i trä* har en fallstudie gjorts mellan två identiska flerbostadshus bortsett från val av stommaterial. Det ena husets stomme är av trä och det andra husets stomme är av betong. Resultaten som fås i fallstudien är att energianvändningen av fjärrvärme uppgår i huset av trä till 80 % av den i huset av betong och att de framtida underhållskostnaderna förväntas vara lägre för huset av trä än för huset av betong. Med hjälp av enkätundersökningar och intervjuer konstateras att förvaltningen av flerbostadshus i trä i övrigt inte skiljer sig nämnvärt från den av flerbostadshus i betong.³

I *Ekologiskt byggande och boende* specificeras fördelar och nackdelar med trähus gentemot stenhus⁴:

- Trähusets fördelar:
 - Trä är förnyelsebart
 - Trä kräver mindre energi vid tillverkning
 - Bättre tillgång på färdiga byggelement
 - Isoleras lätt och effektivt
 - Kortare byggtid
 - Mindre byggfukt
 - Mindre kostnader för om- och tillbyggnad
- Trähusets nackdelar:
 - Sämre vind- och lufttäthet
 - Sämre värmelagringsförmåga
 - Sämre akustiska egenskaper

1 Boverket, 2006. Sundsvalls Inre Hamn – Ett utvecklings- och informationsprojekt för trähusbyggande i massivträ. Boverket, Karlskrona.

2 Aarstad J och Bunkholt A. FOKUS på tre Nr. 20. Massivtre. TreFokus AS och Norsk Treteknisk Institutt, Oslo.

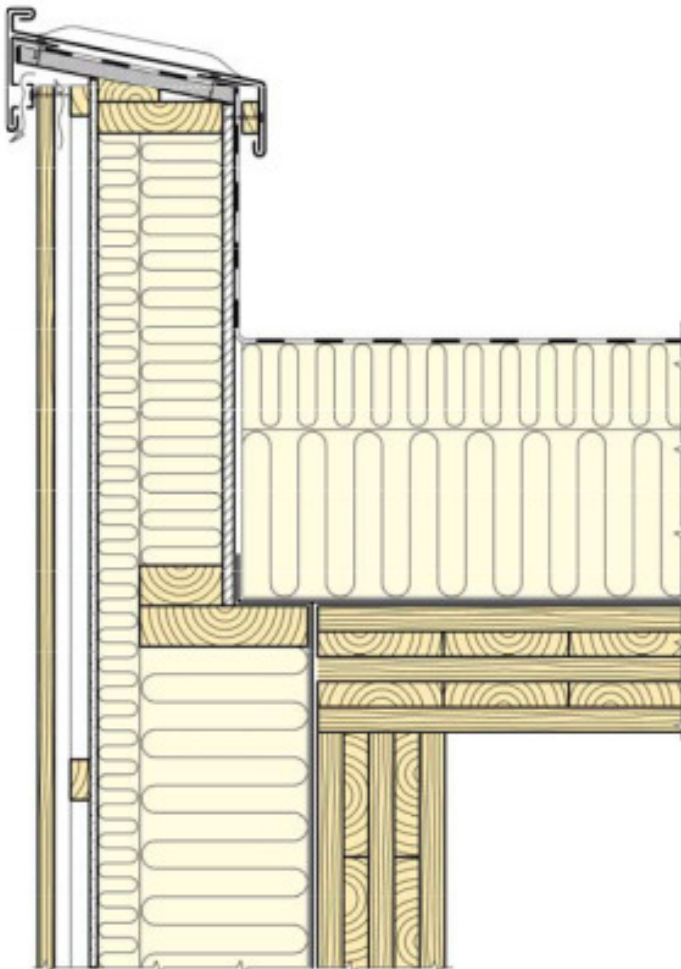
3 Levander E, 2010. Förvaltning av industriellt byggda flerbostadshus med trästomme – Kartläggning av kostnader och erfarenheter. Luleå Tekniska Universitet, Luleå

4 Schmitz-Günther T, 2000. Ekologiskt byggande och boende. Svenska faktaanpassade utgåvan. Könnemann Verlagsgesellschaft mbH, Köln

- Kräver noggrant hantverksarbete för att hålla lika länge som stenhus
- Större risk för byggfel
- Kortare hållbarhet vilket innebär att det krävs mer underhåll

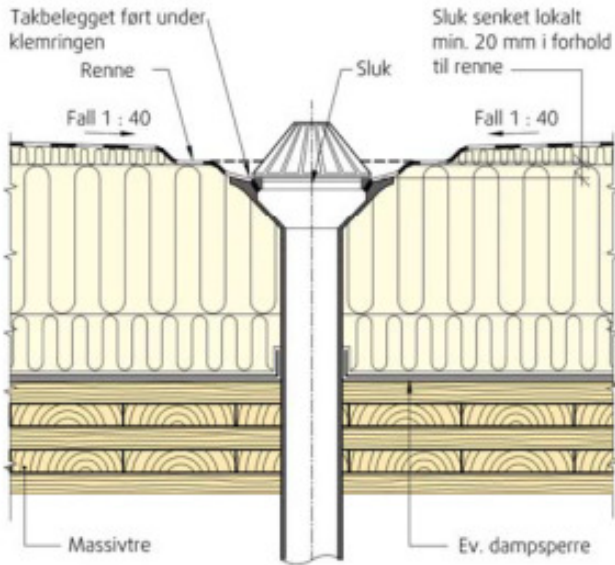
Denna lista är generell och dessa faktorer kan skilja sig vitt beroende på utförande.

I rapporten *Tak basert på massivtreelementer* konstateras att tak av massivträelement kan utföras både med eller utan ventilation efter samma principer som tak med andra bärande element. I figurer 58-62 visas principer för hur dessa kan utformas. Efter att mätningar i 1 ½ år har gjorts på två takkonstruktioner som är identiska bortsett från avsaknaden av ångspärr i den ena kom de fram till att ångspärr inte behövs i tak av massivträelement om lufttätet kan säkerställas i hela byggnaden. Enbart mindre skillnader i fuktnivå i takets olika delar kunde påvisas och för båda taken låg fuktnivåerna långt under vad som anses vara för hög fuktnivå i träkonstruktioner. Det påpekas även i rapporten att det är mycket viktigt med regnskydd av massivträelement under byggskedet, exempelvis att bygga under tält.¹

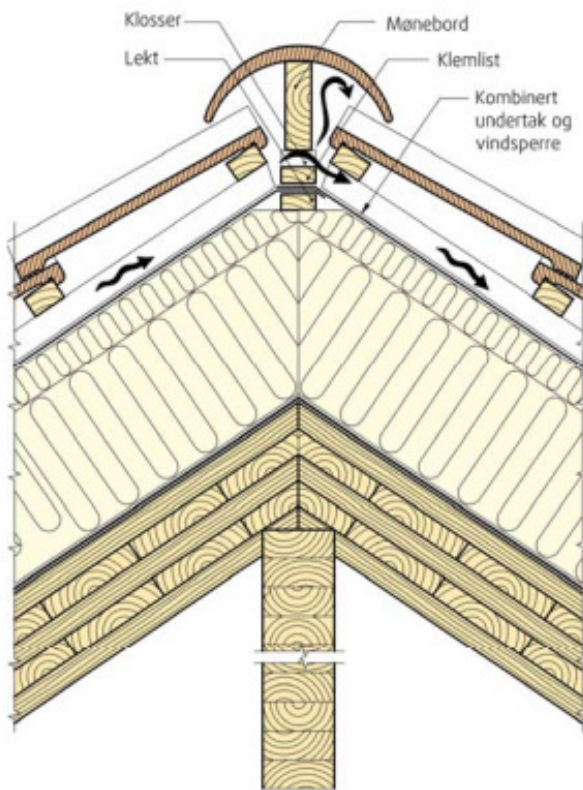


Figur 58 Anslutning vägg och tak för plant oventilerat tak¹

¹ Time B, Geving S, Friquin K L., Grynning S, Noreng K och Sandland K M, 2008. Tak basert på massivtreelementer – Klimapåkjenninger, bygningfysiske og bygningstekniske forhold. Prosjektrapport 30. SINTEF Byggeforsk, Oslo.

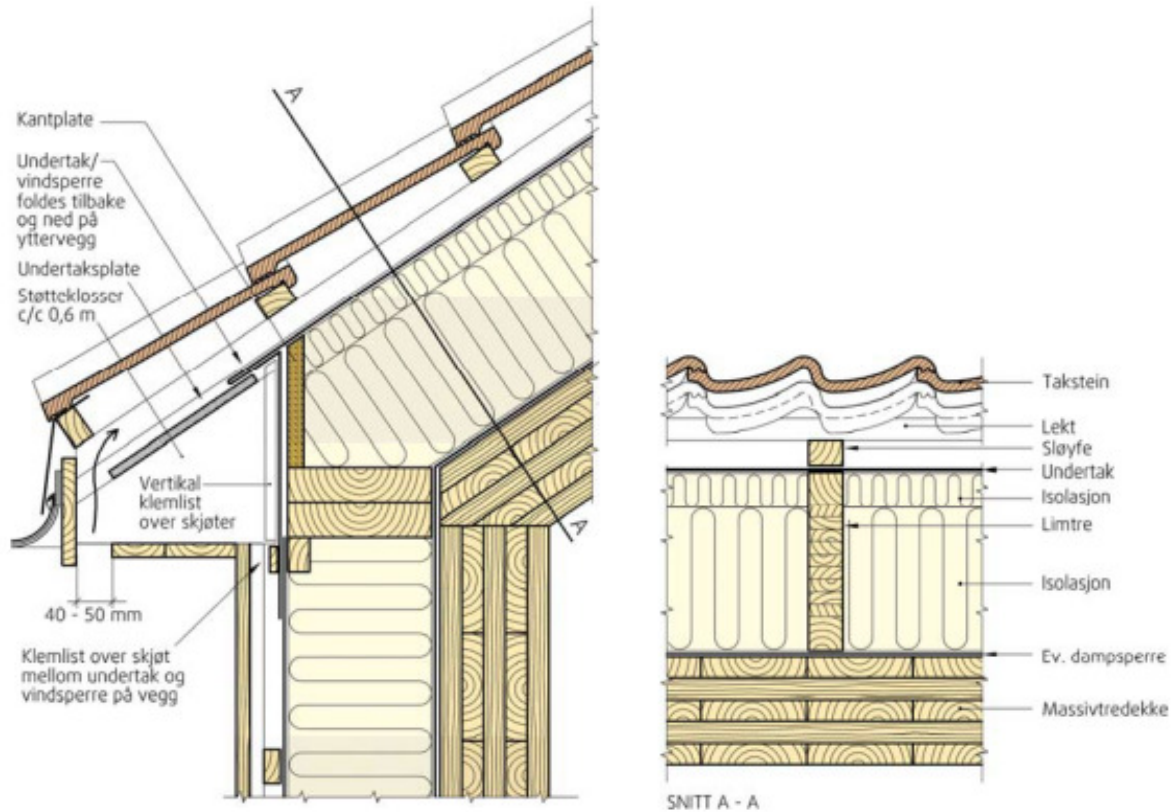


Figur 59 Takavvætning av plant oventilerat tak¹



Figur 60 Taknock för lutande ventilerat tak¹

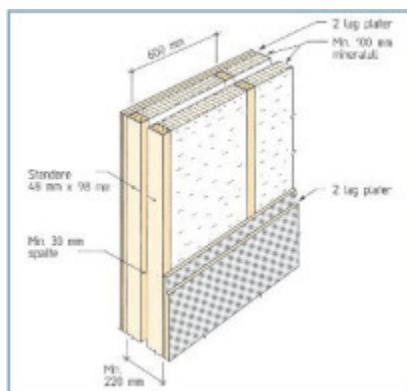
¹ Time B, Geving S, Friquin K L., Grynning S, Noreng K och Sandland K M, 2008. Tak basert på massivtrelementer – Klimapåkjenninger, bygningfysiske og bygningstekniske forhold. Prosjektrapport 30. SINTEF Byggeforsk, Oslo.



Figurer 61-62 Anslutning mellan vägg och tak för lutande ventilerat tak och snitt av denna¹

Enligt rapporten *Fuktsäkerhet i kalla vindsutrymmen* är luft- och ångtätning i takbjälklag med ventilerad vind ovanför viktigt².

Byggsystem av massivträ är generellt mer känsliga för flanktransmission, exempelvis när stegljud transmitteras från en våning till den nedanför, än byggsystem i betong eftersom en massivträstomme är en lättare konstruktion. Lösningar på detta kan vara en dubbelkonstruktion av innerväggar där två väggelement sätts ihop, se figur 63, och flytande golv eller fribärande undertak.³



Figur 63 Sammansatta väggelement³

1 Time B, Geving S, Friquin K L., Grynning S, Noreng K och Sandland K M, 2008. Tak basert på massivtrelementer – Klimapåkjenninger, bygningsfysiske og bygningstekniske forhold. Prosjektrapport 30. SINTEF Byggeforsk, Oslo.

2 Harderup L-E och Arfvidsson J, 2008. Fuktsäkerhet i kalla vindsutrymmen. LTH Rapport TVBH-3050. Lunds Tekniska Högskola, Lund.

3 Industrikonstortiet Massivträ, 2006. Massivträ. Handboken 2006. Industrikonstortiet Massivträ.

Punktvis förbindelse mellan bjälklag över en lägenhetsskiljande vägg rekommenderas framför kontinuerlig förbindelse för att minska flanktransmissionen. Anslutningarna måste även utformas så att svängningar och svikt orsakade av brukarna eller teknisk utrustning inte fortplantas i konstruktionen. Kontinuerligt bjälklag eller kontinuerliga balkar accepteras därför enbart inom samma bostad men inte mellan bostäder. Även brandkrav kan vara kritiska och med bostadssprinklers kan bättre brandklasser lättare nås.¹

Dragning av installationer behöver inte vara mer komplicerat än vid traditionellt bygge, men det är viktigt att ljudisolera de tekniska installationerna och se till att genomföringar tätas så att brandskyddet bibehålls. Helst bör dragningarna göras vertikalt i central placerade installationsväggar eller schakt. Även längden av horisontella dragningar bör minskas och alla dragningar bör samlas centralt i bostadsenheten eller mot trapprum. Kök och badrum kan med fördel placeras mot varandra. Eldragningen bör göras öppet på utsidan av brand- och ljudisolerande väggar för att inte riskera nedsättning av brand- och ljudisolerande förmågan. Vid höghusbygge är det fördelaktigt om installationernas knutpunkter är flexibla för att kunna klara av sättningar och deformationer som kan uppstå.¹

Massivträ har ett relativt högt brandmotstånd², men med hänsyn till spridning av brand är trä generellt dåligt³. Försök har dock visat att massivträkonstruktioner kan uppfylla funktionskrav REI90. Med komplettering med gips och andra brandhinder material kan ännu högre funktionskrav klaras.⁴ Med enkla sprinklersystem kan brandsäkerheten bli större än för de flesta andra material utan att träet behöver behandlas². Den stora trävolymen i massivträet gör det svårantänd om sprinklersystemet slår ut i tid och sprinklersystemet minskar även spridningen. Bärförmågan hos konstruktioner i massivträ är större än lättare träkonstruktioner efter en tids brand och är därför att föredra ur brandsynpunkt.⁵ Det medför att massivträelement behåller sin bärande förmåga även vid höga temperaturer⁴.

I en SINTEF-rapport (*Selskapet for Industriell og TEknisk Forskning ved Norges tekniske høgskole*) konstateras inga skillnader resurs- och miljömässigt att använda massivträ jämfört med att använda traditionella träkonstruktioner. Däremot konstateras att trä som byggmaterial ger resurs- och miljömässiga vinster jämfört med betong och stål. Om det samlade energibehovet under en byggnads livstid (50 år) och energibehovet under byggskedet räknas ihop visar sig ett traditionellt byggt trähus medföra lägre energibehov än ett hus byggt med massivträkonstruktion. Detsamma gäller för CO₂-produktionen, men om träets förmåga att binda CO₂ under växtperioden tas hänsyn till fås däremot en nettobindning av CO₂ i massivträkonstruktionen. Om även avfallshanteringen inkluderas i det totala energibehovet blir energibehovet lägre för byggnaden i massivträ, och för CO₂-produktionen medför det att det bundna CO₂ frigörs och CO₂-produktionen blir störst för massivträkonstruktionen.⁶

Trots träets låga densitet fås en hög värmelagringsförmåga på grund av en hög specifik värmekapacitet. Värmelagringsförmågan per volymenhet [kJ/(m³·K)] är nästan lika stor som för tegel. Betong har avsevärt högre än trä, medan gips och lättbetong har avsevärt lägre än trä. Dock har simuleringar visat att ett massivträbjälklag med en tjocklek på 200 mm kan ha

1 Glasø G, 2008. FOKUS på tre Nr. 32 Fleretasjes trehus. TreFokus AS och Norsk Treteknisk Institutt, Oslo.

2 Trätek – Institutet för träteknisk forskning. Bygga med massivträ i Norden. kontenta 0211041. Trätek – Institutet för träteknisk forskning, Stockholm, Växjö och Skellefteå.

3 Bech R och Dragsted A, 2003. Brandpåverkade massivtræelementer. Danmarks Tekniske Universitet Byg, Lyngby.

4 Aarstad J och Bunkholt A. FOKUS på tre Nr. 20. Massivtre. TreFokus AS og Norsk Treteknisk Institutt, Oslo.

5 Associerede Ingeniører ApS og Skov og Naturstyrelsen, 2001. Massivtrae i byggeriet. Associerede Ingeniører ApS og Skov og Naturstyrelsen.

6 Wigenstad T och Nesje T, 2005. Massivtre konstruksjoner i boliger – Bruk av massivtre i bygningen – Miljøegenskaper og energibruk. STF50 A05011. SINTEF Bygg og miljø – Arkitektur og byggeteknikk, Trondheim.

samma praktiska förmåga att lagra och avge energi som ett lika tjockt betongbjälklag över ett dygn. Ett hus med väggar, golv och tak i material med hög värmelagringskapacitet har god förmåga att jämna ut inomhustemperaturen över dygnets timmar¹, vilket kan vara positivt för ett passivhus under sommarhalvåret för att undvika övertemperaturer under dagens varmaste timmar.

I SINTEF-rapporten konstateras även att utan nattsänkning av rumstemperaturen medför ett bostadshus med massivträkonstruktion lägre värmeenergiebehov än ett bostadshus med traditionell träkonstruktion. Massivträets värmelagrande effekt medför ett jämnt energibehov över dygnet. Nattsänkning av rumstemperaturen i ett bostadshus med traditionell träkonstruktion visar sig dock ge lägst värmeenergiebehov. Med nattsänkning av rumstemperaturen fås inga vinster för bostaden med massivträkonstruktion, oavsett isoleringsgrad eller mängd solinstrålning och internt värmetillskott.²

Energianvändningen för uppvärmning är högre första driftsåren om byggfukt ska torkas bort i ett hus byggt av exempelvis betong. Ett flerbostadshus med 30 lägenheter byggt i betong kräver 24 kWh/(m²·år) i extravärme för att torka ut byggfukten under de första driftsåren.³ Torrt byggande är viktigt i lågenergi- och passivhus. I vanliga hus med sämre lufttätethet ventileras fukten bort snabbare än i lufttäta hus.⁴

I rapporten *Indeklima i huse af massive traelementer* konstateras att ånghalten är större i en lägenhet byggd i lättbetong (9,5-10,5 g/m³) jämfört med en lägenhet byggd i massivträ (8-9 g/m³). Skillnaden är så pass stor att slutsatsen dras att det är bättre inomhusklimat med hänsyn till fuktförhållanden i byggnader av massivträ än i byggnader av lättbetong eftersom högre luftfuktighet kan orsaka astma och allergier.⁵

I ett forskningsprojekt vid KTH har konstaterats att massiva träkonstruktioner kan ses som ett passivt system med hygrottermisk tröghet, som kan bidra till ett gott inomhusklimat genom att agera buffert för värme och fukt. En jämn fuktbelastning, i form av små förändringar över dygnet av relativ fuktighet i inomhusluften, gavs med en luftomsättning på 0,5 oms/h och diffusionsöppna väggytskikt där mycket trä stod i kontakt med inomhusluften. Detta eftersom det är enbart de yttersta millimetrarna som hinner reagera då fukttransport sker långsamt genom trä. I väggarna som studerades bestod den bärande delen av tre träskivor med luft mellan och utanför bärande delen fanns isolering och fasadklädsel.⁶

Flerskiktselement som plattelement uppvisar små fuktbetingade rörelser eftersom vartannat skikt är korslagat. De är 0,016-0,023 % per procentenhetsändring av fuktkvoten – motsvarande trä parallellt fiberriktningen som är i den riktning de fuktbetingade rörelserna är som minst för trä. För trä i tangentiell riktning är motsvarande tal 0,36 %, vilket är den riktning där rörelserna är som störst. Det är ändå viktigt att fuktkvoten i massivträelement är motsvarande vad den kommer att vara vid färdigställande av byggnaden när den monteras för att undvika

1 Industrikonstortiet Massivträ, 2006. Massivträ. Handboken 2006. Industrikonstortiet Massivträ.

2 Wigenstad T och Nesje T, 2005. Massivtre konstruksjoner i boliger – Bruk av massivtre i bygningen – Miljøegenskaper og energibruk. STF50 A05011. SINTEF Bygg og miljø – Arkitektur og byggeteknikk, Trondheim.

3 FoU-Syd Sveriges Byggindustrier, 2008. Undvik fel och fallor som ökar energianvändningen i byggnader. FoU-Syd Sveriges Byggindustrier, Malmö.

4 Sikander E, Samuelsson I, Gustavsson T, Ruud S, Larsson K, Hiller C, Werner G, Gabriellii K, 2009. Lågenergihus och passivhus – vanliga frågeställningar. SP Rapport 2009:28. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

5 Storgaard Andersen R, 2005. Indeklima i huse af massive traelementer. RLS Consult, Köpenhamn.

6 Hameury S, 2006. The Hygrothermal Inertia of Massive Timber Constructions. Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm.

problem.¹ För att undvika att bygga in fukt i konstruktionen är det viktigt med regn- och fuktskydd under byggskedet. Detta är speciellt viktigt för höghus i trä.²

Vid byggnation i trä är det även viktigt med konstruktivt träskydd. Kemiska träskyddsmedel ska undvikas i största möjliga mån och är inte nödvändiga med rätt konstruktivt träskydd enligt *Ekologiskt byggande och boende*. Antingen kan vatten hindras från att nå träet eller så kan förutsättningar skapas för att vattnet torkar ut snabbt. Åtgärder för konstruktivt träskydd kan vara³:

- Takskägg
- Stuprännor
- Snedskurna kanter på väderutsatta element
- Balk- och pelarskor på element med markkontakt
- God luftning av fuktpåverkade byggnadsdelar
- Att bygga köldbryggsfritt

Om träskyddsmedel ska användas bör det vara baserat på ickeorganiskt lösta borsalter som borax och borsyra eller naturliga ämnen som vejdeextrakt³.

I *Byggekologi 1 – Att bygga sunda hus* beskrivs vilka material som kan anses sunda och bra miljöval. Det som är intressant för oss är framförallt konstruktionsmaterial, där följande anses vara bra miljöval⁴:

- Trä
- Tegel
- Kalksandsten
- Träullscement, armerad
- Sten, lokal
- Betong (ler-, kalk- eller pozzolana-)

Limträ, lättklinker, lättbetong, portlandbetong, järn och stål och importerad sten accepteras medan aluminium, förzinkat och galvaniserat stål och tryckimpregnerat trä bör undvikas⁴.

1 Industrikonsortiet Massivträ, 2006. Massivträ. Handboken 2006. Industrikonsortiet Massivträ.

2 Glasø G, 2008. FOKUS på tre Nr. 32 Fleretasjes trehus. TreFokus AS och Norsk Treteknisk Institutt, Oslo.

3 Schmitz-Günther T, 2000. Ekologiskt byggande och boende. Svenska faktaanpassade utgåvan. Könemann Verlagsgesellschaft mbH, Köln

4 Bokalders V och Block M, 1997. Byggekologi 1 – Att bygga sunda hus. AB Svensk Byggtjänst, Stockholm.

I *Ekologiskt byggande och boende* anges hur mycket energi (kWh/m³) som går åt för att framställa vissa konstruktionsmaterial¹:

Tabell 46 Energi för framställning för konstruktionsmaterial

Konstruktionsmaterial	Energi för framställning [kWh/m ³]
Trä	180
Armerad betong	1 850
Profilstålbalkar	57 000

Som kan ses kräver stålbalkar 316 gånger och armerad betong 10 gånger mer energi än trä¹. Detta är en jämförelse per kubikmeter material. Hur mycket material som behöver användas kan variera beroende på stomval.

9.3 Tekniska lösningar

Vid byggandet av Beckomberga Passivhus använde de sig av en modell för arbetsprocessen vid byggandet av energieffektiva byggnader framtagen av Den Norske Stats Husbank, SINTEF och Byggeforskningsrådet. Modellen, med åtgärder gjorda vid byggandet av Beckomberga Passivhus under respektive post, ses nedan²:

1. Reducera värmeförlusterna
 - a. Lufttätt byggande – information och utbildning, täthetsansvarig, kontinuerliga provtryckningar, isolerande installationsskikt innanför tätskiktet, luftsluss/vindfång i entrén
 - b. Köldbryggor – isolerade bjälklagskanter, extra isolering vid bottenplattan, köldbryggsbrytande balkonginfästning
2. Effektivisera elanvändningen
 - a. A-klassade vitvaror
 - b. Energieffektiva pumpar och fläktar
 - c. Lågenergibelysning
 - d. Hög värmeåtervinningsgrad på FTX-systemet
3. Utnyttja solenergin
 - a. Solfångare för uppvärmning av tappvarmvattnet med ackumulatortank
 - b. Solavskärmning med skjutbara jalousier för att undvika övertemperaturer på sommarhalvåret

¹ Schmitz-Günther T, 2000. *Ekologiskt byggande och boende*. Svenska faktaanpassade utgåvan. Könnemann Verlagsgesellschaft mbH, Köln
² Svensson A, Fänge M, Winblad J och Roos M, 2009. Beckomberga Passivhus. Brunnberg & Forshed Arkitektkontor AB, Stockholm och NCC Boende AB, Solna.

4. Mät och visa energianvändningen

- a. Individuell mätning av värme- och varmvattenanvändning
- b. Bostadsenhetsindividuell styrning av rumstemperatur
- c. Display som visar aktuell energianvändning, temperatur och varmvattenanvändning

5. Välj energikälla

- a. Solenergi (40-50 %) och fjärrvärme (50-60 %) för tappvarmvatten
- b. El med andel från vindkraft för tillskottsvärmning av tilluften

Andra slutsatser som drogs efter genomförande av projektet Beckomberga Passivhus är att orientering av huset spelar en underordnad roll men att placering och proportionering av fönster samt användandet av solavskärmning är viktigt. De anser även att smygarna med fördel kan vinklas.¹

Bakom Villa Åkarp står byggnadsfysikern Karin Adalberth. Nedan presenteras de råd hon ger för att bygga energieffektivt²:

- Värmeisolera ordentligt
- Använd värmväxlingsaggregat med hög temperaturverkningsgrad
- Se till att bygga lufttätt
- Ta hand om gratisvärme, exempelvis genom solfångare och ackumulatortank
- Ta hand om gratis el, exempelvis genom solceller eller vindkraftverk
- Tillgodose behov av värme vintertid, exempelvis genom braskamin
- Använd vattensnål armatur och apparatur
- Använd energieffektiva apparater och belysning

Ett exempel tas upp i *Undvik fel och fällor som ökar energianvändningen i byggnader* för hur stora energimässiga vinster som kan fås vid vissa åtgärder. Exemplet gäller ett flerbostadshus som byggts under senare år i södra Sverige och har en ungefärlig energianvändning på 150 kWh/(m²·år). Energinvändningen inkluderar uppvärmning, varmvattenberedning, fastighetsel och hushållsel. För varje 60 mil längre upp i Sverige drar husen ungefär 10 kWh/(m²·år) mer. Faktorer som kan minska energianvändningen är³:

1 Svensson A, Fänge M, Winblad J och Roos M, 2009. Beckomberga Passivhus. Brunberg & Forshed Arkitektkontor AB, Stockholm och NCC Boende AB, Solna.

2 Rockwool. Råd till den som vill bygga energieffektivt.
<http://www.rockwool.se/inspiration/villa+%c3%a5karp/r%c3%a5d+till+den+som+vill+bygga+energieffektivt> (2010-10-20)

3 FoU-Syd Sveriges Byggindustrier, 2008. Undvik fel och fällor som ökar energianvändningen i byggnader. FoU-Syd Sveriges Byggindustrier, Malmö.

- Högre lufttäthet – ca 10 kWh/(m²·år)
- Värmeåtervinning av frånluften – ca 30 kWh/(m²·år)
- U-värde på fönster 1,1 i stället för 1,4 – ca 5 kWh/(m²·år)
- Isolering 310 mm i stället för 200 mm – ca 5 kWh/(m²·år)
- Mätning av varmvattenanvändning i varje lägenhet – ca 10 kWh/(m²·år)

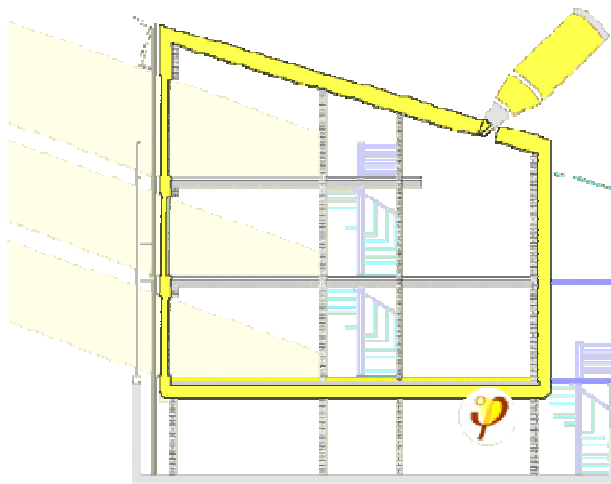
För att minska energianvändningen till passivhusnivå kan ytterligare göras¹:

- U-värde på fönster: 0,9 – ca 5 kWh/(m²·år)
- Ytterligare ökning av isoleringsgraden – ca 5 kWh/(m²·år)
- Solfångare till varmvattenberedning – ca 10 kWh/(m²·år)

Det bör påpekas att dessa värden inte kan adderas rakt av utan gäller för varje enskild åtgärd¹.

Isolering av rör med kall- och varmvatten är även viktigt, inte minst för att undvika legionellabakterier. Ekonomiska besparingen av att isolera vattenrör är enligt *Undvik fel och fällor som ökar energianvändningen i byggnader* förvånansvärt stor och enkel att räkna ut på www.isolering.org för aktuella objekt.¹ Vad som kan ses i detta exempel är att värmeåtervinning av frånluften är väldigt effektivt för att minska energianvändningen.

Den viktigaste principen för att uppnå en energieffektiv konstruktion är enligt *Passipedia* att ha ett kontinuerligt omslag av isolering runt hela byggnaden². Ett kontinuerligt omslag av isolering ska därför i princip kunna ritas oavbrutet med en penna inuti klimatskalet, se figur 64. Genom att rita motsvarande nedanstående figur kan kritiska punkter lokaliseras.³



Figur 64 Oavbrutet omslag av isolering³

1 FoU-Syd Sveriges Byggindustrier, 2008. Undvik fel och fällor som ökar energianvändningen i byggnader. FoU-Syd Sveriges Byggindustrier, Malmö.

2 Passipedia. Integrated thermal protection.

http://passipedia.passiv.de/passipedia_en/planning/thermal_protection/integrated_thermal_protection (2010-09-10)

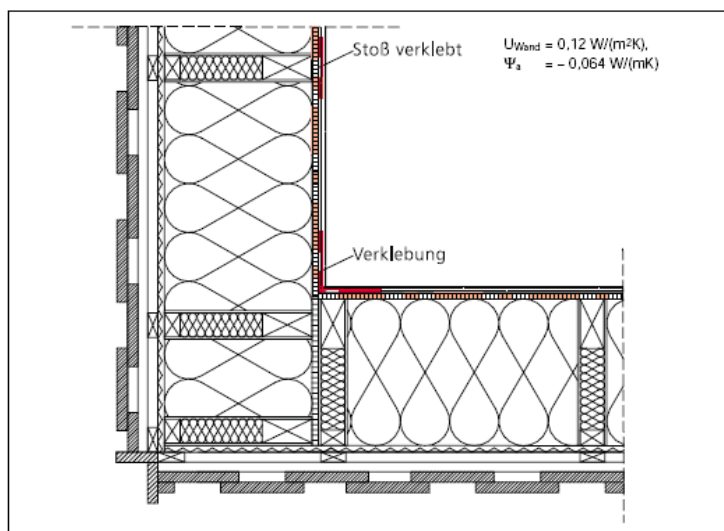
3 Passipedia. Thermal bridges. http://passipedia.passiv.de/passipedia_en/basics/building_physics_-_basics/heat_transfer/thermal_bridges (2010-09-10)

För att undvika genomgående konstruktiva köldbryggor och för minskade LCC-kostnader kan en skiva väljas som yttersta isolerskiktet. Skivans andel av totala isolertjockleken kan med fördel vara stor, exempelvis en 100 mm skiva är bra.¹

En intressant form av isolering är transparent värmeisolering som sätts på fasaden och innebär såväl passivt som aktivt användande av solljus. Den är uppbyggd av små kapillärrör av akrylglas (plexiglas, PMMA), polykarbonatplast eller cellulosa. När solljuset träffar isoleringen omvandlas den i kapillärrören till värmestrålning som värmer väggen bakom, som ska vara svartmålad och av tungt material för att öka effekten. Värmeöverföringen görs nästan utan förluster enligt författaren, och väggen kan i sin tur värma rummet. Den transparenta värmeisoleringen skyddas utvändigt från klimatpåverkan av en glastäckning. För att undvika tillförsel av värme sommartid kan en rullgardin installerad inuti glastäckningen rullas ner. Enligt författaren forskas om täcklager som kan byta färg beroende på utomhustemperaturen. Det skulle innebära att instrålningen begränsas beroende av utomhustemperaturen. Rullgardinen ska enligt författaren även minska kylbehovet sommartid.²

En nackdel med den transparenta värmeisoleringen är enligt författaren att den i nuläget är dyr och att en investering i dessa därför inte är lönsam. Om kapillärrören ersätts med akrylglaskum eller aerogel minskar kostnaden, men det anses fortfarande olönsamt. Dock kan ökade energipriser förbättra lönsamheten. Även skuggning som sänker den värmande effekten och den utvändiga reglertekniken för solskyddet nämns som problemområden som kan vara nackdelar. Användande av den transparenta värmeisoleringen nämns främst som en renoveringsåtgärd på byggnader med få södervända fönster.²

Geometriska köldbryggor uppstår när utvändiga byggnadsdelar angränsar till varandra och yttermåttan och innermåttan därmed skiljer sig. Viktiga anslutningar är därför ytterväggsanslutningar vid ytterhörn, takfotsanslutningen, anslutningen mellan yttervägg och tak på kortsidan, anslutningen mellan mellanbjälklag och yttervägg samt syllanslutningen mellan vägg och grund. I figurer 65-69 kan förslag ses på hur dessa anslutningar kan utföras.³

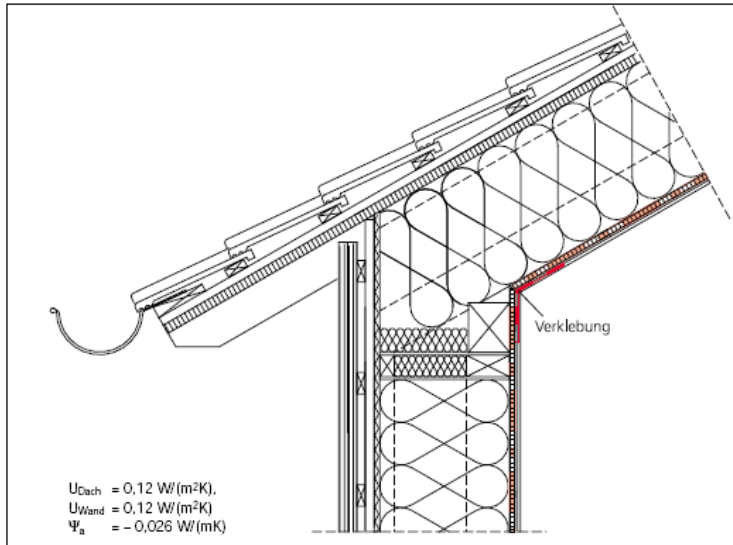


Figur 65 Ytterväggsanslutning vid ytterhörn³

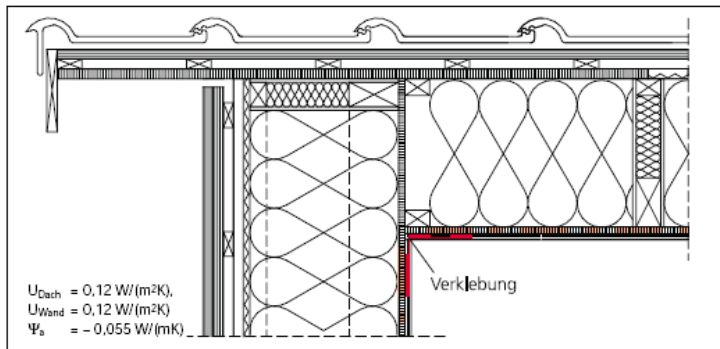
1 FoU-Syd Sveriges Byggindustrier, 2008. Undvik fel och fallor som ökar energianvändningen i byggnader. FoU-Syd Sveriges Byggindustrier, Malmö.

2 Schmitz-Günther T, 2000. Ekologiskt byggande och boende. Svenska faktaanpassade utgåvan. Könnemann Verlagsgesellschaft mbH, Köln

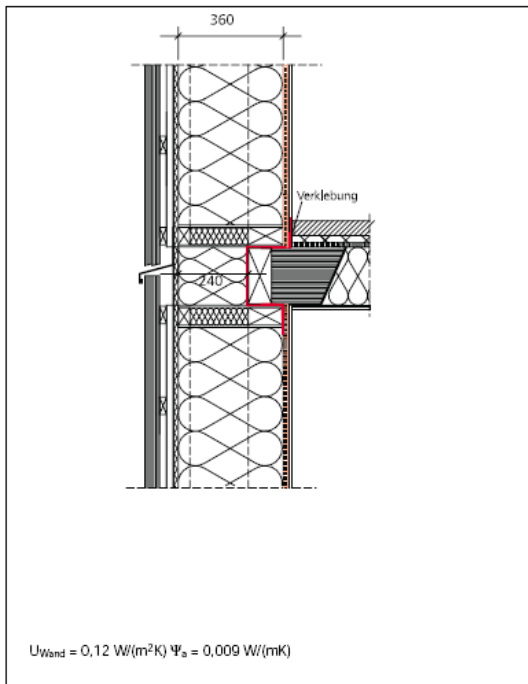
3 Kaufmann B, Feist W, John M och Nagel M, 2002. Das Passivhaus – Energie-Effizientes-Bauen. holzbau handbuch. Passivhaus Institut, Darmstadt.



Figur 66 Takfotsanslutning¹

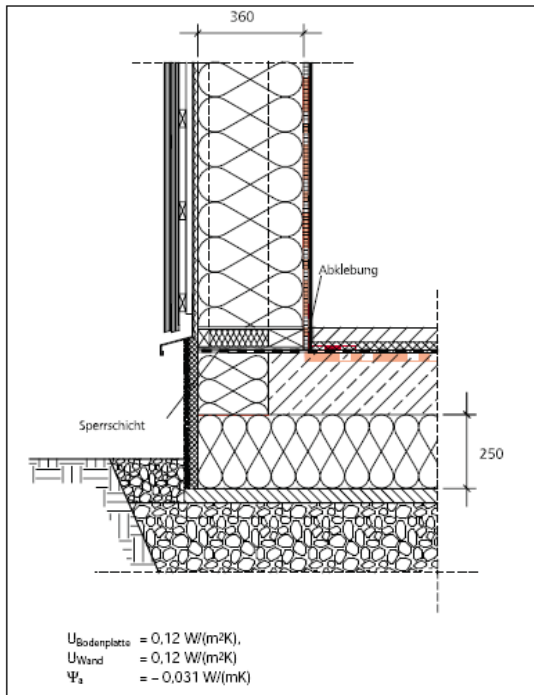


Figur 67 Anslutning mellan yttervägg och tak på kortsidan¹



Figur 68 Anslutning mellan mellanbjälklag och yttervägg¹

¹ Kaufmann B, Feist W, John M och Nagel M, 2002. Das Passivhaus – Energie-Effizientes-Bauen. holzbau handbuch. Passivhaus Institut, Darmstadt.



Figur 69 Syllanslutning mellan vägg och grund¹

Genomgående princip för redovisade lösningar är att klassiska köldbryggor bryts genom användande av avbrytande isolerande skikt och en minimering av antalet reglar intill anslutningar.

Att bygga köldbryggfritt handlar därför mycket om att förbättra detaljlösningarna, och måste därför tas hänsyn till tidigt i planerings- och projekteringsstadiet. Genom att utveckla detaljlösningar som genom beräkningar klarar kraven för köldbryggfrihet kan enkelt både tid och pengar sparas för framtida projekt. Definitionsmässigt köldbryggfritt byggande kan uppnås med ett fåtal enkla förändringar i detaljlösningarna utan att medföra avsevärt högre kostnader.² Detta gäller även lufttätt och fuktsäkert byggande.

Fönsteranslutningen nämns i *Das Passivhaus – Energie-Effizientes-Bauen* även som en viktig del¹. Genom att minimera köldbryggan vid infästningen av fönster fås minskad total värmetransmittering för hela fönsterkonstruktionen. En väl utformad infästning kan till och med väga upp förluster som fås av att välja ett fönster med lägre kvalitet, med högre U-värde för karmen. Köldbryggan vid infästningen i underkant är alltid större än övriga på grund av behovet av vattenavledande plåt.³

Arkitekten och konstruktören kan starkt påverka köldbryggorna vid infästningen genom designval av infästningen. Det är till och med möjligt att skapa en negativ köldbryggkoefficient genom att förlänga den utvändiga väggisoleringen så att den täcker en maximal andel av fönsterkarmen. Om aluminiumprofiler används utvändigt fås dock inte denna effekt. Det räcker med att en del av aluminiumprofilen står i kontakt med

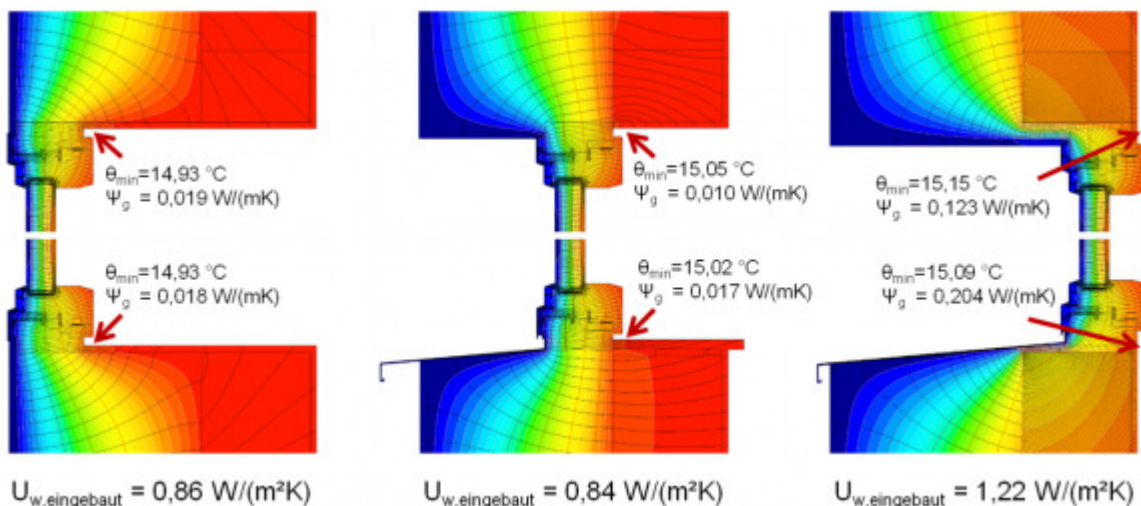
1 Kaufmann B, Feist W, John M och Nagel M, 2002. *Das Passivhaus – Energie-Effizientes-Bauen*. holzbau handbuch. Passivhaus Institut, Darmstadt.

2 Passipedia. Thermal bridges. http://passipedia.passiv.de/passipedia_en/basics/building_physics_-_basics/heat_transfer/thermal_bridges (2010-09-10)

3 Passipedia. Installation-based thermal bridges Ψ_{install} . http://passipedia.passiv.de/passipedia_en/planning/thermal_protection/window_installation (2010-09-10)

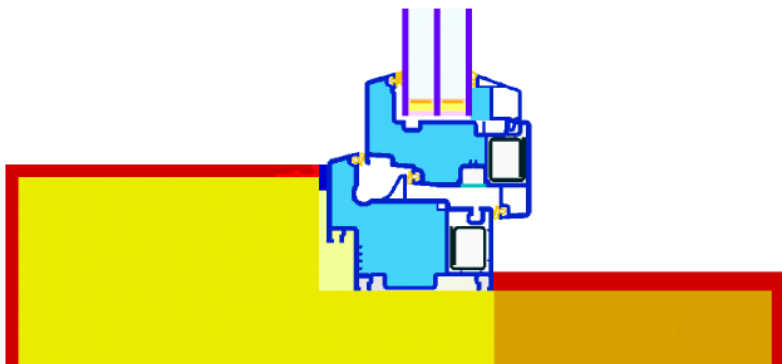
utomhusluften så kyls den ner till nära utomhustemperaturnivån, vilket gör isolering på utsidan av karmen ineffektiv.¹

Positioneringen av fönstret i djupled spelar även stor roll. Termiskt idealt är att placera fönstret i mitten på isoleringen, eller vid byggande med massiva element precis utanför de bärande massiva elementen, se figur 70 nedan. Att placera fönstret innerst i konstruktionen är med hänsyn till köldbryggor värre än att placera det längre ut, utan hänsyn till exempelvis skuggning. Effekten av köldbryggorna blir mycket större, se figur 97.¹



Figur 70 Temperaturspridningsbilder för olika placering av fönster i djupled¹

Liknande resultat har fått i PHI:s projekt HIWIN som undersökte optimering av inbyggnad av välisolerade fönster. En undersökning gjordes för att se hur fönsteranslutningen kan optimeras med hänsyn till fönstrets effektiva U-värde för typiska välisolerade väggkonstruktioner med en bärande del innerst och en värmeisolerande del ytterst. Inflytandet av positioneringen i djupled i fasadlivet undersöktes och oavsett mängd isolering konstaterades att den mest termiskt optimerade placeringen var i första tredjedelen inifrån sett av isoleringstjockleken. Den praktiskt mest gångbara lösningen anses då vara att positionera insidan av karmen i linje med ytterkanten på den bärande delen, se figur 71. Den termiska förbättring som fås av en positionering längre in i isoleringstjockleken anses inte kunna motivera de ökade kostnaderna för utförandet.²



Figur 71 Optimal placering av fönster i djupled²

1 Passipedia. Installation-based thermal bridges Ψ_{install} .

http://passipedia.passiv.de/passipedia_en/planning/thermal_protection/window_installation (2010-09-10)

2 Plugger R, Schnieders J, Kaufmann B och Feist W, 2003. HIWIN – Hochwärmedämmende Fenstersysteme: Untersuchung und Optimierung im eingebauten Zustand. Passivhaus Institut, Darmstadt.

För att säkerställa lufttätethet måste väggens lufttäta skikt ansluta till tätningen mellan karm och vägg, vilket är lättast att åstadkomma om dessa ligger i samma plan. Även fogen mellan karm och båge måste tätas.¹

I projektet HIWIN konstateras genom CFD-simuleringar (Computational Fluid Dynamics, på svenska beräkningsbar strömningsdynamik), gjorda för vinterhalvåret för ett centraleuropeiskt klimat, att utan en radiator under fönstret har fönsterkvaliteten en betydande inverkan på det termiska klimatet i rummet. Lufthastigheten i vistelseområdet blir visserligen så låg (villkor < 0,12 m/s, i Sverige < 0,15 m/s) att även sämre värmeisolerande fönster med U-värden på 3 W/(m²·K) kan användas för att enbart klara det kravet. Beträffande de andra undersökta komfortparametrarna operativ temperatur (villkor 22-25°C, i Sverige 20-26°C), strålningstemperatursymmetrier (villkor < 4°C) och temperaturdifferenser mellan fot och huvud (villkor < 1,5-2°C, i Sverige < 3°C) krävs dock fönster med ett U-värde på högst 0,85 W/(m²·K) för att klara villkoren för ett behagligt termiskt klimat. Oavsett yttre klimat kan även konstateras att vid en temperaturdifferens mindre än 4,2°C mellan yttemperaturen på fönstrets insida och den operativa temperaturen klaras kraven för alla komfortparametrarna.²

Andelen karm och båge är ungefär 10 % för stora fönster, men kan vara uppemot 75 % för små fönster³. Karmarnas inverkan på det totala U-värdet för ett fönster kan därmed variera stort.

I Lindås Park är brukarna nöjda med fönstren som är mycket energieffektiva, släpper igenom mycket solljus och reflekterar invändigt värmestrålningen tillbaka in i rummet. Fönsterandelen är även större än i standardproducerade hus. Eftersom fönstren är så energieffektiva förhindras kallras, vilket är positivt för brukarna och gör radiatorer under fönstren överflödiga. Inget drag upplevs heller av brukarna. I rapporten dras dock slutsatser om att fönsterandelen kunnat minska på söderfasaden för att ge lägre värmebehov på vinter och lägre kylbehov på sommaren. Författarna rekommenderar att fönstrens underkant är några decimeter ovan golvnivå. Det nämns även att fönsterandelen på norrfasaden hade kunnat ökas för ökat ljusinsläpp.⁴ Slutsatsen vi drar är att fönsterandelen mot söder ska vara tillräckligt stor för att få ett bra värmetillskott vintertid utan att överdriva och därmed riskera övertemperaturer sommartid. Att fönsterandelen på norrfasaden kan ökas för ökat ljusinsläpp tycker vi kan undersökas närmre ur energisynpunkt. Om den totala fönsterandelen behålls samtidigt som fönsterandelen på norrfasaden ökar kommer värmetillskottet att minska samtidigt som transmissionsförlusterna hålls på samma nivå men ljusinsläppet ökar i den delen av huset.

De effektivaste solskyddena är de som placeras utvändigt. För att inte riskera övertemperaturer under sommarhalvåret kan utvändiga solskydd användas som skärmar av den högt stående solen på sommaren men inte den lågt stående solen på vintern.⁵ Solen står lågt i öster och väster vilket innebär att stora fönster i dessa väderstreck släpper in solstrålar på sommaren

1 Avdelningen för byggnadsteknik, 1994. Byggnadsteknikens grunder. Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm.

2 Plugger R, Schnieders J, Kaufmann B och Feist W, 2003. HIWIN – Hochwärmgedämmende Fenstersysteme: Untersuchung und Optimierung im eingebauten Zustand. Passivhaus Institut, Darmstadt.

3 FoU-Syd Sveriges Byggindustrier, 2008. Undvik fel och fallor som ökar energianvändningen i byggnader. FoU-Syd Sveriges Byggindustrier, Malmö.

4 Boström T, Glad W, Isaksson C, Karlsson F, Persson M-L och Werner A, 2003. Tvärvetenskaplig analys av lågenergihusen i Lindås Park, Göteborg. Hämtad från: http://www.liu.se/energi/publikationer/tvarprojekt/1.26587/arbetsnotat_25_lagenergihus_lindas_park.pdf (2010-10-07)

5 Energilotsen, 2009-11-30. Samarbete mellan energisamordnare och byggherre. Hämtad från: http://www.energilotsen.nu/energilotsen/kap_4_byggherre.pdf (2010-09-30)

och ger värme även om ovanliggande solavskärmning används¹. Solavskärmning är effektivt eftersom ett fönster släpper in ungefär 10 gånger så mycket värme från solenergi som en yttervägg².

Enligt *Byggnaden som system* är övertemperaturer ovanligt i bostadshus och författarna ifrågasätter starkt en utveckling mot bostadshus där tekniska installationer måste tas till för att föra bort värme. Välisolerade hus ökar mängden överskottsvärme, värme som måste föras bort, vilket gör passiva, utvändiga, solskydd samt storlek och orientering av fönster extra viktiga för passivhus.³ Passiv kylning är alltså att föredra framför aktiv kylning, en kylmaskin är dyr, drar mycket energi, tar plats och bullrar².

Balkonger är en form av ovanliggande solavskärmning. Inglasade balkonger sparar även i teorin uppvärmningsenergi eftersom fasaden får mer skydd än utan. Eftersom inglasade balkonger ofta används som extrarum står balkongdörren ofta öppen vilket tvärtom kan öka energianvändningen för uppvärmning eftersom balkonger inte är så välisolerade.⁴ Balkonger kan byggas självbärande och enbart fästas i byggnaden med tunna termiskt separerade ankare. För räcken, lampor och andra utkragande fasadelement kan specialkonsoler och specialskruvar i glasfibermaterial användas för att minska dess termiska inverkan.⁵

Golv, innerväggar och tak med hög värmelagringsförmåga som står i kontakt med inomhusluften nämns även som en bra lösning som minskar behovet av att föra bort värme³. Fler faktorer som kan minska kylbehovet är lertak och ljus färg på fasad och tak⁶. Denna effekt borde dock inte vara så stor för välisolerade klimatskal.

Sovrum kan placeras i norr så att rummet är svalt på kvällen. En modern variant av solskydd bestående delvis av solceller som ger el kan användas.⁶ Elen kan användas till exempel till kylning. Överskottsvärme kan ventileras bort om temperaturen utomhus är lägre än inomhus⁶. En enkel lösning kan vara kylning med nattluft via ventilationen².

Växtlighet och vatten höjer luftfuktigheten och kyler eftersom de avdunstar vattenånga. Alltså kan träd, öppen dagvattenhantering samt gröna tak och fasader kyla passivt. Gröna tak och fasader skyddar även mot skadlig UV-strålning, tar upp växthusgaser, isolerar och minskar vattenavrinningen. Det är dyrare och tyngre än vanliga tak och fasader. Dessutom måste gröna tak och fasader placeras en bit ut för att inte skada tak och fasad.⁶

För att minska värmebehovet på vintern och kylbehovet på sommaren kan tilluften värmas upp respektive kylas ned genom att föras genom en jordledning. Marktemperaturen en bit ner håller en relativt jämn nivå över året, ungefär samma temperatur som luftens årsmedeltemperatur. Därför kan tilluften värmas på detta sätt vintertid när lufttemperaturen utomhus understiger marktemperaturen och vice versa sommartid. Relativa fuktigheten i tilluften ska även kunna minskas sommartid då kondensation kan ske i jordledningen. Jordledningen måste utföras så att eventuellt kondenserat vatten kan ledas undan och att den kan inspekteras. Den bör inte vara gjord av organiska material som kan mögla och ruttna och

1 Sikander E, Samuelsson I, Gustavsson T, Ruud S, Larsson K, Hiller C, Werner G, Gabriellii K, 2009. Lågenergihus och passivhus – vanliga frågeställningar. SP Rapport 2009:28. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

2 Energilotsen, 2009-11-30. Samarbete mellan energisamordnare och byggherre. Hämtad från: http://www.energilotsen.nu/energilotsen/kap_4_byggherre.pdf (2010-09-30)

3 Abel E och Elmroth A, 2006. Byggnaden som system. Forskningsrådet Formas, Stockholm.

4 FoU-Syd Sveriges Byggindustrier, 2008. Undvik fel och fallor som ökar energianvändningen i byggnader. FoU-Syd Sveriges Byggindustrier, Malmö.

5 Kaufmann B, Feist W, John M och Nagel M, 2002. Das Passivhaus – Energie-Effizientes-Bauen. holzbau handbuch. Passivhaus Institut, Darmstadt.

6 Boverket, 2009. Bygg för morgondagens klimat. Anpassning av planering och byggande. Boverket, Karlskrona.

på så sätt orsaka problem med luftkvaliteten. Galler och nät måste även finnas vid luftintaget för att se till att insekter, smådjur och organiskt material som löv inte kan ta sig in i jordledningen.¹ Filter för att förhindra mindre organiskt material som damm att ta sig in i jordledningen kan också användas för att undvika mögel. I stadsmiljö kanske det inte är möjligt att ha luftintag i marknivå på grund av avgaser i luften närmast marken. Detta försvårar användning av jordledning. Eftersom risken är stor för att underhållet av en sådan här konstruktion lätt blir eftersatt kan den ur inomhusmiljösynpunkt ifrågasättas.

Det är bra att ha korta och välisolerade avlufts- och uteluftskanaler för att temperaturfallet längs kanalens längd inte ska bli så stort. Placeringen av till- och frånluftskanaler bör vara innanför klimatskalet och bör även de vara isolerade för att minska temperaturfallet. Till- och frånluftskanaler behöver dock inte isoleras lika mycket som avlufts- och uteluftskanalerna eftersom temperaturskillnaden mellan luften i kanalerna och utanför inte är lika stor.² Tvåra böjar nära fläkten vilket ger stora tryckförluster bör undvikas³.

När det gäller distributionssystem för uppvärmning är uppvärmning via ventilationsluften med värmeväxlingsaggregat att föredra framför vattenburen värme eller direktverkande el enligt Energilotsen. Förbättringar av klimatskalet ska alltid prioriteras först eftersom det innebär att billigare värmeväxlare kan användas för att hålla samma inomhustemperatur. Alltså bör förbättringar av klimatskal göras innan värmeväxlare väljs. Centralt placerade aggregat är mer energieffektivt än decentraliserade eftersom en stor fläkt är mer eleffektiv än många små fläktar. Det är viktigt att välja en värmeväxlare med hög dokumenterad värmeåtervinningsgrad. Den eleffektivitet på fläkten som krävs för att uppnå energiklassen hållbar utveckling är $SFP = 0,8 \text{ kW}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$. För att få lägsta totala årskostnad vid LCC-analys behövs eleffektiviteten $SFP = 1,6 \text{ kW}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$.⁴ Vid uppvärmning med ventilationsluften och inblåsning i ovankant riskerar den varma tilluften att hålla sig vid takets nivå utan att omblandas ordentligt. Därmed riskeras ett sämre inomhusklimat.

Det är ingen bra anledning att välja bort FTX-ventilation på grund av regler om spridning av brandgaser eftersom det finns brandgasspjäll eller brandfläktar som kan användas för att klara detta krav.⁵ När det gäller värmeväxlare är delar i plast speciellt känsligt för igenfrysning. Värmeväxlingen ska vara avstängd när den inte behövs på sommaren. Det finns olika systemlösningar på detta.²

För att uppnå ett gott inomhusklimat rekommenderas i *The Passive Solar House* en luftomsättning på $0,67 \text{ oms/h}$ ⁵. Det är avsevärt högre än PHI:s rekommendationer på $0,3\text{-}0,4 \text{ oms/h}$ ⁶. En större luftomsättning innebär att mer luftföroreningar kan transporteras bort, vilket leder till bättre inomhusklimat, men det kan även leda till för torr luft. En större luftomsättning leder även till ökade ventilationsförluster av värme. Samtidigt kan dock mer värme tillföras huset genom ventilationsluften vid större luftomsättning eftersom tilluften inte kan vara hur varm som helst. Detta kan minska behovet av kompletterande värmesystem. En närmre analys av detta vore intressant.

1 Bokalders V och Block M, 1997. Byggekologi 1 – Att bygga sunda hus. AB Svensk Byggtjänst, Stockholm.

2 Sikander E, Samuelsson I, Gustavsson T, Ruud S, Larsson K, Hiller C, Werner G, Gabriellii K, 2009. Lågenergihus och passivhus – vanliga frågeställningar. SP Rapport 2009:28. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

3 FoU-Syd Sveriges Byggindustrier, 2008. Undvik fel och fallor som ökar energianvändningen i byggnader. FoU-Syd Sveriges Byggindustrier, Malmö.

4 Energilotsen, 2009-11-30. Samarbete mellan energisamordnare och byggherre. Hämtad från: http://www.energilotsen.nu/energilotsen/kap_4_byggherre.pdf (2010-09-30)

5 Kachadorian J, 2006. *The Passive Solar House – The Complete Guide to Heating and Cooling Your Home*. Chelsea Green Publishing Company, Vermont.

6 Feist W, 2009. Certification as "Quality Approved Passive House" – Criteria for Residential-Use Passive Houses. Passivhaus Institut, Darmstadt.

En spillvattenvärmeväxlare, lik den i Portvakten, kan även användas för att värma varmvattnet och eventuellt vatten till radiatorer. För att inte slösa på vatten kan snålspolande armatur installeras, förutom till badkar där det enbart skulle påverka tiden det tar att fylla badkaret.¹ En diskmaskin kan även minska vatten- och energianvändningen jämfört med att diska under rinnande vatten och kan likställas med att diska i balja om en diskmaskin med hög energiklass väljs². Det är viktigt att enbart vitvaror med hög energiklass väljs¹, och kyl och frys placeras med fördel svalt². En tanke är att genom att placera kyl och frys mot en vägg med en öppningsbar lucka i underlättas rengöring och därmed minskas energianvändningen.

5 m² stora solfångare installerades på varje radhus i Lindås Park för att på sommaren stå för 100 % av uppvärmningen av varmvatten och sett över ett helt år 50 %. Mätningar visade att solfångarna stod för 37 % av uppvärmningen av varmvattnet över ett helt år. För att kunna förbättra systemet utan att orsaka överhettning på sommaren nämns åtgärder som en bättre isolerad ackumulatortank och en värmeväxlare med högre verkningsgrad. Brukarna var dock nöjda med solfångarnas bidrag till uppvärmningen av varmvatten men efterfrågar mer användarvänliga manualer. Det efterfrågas även för de andra systemen men inte i lika stor utsträckning. I rapporten påpekas att med förbättrad information till brukarna hade större energibesparingar kunnat göras.³

Temperaturskillnader mellan våningsplanen och kalla golv på bottenvåningen i lägenheterna har även konstaterats i Lindås Park. Detta upplevs som obehagligt av brukarna. Temperaturskillnaderna har uppmätts vid låg aktivitet i lägenheten och jämnas ut efter en stunds aktivitet. Lägenheterna påverkas alltså snabbt av interna värmekällor, men även av solinstrålning. Det medför att lägenheterna går snabbt att värma upp, vilket kan upplevas som positivt, men det bidrar som sagt även till större temperaturvariationer. En tyngre stomme efterfrågas därför av rapportskrivarna. Flera brukare hade velat ha golvvärme på bottenvåningen för att undvika kalla golv. Användande av andra kompletterande värmesystem, som braskamin, nämns även i rapporten. Rapportförfattarna anser att det vore intressant att studera hur andra kompletterande värmesystem kan påverka den totala energianvändningen, eftersom exempelvis en braskamin kan antas minska användningen av el för uppvärmning.³

I *The Passive Solar House* nämns en i bostaden centralt placerad vedspis som en naturlig kompletterande värmekälla, som även kan erbjuda kompletterande uppvärmning av varmvatten vintertid tillsammans med solfångare som står för uppvärmningen vår, sommar och höst⁴. Röken från vedspisen kan dock göra den olämplig i tätbebyggelse och den kan vara olämplig i ett flerbostadshus på grund av omfattande dragningar av rör.

En annan värmekälla är en värmepump som tar värme från berg, mark, sjövattnet, grundvattnet, uteluft eller frånluft. Den kan exempelvis vara kopplad till slingor med vatten som både kan värma och kyla beroende på behov.¹

Om golvvärme används vid dåligt isolerad grundläggning krävs mycket energi eftersom mycket av energin går åt till att värma marken. Vid platta på mark kan fuktproblem då uppstå

1 Energilotsen, 2009-11-30. Samarbete mellan energisamordnare och byggherre. Hämtad från: http://www.energilotsen.nu/energilotsen/kap_4_byggherre.pdf (2010-09-30)

2 E.ON Sverige AB. Bästa tipset för att spara energi. <http://www.eon.se/templates/Eon2TextPage.aspx?id=47822&epslanguage=SV> (2010-10-07)

3 Boström T, Glad W, Isaksson C, Karlsson F, Persson M-L och Werner A, 2003. Tvärvetenskaplig analys av lågenergihuset i Lindås Park, Göteborg. Hämtad från: http://www.liu.se/energi/publikationer/tvarprojekt/1.26587/arbetsnotat_25_lagenergihus_lindas_park.pdf (2010-10-07)

4 Kachadorian J, 2006. *The Passive Solar House – The Complete Guide to Heating and Cooling Your Home*. Chelsea Green Publishing Company, Vermont.

sommartid eftersom marken fortfarande är uppvärmd trots att golvvärmen stängts av vilket gör att fukt vandrar upp i bjälklaget som är svalare.¹ Detta borde inte vara något problem för passivhus eftersom grunden då isoleras väl. Om golvvärme ska användas rekommenderas timerstyrning eller helst temperatur- eller årstidsstyrning¹.

En handdukstork kan vara ansluten till VVC-ledning, värmesystemet eller vara eluppvärmd. VVC-ledningsanslutning innebär att handdukstorken är på även på sommaren då den oftast inte behövs och drar därmed onödigt mycket energi, uppemot 1 000 kWh årligen. Om handdukstorken trots allt skulle stängas av sommartid för att undvika onödig energianvändning skulle legionellatillväxt kunna ske och legionellabakterier spridas ut i systemet när handdukstorken sätts på igen. En inkoppling till värmesystemet är optimalt, men en nackdel är att den inte kan användas alls under sommarhalvåret då värmesystemet är avstängt. Annars rekommenderas en eleffektiv elvärmd handdukstork som är termostatstyrd och försedd med timer.¹

Torktumlare är bättre energimässigt än torkskåp². Äldre torkskåp drar i snitt 3 500 kWh på ett år på grund av energislösande termostatinställningar vilket kan jämföras med normal användning av hushållsel i en lägenhet utan torkskåp är ungefär 2 000 kWh per år. Om torkskåp ska användas kan torkskåp användas som stängs av när tvätten är torr och termostaten stänger av.¹ Kondenstumlare är i sin tur energimässigt bättre än frånluftstumlare². För att minimera risken för höga relativa fuktigheter inomhus rekommenderas att eventuell torktumlare eller torkskåp har frånluftsventilation som leds direkt ut³. Om det blir högre luftfuktighet på den från kondensumlare i rummet utsläppta luften än vad det är i rummet antas frånluftstumlare vara bättre än kondensumlare fuktmässigt. Generellt kan gemensam tvättstuga vara att föredra eftersom fuktbelastningen koncentreras i enstaka rum designade för ändamålet och eftersom det kan öka sannolikheten att maskinerna körs fulla och därmed sparar energi.

Forceringen av frånluft i kök och badrum kan med fördel kopplas till en fuktgivare, eller sättas på och stängas av manuellt vid behov vilket är vanligast⁴. I byggnader med FT-ventilation är det svårt att uppnå önskade flöden i köksfläkt utan att få kraftiga undertryck inomhus. Styrningen av tilluftsfläkten kan kopplas ihop med köksfläkten för att undvika ett stort undertryck. Ett annat alternativ är att ha ett separat FT-ventilationssystem i köksfläkten där både luft kan tas in och släppas ut. Eftersom det är fett i frånluften kan inte ett värmeåtervinningsaggregat användas. Kolfilterfläktar ger mindre värmeförluster eftersom luften cirkuleras tillbaka efter att den har blivit filtrerad. Fukten som tillkommer vid matlagning tas dock inte omhand och luftkvaliteten inomhus blir sämre.⁵ Genom att förlägga ett frånluftsdon nära köksfläkten kan eventuell återförd dålig och fuktig luft tas om hand direkt. Kolfilterfläktar medför som sagt minskade värmeförluster, jämfört med ett separat FT-ventilationssystem, som kan behövas för att klara passivhuskraven.

Val av hisstyp i flerbostadshus kan påverka fastighetselanvändningen⁴. Användande av dimmer på belysningen i bostäderna och detektorer för belysning i gemensamma utrymmen

1 FoU-Syd Sveriges Byggindustrier, 2008. Undvik fel och fallor som ökar energianvändningen i byggnader. FoU-Syd Sveriges Byggindustrier, Malmö.

2 E.ON Sverige AB. Bästa tipset för att spara energi. <http://www.eon.se/templates/Eon2TextPage.aspx?id=47822&epslanguage=SV> (2010-10-07)

3 Kachadorian J, 2006. The Passive Solar House – The Complete Guide to Heating and Cooling Your Home. Chelsea Green Publishing Company, Vermont.

4 Energilotsen, 2009-11-30. Samarbete mellan energisamordnare och byggherre. Hämtad från: http://www.energilotsen.nu/energilotsen/kap_4_byggherre.pdf (2010-09-30)

5 Sikander E, Samuelsson I, Gustavsson T, Ruud S, Larsson K, Hiller C, Werner G, Gabrielli K, 2009. Lågenergihus och passivhus – vanliga frågeställningar. SP Rapport 2009:28. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

kan sänka energianvändningen. Bästa belysningen ur miljösynpunkt är lysrör med lågt kvicksilverinnehåll.¹

Många apparater har blivit mer energisnåla, men ändå ökar elanvändningen. Detta tros bero på att det finns både fler användningsområden för existerande apparater och fler apparater som har nya funktioner vilket innebär att apparater används mer och mer. Även minskningen av antal personer per hushåll påverkar elanvändningen eftersom det blir fler hushåll totalt sett. Elanvändningen är inte proportionell mot antalet personer i ett hushåll, vilket innebär att minskningen i antal personer per hushåll inte ger motsvarande minskning i elanvändning. Den ökade användningen av stand by-funktioner, handdukstorkar och golvvärme antas även ligga bakom den ökade elanvändningen.² Det är därför viktigt att inte enbart fokusera på energianvändningen för uppvärmning utan även på elanvändningen.

Ulla Jansson nämner i sin licentiatavhandling tekniska produkter där utveckling krävs³:

- Till- och frånluftsaggregat med värmexlare – fler modeller, måste kunna användas med variabel lufttemperatur och luftflöde
- Kompaktaggregat – en kombination av värmexlare och värmepump, som förser både varmvatten och tilluft med värme, är vanlig i Tyskland men inga modeller finns utvecklade för kallare klimat
- Isoleringmaterial – nya isoleringmaterial för minskad vägg tjocklek, ökad lämplighet för förvaring på byggarbetsplatsen och minskade kostnader
- Fönster och entrédörrar – fler passivhusfönster och entrédörrar med låga U-värden med ökad tillgänglighet

I licentiatavhandlingen nämns även att om fläktar till ventilationssystemet placeras i bostäderna kan de byggas in i väggen eller i garderober för ett behagligare ljudklimat i bostäderna. Bygget kan även planeras så att grunden gjuts på plats under sommarhalvåret och att resningen av bärande elementen görs dagar utan regn, dimma eller snö. De bärande elementen måste vara täckta med fasadmateriell eller presenning för att förhindra att fukt tas upp av konstruktionen.³

Lufttätheten är som nämnts även kritiskt för byggnadens funktion. Ett otätt hus som är vindutsatt kan dra 60 kWh/(m²·år) mer än ett tätt hus som är skyddat från vind.⁴ För att bygga lufttätt är det viktigt att byggmaterialen som används är hållbara var för sig och i kombination med varandra. De måste klara av stötar, tryckskillnader och rörelser. Desto tjockare plastfolie, desto tåligare är den, men det är noga att det inte blir veck i plastfolien. Ytorna ska vara släta och väl rengjorda och häftningsegenskaperna mellan materialen ska vara säkerställda. Tejpen som används för att skarva plastfolie måste vara avsedd att skarva tätskikt med. Tejp lossar dock och fogmassa krymper. Nackdelar finns med olika skarvningsmetoder och det är vanligt att det blir otätt vid genomföringar, vid tätning mot stålstomme och betong, mot mellanbjälklag, mot fönster och mot dörrar. Det är därför bra att minimera antalet skarvar och

1 E.ON Sverige AB. Bästa tipset för att spara energi. <http://www.eon.se/templates/Eon2TextPage.aspx?id=47822&epslanguage=SV> (2010-10-07)

2 Sikander E, Samuelsson I, Gustavsson T, Ruud S, Larsson K, Hiller C, Werner G, Gabriell K, 2009. Lågenergihus och passivhus – vanliga frågeställningar. SP Rapport 2009:28. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

3 Jansson U, 2008. Passive houses in Sweden – Experiences from design and construction phase. Rapport EBD-T--08/9. Lunds Tekniska Högskola, Lund.

4 Energilotsen, 2009-11-30. Samarbete mellan energisamordnare och byggherre. Hämtad från: http://www.energilotsen.nu/energilotsen/kap_4_byggherre.pdf (2010-09-30)

genomföringar i tätskiktet. Vatten in och ut, luft in och ut samt el är allt som egentligen behövs. Vid genomföringar är det bäst att använda stosar. I andra hand används fogmassa, butylband eller godkänd tejp.¹

Det finns ett stort behov av lösningar som är lätta att bygga. Om det är produktionsmässigt bättre att bygga på ett annat sätt är risken stor att det byggs så även om slutresultatet blir sämre.²

För att fylla lösull är det vanligt att temporära hål görs i varje regelfack i vägg och tak. Hålen lagas vanligtvis av den som isolerar. Det bästa är om lagningar kan göras mot fast underlag och med minst 100 mm överlapp i alla riktningar vilket inte alltid är möjligt då lagning av fyllningshål ska göras. Dessa hål och lagningar görs ofta vid takanslutningar vilket redan är en utsatt plats för otätheter.¹ Därför kan det vara bättre att planera så att håltagning i tätskiktet inte behöver göras. Eventuella skador lagas ofta med en dubbelhäftande tejp runt skadan, sedan en bit plastfolie som fästs både med den dubbelhäftande tejp och med tejp längs kanterna av plastfoliebiten lite längre från skadan. Viktiga detaljer för lufttätning är annars vid vindsluckor, nyckelhål och brevinkast. Om det är möjligt kan det vara bättre att placera vindsluckor utvändigt.¹ I stället för brevinkast kan brevlådor utanför användas.

Vid anslutningar mellan olika byggnadsdelar är det vanligt att klämma fast plastfolien mellan två fasta material med ett överlapp på minst 200 mm. Det kan bli problematiskt om de två fasta materialen inte ligger an ordentligt. En bra lösning är att använda en flexibel och lufttät tätning som kan kompensera för ojämnheter. Exempel på flexibel och lufttät tätning är gummi eller extruderad polyeten. Vid klämning kan fogmassa användas utöver ovan nämnda åtgärder för extra tätning. Plastfolie som inte kläms kan skarvas med tejp, butylband, tätningsband eller fogmassa och bör ha överlapp på minst 100 mm. Det är bra om skarvningen kan ske mot ett fast material.¹

Det säkraste sättet att täta fönsteranslutningen är att låta plastfolien fortsätta utanför karmen. För att underlätta skarvning i hörn kan detta kombineras med extra plastfoliehorn som kan köpas färdiga. Fogen måste vara åldersbeständig och material som står i kontakt med varandra får inte påverka varandra negativt. Avslutas plastfolien innan karmen blir tejpningen inte tillräckligt bra. Eftersom det inte ska synas finns det inte tillräckligt med plats att tejpa.¹ Sneda fönstersmygar är svåra att få lufttäta eftersom det blir mer plastfolie vid karmen som viks. Det är svårt att få vikt plastfolie tät.¹

Enligt SP rapport 2010:9 är en S-list bäst för tätning av träregel vid jämförelse med tätning med extruderad polystyren (5 mm), extruderad polyetenremsa (4 mm) eller asfaltspapp. En S-list är en polyetenfolie med två o-lister av EPDM-gummi. Skarvning kan göras över två regler för att bli säkrare.¹

Placering av tätskiktet ska vara en bit in i väggar och tak så att punkteringar undviks. Installationsskikt innanför tätskiktet minskar antalet genomföringar som behöver göras och minskar risken för håltagning i driftskedet. I driftskedet behövs rutiner för att bevara lufttätheten. Plastfolien ska dock inte placeras för kallt för då kan det bli fuktproblem.¹ En tumregel är att den inte ska dras in mer än en fjärdedel av det isolerande skiktets tjocklek.³

1 Wahlgren P, 2010. Goda exempel på lufttäta konstruktionslösningar. SP rapport 2010:9. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

2 Sikander E, Samuelsson I, Gustavsson T, Ruud S, Larsson K, Hiller C, Werner G, Gabriell K, 2009. Lågenergihus och passivhus – vanliga frågeställningar. SP Rapport 2009:28. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

3 Nevander L E och Elmarsson B, 1994 (2008). Fukt handbok. Praktik och teori. Tredje utgåvan. AB Svensk Byggtjänst, Stockholm.

Detaljer i lufttätningen ska vara så enkla som möjligt för att minska risken för att det inte blir lufttätt. Skarvar i tätskiktet ska minimeras genom detaljerade ritningar eller anvisningar.¹

Det finns CE- och P-märkta flexibla spärrskikt. P-märkningen innebär högre krav än CE-märkningen. Det finns även P-märkta lufttätthetssystem där skarv-, tätnings- och anslutningsmaterial verifieras som en total lösning. En annan strategi för att säkerställa lufttätthet är att ha dubbel plastfolie.¹

P-märkt plastfolie är åldersbeständig i 50 år². En fråga som kan ställas är vad som händer med byggnadens funktion efter 50 år och hur beständigt tejpade skarvar är. Denna fråga kan även ställas gällande alla andra byggnadsmaterials beständighet.

¹ Wahlgren P, 2010. Goda exempel på lufttäta konstruktionslösningar. SP rapport 2010:9. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

² Sikander E, Samuelsson I, Gustavsson T, Ruud S, Larsson K, Hiller C, Werner G, Gabrielli K, 2009. Lågenergihus och passivhus – vanliga frågeställningar. SP Rapport 2009:28. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

10 Intervjuer

Intervjuer har genomförts med:

- Niclas Coucher
 - Befattning:
 - Platschef på NCC Construction Sverige AB i Växjö
 - Roll i byggandet av Portvakten:
 - Platschef
 - Utbildning:
 - Högskoleingenjör Byggnadsteknik

- Håkan Risberg
 - Befattning:
 - Avdelningschef för konstruktionsavdelningen på Martinsons Byggsystem AB
 - Roll i byggandet av Portvakten:
 - Konstruktör för bärande trästommen
 - Utbildning:
 - Byggnadsingenjör

- Tommy Wesslund
 - Befattning:
 - VD för Wesslunds VVS-teknik AB
 - Roll i byggandet av Portvakten:
 - Mark- och VS-projektör
 - Utbildning:
 - Fyraårigt tekniskt gymnasium

10.1 Portvakten

Nedan presenteras en sammanställning av intervjuerna med dem som har varit involverade i att bygga Portvakten. Hela intervjuerna går att läsa i bilaga 5. För ytterligare tankar om Portvakten från olika parter involverade i att bygga Portvakten hänvisas till projektet *Framtidens trähus* och framförallt appendix i rapporten *Framtidens trähus – energieffektiva med god innemiljö* där anteckningar från workshops kring Portvakten hittas. Inom ramen för VINNOVA-projektet görs även en enkätundersökning av brukarnas syn på boendemiljön i Portvakten. Därför hänvisas till projektet *Framtidens trähus* och kommande rapporter för mer information om boendemiljön i Portvakten.

Vad var bra med Portvakten:

- Projektorganisationen
 - Byggandet av passivhus gjorde alla involverade parter mer engagerade än vanligt (Håkan Risberg)
 - Flera yrkesgrupper var tvungna att sitta tillsammans och arbeta ihop – kan dock ha berott mer på att det var höghus av trä än att det var passivhus (Tommy Wesslund)
 - Många involverade parter var med redan i tidigt skede (Håkan Risberg, Tommy Wesslund)
 - Team building events för projekteringsgruppen (Håkan Risberg)
 - Duktig projekteringsledare (Håkan Risberg)
 - En energikonsult var med under hela processen (Håkan Risberg)
- Prioriteringsområden:
 - Lufttätthet
 - Hårda täthetskrav från beställaren gjorde att involverade parter ansträngde sig mer (Håkan Risberg)
 - Information om täthetskraven gick ut till alla involverade parter (Håkan Risberg)
 - Provtryckning genomfördes av provvägg hos SP, färdiga väggelement på Martinsons fabrik, en våning av huset och hela huset (Håkan Risberg)
 - Ventilation
 - Höga krav på temperaturverkningsgrad på FTX-aggregat fick leverantören att ta fram nytt aggregat eftersom tillräckligt bra inte fanns på marknaden (Håkan Risberg)
 - Isolering

- Räknades på hur mycket som behövdes, visade sig dock i efterhand att det kunde ha optimerats ännu mer (Håkan Risberg)
- Fukt
 - Gjordes simuleringar av SP och på universitet eftersom större del av väggen är kall på grund av isoleringen (Håkan Risberg)
- Kylbehov
 - Gjordes simuleringar för att kontrollera att kylanläggning inte behövs med användandet av energiglas istället för solavskärmning (Håkan Risberg)
- Byggskedet:
 - Bra kommunikation under byggskedet som gjorde att problem identifierades i tid för att lösningar skulle kunna användas längre fram i byggskedet (Håkan Risberg)
 - Byggnation under tält som bidrog till en bra arbetsmiljö (Coucher, Niclas)
 - Enkel stegvis montering av byggsystemet (Coucher, Niclas)
 - Bra passform på byggelementen (Coucher, Niclas)

Vad hade kunnat göras bättre:

- Tillsättande av en energisamordnare med erfarenhet av passivhusbyggande (Tommy Wesslund)
- Upplägget av projekteringsmötena hade kunnat vara annorlunda – det blev en långsam process, vilket kan bero på att det var mycket nytt som behövde verifieras exempelvis från SP eller universitet (Håkan Risberg)
- Emballering av väggelement för transport hade kunnat förbättras (Håkan Risberg)
- Att integrera installationer, främst el, i byggelementen var ibland svårt (Håkan Risberg)
- Inget rent byggmässigt men mer färg på fasaden hade varit önskvärt (Niclas Coucher)

Vad drar du för lärdom av byggandet av Portvakten:

- Att det går att bygga höga hus i trä och dessutom med passivhusteknik (Niclas Coucher)
- Det tar tid att få in alla handlingar eftersom det blir många granskningsrundor när installationer byggs in från fabriken (Håkan Risberg)

- Övergången mellan delprocesserna projektering, framställande i fabrik och montering är viktig (Håkan Risberg)
- Passivhus i kombination med höghus ger annorlunda fenomen, exempelvis låga effektbehov ger små dimensioner på rördragningar vilket med höjden ger tryckproblem (Tommy Wesslund)

10.2 Framtidens byggande

Nedan presenteras en sammanställning av intervjuerna gällande framtidens byggande. Hela intervjuerna går att läsa i bilaga 5.

Framtidens byggande av passivhus

- Passivhus är ett bra koncept och kommer att bli norm för alla sorters byggnader (Tommy Wesslund)
- Byggandet av passivhus kommer att fortsätta, men inte till vilket pris som helst (Niclas Coucher)
- Passivhus var mer på tapeten för ett tag sen, det är nog många som avvaktar utvärderingar av genomförda passivhusprojekt, det är mer populärt med lågenergihus just nu (Håkan Risberg)
 - För Martinsons att bygga ett passivhus jämfört med lågenergihus skiljer sig inte tätheten eftersom de nu har tagit fram fungerande knutpunktslösningar, utan det som skiljer sig är exempelvis mängd isolering och val av installationer (Håkan Risberg)
- Passivhus kommer även att bli mer aktuellt för renoveringar vilket är en utmaning (Tommy Wesslund)
 - Kan innebära fler utbyten av hela klimatskal eller rivningar av äldre hus (Tommy Wesslund)
- Spelet mellan konstruktion och arkitektur blir viktigt för utvecklandet av passivhus och för att sprida passivhuskonceptet bör vi kunna bygga mer tilltalande utan att tulla för mycket på viktiga faktorer som area/volym-förhållande (Håkan Risberg)
- Det är extra viktigt vid byggande av passivhus att arkitekten tänker på att samla rum med samma sorts installationer för att få korta rördragningar (Tommy Wesslund)
- Det är ingen större skillnad i uppbyggnaden av VVS-system mellan passivhus och standardproducerade hus, men de skillnader som finns är att det krävs snabbare system, mer noggrannhet vid projektering av flöden och bättre reglering av VVS-systemen i passivhus (Tommy Wesslund)

Framtidens byggande i Sverige

- Mer industrialiserat än idag (Niclas Coucher)

- Pengar är styrande i Sverige – fokus har varit mycket på initialkostnader, men man börjar titta mer och mer på livscykelkostnader (Håkan Risberg)
- Sverige har bra erfarenheter av installationer vilket kommer att innebära bättre kvalitet när vi kommit i kapp med andra delar – vi kan till och med springa om Tyskland i byggandet av passivhus (Tommy Wesslund)

Framtidens byggande i massivträ, jämfört med andra byggnadsmaterial

- Massivträ är ett utomordentligt bra byggnadsmaterial som kommer att användas i större utsträckning i framtiden, men kommer inte att kunna konkurrera ut stål och betong helt (Niclas Coucher)
- Massivträ kan komma att användas mer, men det beror på om det kan göras ekonomiska vinster vid användande av massivträ (Tommy Wesslund)
- Användandet av massivträ kan bli riktigt stort, men frågan är hur fort (Håkan Risberg)
- Många projekt har visat att det går bra att använda massivträ, exempelvis Sundsvalls Inre Hamn – nu handlar det mer om optimering, få ner kostnader och att anpassa till olika arkitekturstilar (Håkan Risberg)
- Trä innebär miljöfördelar (Håkan Risberg)
- Massivträ påverkar inomhusklimat positivt, det agerar exempelvis fuktbuffrande vilket ger ett jämnare inomhusklimat (Håkan Risberg)
 - I ett projekt användes träullsisolering, vilket ger väggen ännu större fuktbuffrande förmåga (Håkan Risberg)
 - Martinsons har byggt hus utan plastfolie, exempelvis Limnologen i Växjö, som fungerar på grund av massivträets fuktbuffrande förmåga och relativt höga täthet tillsammans med gipsen (Håkan Risberg)
 - Har fått låg energianvändning, men finns dock undersökningar som visar på plastfoliens betydelse för lufttäthet (Håkan Risberg)
 - Träskivor är inte så täta i sig och blir mindre täta när de torkar (Håkan Risberg)
- Trä kläs in i Sverige i motsats till i Norge där träet ska vara synligt eftersom man gillar träets utseende och känsla (Håkan Risberg)

Framtidens byggande av flerbostadshus, jämfört med byggande av småhus

- Byggandet av stora passivhus är ovanligt, radhus och en- eller tvåfamiljshus är vanligare än höghus (Håkan Risberg)
- Framtidens byggnation blir liknande dagens byggnation med samma fördelning mellan flerbostadshus och småhus (Niclas Coucher)

- Flerbostadshus kan nog behövas i större utsträckning eftersom stora barnkullar snart ska flytta hemifrån och många pensionärer snart söker annan bostad och det inte är lika många småbarnsfamiljer som behöver småhus (Tommy Wesslund)
- Byggande av hyresrätter ger längre tidsperspektiv i kalkyler eftersom förvaltaren är mer intresserad av driftkostnaderna än vid bostadsrätter (Håkan Risberg)
- Om massivträets hållfasthet ska nyttjas bör man bygga på höjden – de dimensioner som Martinsons använder i väggelement är optimerat för hus i flera våningar (Håkan Risberg)
- Användandet av massivträ kräver en speciell arkitektur för att vara lönsamt att använda som väggelement i småhus – i småhus är det mer vanligt med bjälklag i massivträ (Håkan Risberg)
- Hur distributionen av VVS-system utformas är viktigare i flerbostadshus – exempelvis på grund av högre brandkrav i flerbostadshus (Tommy Wesslund)
- Småhus har ytor mot utomhusluften i alla riktningar, i lägenhet oftast bara två ytor mot utomhusluften vilket ger ett lägre behov av uppvärmning (Tommy Wesslund)

Utformning av VVS-system för bra komfort och energieffektivitet

Bra komfort och energieffektiva VVS-system fås genom att:

- Låta ventilation vara ventilation (Tommy Wesslund)
- Variabelstyra ventilationen så att den minskar när man går hemifrån (Tommy Wesslund)
 - Använda smarta system för att kunna sätta igång innan man är hemma, exempelvis med styrning från mobiltelefon – intelligenta hus (Tommy Wesslund)
- Använda vattenburen värme med rumsvis reglering (Tommy Wesslund)

11 Slutsatser och diskussion

11.1 Anslutningar

Utifrån storleken på fönstrets monteringsköldbrygga är det mer fördelaktigt att isolera fönsterkarmar än att inte göra det, att använda nytt fönster är mer fördelaktigt än att använda ursprungligt fönster och ny placering i djupled är mer fördelaktigt än ursprunglig. Totalt sett är därmed den mest fördelaktiga kombinationen utvändig karmisolering, nytt fönster och ny placering i djupled precis utanför det bärande skiktet. Störst påverkan på monteringsköldbryggans storlek har utvändig karmisolering.

Analysen visar att värmeflödet genom fönstret är koncentrerat till karmarna, speciellt den undre karmen som har sämst U-värde. Utan utvändig karmisolering är hörnen den svagaste länken. Värmekamerabilderna på Portvakten bekräftar dessa iakttagelser. Med utvändig överisolering är den inre delen av karmen den svagaste länken eftersom delen närmast väggen är överisolerad.

I analysen av sned fönstersmyg kan ses att den sneda fönstersmygen ökar värmeflödet genom konstruktionen med 6 % jämfört med en rak fönstersmyg med Portvaktens fönsterplacering i djupled. Skillnaden i värmeflöde mellan rak och sned fönstersmyg borde inte vara lika stor vid en fönsterplacering närmare mitten av väggen i djupled.

11.2 Energianvändning och uppfyllande av passivhuskrav

Energiberäkningar i PHPP visar att den nya utformningen, Portvakten med bästa utformning baserad på variabelstudien av fönsteranslutningarna, innebär lägre värmeeffektbehov och specifikt värmeenergibehov än den ursprungliga utformningen av Portvakten som det är byggt. Värmeeffektbehovet sänks från 11,0 W/m² till 9,7 W/m² och specifikt värmeenergibehov från 18,5 kWh/(m²·år) till 14,5 kWh/(m²·år). Detta åstadkoms genom utvändig karmisolering, en placering av fönster längre in i djupled och genom att använda ett nytt fönster.

Transmissionsförlusterna genom fönster och tillhörande köldbryggor är med ursprunglig utformning 132 % av vad de är med ny utformning. Andelen transmissionsförluster genom fönster och fönsteranslutningar är 65 % för den nya utformningen och 59 % för den ursprungliga utformningen av de totala transmissionsförlusterna. Skillnaden mellan utformningarna i transmissionsförluster genom fönster och dess anslutning står för 74 % av den totala skillnaden i specifikt värmeenergibehov mellan utformningarna. 26 % av den totala skillnaden i specifikt värmeenergibehov mellan utformningarna beror på skillnader i solvärmestillskott. Motsvarande siffror för värmeeffektbehovet är 89 % respektive 11 %. De ursprungliga fönstren släpper igenom cirka 75 % av den solenergi som släpps igenom de nya fönstren. Den största skillnaden och i det här fallet avgörande faktorn är fönstrens U-värde, inklusive monteringsköldbrygga, som är 1,05 W/(m²·K) för ursprunglig utformning respektive 0,78 W/(m²·K) för ny utformning för studerat fönstermått. Detta trots att fönsterglasets från nytt fönster har ett högre U-värde än fönsterglasets från ursprungligt fönster som används i Portvakten som det är byggt. Alltså är utformningen av karm och montering viktigt.

Det kan konstateras att utvändig karmisolering, nytt fönster och ny placering i djupled kan spela stor roll för beräknat specifikt värmeenergibehov för en byggnad. Huruvida det går att applicera den utvändiga karmisoleringen i verkligheten och huruvida den nya placeringen i

djupled fungerar med anslutningen rent fukttekniskt har inte undersökts. Därför ska dessa resultat främst tas som indikationer.

Solvärmetillskottets täckningsgrad av transmissionsförlusterna genom fönster skiljer sig mellan väderstreck och mellan utformningarna. Täckningsgraden är mycket högre för södervända fönster än övriga och med ny utformning fås högre täckningsgrad än med ursprunglig utformning. Det beror som nämnts på bättre totalt U-värde och högre g-värde på fönster. Analysen visar att en ökning av fönsterandelen söderut och en minskning av fönsterandelen i övriga riktningar vore fördelaktigt. Detta är dock inte genomförbart när det gäller lägenheterna i Portvakten eftersom fönsterandelen inom vissa lägenheter inte skulle bli tillräckligt stor.

Det lägre g-värdet på ursprungligt fönster innebär lägre risk för övertemperaturer sommartid. Utvändig solavskärmning kan användas istället för fönster med lågt g-värde. Detta för att uppnå samma effekt med lägre risk för övertemperatur sommartid, men samtidigt öka solvärmetillskottet vintertid då solen står lägre än på sommaren.

Med den nya utformningen klaras både PHI:s passivhuskriterier för specifikt värmeenergiebehov och värmeeffektbehov och FEBY:s passivhuskriterier för värmeeffektbehov. Med ursprunglig utformning klaras enbart FEBY:s passivhuskriterier för värmeeffektbehov.

En variabelstudie av inomhustemperaturen visar att en ökning av inomhustemperaturen med 1°C motsvarar cirka 10 % högre specifikt värmeenergiebehov och en ökning med 2°C motsvarar cirka 20 % högre specifikt värmeenergiebehov.

Vid jämförelse med redan gjorda beräkningar visar det sig att dessa underskattar specifikt värmeenergiebehov och värmeeffektbehov jämfört med våra beräkningar i PHPP och uppmätta värden. Våra beräkningar i PHPP underskattar i sin tur även i jämförelse med uppmätta värden. Antas en inomhustemperatur på 22°C istället för 20°C i PHPP, eller om 4 kWh/(m²·år) läggs till resultatet på grund av vädringsförluster, fås värden snarlika de uppmätta.

Skillnaden mellan beräkningar och uppmätta värden skulle kunna förklaras av att huset under första året i bruk inte har varit helt uthyrt vilket innebär lägre internt värmetillskott och att det är normalt är högre energiförbrukning första året på grund av bland annat uttorkning och driftproblem. Skillnaden kan även bero på fel antaganden. Möjliga felfaktorer gällande antaganden och indata till PHPP är:

- Förenklingar som exempelvis att bortse från vindsvåningen
- Skuggningen som lades in överslagsmässigt
- Indata för köldbryggsvärden som tagits fram genom uppskattningar från Isolerguiden Bygg 06
- Felmarginalen på 10 % på täthetsprovningresultatet
- Att årsgenomsnittsvärdet på återvinningsgraden för värmeväxlingsaggregatet enligt Tommy Wesslund understiger inlagt värde (cirka 70 % jämfört med 73 %)

- Att klimatdata för Växjö inte har använts

Även eventuella mätfel och uppskattningen av uppmätt värde för september 2010 är felfaktorer. PHPP bygger på stationära energibalansberäkningar vilket är en förenkling som kan innebära en viss felmarginal.

11.3 Litteraturstudie

11.3.1 Passivhus

Framtiden bedöms som ljus för passivhus som koncept eftersom det är tydligt definierat. Otydligheter uppstår dock på grund av att olika definitioner och medföljande kravkriterier existerar. Även det faktum att definitionerna inte kräver luftburen värme samtidigt som huvudkriteriet för värmeeffektbehov bygger på att byggnaden ska kunna värmas via luften kan skapa förvirring hos beställare och brukare. Detta eftersom passivhuset därmed förväntas sakna radiatorer eller annan vattenburen värme, vilket används i många fall.

För att förmedla konceptet är byggandet av demonstrationsobjekt och informationsspridning om hur dessa byggs viktigt. Andra viktiga delar för framtiden för passivhus är:

- Förbättrad information till och utbildning av personer aktiva i byggbranschen
- Samarbete/samverkan och kunskapsöverföring i byggprocessen
- Omställda byggnadsregler och hårdare krav från beställare
- Stimulerande ekonomiska mekanismer
- Utbredd ackreditering och certifiering

Ett passivhus byggs i genomsnitt för 4-6 % högre byggnationskostnader än för ett standardproducerat hus, men kan halvera energianvändningen under driftskedet. Högre elpriser är därför ett starkt incitament för att bygga lågenergihus. För att kunna uppskatta de minskade kostnaderna i bruksskedet kan individuell mätning och debitering av energianvändning för uppvärmning och användandet av LCC-analyser även vara incitament.

Enligt direktiv från EU-kommissionen ska alla nybyggda hus vara nära nollenergibyggnader senast år 2021. För det krävs nya välfungerande energistandarder som föreskriver låg maximal energianvändning och som ställer krav på verifikation och uppföljning. Samtidigt kan även tydligare krav ställas vid renovering. För att uppnå uppsatta klimatmål krävs att alla nya hus byggs som passivhus och att 2-5 % av det befintliga byggnadsbeståndet årligen byggs om enligt passivhuskonceptet.

Konceptet passivhus kan kompletteras för att uppnå ännu högre ställda krav, dels på omgivande miljöfaktorer som för exempelvis LEED och BREEAM och dels på energianvändning som för noll- eller plusenergihus. För att effektivisera processer och minska resursanvändning kan även inspiration fås från LEAN där ständiga förbättringar eftersträvas.

Det finns flera exempel på lyckosamma passivhusprojekt. Boende i passivhus är ofta nöjda med sitt boende. Positiva faktorer som nämns är bättre luftkvalitet, bra ljusförhållanden, inget buller utifrån och mestadels behaglig inomhustemperatur. Det negativa som nämns är för låg inomhustemperatur i utsatta lägenheter med lågt internt värmetillskott.

Den viktigaste principen för ett passivhus är att ha ett välisolerat klimatskal med ett kontinuerligt omslag.

Lufttätheten är även viktigt för passivhus och är enklare att ha som mål än fuktsäkerhet eftersom lufttäthet är mät- och verifierbart. För att stimulera byggandet av lufttäta hus krävs förbättring av:

- Utbildning av involverade parter
- Detaljlösningar
- Arbetsmetoder
- Material och produkter
- Metoder för inspektion och kvalitetssäkring
- Erfarenhetsöverföring

Metoder för att förbättra kan vara att planera in informationsmöten, utbildningar, studiebesök, tryckprovningar med samtidig termografering och möten för kunskapsöverföring vid planering av byggprocessen. En lufttäthetsansvarig kan utses och byggarna som ska utföra täthetsarbeten kan certifieras. För att bygga lufttätt kan antalet skarvar och genomföringar minimeras genom förbättrad projektering och tydliga detaljritningar. Tätskiktet kan med fördel placeras en bit in i väggen för att minska risken för håltagning. För att inte riskera fuktskador får tätskiktet dock inte placeras längre in än en fjärdedel av isoleringstjockleken. Materialen som används måste vara hållbara tillsammans för att det ska bli lufttätt.

En intressant frågeställning är huruvida lufttätningen kan garanteras under hela husets livstid med olika lösningar för lufttäthet och hur denna kan kontrolleras. Det vore därför intressant med åtkomlig lufttätning som enkelt medger åtgärder under husets livslängd vid behov. Det kanske är aktuellt med regelbunden kontroll av lufttätheten, i stil med OVK.

Även utnyttjandet av solenergi är en viktig princip för passivhuset och kan optimeras genom att:

- Öppna upp huset mot söder och planera för att kunna ta vara på fördelar av solens skiftande rörelsemönster över året
- Tillhandahåll termiskt buffrande massor som kan lagra solvärmens under dagen för att avge den under natten
- Ha lövbärande träd i söder som medför skugga under sommaren

Solenergens påverkan minskar längre norrut till den grad att inga vinster från solenergi kan tillgodoräknas för effektbehovet vintertid. Därför är det speciellt viktigt i norra Sverige att inte överskatta solens inverkan på vintern. Sommartid är det viktigt med utvändigt solavskärmning även i norra Sverige.

Ett alternativt förslag på utvändigt solavskärmning är fönsterluckor som är vanligt i varmare länder i kombination med en placering av fönster längre in i fasaden. Det hade kunnat bli en

intressant och estetiskt tilltalande lösning. På de solavskärmande luckorna kan solceller placeras.

Många fönster i Portvakten sitter två och två eller tre och tre och tillhör samma lägenhet. För att minska energiförlusterna genom karmarna och anslutningarna hade det varit bättre att sätta in ett stort fönster med samma totala glasyta. Problemet om det blir för stora fönster är att det kan bli svårt att öppna, men ibland ska fönster i höghus ändå inte kunna öppnas.

En annan faktor som påverkar är area/volym-förhållandet. Area/volym-förhållandet minskas genom att extra ytterytor undviks och genom att bygga på höjden.

Risker med passivhus är att passivhus kan vara mer känsliga för fel vid projektering, materialval eller montering. Fel kan påverka passivhusets funktion i stor utsträckning och leda till ökat värmeeffektbehov, sämre inomhusmiljö och fuktskador. Vid rätt utförande bedöms risken för fuktskador som låg.

11.3.2 Massivträ

Trä är en naturlig och förnyelsebar råvara som tillverkas med låg energiåtgång och låga koldioxidutsläpp. Trä kan även återanvändas, återvinnas eller energiåtervinnas. Trä kan därför anses ett bättre miljöval än stål och betong ur ekologisk synpunkt. Synligt obehandlat massivträ kan även bidra till ett förbättrat inomhusklimat med tanke på dess fukt- och värmebuffrande förmåga.

Byggande med massivträ innebär ofta stor prefabriceringsgrad vilket innebär att projekteringen är särskilt viktig och att omfattande startmöten kan rekommenderas. Låg egenvikt i förhållande till bärförmåga gör förtillverkandet av stora element gynnsamt och medför även lägre transport-, monterings- och grundläggningskostnader i jämförelse med byggsystem i platsbyggt betong och platsbyggt trä. Jämfört med byggande i betong kan andelen byggfukt som måste torkas ut minska. Regn- och fuktskydd under byggtiden och konstruktivt träskydd är dock viktigt för att undvika fuktproblem. Användandet av förtillverkade element i massivträ kan bidra till en bättre arbetsmiljö på arbetsplatsen och en kortare byggtid.

Nackdelar med trähus jämfört med stenhus är generellt sämre vind- och lufttätethet, sämre värmelagringsförmåga, sämre akustik, större risk för byggfel och större krav på mer underhåll. Massivträns förmåga att värmebuffra dygnsvis är dock jämförbar med den för betong. Akustiken kan förbättras genom en dubbelkonstruktion i innerväggar, användandet av flytande golv och fribärande tak och punktvis förbindelse av mellanbjälklag mellan lägenheter. Även brand är kritiskt för träkonstruktioner. Massivträ har dock relativt högt brandmotstånd och kan uppnå höga brandklasser med väl fungerande sprinklersystem och kan även kompletteras med brandhinder material som gips.

11.3.3 Tekniska lösningar

De viktigaste principerna för att bygga ett energisnålt hus är:

- Isolera klimatskal och kanaler och rörledningar väl
- Undvik konstruktiva och geometriska köldbryggor
- Bygg lufttätt

- Minimera area/volym-förhållandet
- Använd termiskt högpresterande fönster med hög g-faktor
- Optimera anslutning och placering av fönster
- Använd FTX-system med hög värmeåtervinningsgrad
- Utnyttja tillgänglig energi, exempelvis med solfångare, vindkraftverk, värmepump och spillvattenvärmeväxlare
- Använd utvändigt ovanliggande solavskärmning
- Kyl sommartid med nattluft via ventilationen
- Använd golv, innerväggar och tak med hög värmelagringsförmåga
- Använd vattensnål armatur och apparatur
- Använd energieffektiva apparater och belysning
- Använd individuell mätning av värme-, varmvatten och elförbrukning

Termiskt högpresterande fönster med U-värde lägre än $0,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ kan väljas för att uppnå ett bra termiskt klimat. Köldbryggan vid anslutningen mot väggen kan minimeras genom att undvika en genomgående konstruktiv köldbrygga, placera fönstret i den innersta tredjedelen av isolerskiktet och överisolera ytterkarmen. Genom att placera fönster högt i vertikalled skapas bättre förutsättningar för att vädra ut värme sommartid. Exempelvis kan avlånga luftningsfönster längs innertaket användas för att effektivt lufta ut använd varm luft.

11.4 Intervjuer

11.4.1 Portvakten

Gällande byggandet av Portvakten dras slutsatser från intervjuerna att projektorganisationen var bra, fransett framförallt att en samordnare med erfarenhet av passivhusbyggande saknades. Byggskedet anses ha varit smidigt med bra kommunikation och enkel montering. Att ett passivhus i form av höghus skulle byggas gjorde involverade parter mer engagerade och gjorde att de tvingades samarbeta mer. Lärdom drogs att det går att bygga höghus i trä med passivhusteknik. Överlämningen mellan byggprocessens olika delar anses viktig.

11.4.2 Framtidens byggande

Gällande framtidens byggande dras slutsatser från intervjuerna att passivhus är ett bra koncept för ett hållbart samhälle och att det kommer att bli norm för byggandet. Samarbetet mellan konstruktion och arkitektur är viktigt för utvecklandet av passivhuskonceptet. Intresset för att bygga passivhus kan anses relativt svalt just nu då många väntar på utvärderingar av genomförda projekt. Ett passivhus behöver inte vara mer komplicerat än ett standardproducerat hus, exempelvis VVS-systemet behöver inte skilja sig i någon större omsträckning.

Byggandet i Sverige kommer att bli mer industrialiserat och mer och mer kommer livscykelanalyser att efterfrågas. Sverige kan bli föregångsland gällande passivhusbyggande.

Massivträ är ett bra byggmaterial som kan komma att användas i större utsträckning efter att flera projekt visat att massivträ går bra att använda i höghus och passivhus. Trä är bra ur miljösynpunkt.

Byggandet av passivhus i form av höghus är ovanligt nu, men byggandet av flerbostadshus kan öka på grund av en förändrad demografi, kostnadsfördelar och bättre materialutnyttjande.

Distributionen av VVS-system är viktigare i flerbostadshus än i småhus. För att utforma energieffektiva VVS-system med bra komfort kan vattenburen värme med rumsvis reglering och variabelstyrd ventilation användas.

11.5 Lämpliga antaganden och krav

När ett passivhus ska byggas kan olika krav ställas och olika antaganden användas som indata vid beräkningar. Nedan presenteras våra slutsatser angående vilka val som är lämpliga.

Gällande inomhustemperatur är det lämpligt att anta denna till 21-22°C eftersom detta enligt CEPHEUS mätningar är vanligast förekommande i passivhus. Det ger även enligt våra studier mest rättvisande resultat jämfört med verkligheten.

Gällande antal personer är SVEBY:s rekommendationer om 1,63 personer i 2 rum och kök och 2,18 personer i 3 rum och kök lämpligast eftersom dessa värden är baserade på statistik och i vårt fall ger ett antal mittemellan PHI:s och FEBY:s.

Gällande internt värmestillskott är PHI:s antaganden, 2,1 W/m² generellt och 1,6 W/m² vid effektbehovsberäkning, mer rimliga då dessa är lägst och därför kan anses ligga på den säkra sidan. Solvärmestillskottet en klar dag var i vårt fall 0,4-0,6 W/m². Våra jämförelser indikerar att det interna värmestillskottet överskattas med FEBY:s antagande på 4 W/m², speciellt med tanke på utvecklingen mot mer och mer energisnåla apparater som alstrar mindre värme.

Gällande temperaturverkningsgraden för värmeväxlingsaggregaten är PHI:s högre krav, 75 %, mer befogat eftersom de vinster som fås i lägre värmeeffektbehov och därmed mindre investeringskostnader för kompletterande värmesystem överväger de högre investeringskostnaderna för ett bättre värmeväxlingsaggregat.

Gällande tilluftsbehov ska 0,35 l/(s·m²) antas som lägst eftersom detta är krav enligt BBR.

Gällande infiltrationsluftomsättning eller läckflöde är FEBY:s krav på 0,3 l/(s·m²) mer rimligt att använda i Sverige eftersom dessa enheter är standard i Sverige och eftersom detta innebär ett strängare krav i de flesta fall för flerbostadshus.

Angående dimensionerande utomhustemperatur är PHI:s tillvägagångssätt rimligt eftersom en mulen dag kan vara dimensionerande om fönsterytorna och skuggningen är orienterade på ett visst sätt. Den dimensionerande utomhustemperaturen för en klar dag motsvarar den som ska antas enligt FEBY, vilket gör att resultaten inte skiljer sig för beräkningarna för en klar dag.

Gällande övertemperaturgränsen är PHI:s krav på maximalt 25°C rimligare eftersom komfortgränsen går vid 24°C och eftersom detta ställer högst krav på utformningen av byggnaden.

Gällande effektkrav är FEBY:s regionalt anpassade krav mellan 10 och 12 W/m², förutom småhus där mellan 12 och 14 W/m² gäller, mer rimliga. Detta eftersom skillnaden i dimensionerande utomhustemperatur och antalet soltimmar under vinterhalvåret är mycket stor inom Sverige eftersom Sverige är ett avlångt land.

Gällande U_w-värde är ett krav på 0,85 W/(m²·K) rimligast eftersom undersökningar visar att fönster med detta U_w-värde klarar alla termiska inomhusklimatkrav och eftersom detta är ett medelvärde mellan kraven enligt FEBY och PHI.

Krav som vi anser kan införas är en lägsta g-faktor eftersom en för låg g-faktor begränsar det för passivhus essentiella värmetillskottet från sol vintertid. Enligt PHI rekommenderas 0,5-0,55, vilket verkar rimligt.

12 Förslag på framtida forskning

En ekonomisk analys utifrån livscykelperspektiv av två snarlika hus där det ena är ett passivhus och det andra är ett standardproducerat hus vore intressant.

En analys av hur länge passivhus fungerar som avsett, alltså följa upp passivhus efter upp till 50-100 år för att se om beräknade värden stämmer, vore intressant.

En analys av hur stor risken för fuktskador är i passivhus jämfört med standardproducerade hus vore intressant.

Fler studier av hur ombyggnad enligt passivhuskonceptet av olika byggnadsstilar kan vara intressant att göra eftersom även ombyggnad av befintliga hus krävs för att nå klimatmålen. Det har redan undersökts en del ombyggnationer inom EU-projektet SQUARE. Det kan även vara intressant att mäta lufttäthet innan och efter ombyggnad.

En intressant analys vore att studera hur stor ökning av fönsterarean som krävs för att få samma dagsljusinsläpp vid raka fönstersmygar som vid befintlig fönsterarea och sneda fönstersmygar. Detta i kombination med vad det innebär för transmissionsförlusterna genom klimatskalet och solvärmestillskottet. Påverkan av fönsterplacering i djupled på dessa faktorer vore även intressant att analysera närmre.

Det vore intressant att studera runda eller exempelvis åttakantiga hus ur energi- och lönsamhetssynpunkt jämfört med fyrkantiga hus eftersom hörn är en geometrisk köldbrygga.

En närmre analys av för- och nackdelar för både inomhusklimatet och energianvändningen med en högre luftomsättning än hygienkravet i BBR vore intressant.

En studie av olika värmesystemlösningar utifrån energieffektivitet och inomhuskomfort:

- Värmeåtervinning kombinerat med luftvärme
- Värmeåtervinning kombinerat med värmeslingor, exempelvis golvvärme eller väggvärme
- Värmeåtervinning kombinerat med radiatorer
- Värmeåtervinning kombinerat med alternativ värmekälla som exempelvis braskamin

En studie av vattenburna värmesystem vad som är effektivast av att få värme från vid så små effekter som krävs i passivhus, och som enklast kombineras med varmvattensystemet:

- Avloppsvärmeväxlare
- Solfångare
- Värmepump
 - Luft
 - Vatten (grundvatten eller sjö)

- Berg
- Mark
- Fjärrvärmenät
- Kombination av ovanstående

Referenser

- Aarstad J. *Veiledning – bygge med Massivtreelementer*. Norsk Treteknisk Institutt, Oslo.
- Aarstad J och Bunkholt A. *FOKUS på tre Nr. 20. Massivtre*. TreFokus AS och Norsk Treteknisk Institutt, Oslo.
- Abel E och Elmroth A, 2006. *Byggnaden som system*. Forskningsrådet Formas, Stockholm.
- AB Svensk Byggtjänst, 2005. *Trälyftet – Ett byggsystem i massivträ för flervåningshus*. AB Svensk Byggtjänst, Stockholm.
- Associerede Ingeniører ApS och Skov og Naturstyrelsen, 2001. *Massivtrae i byggeriet*. Associerede Ingeniører ApS och Skov og Naturstyrelsen.
- Avdelningen för byggnadsteknik, 1994. *Byggnadsteknikens grunder*. Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm.
- Bech R och Dragsted A, 2003. *Brandpåvirkede massivtraeelementer*. Danmarks Tekniske Universitet Byg, Lyngby.
- Bokalders V och Block M, 1997. *Byggeologi 1 – Att bygga sunda hus*. AB Svensk Byggtjänst, Stockholm.
- Bokalders V och Block M, 2004. *Byggeologi – Kunskaper för ett hållbart byggande*. AB Svensk Byggtjänst, Stockholm.
- Boverket, 2009. *Bygg för morgondagens klimat. Anpassning av planering och byggande*. Boverket, Karlskrona.
- Boverket, 2009. *Dimensionerande vinterutetemperatur, DVUT*. Boverket, Karlskrona.
- Boverket, 2008. *Regelsamling för byggande, BBR 2008*. Boverket, Karlskrona.
- Boverket, 2006. *Sundsvalls Inre Hamn – Ett utvecklings- och informationsprojekt för trähusbyggande i massivträ*. Boverket, Karlskrona.
- Carling O, 2001 (2008). *Limträ handbok*. Svenskt Limträ AB, Stockholm.
- Erlandsson M, Ruud S, Sandberg E, Wall M, Eek H och Wahlström Å, 2009. *FEBY Kravspecifikation för Passivhus*. Version 2009. LTH rapport EBD-R--09/25, IVL rapport nr A1592. ATON rapport 0902. Forum för Energieffektiva Byggnader.
- Erlandsson M, Ruud S, Sandberg E och Wall M, 2009. *FEBY - Kravspecifikation Minienergihus - Version 2009*. LTH rapport EBD-R--09/26. IVL rapport nr A1593. ATON rapport 0903. Forum för Energieffektiva Byggnader
- Feist W, 2009. *Certification as "Quality Approved Passive House" – Criteria for Residential-Use Passive Houses*. Passivhaus Institut, Darmstadt.
- Feist W, Pfluger R, Kaufmann B, Schnieders J och Kah O, 2007. *Passivhus projekteringspaket 2007 – PHPP 2007 – Krav på kvalitetskontrollerade passivhus*. PHI-2007/1(SE). Svensk redaktör: Hans Eek. Passivhaus Institut, Darmstadt.
- FoU-Syd Sveriges Byggindustrier, 2008. *Undvik fel och fällor som ökar energianvändningen i byggnader*. FoU-Syd Sveriges Byggindustrier, Malmö.
- Glasø G, 2008. *FOKUS på tre Nr. 32 Fleretasjes trehus*. TreFokus AS och Norsk Treteknisk Institutt, Oslo.

- Gustafsson A, 2001. *Sammanfattning av projekt "Väggelement av massivträ"*. Träteknik, Skellefteå.
- Hameury S, 2006. *The Hygrothermal Inertia of Massive Timber Constructions*. Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm.
- Harderup L-E och Arfvidsson J, 2008. *Fuktsäkerhet i kalla vindsutrymmen*. LTH Rapport TVBH-3050. Lunds Tekniska Högskola, Lund.
- Hedenblad G, 1996. *Fuktsäkerhet i byggnader - Materialdata för fukttransportberäkningar*. Bygghälsorådet, Stockholm.
- Industrikonsortiet Massivträ, 2006. *Massivträ. Handboken 2006*. Industrikonsortiet Massivträ.
- Jansson U, 2008. *Passive houses in Sweden – Experiences from design and construction phase*. Rapport EBD-T--08/9. Lunds Tekniska Högskola, Lund.
- Kaufmann B, Feist W, John M och Nagel M, 2002. *Das Passivhaus – Energie-Effizientes-Bauen. holzbau handbuch*. Passivhaus Institut, Darmstadt.
- Kildsgaard I och Prejer E, 2010. *Framtidens trähus – energieffektiva med god inomhusmiljö*. Framtidens trähus – SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.
- Kvist H och Nordström C, 2008. *Energieffektiva byggnader – Riktlinjer för effektiv användning av projekteringshjälpmedel i byggprocessen*. Rapport EBD-R—08/23. Lunds Tekniska Högskola, Lund.
- Levander E, 2010. *Förvaltning av industriellt byggda flerbostadshus med trästomme – Kartläggning av kostnader och erfarenheter*. Luleå Tekniska Universitet, Luleå
- Nässén J, 2005. *Energy efficiency and the challenge of climate change – Studies of the Swedish building sector*. Licentiatavhandling. Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
- Nässén J, 2007. *Energy efficiency – Trends, determinants, trade-offs and rebound effects with examples from Swedish housing*. Doktorsavhandling. Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
- Nevander L E och Elmarsson B, 1994 (2008). *Fukt handbok. Praktik och teori*. Tredje utgåvan. AB Svensk Byggtjänst, Stockholm.
- Kachadorian J, 2006. *The Passive Solar House – The Complete Guide to Heating and Cooling Your Home*. Chelsea Green Publishing Company, Vermont.
- Miljödepartementet, 2007. *SOU 2007:60 Klimat- och sårbarhetsutredningen*. Miljödepartementet, Stockholm.
- NorDan. *NorDan NTech Villa 105/67 Sash*. NorDan, Moi.
- PAROC AB, 2002. *Byggboken, flik 2. Produktinformation*. Rekv.nr. 312/1. PAROC AB, Skövde.
- Pluger R, Schnieders J, Kaufmann B och Feist W, 2003. *HIWIN – Hochwärmedämmende Fenstersysteme: Untersuchung und Optimierung im eingebauten Zustand*. Passivhaus Institut, Darmstadt.
- Ruud S och Lundin L, 2004. *Bostadshus utan traditionellt uppvärmningssystem - resultat från två års mätningar*. SP Rapport 2004:31. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.
- Sandberg E, Erlandsson M, Ruud S och Jansson U, 2009. *FEBY – Kriteriejämförelse av Passivhus enligt PHI och FEBY*. LTH rapport EBD-R--09/29, ATON rapport 0906, IVL rapport nr A1731. Forum för energieffektiva byggnader.

- Sandberg P I och Sikander E, 2004. *Luftrörelser i och kring konstruktion del 3 – Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen – Kunskapsinventering, laboratoriemätningar och simuleringar för att kartlägga behov av tekniska lösningar och utbildning*. SP Rapport 2004:22. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.
- Sandin K, 1996. *Värme och fukt*. Lunds Tekniska Högskola, Lund.
- Schmitz-Günther T, 2000. *Ekologiskt byggande och boende*. Svenska faktaanpassade utgåvan. Könnemann Verlagsgesellschaft mbH, Köln
- Schnieders J, 2003. *CEPHEUS – measurement results from more than 100 dwelling units in passive houses*. Passivhaus Institut, Darmstadt.
- Sikander E, Samuelsson I, Gustavsson T, Ruud S, Larsson K, Hiller C, Werner G, Gabriellii K, 2009. *Lågenergihus och passivhus – vanliga frågeställningar*. SP Rapport 2009:28. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.
- SIS, Swedish Standards Institute, 2006. *R1 – Riktlinjer för specifikation av inneklimatkrav*. SIS, Swedish Standards Institute, Stockholm.
- Stehn L, Rask L-O, Nygren I och Östman B, 2008. *Byggandet av flervåningshus i trä - Erfarenheter efter tre års observation av träbyggandets utveckling*. LTU-TR--08/18--SE. Luleå tekniska universitet, Luleå.
- Stenberg A-C, 2006. *The Social Construction of Green Building: Diachronic and Synchronic Perspectives*. Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
- Storgaard Andersen R, 2005. *Indeklima i huse af massive traeelementer*. RLS Consult, Köpenhamn.
- Sunding L, 2006. *Gemensamt problemlösande och värdeskapande i byggprojekt*. Licentiatavhandling. Lunds Tekniska Högskola, Lund.
- Sveby, 2009. *Brukarindata för energiberäkningar i bostäder*. Sveby, Stockholm.
- Svensson A, Fänge M, Winblad J och Roos M, 2009. *Beckomberga Passivhus*. Brunnerberg & Forshed Arkitektkontor AB, Stockholm och NCC Boende AB, Solna.
- Time B, Geving S, Friquin K L., Grynning S, Noreng K och Sandland K M, 2008. *Tak basert på massivtreelementer – Klimapåkjenninger, bygningsfysiske og bygningstekniske forhold*. Prosjektrapport 30. SINTEF Byggforsk, Oslo.
- Träteknik – Institutet för träteknisk forskning. *Bygga med massivträ i Norden*. kontenta 0211041. Träteknik – Institutet för träteknisk forskning, Stockholm, Växjö och Skellefteå.
- Wahlgren P, 2010. *Goda exempel på lufttäta konstruktionslösningar*. SP rapport 2010:9. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.
- Wahlström Å, 2005. *P-märkt innemiljö och energianvändning – Handbok inför certifiering av energianvändning*. SP Rapport 2005:41. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.
- Warfvinge C, 2003. *Installationsteknik AK för V*. Rapport TABK--94/7016. Lunds Tekniska Högskola, Lund.
- Wigenstad T och Nesje T, 2005. *Massivtre konstruksjoner i boliger – Bruk av massivtre i bygningen – Miljøegenskaper og energibruk*. STF50 A05011. SINTEF Bygg og miljø – Arkitektur og byggeteknikk, Trondheim.

Internetsidor och dokument hämtade från internet

- Anderlind G och Stadler C-G, 2006. *Isolerguiden Bygg 06*. Swedisol. Hämtad från: http://www.stenull.paroc.se/produkt/dat/pdf_down/IsolerguidenBygg06_1.pdf (2010-09-24)
- Boström T, Glad W, Isaksson C, Karlsson F, Persson M-L och Werner A, 2003. *Tvärvetenskaplig analys av lågenergihusen i Lindås Park, Göteborg*. Hämtad från: http://www.liu.se/energi/publikationer/tvarprojekt/1.26587/arbetsnotat_25_lagenergihus_lindas_park.pdf (2010-10-07)
- Boverket, 2009-02-06. *Obligatorisk ventilationskontroll*. <http://www.boverket.se/Bygga--forvalta/Drift-och-forvaltning/Obligatorisk-ventilationskontroll/> (2010-11-15)
- Boverket, 2009-10-06. *OVK – Vilka byggnader och när?* <http://www.boverket.se/Bygga--forvalta/Drift-och-forvaltning/Obligatorisk-ventilationskontroll/OVK---Vilka-byggnader-och-nar/> (2010-11-15)
- BRE Global, 2009. *BREEAM – The Environmental Assessment Method for Buildings Around the World*. Hämtad från: http://www.breeam.org/filelibrary/BREEAM_Around_The_World_A4.pdf (2010-10-11)
- ByggaBoDialogen. *Miljöklassning av byggnader*. Hämtad från: http://www.byggabodialogen.se/upload/Pdf-filer/Miljoklassningbroschyr_screen_sv.pdf (2010-09-27)
- Commission of the European Communities, 2008-01-23. *20 20 by 2020 Europe's climate change opportunity*. Hämtad från: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0030:FIN:EN:PDF> (2010-08-20)
- Energate, 2008. *Energate 1042 – Spara energi på naturlig väg*. <http://www.energate.com/index.php?id=43&L=6> (2010-09-03)
- Energilotsen, 2009-11-30. *Samarbete mellan energisamordnare och byggherre*. Hämtad från: http://www.energilotsen.nu/energilotsen/kap_4_byggherre.pdf (2010-09-30)
- E.ON Sverige AB. *Bästa tipset för att spara energi*. <http://www.eon.se/templates/Eon2TextPage.aspx?id=47822&epslanguage=SV> (2010-10-07)
- European Commission – Energy, 2010-06-21. *Energy Efficiency in Buildings*. http://ec.europa.eu/energy/efficiency/buildings/buildings_en.htm (2010-08-19)
- European Commission – Joint Research Centre – Institute for Energy, 2010-08-11. *The European GreenBuilding Programme*. <http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/greenbuilding/index.htm> (2010-08-19)
- Framtidens trähus. *Forskning för framtidens trähus*. <http://www.framtidenstrahus.se> (2010-10-11)
- Gyproc AB, 2008. *Produktdatablad Gyproc GFE 15 Protect F Ergo Gyproc GF 15 Protect F*. Hämtad från: http://www.gyproc.se/files/PDF/Sweden/PRD/SE_GF-GFEDatablad.pdf (2010-10-06)
- Hysesbostäder i Växjö AB, 2009. *Informationsfolder Portvakten Söder*. Hämtad från: <http://www.hysesbostaderivaxjo.se/Pages/Page.aspx?pageId=457&versionId=1> (2010-08-26)
- Hysesbostäder i Växjö AB. *Välkommen till Portvakten Söder!*. Hämtad från: <http://www.hysesbostaderivaxjo.se/documents/hysesbostader/documents/omr%03%a5desinformation/sigfridsomr%03%a5det/portvaktens%03%b6derbofaktasv.pdf> (2010-11-30)

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. *Climate Change 2007, IPCC Fourth Assessment Report (AR4)*. Hämtad från: www.ipcc.ch (2010-08-19)
- Ivarsson. *ivarit DuraCo+ - Stark fasadskiva*. Hämtad från: <http://www.ivarssonsverige.se/Produkter/Byggskivor/ivarit-Duraco.aspx?ShowIpaper=161> (2010-10-06)
- Jönsson R, Hansson P, Frantzich H, Grahn E och Johansson A L, 2006-02-28. *Förstudie revidering Boverkets Byggregler Kapitel 5 Brandskydd*. Lunds Tekniska Högskola, Lund och Bengt Dahlgren AB. Hämtad från: www.boverket.se/.../Brandskydd/Framtidens%20brandregler/Förstudie%20revidering%20BBR%20060228%20skyddad.pdf (2010-08-19)
- KlimaHaus Agentur, 2007. *Categories*. <http://www.agenziacasaclima.it/en/climatehouse/climatehouse/categories.html> (2010-10-14)
- KlimaHaus Agentur, 2007. *Characteristics of KlimaHaus/CasaClima*. <http://www.agenziacasaclima.it/en/climatehouse/climatehouse/characteristics-of-klimahauscasaclima.html> (2010-10-14)
- KlimaHaus Agentur, 2007. *ClimateHouse History*. <http://www.agenziacasaclima.it/en/climatehouse/climatehouse/climatehouse-history.html> (2010-10-14)
- Köhler N. *Inga nollenergihus när EU skärper kraven*. byggIndustrin, 2010-10-15. http://www.byggindustrin.com/energi--miljo/inga-nollenergihus-nar-eu-skarper-kraven__8266 (2010-10-20)
- Lean Forum Bygg. *Vad är Lean?*. <http://www.leanforumbygg.se/default.asp> (2010-09-01)
- Martinsons. *Det naturliga sättet att bygga flerbostadshus*. <http://www.martinsons.se/bostader> (2010-08-26)
- Martinsons. *Den nya generationens lågenergihus*. <http://www.martinsons.se/lagenergihus> (2010-08-26)
- Martinsons. *Byggdelar*. <http://www.martinsons.se/byggdelar> (2010-08-19)
- Martinsons. *En naturlig del av framtiden*. <http://www.martinsons.se/om-foretaget> (2010-08-26)
- Martinsons. *Formstabil, starkt och enkelt att montera*. <http://www.martinsons.se/bostader/kl-traskivor> (2010-11-23)
- Martinsons. *Framtidens naturliga sätt att bygga*. <http://www.martinsons.se/byggsystem> (2010-08-26)
- Martinsons. *Från sågverk till marknadsledande koncern*. <http://www.martinsons.se/historik> (2010-08-26)
- Martinsons. *Höga flerbostadshus med massivträstomme*. <http://www.martinsons.se/hus-3-8-vaningar> (2010-08-19)
- Miljödepartementet, 2010-03-23. *Prop. 2009/10:155 Svenska miljömål - för ett effektivare miljöarbete*. Hämtad från: http://www.regeringen.se/download/dca35b38.pdf?major=1&minor=142456&cn=attachmentPublDuplicator_0_attachment (2010-08-19)
- MINERGIE. *Planning and project The MINERGIE-Standard for Buildings – Information for Architects*. Hämtad från:

- http://www.minergie.com/tl_files/download_en/Faltblatt_Minergie_Standard_e.pdf (2010-10-14)
- Minobe S, Kuwano-Yoshida A, Komori N, Xie S-Pg och Small R J. *Influence of the Gulf Stream on the troposphere*. Nature 452, 206-209, 2008-03-13. Hämtad från: <http://www.nature.com/nature/journal/v452/n7184/abs/nature06690.html> (2010-08-23)
- Mjörnell K och Wihlborg C, 2005. *Fuktsäkring i byggprocessen*. Bygg & teknik 5/05. Hämtad från: http://www.fuktcentrum.lth.se/fileadmin/fuktcentrum/Publikationer/Bygg-Teknik/5_05_21.pdf (2010-09-27)
- Naturvårdsverket, 2009-04-29. *Smarta byggnader och byggande*. <http://www.naturvardsverket.se/sv/Sveriges-miljomal--for-ett-hallbart-samhalle/Vad-ar-ett-hallbart-samhalle/Hallbara-stader/Vara-ansvarsomraden-inom-hallbara-stader/Smarta-byggnader-och-byggande/> (2010-08-18)
- Naturvårdsverket, 2008-02-19. *Så påverkas Sverige*. <http://www.naturvardsverket.se/sv/Klimat-i-forandring/Sa-forandras-klimatet/Sa-paverkas-Sverige/> (2010-08-19)
- Nilsson G, 2009. *Värdeskapande och kundnytta i ett industrialiserat byggande*. Formas-BIC 2006-1691. BIC, Byggsektorns innovationscentrum. <http://www.bic.nu/sa/node.asp?node=755> (2010-09-21)
- Näringsdepartementet, 2004-02-04. *Ds 2004:1 Mer trä i byggandet: underlag för en nationell strategi att främja användningen av trä i byggandet*. Hämtad från: http://www.sweden.gov.se/download/c05175ea.pdf?major=1&minor=1236&cn=attachmentPublDuplicator_0_attachment (2010-08-19)
- Näringsdepartementet, 2006. *Lag (SFS 2006:985) om energideklaration för byggnader*. Hämtad från: <http://www.riksdagen.se/webbnav/?nid=3911&bet=2006:985> (2010-08-19)
- Passipedia. *Installation-based thermal bridges $\Psi_{install}$* . http://passipedia.passiv.de/passipedia_en/planning/thermal_protection/window_installation (2010-09-10)
- Passipedia. *Integrated thermal protection*. http://passipedia.passiv.de/passipedia_en/planning/thermal_protection/integrated_thermal_protection (2010-09-10)
- Passipedia. *Thermal bridges*. http://passipedia.passiv.de/passipedia_en/basics/building_physics_-_basics/heat_transfer/thermal_bridges (2010-09-10)
- Passivhuscentrum. *Internationellt*. <http://www.passivhuscentrum.se/internationellt.html> (2010-08-19)
- Passivhuscentrum. *Passivhus i Sverige*. <http://www.passivhuscentrum.se/projekt.html> (2010-08-19)
- Passivhuscentrum. *Vad är passivhus?*. <http://www.passivhuscentrum.se/passivhus.html> (2010-08-19)
- Passivhaus Institut. *PHPP 2007: Passive House Planning Package 2007 Manual + CD-Rom – Other languages*. <http://www.passivehouse.com/> (2010-08-19)
- Passivhaus Institut, 2006-09-23. *Design avoiding thermal bridges*. http://www.passivhaustagung.de/Passive_House_E/passive_house_avoiding_thermal_bridges.html (2010-09-10)

- Passive-On project. *Passive House or Passivhaus*. Hämtad från: <http://www.passive-on.org/CD/5.%20Long%20Description/Passive-On%20-%20Long%20Description%20-%20English.pdf> (2010-08-19)
- Power Products Europe AB. *Super Singlex spillvattenvärmeväxlare*. <http://www.powerproductseurope.se/sida5/sida5.htm> (2010-08-19)
- Rockwool. *Råd till den som vill bygga energieffektivt*. <http://www.rockwool.se/inspiration/villa+%c3%a5karp/r%c3%a5d+till+den+som+vill+bygga+energieffektivt> (2010-10-20)
- Rockwool. *Tekniska lösningar*. <http://www.rockwool.se/inspiration/villa+%c3%a5karp/tekniska+l%c3%b6sningar> (2010-10-20)
- SBUF. *Brukarindata för energiberäkningar i bostäder*. SBUF informerar Nr 09:07. Hämtad från: http://www.mynewsdesk.com/se/view/document/8813/download/resource_document (2010-10-20)
- SMHI, 2009-06-23. *Klimatförändringar orsakade av människan*. <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimatforandringar-orsakade-av-manniskan-1.3833> (2010-10-19)
- SMHI, 2009-06-23. *Växthuseffekten*. <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/vaxthuseffekten-1.3844> (2010-10-19)
- SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. *Effektiv energianvändning – pågående FoU-projekt*. <http://www.sp.se/sv/index/research/effenergi/ongoing/Sidor/default.aspx> (2010-10-11)
- Statens energimyndighet. *Energistatistik för småhus 2008*. ES 2009:07. Hämtad från: <http://213.115.22.116/System/TemplateView.aspx?p=Energimyndigheten&view=default&cat=/Rapporter&id=60373ee0cdc743898284fec420067527> (2010-10-20)
- Statens energimyndighet. *Energistatistik för flerbostadshus 2008*. ES 2009:08. Hämtad från: <http://213.115.22.116/System/TemplateView.aspx?p=Energimyndigheten&view=default&cat=%2fRapporter&id=dac4605222e74e4985251c013981c887> (2010-10-20)
- Statistiska centralbyrån, 2010-05-31. *Pressmeddelande 2010:149: Kalkylerat bostadsbestånd 2009-12-31: Allt fler bostadsrätter*. http://www.scb.se/Pages/PressRelease___294758.aspx (2010-09-23)
- Statistiska centralbyrån, 2010-08-19. *Statistiska meddelanden BO 14 SM 1003: Byggande: Ny- och ombyggnad av bostadshus och nybyggnad av lokalhus 1:a halvåret 2010*. Hämtad från: http://www.scb.se/Pages/PublishingCalendarViewInfo___259923.aspx?PublObjId=11798 (2010-09-23)
- Sundolitt AB, 2004. *Grundskiva S100*. <http://www.sundolitt.se/default.asp?menu=153> (2010-10-06)
- Trefokus AS, 2005-12-05. *Prosjektering av byggeprosjekt – Råd og tips til prosjektering med massivtre*. <http://www.trefokus.no/fullstory.aspx?m=523> (2010-09-27)
- TräGuiden. *Bjälklagselement och väggelement av massivträ*. <http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=7444> (2010-09-28)
- TräGuiden. *Massivträ och volymsmoduler*. <http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=7443> (2010-09-28)

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). *Kyoto Protocol*. Hämtad från: http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php (2010-08-20)

U.S. Green Building Council. *Welcome to USGBC*. <http://www.usgbc.org/> (2010-08-19)

Wall M och Janson U, 2006. *Passivhus – Energieffektiva bostäder i Sverige*. Lunds Tekniska Högskola, Lund. Hämtad från: http://www.lth.se/fileadmin/energiportalen/Filer/Om_Energiportalen/Invigning/Posters/Passiv_hus_Energieffektiva_bost_der1_Maria_Wall_och_Ulla_Janson.pdf (2010-08-23)

WWF, 2010. *Klimatförhandlingarna*. <http://www.wwf.se/vrt-arbete/klimat/klimatfrhandlingarna/1252184-klimatfrhandlingarna> (2010-12-03)

Intervjuer

Coucher, Niclas, 2010: skriftligt. E-post. (2010-11-18)

Risberg, Håkan, 2010: muntligt. Telefonsamtal. (2010-11-03)

Wesslund, Tommy, 2010: muntligt. Samtal. (2010-11-18)

Bilagor

Bilaga 1 - Indata

- Tyréns AB
 - Ritningar och beskrivningar av Portvakten
- Martinsons
 - Ritningar av vägguppbyggnad för Portvakten
- Hyresbostäder i Växjö
 - Energibalansberäkningar för Portvakten
 - Resultat av lufttäthetsprovningar för Portvakten
- Framtidens trähus
 - Information om Portvakten i rapporten *Framtidens trähus – energieffektiva med god innemiljö*
- NCC Teknik
 - Energibalans- och köldbryggsberäkningar för Portvakten
- Wesslunds VVS-teknik AB
 - Ventilationsritningar av Portvakten
 - Installationsteknisk data för Portvakten
- NorDan
 - Teknisk data för Portvaktens fönster
- Energate
 - Teknisk data för nytt fönster
- PHI, FEBY, SVEBY och BBR
 - Krav, standarder och antaganden
- Isolerguiden 06
 - Värmeledningsförmåga för trä och betong


Bilaga 2 - Involverade parter i byggandet av Portvakten

Beställare:	Hysesbostäder i Växjö AB
Totalentreprenör:	NCC Construction AB
Stomleverantör:	Martinsons Byggsystem AB
Konstruktör:	Tyréns Temaplan
Arkitekter:	BSV Arkitekter & Ingenjörer AB och Seth Bengtsson
Brandkonsult:	Brand och Riskanalys AB
Mark- och VS-projektör:	Wesslunds VVS-teknik AB
Markarkitekt:	Gröna Rummet
Markentreprenör:	Markservice AB
VS-entreprenör:	NVS Installation AB
Ventilationsprojektör:	VVS-byrån i Växjö AB
Ventilationsentreprenör:	Service och Klimat
Elprojektör:	Elbeko
Elentreprenör:	ELUB
Styr- och regler:	Siemens AB

Bilaga 3 - PHPP

Verifiering

Passivhusverifiering



1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

Byggnad: **Portvakten Söder, A1**

Ort och klimat: **Växjö Kalmar**

Adress: **Emil Lindells väg**

Postnummer / ort: **352 57 Växjö**

Land: **Sverige**

Byggnadstyp: **Flerfamiljshus 8 vån**

Byggherre: **Hyresbostäder 1 Växjö AB**

Adress: **Antelliigatan 3**

Postnummer / ort: **352 36 Växjö**

Projektkör: **Tyréns AB**

Adress:

Postnummer / ort:

VVS-konsult:

Adress:

Postnummer / ort:

Byggnadsår: **2009**

Antal lägenheter: **32**

Omslutningsvolym V.: **8753,0** m³

Antal personer: **63,5**

Innetemperatur: **20,0** °C

Interna värmekällor: **2,1** W/m²

Beräkning av elbehov / interna värmekällor

Byggnadstyp: Bostad

Interna värmekällor

Användning: Bostad

Typ av värde: Standard

Projekterat antal personer: **56**

Verifiering

Månadsmetod / Effektmått / Snm

Omslutningsvolymen approximeras till bottenarean, med yttermått, multiplicerat med höjden på plan 1-8: $18,573 \cdot 19,736 \cdot 23,88 = 8753 \text{ m}^3$. Mått enligt ritningar från Tyréns AB.

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

0

Specifika värden relaterade till referensarean

Referensarea: **2221,4** m²

Metod:	Årsmetod	PH certifikat:	Uppgjort?
Specifikt värmebehov:	18 kWh/(m ² a)	15 kWh/(m ² a)	nej
Resultat från provtryckning:	0,3 h ⁻¹	0,6 h ⁻¹	ja
Specifikt primärenergibehov (VV, värme, kyl, fastighets- och besöksst):	kWh/(m ² a)	120 kWh/(m ² a)	
Specifikt primärenergibehov (VV, värme, fastighetsst):	kWh/(m ² a)		
Specifikt primärenergibehov (Besparing genom solst):	kWh/(m ² a)		
Värmeeffektbehov för värme	11 W/m ²	över 2,5 °C	
Övertemperaturfrekvens:	3 %	15 kWh/(m ² a)	
Specifikt nyttigt kylbehov:	kWh/(m ² a)		
Kylbelast:	6 W/m ²		

Verifiering: Årsmetod

Specifikt värmebehov Årsmetod	
18,5	
Specifikt värmebehov månadmätod	
18,3	

Specifika värden relaterade till Atemp

Atemp enligt BBR: **2433,0** m²

Specifikt energibehov enligt BBR **0** kWh/(m²a)

Krav: **110** kWh/(m²a)

Uppgjort? **Ja**

Härmed intygas att de ovan angivna värdena har beräknats enligt PHPP-metoden och att resultaten är baserade på byggnadens specifika egenskaper. PHPP-beräkningarna är bifogade.

Utfärdat: _____

Signatur: _____

Årsmetoden används enligt rekommendation i PHPP-manualen eftersom tillskott/förlustförhållandet är under 0,7 och årsvärmebehovet är över 8 kWh/(m²·år).

A_{temp} antas till 2433 m² (exkl. fläktrummet på vinden på 87,8 m²) i enlighet med *Framtidens trähus – energieffektiva med god inommiljö*.

Areor

Passivhusprojektering SAMMANSTÄLLNING AV AREOR

Byggnad: **Portvakten Söder, A1** Uppvärmingsbehov: **18** kWh/m²a

Sammanfattning						Byggnadsdel översikt	Genomsnittligt U-värde [W/(m ² K)]
Grupp nr	Areagrupp	Temperaturzon	Area	Enhet	Kommentar		
1	Referensarea		2221,40	m ²	Boarea enligt WoFlv eller lokalarea enligt DIN 277 innanför klimatskalet		
2	Fönster nord	A	65,86	m ²	Resultat från kalkylbladet "Fönster"	Fönster nord	0,984
3	Fönster ost	A	95,26	m ²		Fönster ost	1,026
4	Fönster syd	A	63,92	m ²		Fönster syd	0,984
5	Fönster väst	A	83,20	m ²		Fönster väst	1,053
6	Fönster horisontellt	A	0,00	m ²		Fönster horisontellt	
7	Ytterdörr	A	4,31	m ²	Minska motsvarande byggnadsdel med ytterdörens are	Ytterdörr	1,080
8	Yttervägg mot uteluft	A	1487,44	m ²	Fönsterareor subtraheras från de enskilda areorna på bladet "Fönster"	Yttervägg mot uteluft	0,104
9	Yttervägg mot uteluft	B	0,00	m ²	Temperaturzon "A" är uteluft	Yttervägg mot mark	
10	Tak/innertak mot uteluft	A	351,00	m ²	Temperaturzon "B" är mark	Tak/innertak mot uteluft	0,051
11	Platta på mark	B	351,00	m ²		Platta på mark	0,120
12			0,00	m ²	Temperaturzon "A", "B", "P" och "X" kan användas. EJ "I"		
13			0,00	m ²	Temperaturzon "A", "B", "P" och "X" kan användas. EJ "I"		
14		X	0,00	m ²	Temperaturzon "X": ange reduktionsfaktor (0 < f _r < 1):	X-faktor	75%
						Köldbryggor - översikt	ψ [W/(m ² K)]
15	Köldbryggor - ute	A	1430,00	m	Enhet i löpmeter	Köldbryggor - ute	-0,019
16	Köldbryggor - sockel	P	76,00	m	Enhet i löpmeter, temperaturzon "P" är sockel (perimeter) (se kalkylblad Mark)	Köldbryggor - sockel	-0,090
17	Köldbryggor - platta på mark	B	0,00	m	Enhet i löpmeter	Köldbryggor - platta på mark	
18	Lägenhetsskiljande vägg	I	988,60	m ²	Ingen värmeöverlåt, beaktas endast för beräkning av värmeeffektbehov	Lägenhetsskiljande vägg	0,149
Summa byggnadsskal						Genomsnittligt byggnadsskal	0,199

Bortser helt ifrån entrén vilket innebär att fönsterdörren mellan huset och entrén räknas som en ytterdörr. För denna dörr antas U-värdet vara samma som U-värdet för balkongdörrarna angivet i *Framtidens trähus – energieffektiva med god innemiljö*. Även vinden bortses helt ifrån och takbjälklaget mot den uppvärmda vinden antas som tak.

Referensarean beräknas till sammanlagda boarea för lägenheterna enligt ritning från Tyréns AB. Yttre måttet på våningshöjden antas till 3 m. Mått för yttervägg och grund sätts till yttermått enligt ritning från Tyréns AB. Arean för taket mot vinden antas lika stor som arean för grunden. Area för de lägenhetsskiljande väggarna (inkl. dörrar) tas från ritning från Tyréns AB. Lägenhetsskiljande väggar tas med för att ge mer rättvisande resultat på effektbehovet eftersom dess utformning påverkar värmeutbytet mellan lägenheter.

Inmatning av areor											Val av passande byggnadsdel	Nr	U-värde [W/(m ² K)]
Area nr	Beskrivning av byggnadsdel	Grupp nr	Grupptillhörighet	Antal	z (m)	a (m)	b (m)	Självframtagna get (m ²)	Eget avdrag (m ²)	Avdrag fönster (m ²)			
31	Referensarea	1	Referensarea	1	x			2221,40			2221,4		
32	Fönster nord	2	Fönster nord								65,9	Värde från blad Fönster	0,984
33	Fönster ost	3	Fönster ost								95,3	Värde från blad Fönster	1,026
34	Fönster syd	4	Fönster syd								63,9	Värde från blad Fönster	0,984
35	Fönster väst	5	Fönster väst								83,2	Värde från blad Fönster	1,053
36	Fönster horisontellt	6	Fönster horisontellt								0,0	Värde från blad Fönster	0,000
37	Ytterdörr	7	Ytterdörr	1	x	2,10	2,05				4,3	U-värde ytterdörr	1,08
38	Yttervägg N plan 2-8	8	Yttervägg mot uteluft	7	x	18,00	3,00				57,6	Yttervägg trä	1,104
39	Yttervägg Ö plan 2-8	8	Yttervägg mot uteluft	7	x	19,50	3,00				83,4	Yttervägg trä	1,104
40	Yttervägg S plan 2-8	8	Yttervägg mot uteluft	7	x	18,00	3,00				57,6	Yttervägg trä	1,104
41	Yttervägg V plan 2-8	8	Yttervägg mot uteluft	7	x	19,50	3,00				72,8	Yttervägg trä	1,104
42	Tak	10	Tak/innertak mot uteluft	1	x	18,00	19,50				0,0	Tak	0,051
43	Mellanvägg lägenhetsski	18	Lägenhetsskiljande vägg	1	x			988,60			0,0	Mellanvägg lägenhetsavskilj	0,149
44	Grund	11	Platta på mark	1	x	18,00	19,50				0,0	Grund	0,120
45	Yttervägg N plan 1	8	Yttervägg mot uteluft	1	x	18,00	3,00				8,2	Yttervägg betong	2,108
46	Yttervägg Ö plan 1	8	Yttervägg mot uteluft	1	x	19,50	3,00				11,9	Yttervägg betong	2,108
47	Yttervägg S plan 1	8	Yttervägg mot uteluft	1	x	18,00	3,00				6,3	Yttervägg betong	2,108
48	Yttervägg V plan 1	8	Yttervägg mot uteluft	1	x	19,50	3,00				10,4	Yttervägg betong	2,108
49											0,0		

Inmatning av köldbryggor											Längd l [m]	Inmatning av värme genomsläp-koefficient V/(m ² K)	ψ W/(m ² K)
Köldbrygga nr	Beskrivning av köldbrygga	Grupp nr	Grupptillhörighet	Antal	z (m)	Självframtagna längd (m)	Avdrag från längd (m)	längd (m)					
92	Ytterväggshörn	15	Köldbryggor - ute	1	x	96,00			96,00	Ytterväggshörn	-0,073		
93	Mellanbjälklag - trä	15	Köldbryggor - ute	2	x	457,00			914,00	Mellanbjälklag - trä	-0,017		
94	Mellanbjälklag - bitg	15	Köldbryggor - ute	1	x	152,00			152,00	Mellanbjälklag - bitg	-0,012		
95	Vindbjälklag	15	Köldbryggor - ute	1	x	76,00			76,00	Vindbjälklag	-0,112		
96	Kantbalk	16	Köldbryggor - sockel	1	x	76,00			76,00	Kantbalk	-0,098		
97	Balkong (fästregel)	15	Köldbryggor - ute	1	x	192,00			192,00	Balkong (fästregel)	0,028		

Inre köldbryggsvärden för Portvakten antas enligt köldbryggsberäkning gjord av NCC Teknik med hjälp av Isolerguiden Bygg 06. Köldbrygga vid mellanbjälklag i betong mellan plan 1 och 2 och monteringsköldbrygga vid fönster beräknas dock separat. Invändiga köldbryggsvärden räknas om till yttre med PHPP:s inbyggda omvandlingstabell. Alla

köldbryggor beaktas, även negativa.

Verktyg för konvertering av köldbryggor till yttermått						
Beteckning		Enhet	Mellan	Vägghörn	Kantbalk	Vind
	Ψ (innermått)	W/(mK)	0,015	0,031	0,016	0,031
	Temperaturdifferens köldbrygg	K	25	25,0	25,0	25,0
Angränsande area I	Temperaturdifferens $\Delta\theta$ I	K	25	25	25	25
	Ytermått - innermått I	m	0,31	0,50	0,40	1,12
	U-värde byggnadsdel I	W/(m ² K)	0,104	0,104	0,108	0,104
Angränsande area II	Temperaturdifferens $\Delta\theta$ II	K	0	25	25	25
	Ytermått - innermått II	m	0,00	0,50	0,59	0,50
	U-värde II	W/(m ² K)	0,000	0,104	0,120	0,051
	Ψ (ytermått)	W/(mK)	-0,017	-0,073	-0,098	-0,112

För omräkning av köldbryggor från inre mått till yttre mått används vägg tjocklek utan hänsyn till luftspalt och fasadskikt eftersom vid beräkning av U-värden bortses ifrån dessa. Vid beräkning av köldbrygga vid mellanbjälklag i trä används värden för enbart en sida och sedan dubbla längder.

Indata för strålningsbalans				
Absorption ute	Emission ute	Avvikelse från norr	Inklination, lutning mot horisontalplanet	Minskingsfaktor skuggning
Dessa kolumner tar hänsyn till exteriöra, ogenomskinliga ytors strålningsbalans. Inmatning endast för exteriöra ytor i kontakt med uteluft! Krävs ej för beräkning av uppvärmningsbehov i centraleuropeiskt klimat.				
0,40	0,90	0	90	0,75
0,40	0,90	90	90	0,75
0,40	0,90	180	90	0,75
0,40	0,90	270	90	0,75
0,90	0,90	0	20	1,00
0,40	0,90	0	90	0,75
0,40	0,90	90	90	0,75
0,40	0,90	180	90	0,75
0,40	0,90	270	90	0,75

För solstrålningsbalansen antas fasadelementen ha en absorptionsfaktor på 0,4, vilket motsvarar vit putsad fasad, och skuggningsfaktor 0,75, vilket innebär att huset enbart till viss del är skuggad av andra hus. För taket antas absorptionsfaktorn vara 0,9, vilket motsvarar takpapp, och skuggningsfaktorn 1. Fasadelement och tak antas ha en emissionsfaktor på 0,9, vilket är vanligt för de flesta byggmaterial. Taket approximeras luta 20 grader mot norr över hela taket.

U-lista

Passivhusprojektering

U - LISTA

1			
2			
3			
4	Sammanställning av beräknade konstruktioner från kalkylbladet U-värden samt andra databaser		
5	TYP		
6	Byggnadsdel nr	Beskrivning av byggnadsdel	U-värde
7			m
8	1	Yttervägg trä	0,10
9	2	Yttervägg betong	0,11
10	3	Tak	0,05
11	4	Grund	0,12
12	5	Mellanvägg lägenhetsavskiljande	0,15
13	6	Mellanvägg rumsskiljande	1,05

U-värden

Antar värmeövergångsmotstånd enligt standard i PHPP. För yttervägg med ventilerat luftskikt ytterst antas samma övergångsmotstånd som invändigt och de yttersta skikten bortses ifrån. Värmeledningsförmåga för trä och betong enligt Isolerguiden 06. Enbart skikt som kan påverka U-värdet presenteras. λ -värden för sammansatta skikt, som exempelvis skikt med isolering och träreglar, räknas för hand med λ -värdesmetoden och värmeövergångsmotstånd för luftspalter räknas enligt SS-EN ISO 6946:2007. För beräkningar, se bilaga 4.

Massivträväggelement

Mått [mm]	Skikt/material	λ -värde [W/(m·K)]
15	Protect F gips	0,25
45	45 Träregel s600	0,14
45	Isolering Paroc 1303	0,037
83	KL-trä	0,14
170	45 Träregel s1200	0,14
170	Isolering Paroc 1303	0,037
170	45 Träregel s600 hor.	0,14
170	Isolering Paroc 1303	0,037
17	Utvändig board 1352	0,037

1	Passivhusprojektering	
2	BYGGNADSDELARS U-VÄRDEN	
3		Kilformade bygnadsdelar (isolering med fall på platta tak) och
4	Byggnad: Portvakten Söder, A1	luftspalt -> se sekundär beräkning till höger
5		
6		
7	1 Yttervägg trä	
8	Byggnadsdel nr	Beskrivning av byggnadsdel
9		Värmeövergångsmotstånd [m ² K/W] Inre R _{si} : 0,13
10		yttre R _{se} : 0,13
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		

Sektion 1	λ [W/(mK)]	Sektion 2 (frivilligt)	λ [W/(mK)]	Sektion 3 (frivilligt)	λ [W/(mK)]	Summa bredd
1. Protect F gips	0,250					15
2. Regel & Paroc 1303	0,049					45
3. KL-trä	0,140					83
4. Regel & Paroc 1303	0,043					170
5. Regel & Paroc 1303	0,049					170
6. Paroc 1352	0,037					17
7.						
8.						

Procentandel för sektion 2	Procentandel för sektion 3	Summa
		50,0 cm

U-värde: **0,104** [W/(m²K)]

26								
27								
28								
29	2	Yttervägg betong						
30	Byggnadsdel nr	Beskrivning av byggnadsdel						
31		värmeövergångsmotstånd [m ² K/W]	inre R _{si} :	0,13				
32			yttre R _{se} :	0,13				
33								
34								
35								
36								
37								
38								
39								
40								
41								
42								
43								
44								
45								
46								

Sektion 1	λ (w/(m·K))	Sektion 2 (trivilligt)	λ (w/(m·K))	Sektion 3 (trivilligt)	λ (w/(m·K))	Summa bredd Tjocklek [mm]
1. Betong	1,700					180
2. Regel & Paroc 1303	0,043					195
3. Regel & Paroc 1303	0,049					195
4. Paroc 1352	0,037					17
5.						
6.						
7.						
8.						
		Procentandel för sektion 2		Procentandel för sektion 3		Summa 58,7 cm

U-värde:	0,108	W/(m ² K)
----------	--------------	----------------------

Takkonstruktion

Portvaktens takkonstruktion antas vara den mot den uppvärmda vinden, ett massivträbjälklag med 500 mm isolering ovanpå. Konstruktionen förenklas i beräkningarna enligt nedan.

Mått [mm]	Skikt/material	λ-värde [W/(m·K)]
2x13	Gips	0,25
28	70 Läkt s300	0,14
70	Isolering	0,037
220	45 Regel 2 st./1200	0,14
170	Isolering	0,037
56x180	Fläns L40 s400	0,14
45x220	Liv LK20 s400	0,14
73	KL-trä	0,14
500	Isolering	0,037

Förenkling takkonstruktion Portvakten (för beräkningar se bilaga 4):

Mått [mm]	Skikt/material	λ -värde [W/(m·K)]
2x13	Gips	0,25
28x70	Läkt s300 + luft	0,152
70x45	Regel + isolering	0,0447
256	Trä + luft	1,21
170x45	Liv + isolering	0,0486
73	KL-trä	0,14
500	Isolering	0,037

47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67

3 Tak		Värmeövergångsmotstånd [m ² K/W]				
Byggnadsdel nr	Beskrivning av byggnadsdel	inre R _{si} :	0,10			
		yttre R _{se} :	0,04			
Sektion 1	λ [W/(m·K)]	Sektion 2 (frivilligt)	λ [W/(m·K)]	Sektion 3 (frivilligt)	λ [W/(m·K)]	Summa bredd
1. Gips	0,250					Tjocklek d ₁ [mm]
2. Läkt och luft	0,152					26
3. Regel & isolering	0,045					28
4. Trä och luft	1,210					70
5. Liv och isolering	0,049					256
6. KL-trä	0,140					170
7. Isolering	0,037					73
8.						500
		Procentandel för sektion 2		Procentandel för sektion 3		Summa
						112,3 cm
						U-värde: 0,051 W/(m ² K)

69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89

4 Grund		Värmeövergångsmotstånd [m ² K/W]				
Byggnadsdel nr	Beskrivning av byggnadsdel	inre R _{si} :	0,17			
		yttre R _{se} :	0,00			
Sektion 1	λ [W/(m·K)]	Sektion 2 (frivilligt)	λ [W/(m·K)]	Sektion 3 (frivilligt)	λ [W/(m·K)]	Summa bredd
1. Betong	1,700					Tjocklek [mm]
2. Sandlitt	0,037					100
3.						300
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
		Procentandel för sektion 2		Procentandel för sektion 3		Summa
						40,0 cm
						U-värde: 0,120 W/(m ² K)

Fönster

Passivhusprojektering

REDUKTIONSFAKTOR SOLINSTRÅLNING, U-VÄRDE FÖNSTER

Byggnad:	Portvakten Söder, A1			Ärligt vinstebör:	18	U-värde:		Genomsnitt:	83,1				
Klimat:	Kalmar												
Fönsterorientering	Globbalstrålning	Skuggning	Snösk	Ej lodrät inställning	Glasfaktor	g-värde	Reduktionsfaktor för solinstrålning	Fönsterarea	Fönster U-värde	Glasyta	Geometrisk gleshetsfaktor	Transmission 5-fönster	Värmetillskott solinstrålning
max:	W/m ²	KW	KW	KW				W/m ²	W/m ²	m ²		W/m ²	W/m ²
Norr	93	0,82	0,35	0,85	0,707	0,31	0,47	65,96	0,98	46,6	33	5769	868
Öster	171	0,45	0,35	0,85	0,682	0,31	0,25	95,26	1,03	65,0	171	8704	1261
Söder	347	0,88	0,35	0,85	0,707	0,31	0,50	63,92	0,98	45,2	347	5604	3442
Väster	194	0,90	0,35	0,85	0,686	0,31	0,49	63,28	1,05	55,4	194	7800	2433
Horisontell	238	0,75	0,35	0,85	0,900	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	238	0	0
Summa eller genomsnitt för alla fönster						0,31	0,41	308,25	1,02	212,1		27877	8024

Åtta 1	Beskrivning	Avvikelse från norr	Lutning	Orientering	Fönstermängds mätt		Inbyggd	Glas		Karm	g-värde	U-värden			Karmmått				Montering				Ψ-värden		Resultat			
					Bredd	Höjd		Val av glas från listad Åtta	Val av karm från listad Fönstertyp			Bredd väster	Bredd böger	Bredd aere	Bredd opppe	riå-åter 1/0	böger 1/0	aere 1/0	opppe 1/0	Ψ _{list...}	Ψ _{inst...}	Fönster-are	Glasyta	U-värde fönster	Glas-sadet per fönster			
21	Söder F1b	180	90	Söder	1,492	1,300	3	1	1	1	0,31	0,50	1,33	0,10	0,10	0,10	0,11	1	1	1	1	1	0,040	0,045	40,7	29,44	0,96	0,72
21	Norr F1b	0	90	Norr	1,492	1,300	1	1	1	1	0,31	0,50	1,33	0,10	0,10	0,10	0,11	1	1	1	1	1	0,040	0,045	40,7	29,44	0,96	0,72
56	Väster F2b	270	90	Väster	1,000	1,300	4	1	1	1	0,31	0,50	1,33	0,10	0,10	0,10	0,11	1	1	1	1	1	0,040	0,045	72,8	48,47	1,05	0,67
42	Öster F2b	90	90	Öster	1,000	1,300	2	1	1	1	0,31	0,50	1,33	0,10	0,10	0,10	0,11	1	1	1	1	1	0,040	0,045	54,6	36,35	1,05	0,67
27	Söder F3a	180	90	Söder	0,600	0,600	3	1	1	1	0,31	0,50	1,33	0,10	0,10	0,10	0,11	1	1	1	1	1	0,040	0,045	2,5	1,08	1,45	0,43
7	Norr F3b	0	90	Norr	0,600	0,600	1	1	1	1	0,31	0,50	1,33	0,10	0,10	0,10	0,11	1	1	1	1	1	0,040	0,045	2,5	1,08	1,45	0,43
7	Norr FD1a	180	90	Söder	1,000	2,054	3	1	1	1	0,31	0,50	1,33	0,10	0,10	0,10	0,11	1	1	1	1	1	0,040	0,045	14,4	10,25	0,97	0,71
7	Norr FD1a	0	90	Norr	1,000	2,054	1	1	1	1	0,31	0,50	1,33	0,10	0,10	0,10	0,11	1	1	1	1	1	0,040	0,045	14,4	10,25	0,97	0,71
14	Öster FD1a	90	90	Öster	1,000	2,054	2	1	1	1	0,31	0,50	1,33	0,10	0,10	0,10	0,11	1	1	1	1	1	0,040	0,045	28,8	20,50	0,97	0,71
2	Söder F1b bc	180	90	Söder	1,492	1,300	10	1	1	1	0,31	0,50	1,33	0,10	0,10	0,10	0,11	1	1	1	1	1	0,040	0,045	3,9	2,90	0,96	0,72
3	Norr F1b bc	0	90	Norr	1,492	1,300	8	1	1	1	0,31	0,50	1,33	0,10	0,10	0,10	0,11	1	1	1	1	1	0,040	0,045	5,8	4,21	0,96	0,72
8	Väster F2b bc	270	90	Väster	1,000	1,300	11	1	1	1	0,31	0,50	1,33	0,10	0,10	0,10	0,11	1	1	1	1	1	0,040	0,045	10,4	6,92	1,05	0,67
6	Öster F2b bc	90	90	Öster	1,000	1,300	3	1	1	1	0,31	0,50	1,33	0,10	0,10	0,10	0,11	1	1	1	1	1	0,040	0,045	7,8	5,19	1,05	0,67
1	Söder F2a bc	180	90	Söder	0,600	0,600	10	1	1	1	0,31	0,50	1,33	0,10	0,10	0,10	0,11	1	1	1	1	1	0,040	0,045	0,4	0,15	1,45	0,43
1	Norr F3b bc	0	90	Norr	0,600	0,600	8	1	1	1	0,31	0,50	1,33	0,10	0,10	0,10	0,11	1	1	1	1	1	0,040	0,045	0,4	0,15	1,45	0,43
1	Söder FD1a bc	0	90	Söder	1,000	2,054	10	1	1	1	0,31	0,50	1,33	0,10	0,10	0,10	0,11	1	1	1	1	1	0,040	0,045	2,1	1,46	0,97	0,71
1	Norr FD1a bc	0	90	Norr	1,000	2,054	8	1	1	1	0,31	0,50	1,33	0,10	0,10	0,10	0,11	1	1	1	1	1	0,040	0,045	2,1	1,46	0,97	0,71
2	Öster FD1a bc	90	90	Öster	1,000	2,054	9	1	1	1	0,31	0,50	1,33	0,10	0,10	0,10	0,11	1	1	1	1	1	0,040	0,045	4,1	2,93	0,97	0,71

Antal fönster och riktningar för dessa är tagna från ritning från Tyréns AB. Mått för fönster är tagna från Martinsons tillverkningsritningar, förutom fönsterdörren som antas vara 2,1 meter bred och 2,054 meter hög enligt ritning från Tyréns AB. Alla fönster är monterade utan fönster precis intill. Avvikande glasyta fås framförallt i västlig riktning jämfört med Enormberäkningen. Detta indikerar att Enormberäkningen genomfördes i ett planeringsstadium.

Fönstertyp

1	Passivhusprojektering			
2	GLASTYP ENLIGT CERTIFIKAT			
3				
4	för inmatning av karmtyp, gå till rad: 71			
5		TYP		
6	Bygg- nadsdel nr	Glas	g-värde	U _g -värde
7				W/(m ² K)
8	1	Safir 6132 m/ES/Kr/TGI 7035	0,310	0,500

71	KARMTYP ENLIGT CERTIFIKAT								
72	för inmatning av glastyp, gå till rad: 2								
73		TYP	U _f -värde	Karmmått			Köldbrygg.	Köldbrygg.	
74	Bygg- nadsdel nr	Karm	Karm	Bredd vänster	Bredd höger	Bredd uppe	Bredd nere	Ψ _{distans}	Ψ _{Montering}
75			W/(m ² K)	m	m	m	m	W/(mK)	W/(mK)
76									
77	1	NorDan Villa Toppsving	1,33	0,103	0,103	0,104	0,106	0,040	0,045

Skuggning

Passivhusprojektering
BERÄKNING AV SKUGGNINGSFAKTORER

Klimat: **Kalmar**

Byggnad: **Portvakten Söder, A1**

Bygghöjd: **56,73**

Orientering	Glasarea m ²	Reduktions- faktor %
Norr	46,58	92%
Öster	64,97	45%
Söder	45,18	88%
Väster	55,39	90%
Horisontell	0,00	100%

Aantal	Beskrivning	Arenhöjd fån norr	Lutning	Orientering	Glasets bredd		Glasarea	Höjd av skuggade objekt		Horisontellt avstånd		Föster-svegens djup		Avstånd glaskant - smyg		Utsprångets djup	Avstånd från övre glaskant till utsprång	Ytterligare reduktionsfaktor för skuggning	Reduktionsfaktor för horisontellt skuggning	Reduktionsfaktor för skuggning från smyg	Reduktionsfaktor för skuggning utsprång	Totalt reduktionsfaktor
					m	m		m	m	m	m	m	m	%	%							
15			grader		b _y	b _x	A _r	H _{obj1}	H _{obj2}	H _{gl1}	H _{gl2}	H _{sm1}	H _{sm2}	H _{sm3}	H _{sm4}							
16	21 Söder F1b	180	90	Söder	1,29	1,89	29,4	12,00	75,00	0,08	0,10	0,08	0,10	0,08	0,10				93%	98%	97%	90%
17	21 Norr F1b	0	90	Norr	1,29	1,89	29,4	3,00	50,00	0,08	0,10	0,08	0,10	0,08	0,10				95%	97%	97%	89%
18	56 Väster F2b	270	90	Väster	0,79	1,89	48,5			0,08	0,10	0,08	0,10	0,08	0,10				100%	93%	97%	90%
19	42 Öster F2b	90	90	Öster	0,79	1,89	36,3	12,00	20,00	0,08	0,10	0,08	0,10	0,08	0,10				57%	93%	97%	51%
20	7 Söder F3a	180	90	Söder	0,39	0,39	1,1	12,00	75,00	0,08	0,10	0,08	0,10	0,08	0,10				93%	95%	98%	87%
21	7 Norr F3b	0	90	Norr	0,39	0,39	1,1	3,00	50,00	0,08	0,10	0,08	0,10	0,08	0,10				95%	93%	93%	82%
22	7 Söder FD1a	180	90	Söder	0,79	1,84	10,2	12,00	75,00	0,08	0,10	0,08	0,10	2,10	0,91				93%	97%	92%	83%
23	7 Norr FD1a	0	90	Norr	0,79	1,84	10,2	3,00	50,00	0,08	0,10	0,08	0,10	2,10	0,91				95%	98%	72%	65%
24	14 Öster FD1a	90	90	Öster	0,79	1,84	20,5	12,00	20,00	0,08	0,10	0,08	0,10	2,10	0,91				57%	93%	74%	39%
25	2 Söder F1b bott	180	90	Söder	1,29	1,89	2,8	12,00	75,00	0,08	0,10	0,08	0,10	0,08	0,10				93%	98%	98%	90%
26	3 Norr F1b bott	0	90	Norr	1,29	1,89	4,2	15,00	50,00	0,08	0,10	0,08	0,10	0,08	0,10				78%	97%	97%	73%
27	8 Väster F2b bott	270	90	Väster	0,79	1,89	6,9			0,08	0,10	0,08	0,10	0,08	0,10				100%	93%	97%	90%
28	6 Öster F2b bott	90	90	Öster	0,79	1,89	5,2	24,00	24,00	0,08	0,10	0,08	0,10	0,08	0,10				95%	93%	97%	83%
29	1 Söder F3a bott	180	90	Söder	0,39	0,39	0,2	24,00	75,00	0,08	0,10	0,08	0,10	0,08	0,10				75%	95%	98%	70%
30	1 Norr F3b bott	0	90	Norr	0,39	0,39	0,2	15,00	50,00	0,08	0,10	0,08	0,10	0,08	0,10				78%	93%	93%	67%
31	1 Söder FD1a bott	180	90	Söder	0,79	1,84	1,5	24,00	75,00	0,08	0,10	0,08	0,10	0,08	0,10				75%	97%	98%	72%
32	1 Norr FD1a bott	0	90	Norr	0,79	1,84	1,5	15,00	50,00	0,08	0,10	0,08	0,10	0,08	0,10				78%	95%	98%	73%
33	2 Öster FD1a bott	90	90	Öster	0,79	1,84	2,9	24,00	20,00	0,08	0,10	0,08	0,10	0,08	0,10				98%	93%	98%	33%

I väster finns ingen skuggning. I norr är det skuggning från ett femvåningshus som antas vara 15 m högt och stå 50 m bort. I öster är det skuggning från ett hus som approximeras till 24 m högt och antas stå 20 m bort. I söder antas skuggning från ett hus som approximeras till 24 m högt och antas stå 75 m bort. Skuggningen från dessa hus läggs in exakt för plan 1, men för resterande plan antas plan 5 vara representativt eftersom det är mitten av resterande våningar.

Vertikalt avstånd från övre glaskant till utsprång balkong ovanför fås från ritningar till 0,91 m. Balkongerna sticker ut 2,1 m. Eftersom skuggningen endast ska räknas för 7 av 8 våningar sätts denna skuggning in enbart för plan 2-8. Egentligen är plan 1-7 skuggade av balkonger så detta blir inte riktigt rätt men det underlättar inmatning. Antar ingen ytterligare skuggning.

Ventilation

Passivhusprojektering
VENTILATIONS DATA

Byggnad: Portvakten Söder, A1

Referensarea ÅRG m: 2221 (Bild: Monerat)
 Rumhöjd h m: 2,5 (Bild: Monerat/monerat)
 Ventilationsvolym (ÅRG³) - V_L m: 5554 (Bild: Monerat/monerat)

Ventilationsrytmtomtr layout - normal drift

Area per portran	m ² /P	35			
Antal portraner	P	63,5			
Tilluftbehov	m ³ /(P*h)	30			
Tilluftbehov	m ³ /h	1904			
Rum med frånluft					
Antal		Kök	Badrum	Dusch	Toalett
Frånluftbehov per rum	m ³ /h	32	32	20	20
Frånluftbehov totalt	m ³ /h	60	40	20	20
	m ³ /h	3200			
projektorat luftflöde (max)	m ³ /h	5357			

Beräkning av den genomsnittliga luftomsättningen

Driftlägen	Deql. drift-tider	Faktor anq. maximum	Volymflöde	Luftomsättning
Maximum	h/d		m ³ /h	1/h
Standard	0,5	1,00	5357	0,96
Basventilation	23,5	0,57	3053	0,55
Minimum			0	0,00
			0	0,00
<input checked="" type="checkbox"/> Borttider		Medelvärde: 0,58	Genomsn. luftomsättning (m ³ /h)	Genomsn. luftomsättning (1/h)
			3101	0,56

Varning: mängden frånluft är betydligt större än frånluftbehovet; risk för torr luft!

Infiltrationsluftomsättning enligt EN 13790

Vindskyddskoefficienter α och f enligt EN 13790		
Koefficient α för avkärningsskikt	flera expanderingsridar	en expanderingsrida
Ingen avkärning	0,10	0,03
Mätlig avkärning	0,07	0,02
Stark avkärning	0,04	0,01
Koefficient f	15	20

Windsyddskoefficient α för inre: 0,07 för yttre: 0,18
 Windsyddskoefficient f för inre: 15 för yttre: 15
 Luftomsättning vid passiv ventilation: 0,28 0,28 6044 m³
 Luftomsättningen: 0,68 m³/(h.m²)

Typ av ventilationsanläggning

Balanserad passivhusventilation ÅRG/ÅRG
 Ren frånluft
 Frånluftöverkatt
 Infiltrationsluftomsättning n_{L,R,u}: 0,022 0,054

Ventilationsvolymen som fås i PHPP, 5554 m³, skiljer sig från den använd i Enormberäkningarna, 6034 m³

Antar balanserad passivhusventilation.

54 **Effektiv återvinningegrad för ventilationsanläggning med värmeåtervinning**

55 **Aggregat innanför klimatskalet**

56 **Aggregat utanför klimatskalet**

57 Återvinningegrad för aggregat VÄTERV **0,73** Luftväxlings

58 ledningsgräde utluftskanal W/(mK) **1,509** Beräkning: zokundär beräkning

59 utluftskanalen längd m **4**

60 ledningsgräde avluftskanal W/(mK) **1,509** Beräkning: zokundär beräkning

61 avluftskanalen längd m **4**

62 Uppställningsrummets temperatur °C **20** Rumtemperatur (°C)

63 (skriv inbart i aggregatet innanför klimatskalet) Medelutemp. uppvärm. period **1,9** Genomsn. marktemp. (°C) **5,4**

64 Effektiv återvinningegrad VÄTERV,eff **72,0%**

65

66 **Effektiv återvinningegrad jordvärmesväxlare**

67 Verkningsgrad jordvärmesväxlare η evd **0%**

68 Återvinningegrad jordvärmesväxlare η vx **0%**

VÄRMEÅTERVINNINGSSAGGREGAT ENLIGT CERTIFIKAT

Nr	Återvinningssaggregat	Återvinningegrad (effektiv)	Eleffektivitet
		%	W/m ²
1	- Användningsdefinierat -		
2	Luftväxlingsväxlare	73%	0,35
3			
4			
5			
6	Kompakt aggregat ralt på bladet Kompakt	80%	0,43
7	Reco-Boxx COMFORT - AEREX	85%	0,35
8	Comfoair 500 - StorkAir	88%	0,42
9	aeronom WS 250 - MAICO	85%	0,35
10	thermos 200 DC - Paul	92%	0,36
11	atmos 175 DC - Paul	88%	0,30
12	multi 100 DC - Paul	79%	0,36
13	multi 150 DC - Paul	79%	0,36
14	climos 100 DC - Paul	82%	0,41
15	climos 150 DC - Paul	82%	0,41
16	campus 500 DC - Paul	83%	0,28
17	INNOAIR 255 DC - Sachsenland Bauelement	88%	0,30
18	Recovery Deluxe 250P - Schrag	83%	0,29
19	TSL 150 G / DC - Schmeißer	84%	0,31
20	Comfoair flat 150 - Zehnder	82%	0,41
21	WRA 400 PHZ - Med Air	77%	0,39

**Sekundär beräkning:
Ψ-värde till- resp. utluftskanal**

Nominell vidd **500** mm

Isolerings tjocklek **30** mm

Spegelyta? Kryssa för!

Ja

Nej

Värmekonduktivitet **0,04** W/(mK)

Nominellt volymflöde 3101 m³/h

ΔΔ 18 K

Inv.rördiameter 0,5000 m

Inv.diameter 0,5000 m

Utv.diameter 0,5600 m

α-inv. 14,45 W/(m²K)

α-utv. 3,39 W/(m²K)

Ψ-värde 1,509 W/(mK)

Värmepotentialskillnad 5,799 K

**Sekundär beräkning:
Ψ-värde från- resp. avluftskanal**

Nominell vidd **500** mm

Isolerings tjocklek **30** mm

Spegelyta? Kryssa för!

Ja

Nej

Värmekonduktivitet **0,04** W/(mK)

Nominellt volymflöde 3101 m³/h

ΔΔ 18 K

Inv.rördiameter 0,50000 m

Utv.rördiameter 0,50000 m

Utv.diameter 0,56000 m

α-invändiq 14,45 W/(m²K)

α-utv. 3,39 W/(m²K)

Ψ-värde 1,509 W/(mK)

Värmepotentialskillnad 5,799 K

Aggregatet står på vinden, innanför klimatskalet. Utrymmet är uppvärmt till 13-15°C.

Nominell vidd för ute- och avluftskanal är 500 mm enligt ritning från Hyresbostäder i Växjö AB. Utluftskanalen och avluftskanalen längd kan antas till 4 m och 30 mm Isover Folielamellmatta med aluminiumfolie på utsidan användes enligt Tommy Wesslund. För isoleringen antas värmekonduktivitet 0,04 W/(m·K). Spegelyta utanpå isoleringen antas.

Eleffektivitet sätts till det SFP som använts i *Framtidens trähus – energieffektiva med god inommiljö*.

Årsvärmebehov

Passivhusprojektering

SPECIFIKT ÅRSVÄRMEBEHOV

Klimat: **Kalmar**
 Byggnad: **Portvakten Söder, A1**
 Ort: **Väsjö**

Innetemperatur: **20,0** °C
 Byggnadstyp/Användning: **Flerfamiljshus 8 vån**
 Referensarea A_{RE} : **2221,4** m²

Byggdelar	Temperaturzon	Area m ²	U-värde W/(m ² K)	Temp.-faktor f_t	G_t kKJ/m ² a	kWh/a	per m ² referens- area
1. Yttervägg mot uteluft	A	1487,4	0,104	1,00	89,1	13783	
2. Yttervägg mot mark	B			0,47			
3. Tak/innertak mot uteluft	A	351,0	0,051	1,00	89,1	1584	
4. Platta på mark	B	351,0	0,120	0,47	89,1	1755	
5.	A			1,00			
6.	A			1,00			
7.	X			0,75			
8. Fönster	A	308,2	1,015	1,00	89,1	27877	
9. Ytterdörr	A	4,3	1,080	1,00	89,1	415	
10. Utvändiga köldbryggor (längd/m)	A	1430,0	-0,019	1,00	89,1	-2441	
11. Köldbryggor sockel (längd/m)	P	76,0	-0,098	0,47	89,1	-310	
12. Köldbryggor grund (längd/m)	B			0,47			
Summa för alla konstruktioner						2592,0	

Transmissionsförluster Q_T Summa **42662** kWh/a **19,2** kWh/(m²a)

Ventilationsanläggning:
 Effektiv återvinningegrad η_{eff} : **72%**
 av värme återvinningen $\eta_{p,c}$: **0%**
 Jordvärmeväxlarens återvinningegrad.

effektiv luftvolym V_L m³: **5554**
 A_{RE} m²: **2221,4**
 Fri rumshöjd m: **2,50**
 $V_L = A_{RE} \cdot \text{Fri rumshöjd} = 2221,4 \cdot 2,50 = 5553,5$

Energetisk effektiv luftsättning n_L 1/h: **0,558**
 $n_L = \frac{V_L}{V_{int}} = \frac{5554}{10000} = 0,5554$

n_L 1/h: **0,558**
 Φ_{ATERV} : **0,72**
 $n_{L,real}$ 1/h: **0,022**
 $n_{L,real} = n_L \cdot (1 - \Phi_{ATERV}) = 0,558 \cdot (1 - 0,72) = 0,022$

Ventilationsförluster Q_L kWh/a: **29034** kWh/a **13,1** kWh/(m²a)
 $Q_L = n_{L,real} \cdot V_{int} \cdot c_p \cdot \Delta T = 0,022 \cdot 10000 \cdot 0,33 \cdot 89,1 = 29034$

Summa värmeförluster Q_v kWh/a: **71696** kWh/a **32,3** kWh/(m²a)
 Reduktionsfaktor natt-/helg-sänkning: **1,0**
 $Q_v = (Q_T + Q_L) \cdot \text{Reduktionsfaktor} = (42662 + 29034) \cdot 1,0 = 71696$

Fri rumshöjd är antagen till 2,5 m enligt PHPP:s standard. I verkligheten är det 2,6 m på plan 1 och 2,508 m på plan 2-8.

Riskbedömning av värmesystem för kritiskt rum

Trerummare		(1-ja/0-nej)
Byggnad uppfyller passivhuskriterier		1
Denna kontroll kan enbart användas till passivhus. Färsta kap-kraven uppfylls.		Fönster! 18 kWh/m ²
Rummets boarea	80 m ²	Tilluft per m ² boarea
Tilluftsmängd som är projekterad för rummet	101 m ³ /h	1,25 m ³ /h/m ²
Tilluftsmängd för övriga rum	3001 m ³ /h	

Byggdelen	Temperaturzon	m ²	W/(m ² K)	Utvärtsluft (undantag)	K	Rumstransportförlust W
Yttervägg mot uteluft	A	53,8	0,10	1,00	33,2	186
Yttervägg mot mark	B	0,0	0,00	1,00	8,6	0
Tak/bjälklag mot uteluft	D	0,0	0,05	1,00	33,2	0
Bjälklag mot mark	B	80,4	0,12	1,00	8,6	83
	A			1,00	33,2	
	A			1,00	33,2	
	X			1,00	33,2	
Fönster	A	10,2	1,02	1,00	33,2	344
Ytterdörr	A	0,0	1,08	1,00	33,2	0
Utvändiga köldbryggor (längd/m)	A	3,0	-0,02	1,00	33,2	-2
Köldbryggor sockel (längd/m)	A	19,4	-0,10	1,00	33,2	-63
Köldbryggor grund (längd/m)	A			1,00	33,2	
Lägenhetsskiljande vägg	I	19,2	0,15	1,00	3,0	9
						557

	Inmatning: 1-ja/0-nej	PT,R,rum W	PTilluft W	ε	Risk-Summand
Transmissionsförluster		557	338	0,56	-0,44
Koncentrerade otätheter	0				0,00
Insläpning mot andra rum, bättre R - 1,5 m ² K/W	1	(2 - ingen termisk kontakt förutom dörren)			0,50
Rum liqqor på bottenvåningen	1				0,50
Öppet trapphus	0				0,00
SUMMA för risksummandena					0,56
Innredningar för det mesta stängda	1				Risikfaktor 2,00
Total risk för rum					18,6%

Bedömning och råd **Normalt inget problem**

Riskbedömning av värmesystem för kritiskt rum görs på trerummaren på plan 1, med en boarea på 80,4 m². Tilluftsmängden som är projekterad för rummet är 28 l/s som i *Framtidens trähus – energieffektiva med god inommiljö*. Areor beräknas utifrån ritning från Tyréns AB med takhöjd 2,6 m och tidigare angivna fönsterareor. Inga koncentrerade otätheter antas och isolering mot andra rum antas bättre än R = 1,5 (m²·K)/W. Innerdörrar antas för det mesta stängda eftersom det är värsta fallet. Innermått används till längd för köldbrygga mot sockel och mot lägenhetsskiljande vägg och fås från ritning från Tyréns AB. Längden för utvändiga köldbryggor sätts till 3 m eftersom det enbart finns ett ytterväggshörn i lägenheten och våningshöjden är 3 m. Köldbryggsvärden används enligt tidigare.

Sommar

Passivhusprojektering

S O M M A R

Klimat: **Kalmar**
 Byggnad: **Portvaktén Söder, A1**
 Ort: **Vaxjö**

Innetemperatur: **20** °C
 Byggnadstyp/Användning: **Flerfamiljshus 8 vån**
 Referensarea A_{RE}: **2221,4** m²

Spec. kapacitet: **81** Wh/K per m² WFL
 Övertemperaturgräns: **25** °C

Byggdelen	Temperaturzon	Area m ²	U-värde W/(m ² K)	Reduktionsfaktor f _{r,s}	H _s Värmeledningsvärde
1. Yttervägg mot uteluft	R	1487,4	0,104	1,00	154,7
2. Yttervägg mot mark	B			1,00	
3. Tak/innertak mot uteluft	R	351,0	0,051	1,00	17,8
4. Platta på mark	B	351,0	0,120	1,00	42,1
5.	R			1,00	
6.	R			1,00	
7.	X			0,75	
8. Fönster	R	308,2	1,015	1,00	313,0
9. Ytterdörr	R	4,3	1,080	1,00	4,7
10. Utvändiga köldbryggor (längd/m)	R	1430,0	-0,019	1,00	-27,4
11. Köldbryggor sockel (längd/m)	P	76,0	-0,098	1,00	-7,4
12. Köldbryggor grund (längd/m)	B			1,00	

Värmeledningsvärde: **462,8** W/K
 Värmeledningsvärde: **34,7** W/K

Verkningsgrad värmeåtervinning: **VÄTER 72%**
 Jordvärmeväxlarens återvinningsgrad: **VV* evb 0%**

Effektiv luftvolym V_L: **2221,4** m³
 Fri Rumshöjd: **2,50** m
 = **5554** m³

Sommarventilation kontinuerlig ventilation för utvärderade tillräcklig luftkvalitet

Luftsättning genom naturlig ventilation (fönster & spalter) eller mekanisk frånluft, sommar: **1** t/h

Luftsättning vent. sommar: **0,56** t/h med VÅV (kryssa för i förekommande fall)

Specifika värmelagringskapaciteten antas till 81 Wh/(m²·K) i enlighet med Enormberäkningen.

Antar samma ventilation sommartid som vintertid fast utan VÅV eftersom Portvaktens system innehåller en bypass-funktion enligt *Framtidens trähus – energieffektiva med god innemiljö*.

37											
38											
39	Energetisk effektiv luftomsättning n_e		$n_{L,vent}$	+	$n_{L,vent,extra}$	Φ_{areav}	+	$n_{L,vent}$	=		
40			0,000	+	0,560	(1 - 0,000)	+	0,022	=	0,582	
41											
42			V_L	*	$n_{L,vent}$	$c_{L,eff}$	=				
43	Vent. värmefl.koeff. mot ute $H_{V,e}$		5554	*	0,582	0,33	=	1065,8	W/K		
44	Vent. värmefl.koeff. mot mark $H_{V,g}$		5554	*	0,000	0,33	=	0,0	W/K		
45											
46	Extra sommarventilation för nedkylning				Temperaturamplitud sommar			7,3	K		
47											
48	Kryssa för:	<input type="checkbox"/>	nattlig fönsterverntilation, manuell					Tillhörande luftomsättning		0,00	
49		<input type="checkbox"/>	mekanisk, automatiskt styrd ventilation					(för fönsterverntilation: vid 1K temperaturredifferens inne - ute)			
50								Minsta tillåtna innetemperatur		22,0	
51											
52											
53	Orientering av arean	Vinkel-faktor	Skuggn-faktor	Ned-smutsning	g-värde (vinkel, in-träth.)	Area	Glasandel	Apertur			
54											
55		Summa	Summa								
56	1. Norr	0,9	0,86	0,95	0,31	65,9	71%	10,6			
57	2. Öster	0,9	0,56	0,95	0,31	95,3	68%	9,6			
58	3. Söder	0,9	0,82	0,95	0,31	63,9	71%	9,8			
59	4. Väster	0,9	0,97	0,95	0,31	83,2	67%	14,2			
60	5. Horisontell	0,9	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0			
61	6. Summa ogenomskinliga areor					0,0	0%	3,1			
62	Solapertur					Summa		47,4		0,02	
63											
64											
65						Spec. effekt q_i	A_{sz}				
66						2,10	2221		4665	2,1	
67	Interna värmekällor Q_i										
68											
69											
70											
71											
72											
73											
74											
75											
76											
77	Daglig temperaturhöjning genom solvärmelast		188,6	*	1000	/	(81	*	2221) = 1,0	K

Övertemperaturfrekvens $h_{s23...}$ **3,5%** vid övertemperaturgränsen $\theta_{max1} = 25\text{ °C}$

Om frekvensen för "temperatur över 25 °C" överstiger 10% krävs ytterligare åtgärder för skydd mot sommarvärme.

Antar ingen extra sommarventilation för nedkylning. Antar inga fönster öppna. I *Framtidens trähus – energieffektiva med god inommiljö* har antagits dels inga fönster öppna, dels fönster öppna 25 % mellan 17-21 och 50 % mellan 17-21.

Minsta tillåtna innetemperatur antas till 22°C vilket motsvarar lägsta komforttemperatur sommartid.

Antar att det inte är någon tillfällig skuggning under sommaren i enlighet med antaganden gjorda i *Framtidens trähus – energieffektiva med god inommiljö*.

Bilaga 4 - Beräkningar

Referensarea

$$61,8 \cdot 2 + 64,4 + 80,4 + 60,5 \cdot 14 + 79 \cdot 14 = 2221,4 \quad [\text{m}^2]$$

U-värden

Nedan räknas representativt λ -värde fram för sammansatta skikt.

Indata från Isolerguiden:

Material	λ -värde [W/(m·K)]
Trä	0,14
Betong	1,7
Gips	0,25
Mineralull	0,037

Värmemotstånd, R, enligt SS-EN ISO 6946:2007 för luftspalter är:

0,18 (m²·K)/W för en 25 mm horisontell oventilerad luftspalt

0,18 (m²·K)/W för en 300 mm horisontell oventilerad luftspalt

0,16 (m²·K)/W för en 25 mm vertikal luftspalt, uppåt

Yttervägg trä/betong

45 träregel s 600 + isolering Paroc 1303 - enligt Isolerguiden 12 % regler

$$\lambda = 0,12 \cdot 0,14 + 0,88 \cdot 0,037 = 0,0494 \quad [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$$

45 träregel s 1200 + isolering Paroc 1303 - enligt tidigare 6 % regler

$$\lambda = 0,06 \cdot 0,14 + 0,88 \cdot 0,037 = 0,0432 \quad [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$$

Takbjälklag

28x70 läkt s300 + luft

$$\lambda_{luft} = \frac{0,028}{0,18} = 0,156 \quad [\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$$

$$\lambda = \frac{70 \cdot 0,14 + 230 \cdot 0,156}{300} = 0,152 \quad [\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$$

70x45 regel 2 st/1200 + isolering

$$\lambda = \frac{45 \cdot 0,14 + 555 \cdot 0,037}{600} = 0,0447 \quad [\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$$

220-70=150x45 Regel 2 st./1200 och 56x180 Fläns s400 och 220-170=50x45 Liv s400 motsvarar denna träandel:

$$\frac{150 \cdot 45 \cdot 2 + 56 \cdot 180 \cdot 3 + 50 \cdot 45 \cdot 3}{(150 + 56 + 50) \cdot 1200} = 0,164$$

Med resten luft fås:

$$\lambda_{luft} = \frac{0,256}{0,18} = 1,42 \quad [\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$$

$$\lambda = 0,164 \cdot 0,14 + 0,836 \cdot 1,42 = 1,210 \quad [\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$$

45 Liv s400 + isolering

$$\lambda = \frac{45 \cdot 0,14 + 355 \cdot 0,037}{400} = 0,0486 \quad [\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$$

Lägenhetsskiljande vägg

70 Regel s600 + isolering

$$\lambda = \frac{70 \cdot 0,14 + 530 \cdot 0,037}{600} = 0,0490 \quad [\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$$

20 Luftspalt

$$\lambda_{luft} = \frac{0,020}{0,16} = 0,125 \quad [\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$$

λ -värdesberäkning

$$U_{\text{tot}} = 1 / (R_{\text{si}} + R_x + R_{\text{se}}) \rightarrow R_{\text{si}} + R_x + R_{\text{se}} = 1 / U_{\text{tot}} \rightarrow$$

$$\rightarrow R_x = d_x / \lambda_x = 1 / U_{\text{tot}} - R_{\text{se}} - R_{\text{si}} \rightarrow \lambda_x = d_x / (1 / U_{\text{tot}} - R_{\text{se}} - R_{\text{si}}) \quad [\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$$

För fönsterglasdelen i nytt fönster blir det:

$$\lambda_x = d_x / (1 / U_{\text{tot}} - R_{\text{se}} - R_{\text{si}}) = 0,046 / (1 / 0,6 - 0,04 - 0,13) \approx 0,0307 \quad [\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$$

För fönsterkarmdelen, övre och sidor, i nytt fönster blir det:

$$\lambda_x = d_x / (1 / U_{\text{tot}} - R_{\text{se}} - R_{\text{si}}) = 0,104 / (1 / 0,9 - 0,04 - 0,13) \approx 0,1105 \quad [\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$$

För fönsterkarmdelen, undre, i nytt fönster blir det:

$$\lambda_x = d_x / (1 / U_{\text{tot}} - R_{\text{se}} - R_{\text{si}}) = 0,104 / (1 / 0,95 - 0,04 - 0,13) \approx 0,1178 \quad [\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$$

För fönsterglasdelen i ursprungligt fönster blir det:

$$\lambda_x = d_x / (1 / U_{\text{tot}} - R_{\text{se}} - R_{\text{si}}) = 0,036 / (1 / 0,5 - 0,04 - 0,13) \approx 0,0197 \quad [\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$$

För fönsterkarmdelen, övre, i ursprungligt fönster blir det:

$$\lambda_x = d_x / (1 / U_{\text{tot}} - R_{\text{se}} - R_{\text{si}}) = 0,086 / (1 / 1,28 - 0,04 - 0,13) \approx 0,1407 \quad [\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$$

För fönsterkarmdelen, sidor, i ursprungligt fönster blir det:

$$\lambda_x = d_x / (1 / U_{\text{tot}} - R_{\text{se}} - R_{\text{si}}) = 0,086 / (1 / 1,31 - 0,04 - 0,13) \approx 0,1449 \quad [\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$$

För fönsterkarmdelen, undre, i ursprungligt fönster blir det:

$$\lambda_x = d_x / (1 / U_{\text{tot}} - R_{\text{se}} - R_{\text{si}}) = 0,086 / (1 / 1,42 - 0,04 - 0,13) \approx 0,1610 \quad [\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$$

Monteringsköldbrygga

Nedanstående monteringsköldbrygga är den som används i PHPP utan utvändigt karmisolering och med ursprungliga fönster och fönsterplacering.

Utan utvändigt karmisolering, med ursprungligt fönster och med ursprunglig placering

Totalt flöde genom väggen i HEAT3 är 54,94 W, inklusive flöde genom själva väggen, själva fönstret och anslutningen mellan vägg och fönster. Det ger följande beräkning för anslutningens köldbrygga:

$$U_{\text{fönster}} = 0,777 \quad [\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})] \quad (\text{exkl. distans då distans ej medräknat i HEAT3})$$

$$A_{\text{fönster}} = 1 \cdot 1,3 = 1,3 \quad [\text{m}^2]$$

$$W_{\text{fönster}} = U_{\text{fönster}} \cdot A_{\text{fönster}} \cdot \Delta T = 0,777 \cdot 1,3 \cdot 34,3 = 34,65 \quad [\text{W}]$$

$$U_{\text{vägg}} = 0,104 \quad [\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})] \quad (\text{från PHPP})$$

$$A_{v\u00e4gg} = 2,135 \cdot 2,35 - A_{f\u00f6nster} = 2,135 \cdot 2,35 - 1,3 = 3,71725 \quad [\text{m}^2]$$

$$W_{v\u00e4gg} = U_{v\u00e4gg} \cdot A_{v\u00e4gg} \cdot \Delta T = 0,104 \cdot 3,71725 \cdot 34,3 = 13,26 \quad [\text{W}]$$

$$W_{k\u00f6ldbrygga} = 54,94 - 13,26 - 34,65 = 7,03 \quad [\text{W}]$$

$$\psi_{montering} = \frac{W_{k\u00f6ldbrygga}}{l_{montering} \cdot \Delta T} = \frac{7,03}{4,6 \cdot 34,3} = 0,045 \quad [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$$

Nedan \u00e4r ber\u00e4kningarna f\u00f6r \u00f6vriga simuleringar av monteringsk\u00f6ldbryggor gjorda i HEAT3:

Utan utv\u00e4ndig karmisolering, med ursprungligt f\u00f6nster och med ny placering

Resultat i HEAT3: 54,57 W

$$\psi_{montering} = \frac{W_{k\u00f6ldbrygga}}{l_{montering} \cdot \Delta T} = \frac{54,57 - 13,26 - 34,65}{4,6 \cdot 34,3} = 0,042 \quad [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$$

Utan utv\u00e4ndig karmisolering, med nytt f\u00f6nster och med ursprunglig placering

Resultat i HEAT3: 50,93 W

$$\psi_{montering} = \frac{W_{k\u00f6ldbrygga}}{l_{montering} \cdot \Delta T} = \frac{50,93 - 13,26 - 31,93}{4,6 \cdot 34,3} = 0,036 \quad [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$$

Utan utv\u00e4ndig karmisolering, med nytt f\u00f6nster och med ny placering

Resultat i HEAT3: 50,52 W

$$\psi_{montering} = \frac{W_{k\u00f6ldbrygga}}{l_{montering} \cdot \Delta T} = \frac{50,52 - 13,26 - 31,93}{4,6 \cdot 34,3} = 0,034 \quad [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$$

Med utv\u00e4ndig karmisolering, med ursprungligt f\u00f6nster och med ny placering

Resultat i HEAT3: 47,21 W

$$\psi_{montering} = \frac{W_{k\u00f6ldbrygga}}{l_{montering} \cdot \Delta T} = \frac{47,21 - 13,26 - 34,65}{4,6 \cdot 34,3} = -0,004 \quad [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$$

Med utv\u00e4ndig karmisolering, med nytt f\u00f6nster och med ny placering

Resultat i HEAT3: 44,62 W

$$\psi_{montering} = \frac{W_{k\u00f6ldbrygga}}{l_{montering} \cdot \Delta T} = \frac{44,62 - 13,26 - 31,93}{4,6 \cdot 34,3} = -0,004 \quad [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$$

För beräkning av U-värden för fönster, se bifogade excelblad nedan.

Beräkning av U-värde fönster	Ursprungligt fönster
Fönstermått, indata	[m]
Fönsterbredd, total	1
Fönsterhöjd, total	1,3
Karmbredd (sidor)	0,103
Karmbredd (ovankant)	0,104
Karmbredd (underkant)	0,106
U-värden, indata	[W/m²,K]
U_glas	0,5
U_frame (sidor)	1,31
U_frame (ovankant)	1,28
U_frame (underkant)	1,42
PSI-värden, indata	[W/mK]
PSI_distans	0,04
Areor, beräknade	[m²]
A_window	1,3
A_glas	0,86546
A_karm totalt	0,43454
A_karm (sidor)	0,22454
A_karm (ovankant)	0,104
A_karm (underkant)	0,106
Längder, beräknade	[m]
L_distans	3,768
U-värden, beräknade	[W/m²K]
U_window_utan distans	0,777
U_window	0,893

Beräkning av U-värde fönster	Nytt fönster
Fönstermått, indata	[m]
Fönsterbredd, total	1
Fönsterhöjd, total	1,3
Karmbredd (sidor)	0,117
Karmbredd (ovankant)	0,117
Karmbredd (underkant)	0,117
U-värden, indata	[W/m²,K]
U_glas	0,6
U_frame (sidor)	0,9
U_frame (ovankant)	0,9
U_frame (underkant)	0,95
PSI-värden, indata	[W/mK]
PSI_distans	0,028
Areor, beräknade	[m²]
A_window	1,3
A_glas	0,816556
A_karm totalt	0,483444
A_karm (sidor)	0,249444
A_karm (ovankant)	0,117
A_karm (underkant)	0,117

Längder, beräknade	[m]
L_distans	3,664
U-värden, beräknade	[W/m²K]
U_window_utan distans	0,716
U_window	0,795

Nettoluftvolym

Bottenvåning (rumshöjd 2,6 m)

$$61,8 \cdot 2 + 64,4 + 80,4 + 3,2 \cdot 4,6 + 1,6 \cdot 2,5 + 2,2 \cdot 1,6 + 4,8 \cdot 2,3 + 1,6 \cdot 2,4 = 305,52 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$305,52 \cdot 2,6 \cdot 1 = 794,352 \text{ [m}^3\text{]}$$

Plan 2-8 (rumshöjd 2,508 m)

$$60,5 \cdot 2 + 79 \cdot 2 + 1,4 \cdot 1,9 + 2,2 \cdot 1,6 + 4,6 \cdot 2,4 + 1,4 \cdot 2,0 = 299,02 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$299,02 \cdot 2,508 \cdot 7 = 5249,595 \text{ [m}^3\text{]}$$

Totalt

$$V_{n50} = 794,352 + 5249,595 = 6044 \text{ [m}^3\text{]}$$

Bilaga 5 - Intervjuer

Niclas Coucher

- Befattning:
 - Platschef på NCC Construction Sverige AB i Växjö
- Roll i byggandet av Portvakten:
 - Platschef
- Utbildning:
 - Högskoleingenjör Byggnadsteknik
- Portvakten Söder
 - Vad var bra med Portvakten Söder?
 - Byggsystemet, träbjälklag och träväggar som monterades under ett byggtält som vi höjde på ett enkelt sätt efter hand
 - Tältet bidrog till en bra arbetsmiljö för de som jobbade där
 - Passformen på alla byggelement
 - Vad hade kunnat göras bättre?
 - Rent byggmässigt är det inget som kunde göras bättre, däremot kanske det hade varit trevligare med lite mer färg i fasaden
 - Vad drar du för lärdom av byggandet av Portvakten Söder?
 - Att det går att bygga höga hus i trä och dessutom med passivteknik
- Hur ser du på framtidens byggande?
 - Av passivhus
 - Tycker att vi ska fortsätta att bygga passivhus, men inte till vilket pris som helst, vi måste vara realistiska
 - I Sverige
 - Mer industrialiserat än idag
 - I massivträ, jämfört med andra byggnadsmaterial
 - Massivträ är ett utomordentligt bra byggmaterial som kommer att användas i större utsträckning i framtiden, men för den skull kommer inte stål och betong att försvinna utan ha sin plats vid byggnationer

- Av flerbostadshus, jämfört med byggande av småhus
 - Tror utvecklingen följer den byggnation som är idag

Håkan Risberg

- Befattning:
 - Avdelningschef för konstruktionsavdelningen på Martinsons Byggsystem AB
- Roll i byggandet av Portvakten:
 - Konstruktör för bärande trästommen
- Utbildning:
 - Byggnadsingenjör
- Portvakten Söder
 - Vad var bra med Portvakten Söder?
 - Projektorganisationen
 - Alla involverade parter var mer engagerade än vanligt, det lades extra krut just eftersom det var ett passivhus som skulle byggas
 - Projekteringsgruppen hade team building events
 - Många involverade parter var med redan i tidigt skede, exempelvis platschefen från NCC Construction var med på möten ovanligt tidigt under projekteringen för att undvika glapp mellan projektering och byggskede
 - Projekteringsledaren var duktig vilket var viktigt för processen
 - Kommunikationen under byggskedet var bra – konstigheter identifierades i tid för att lösningar skulle kunna användas längre fram i byggskedet
 - En energikonsult var med under hela byggprocessen
 - Hårda täthetskrav från beställaren gav positiva effekter genom att involverade parter ansträngde sig mer
 - Information gick ut till alla inblandade parter
 - För Martinsons del provtrycktes en provvägg hos SP, vilket ledde till förbättringar, och även färdiga väggelement provtrycktes på fabriken
 - Under byggskedet provtrycktes en våning och sen hela huset
 - 5 områden prioriterades:
 - Lufttätet

- Ventilation – ställdes krav på hög temperaturverkningsgrad FTX-aggregat, fick leverantören att ta fram nytt aggregat eftersom tillräckligt bra inte fanns på marknaden
 - Isoleringen – räknades på hur mycket som behövdes, visade sig i efterhand att det kunde ha optimerats ännu mer
 - Fukt – gjordes simuleringar av SP och på universitet eftersom större del av väggen är kall på grund av isoleringen
 - Kylbehovet – gjordes simuleringar för att kontrollera att kylanläggning inte behövs med användandet av energiglas istället för solavskärmning
- Vad hade kunnat göras bättre? / Vad drar du för lärdom av byggandet av Portvakten Söder?
 - Upplägget av projekteringsmötena hade kunnat vara annorlunda – det blev en seg process, vilket kan bero på att det var mycket nytt som behövde verifieras exempelvis från SP eller universitet
 - Emballering av väggelement för transport hade kunnat förbättras
 - Det tar tid att få in alla handlingar eftersom det blir många granskningsrunder när installationer byggs in från fabriken
 - Övergången mellan delprocesserna projektering, framställande i fabrik och montering är viktig
 - Att integrera installationer, främst el, i byggelementen var ibland svårt
 - Hur ser du på framtidens byggande?
 - Av passivhus
 - Att bygga passivhus var mer på tapeten tidigare, det har gått tillbaka lite sista året
 - Lågenergihus är mer populärt just nu
 - Det är nog många som avvaktar utvärderingar av genomförda passivhusprojekt
 - För Martinsons att bygga ett passivhus jämfört med lågenergihus skiljer sig inte tätheten eftersom de nu har tagit fram fungerande knutpunktslösningar, utan exempelvis mängd isolering och val av installationer
 - Spelet mellan konstruktion och arkitektur blir viktigt för utvecklandet av passivhus

- För att sprida passivhuskonceptet bör vi kunna bygga mer ”levande” utan att tulla för mycket på viktiga faktorer som area/volym-förhållande
- I Sverige
 - Martinsons är aktiva främst i Sverige, till viss del i Norge och har fått förfrågningar från andra länder
 - I Norge använder man gärna ”träet för trädets skull” – man gillar trädets utseende och känsla, vill att träet ska vara synligt
 - Trä kläs in i Sverige och pengar är mer styrande – fokus har varit mycket på initialkostnader, men man börjar titta mer och mer på livscykelkostnader
 - Ljud- och brandkraven är ungefär desamma i Sverige och Norge
 - I Norge skrivs handbok om passivhus nu av SINTEF
 - Byggs mycket i massivträ i Centraleuropa, exempelvis i Tyskland, men bland annat ljudkraven är inte lika höga i Tyskland
- I massivträ, jämfört med andra byggnadsmaterial
 - Användandet av massivträ kan bli riktigt stort, men frågan är hur fort
 - Många projekt har visat att det går bra att använda massivträ, exempelvis Sundsvalls Inre Hamn – nu handlar det mer optimering, få ner kostnader och att anpassa till olika arkitekturstilar
 - Trä innebär miljöfördelar
 - Massivträ påverkar inomhusklimat positivt, det agerar exempelvis fuktbuffrande vilket ger ett jämnare inomhusklimat
 - I ett projekt användes träullsisolering, vilket ger väggen ännu större fuktbuffrande förmåga
 - Martinsons har byggt hus utan plastfolie, exempelvis Limnologen i Växjö, som fungerar på grund av massivträets fuktbuffrande förmåga och relativt höga täthet tillsammans med gipsen
 - Har fått lägre energianvändning, men finns dock undersökningar som visar på plastfoliens betydelse för lufttäthet
 - Träskivor är inte så täta i sig och blir mindre täta när de torkar
- Av flerbostadshus, jämfört med byggande av småhus

- Byggandet av stora passivhus är ovanligt, radhus och en- eller tvåfamiljshus är vanligare än höghus
- Byggande av hyresrätter ger längre tidsperspektiv i kalkyler eftersom förvaltaren är mer intresserad av driftkostnaderna än vid bostadsrätter
- Om massivträets hållfasthet ska nyttjas bör man bygga på höjden – de dimensioner som Martinsons använder i väggelement är optimerat för hus i flera våningar
- Användandet av massivträ kräver en speciell arkitektur för att vara lönsamt att använda som väggelement i småhus – i småhus är det mer vanligt med bjälklag i massivträ

Tommy Wesslund

- Befattning:
 - VD för Wesslunds VVS-teknik AB
- Roll i byggandet av Portvakten:
 - Mark- och VS-projektör
- Utbildning:
 - Fyraårigt tekniskt gymnasium
- Vad var bra med Portvakten Söder?
 - Lärde sig mycket om lågenergihus
 - Flera yrkesgrupper var tvungna att sitta tillsammans och arbeta ihop – kan dock ha berott mer på att det var höghus av trä än att det var passivhus
 - Alla parter var inblandade från början
- Vad hade kunnat göras bättre?
 - Tillsättande av en energisamordnare med erfarenhet av passivhusbyggande
- Vad drar du för lärdom av byggandet av Portvakten?
 - Byggprocessen
 - Installationer hade inte tagits vidare hänsyn till i början av projekteringen
 - Installationerna hade kunnat samlas bättre
 - Martinsons hade tänkt på att installationerna skulle få plats
 - Det fanns ingen samordnare, som visste vad ett passivhus är, som styrde upp projektering – projektörerna fick leta upp information själva
 - Saker som hade bestämts tidigare i projekteringen fick göras om senare i projekteringen
 - VVS
 - Luftburen värme är dåligt installationsmässigt och blir dyrt
 - I Portvaktens fall skulle värme fram till värmebatteri i varje lägenhet genom fyra värmestammar
 - Luftburen värme och fjärrvärme tillsammans blev inte lyckat i Portvakten

- Små värmebatterier kräver hög värme, vilket ger dåligt ΔT över fjärrvärmeväxlaren och går dåligt mot fjärrvärmeverket
- Fjärrvärmens hade varit effektivare i kombination med vattenburen värme till radiatorer – det hade kunnat kosta ungefär lika mycket, rumsviss reglering hade varit möjlig istället för lägenhetsvis vilket ger bättre komfort och mindre kanalisering hade behövts på grund av lägre temperaturer
- Luftvärme gör omblandningen svårare vilket ger sämre luftutbyte
- Uppföljning
 - Har fått felsöka och problemlösa VVS, är inte insatt i uppföljningsarbetet för övrigt
 - Behövs det information till de boende?
 - De boende i Portvakten är väl informerade
 - Muntligt
 - Lägenhetspärm med förklaringar
 - Uppsatta informationstavlor
 - Det är viktigt med information om hur huset fungerar, ska fungera och vilka speciella egenskaper som huset har så att de boende får förståelse
 - Vad drar du för annan lärdom av byggandet av Portvakten Söder?
 - Passivhus i kombination med höghus ger annorlunda fenomen
 - Exempelvis låga effektbehov ger små dimensioner på rördragningar vilket med höjden ger tryckproblem
 - Kunde ha dragit två större värmestammar istället för fyra klena
 - Hur tycker du att VVS-lösningar ska utformas för att det ska bli bra komfort och energieffektivt?
 - Att låta ventilation vara ventilation
 - Variabelstyra ventilationen så den minskar när man går hemifrån
 - Använda smarta system för att kunna sätta igång innan man är hemma, exempelvis med styrning från mobiltelefon – intelligenta hus
 - Använda vattenburen värme med rumsviss reglering

- Skillnader flerbostadshus vs småhus
 - Distribution – exempelvis högre brandkrav i flerbostadshus
 - Småhus har ytor mot utomhusluften i alla riktningar, i lägenhet oftast bara två ytor mot utomhusluften – gör det lättare att värma lägenhet med luft
- Skillnader passivhus vs standardhus
 - Inga stora skillnader
 - Ingen större skillnad i uppbyggnad av VVS-system
 - Det krävs lite mer noggrannhet med projektering av flöden och reglering i passivhus
 - Det krävs lite snabbare system och oftare behovsstyrt i passivhus
 - Det är extra viktigt att arkitekt tänker på installationer så att det kan bli korta rördragningar
- Hur ser du på framtidens byggande?
 - Av passivhus
 - Passivhus är ett bra koncept
 - Passivhus kommer att bli norm för alla sorters byggnader
 - Passivhus kommer även att bli mer aktuellt för renoveringar, vilket är en utmaning
 - Kan innebära fler hela utbyten av klimatskal eller rivningar av äldre hus
 - I Sverige
 - Sverige har bra erfarenheter av installationer vilket kommer att innebära bättre kvalitet när vi kommit i kapp med andra delar – vi kan till och med springa om Tyskland
 - Av massivträ, jämfört med andra byggnadsmaterial
 - Tror att det kan komma att användas mer, men det beror på om det kan göras ekonomiska vinster vid användande av massivträ
 - Av flerbostadshus, jämfört med byggande av småhus

- Flerbostadshus kan nog behövas eftersom stora barnkullar som snart ska flytta hemifrån och många pensionärer snart söker annan bostad och det inte är lika många småbarnsfamiljer som behöver småhus