

Passivhus

- Ett alternativ för äldre



LUNDS
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Institution för arkitektur och byggd miljö / Energi och byggnadsdesign

Examensarbete:
Henrik Brunbäck
Ola Teinvall

© Copyright Henrik Brunbäck, Ola Teinvall

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds Universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds Universitet
Lund 2008

Sammanfattning

Den ökning som sker av jordens temperatur beror enligt allt fler forskare på mänskliga utsläpp av växthusgaser. För att minska dessa utsläpp måste människan utveckla nya lösningar för att bo och leva. I byggbranschen diskuteras hur användning av energi till uppvärmning och varmvatten kan minskas. Detta ställer stora krav på konstruktion, installationer samt utförande. Ett hus som använder mindre energi är både en tillgång för den enskilde individen och för ett miljövänligare samhälle. Ett alternativ till detta är passivhus.

I Mörrarp utanför Helsingborg pågår en utbyggnad av ett befintligt äldreboende med utgångspunkt i kriterier för passivhus, vilket denna rapport studerar närmare. Syftet med rapporten är att undersöka vad som krävs för en byggnad ska klassificeras som ett passivhus och om tillbyggnaden av Boklidens äldreboende kan klara dessa krav. Dessutom undersöks om det finns alternativ till uppförandet av tillbyggnaden.

Rapporten visar att Boklidens äldreboende bör klassificeras som ett passivhus. Detta med anledning av att energikraven enbart överstigs ett fåtal gånger per år, vilket inte ska förhindrar klassificeringen som passivhus. För att se vilka åtgärder som kan påverka effekt- och energibehovet har flera undersökningar utförts. Dessa visar att ett lägre behov uppstår genom bättre U-värden på fönstren och ökad verkningsgrad på värmepumpen. Dessutom ger en tung stomme av betong lägre effekt- och energibehov jämfört med en lätt träkonstruktion. Kostnadsberäkningar visar att det är ett sämre alternativ ur ekonomisynpunkt, men ur effekt- och energisynpunkt är det att föredra.

- Titel:** Passivhus – Ett alternativ för äldre
- Författare:** Henrik Brunbäck och Ola Teinvall
Studenter vid LTH Ingenjörshögskolan, Campus
Helsingborg Lunds Universitet
- Examinator:** Maria Wall, Energi och ByggnadsDesign, inst för
arkitektur och byggd miljö, LTH.
- Handledare:** Helena Bülow – Hübe
Affärsutvecklare - energi, Byggprojektering,
Tyréns AB, Malmö
- Nyckelord:** Energi, passivhus, VIP+, BBR, FTX, klimatskal, U-värden,
värmepump, värmepump, värmepump, värmepump,

Abstract

The increase of the temperature on earth is, according to many scientists, the result of greenhouse gases generated by humans. Much of this pollution is a by-product of our way of life. Part of the solution to this growing problem is to address the very ways we live and develop innovative ideas that, ultimately, reduce the amount of energy we consume. The current standard of living demands a large amount of energy for heating or cooling our homes; however, efforts are being made to explore how we can reduce energy consumption and still maintain a comfortable household. By focusing on selecting and using energy-efficient building materials, we can construct homes that are both cost-effective and environmentally friendly.

In Mörarp, just outside Helsingborg, they are building an addition to Bokliden, a home for senior citizens, which will be a passivhouse. This report will study how and if they can address the increasing energy demands inherent in constructing a passivhouse. We also evaluated alternative methods and materials to build passivhouses.

The report demonstrates that Bokliden could justifiably be classified as a passivhouse. The energy regulations are only violated a few times during a year, which shouldn't prevent a classification. Upon investigation, however, further reductions in energy can be achieved. Our investigation revealed that lower U-value for windows and a higher efficiency on the central-heating system lower the overall energy need for the house. Additionally, if the material used for construction changes from a wooden frame to concrete that also lowers the energy need. While greater energy-efficiency is achieved, these alternative means are not cost-effective, according to our calculations.

Title: Passivhouse – An option for elderly

Author: Henrik Brunbäck och Ola Teinvall
Students at LTH School of Engineering, Campus
Helsingborg Lund University

Examiner: Maria Wall, Division of Energy and Building Design,
Department of Architecture and Built Environment, LTH.

Tutor: Helena Bülow – Hübe
Business developer- energy, Building projection,
Tyréns AB, Malmö

Keywords: Energy, passivhouse, VIP+, BBR, climatecase, U-values,
heat exchanger, hot-air system

Förord

Detta examensarbete på 22,5 högskolepoäng har bearbetats och färdigställts från januari 2008 till april år 2008 på institutionen för arkitektur och byggd miljö vid Campus Helsingborg. Examensarbetet är gjort i samarbete med Kärnfastigheter i Helsingborg, Byggmästar´n i Skåne och Tyréns i Malmö. Det är på Tyréns i Malmö som största delen av arbetet har bedrivits.

Inspiration till detta arbete fick vi under en studieresa till Tyskland hösten 2007 där studiebesök i ett passivhus ägde rum. Efterforskning på hemorten visade att ett äldreboende i Mörarp, utanför Helsingborg, utförde en utbyggnad enligt principen för passivhus. Vi kontaktade entreprenören Byggmästar´n i Skåne på ett byggmöte fick vi kontakt med beställaren Bengt Andersson på Kärnfastigheter och vår handledare Helena Bülow-Hübe. Syftet med rapporten växte sedan fram efter diskussion med Bengt Andersson som ville ha en undersökning huruvida ett äldreboende kan klassas som ett passivhus.

Vi vill tacka Helena Bülow-Hübe på Tyréns för hennes stöd och handledning under hela examensarbetet. Vi tackar även Benny Lysebring, Ola Franzén och Jenny Svensson på Byggmästar´n i Skåne för tillhandahållen information om bygget. Vidare vill vi rikta ett tack till Kärnfastigheter som tillhandahållit nödvändig information om energianvändningen från den befintliga byggnaden, vilket har varit avgörande för att göra rimliga antaganden för tillbyggnaden.

Helsingborg Juni 2008

Henrik Brunbäck

Ola Teinvall

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsning	2
1.4 Metod.....	2
2 Passivhus	3
2.1 Historik.....	3
2.2 Klassificering av passivhus.....	3
2.2.1 Kravspecifikation för passivhus	4
2.3 Exempel på passivhusprojekt i Sverige.....	6
2.3.1 Lindås	6
2.3.2 Oxtorget	7
2.3.3 Villa Malmborg.....	9
2.3.4 Frillesås.....	10
2.3.5 Förskolan Synålen.....	11
2.4 Installationer och teknik för passivhus.....	13
2.4.1 Ventilation	13
2.4.2 Solfångare	15
2.4.3 Luftläckage	16
3 Beskrivning av Bokliden i Mörarp	17
3.1 Allmän beskrivning.....	17
3.2 Projekt Bokliden	17
3.3 Uppvärmning	20
3.3.1 Värmeväxlare och ventilation.....	20
3.3.2 Solfångare	21
3.4 Konstruktion	21
3.4.1 Platta	21
3.4.2 Yttervägg	22
3.4.3 Tak.....	22
3.4.4 Brandskydd	23
3.4.5 Akustik.....	23
3.5 Klimatskal och täthet.....	24
U-värde W/m ² K (enligt projektering).....	24
3.6 Extra åtgärder vid projektering.....	24
3.6.1 Konstruktören	24
3.6.2 VVS-projektören.....	25
3.6.3 El-projektören	25
3.6.4 Entreprenören.....	25
4 Antaganden för energisimuleringar	26
4.1 Energiberäkningsprogrammet VIP+	26

4.2 Interna värmestillskott.....	26
4.3 Ventilation.....	28
4.4 Uppvärmning av varmvatten.....	29
4.5 U-värden.....	30
5 Parameterstudie.....	32
6 Beräkningsresultat	34
6.1 Kravspecifikation.....	34
6.2 Effektbehov	35
6.3 Energibehov	36
6.4 Alternativa stomkonstruktioner	39
6.5 Klimatort.....	41
6.6 Täthet	42
6.7 Varierat U-värde på fönster	43
7 Diskussion	44
7.1 Brand.....	44
7.2 Klassificering.....	45
7.3 Alternativ konstruktion.....	46
7.4 Åtgärder	47
7.5 Akustik	48
7.6 Fönster.....	48
8 Referenser	49
8.1 Litteratur.....	49
8.2 Elektroniska källor	50
8.3 Muntliga källor	51
8.4 Bilagor	51
Bilaga 1.....	52

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Den ökning som sker av jordens temperatur beror enligt allt fler forskare på mänskliga utsläpp av växthusgaser. För att minska dessa utsläpp måste människan utveckla nya lösningar för att bo och leva. I byggbranschen diskuteras hur användning av energi till uppvärmning och varmvatten kan minskas. Detta ställer stora krav på konstruktion, installationer samt utförande. Ett hus som använder mindre energi är både en tillgång för den enskilde individen och för ett miljövänligare samhälle. Passivhus är en byggnads-konstruktion som stadigt ökar i popularitet dels för att konsumenterna blivit mer miljömedvetna och dels för att energipriserna har stigit. Enligt undersökning använder ett äldreboende generellt omkring 200 kWh/m²år.¹ Den befintliga byggnaden i Mörarp använder, enligt uppgifter från fastighets-ägaren, 216 kWh/m²år från 2007 års mätning.

Ett företag som har uppmärksammat klimatfrågan och med denna efterfrågan på ett energisnålt boende är Kärnfastigheter i Helsingborg. Boklidens äldreboende i Mörarp utanför Helsingborg ska utöka antalet vårdplatser. Beslut har tagits att denna tillbyggnad ska utföras enligt passivhusprincipen. Denna utbyggnad kommer att tillföra äldreboendet 13 nya vårdplatser.

1.2 Syfte

Syftet med rapporten är att undersöka vad som krävs för en byggnad ska klassificeras som ett passivhus och om tillbyggnaden av Boklidens äldreboende kan klara dessa krav. Dessutom undersöks om det finns alternativ till de befintliga konstruktions- och installationslösningarna av uppförandet av tillbyggnaden på Boklidens äldreboende.

Frågeställningar som kommer att behandlas är följande:

- Klarar Boklidens äldreboende kriteriet för passivhus?
- Vilka alternativ finns för uppförandet av tillbyggnaden?
- Hur påverkar akustik och brandkrav möjligheter att utföra huset som passivhus?

¹ http://www.energimyndigheten.se/Global/Filer%20Energifakta/ER_2008_9.pdf 2007-04-10.

1.3 Avgränsning

Rapporten kommer att avgränsas till nybyggnationen av Boklidens äldreboende i Mörarp utanför Helsingborg där 13 lägenheter nu byggs enligt passivhusprincipen. Vidare är rapporten avgränsad till att huvudsakligen behandla energifrågor. För att underlätta undersökningen av klimatskalet kommer hela utbyggnaden ses som ett enhetligt rum eller temperaturzon i simuleringarna och inte indelat på flera lägenheter.

1.4 Metod

För att kunna genomföra en fallstudie av Boklidens äldreboende har ett samarbete med Kärnfastigheter och Byggmästar´n i Skåne varit avgörande. Personliga intervjuer med Boklidens platschef från Byggmästar´n i Skåne har gett information hur nybyggnationen har framskridit. Detta har kompletterats med utförda observationer vid byggnadsmöten genomförda på byggarbetsplatsen i Mörarp. Förutom ovan nämnda intervjuer har även telefonintervjuer med konstruktören, VVS- och elprojektören ägt rum.

Byggmästar´n i Skåne har bistått med samtliga bygghandlingar, vilka har gett indata till energiberäkningarna. Ytterligare indata har samlats in genom att undersöka antalet personer som bor och verkar i den befintliga byggnaden samt hur många elektriska apparater som används. Samtliga indata har förts in i energiberäkningsprogrammet VIP+. Detta har gett resultat som sedan har analyserats. Beräkningarna är utförda på Tyréns i Malmö där även handledning av Helena Bülow – Hübe har ägt rum.

Teori som har varit relevant för rapporten är framtagen från litteratur såsom kurslitteratur, tidskrifter, examensarbeten samt Internet.

2 Passivhus

2.1 Historik

Begreppet passivhus kommer ursprungligen från en tysk byggnadsfysiker vid namn Dr Wolfgang Feist. Han påbörjade, tillsammans med den svenske professorn Bo Adamsson, utvecklingen av principen för passivhus redan på 1970-talet. Dr Wolfgang Feist var den förste att bygga ett hus enligt principen i staden Darmstadt i Tyskland där han också grundade Passivhaus Institut 1996.²

Första gången som passivhusprincipen användes i Sverige var år 2001. Då byggdes 20 radhus i Lindås strax utanför Göteborg. Eldsjälen bakom detta projekt var arkitekt Hans Eek som var den förste i Sverige att rita passivhus. Han har även varit en drivande kraft i utvecklingen av passivhus i Sverige. Efter att Lindås projektet stod klart 2001 fick marknaden upp ögonen för passivhus. År 2002 fanns det 70 passivhus registrerade i Sverige och fram till år 2007 har siffran ökat till 700 fastigheter och kommer troligen att öka ännu mer i framtiden.³

2.2 Klassificering av passivhus

Hela idén med passivhus går ut på att bygga energisnålt genom att minimera värmeförluster genom klimatskal och ventilation. Detta medför extra noggrannhet vid tätningsarbete samt mer isolering i väggar, tak och i betongplatta för att ge ett lågt U-värde. Dessutom krävs lågt U-värde i dörrar och fönster då det idag är en stor del av fasaden. För att den lufttäta konstruktionen inte ska få fuktproblem krävs mekanisk ventilation med värmeåtervinning.

Eftersom värmeförlusterna minimeras minskar behovet att tillföra värme. Värme kan tas från solinstrålning och det interna värmetillskottet som kommer från elektriska apparater och kroppsvärme. För att under sommaren undvika övertemperaturer på grund av solinstrålning kan taksprånget utökas eller olika former av solskydd monteras på fönstren.⁴

För att begreppet passivhus ska få användas krävs att en rad krav är uppfyllda. Kraven är utarbetade av Dr Wolfgang Feist och är en vidareutveckling av den tidigare standarden för lågenergihus. De krav som idag råder på passivhus i Tyskland är att effekt- och energibehovet inte får överstiga 10 W/m²

² <http://www.passiv.de> 2008-01-10.

³ Näslund, E. 2007:10ff.

⁴ Ibid.

respektive 15 kWh/m². Dessa krav har prövats i det internationella forskningsprojektet CEPHEUS där fler olika byggprojekt i Europa har uppförts för att undersöka eventuella brister och möjligheter i kraven för passivhus.⁵

I Sverige har Västra Götalandsregionens miljönämnd tillsammans med Energimyndigheten ett forum för energieffektiva byggnader. Detta forum har tillsammans med byggbranschen anpassat de tyska kraven för passivhus till svenska förhållanden i ”Kravspecifikation för passivhus i Sverige – Energieffektiva bostäder”.⁶ På grund av att Sverige är ett avlångt land med stora temperaturskillnader har landet delats upp i klimatzonerna norr och söder, enligt BBR 12. Kraven innefattar effektkrav, energikrav, lufttäthet samt ljudkrav.⁷

2.2.1 Kravspecifikation för passivhus

Den maximalt avgivna effekten samt total köpt energi, exklusive hushållsel, för byggnadens direkta uppvärmning får inte överstiga värden enligt kravspecifikationen (figur 2.1 och 2.2). Skall dessa värden vara giltiga finns det ett antal kriterier som måste uppfyllas i beräkningarna.

En dimensionerande vintertemperatur används enligt svensk standard SS 024310. Inomhustemperaturen ska vara 20°C och en tidskonstant används efter konstruktionstyp. Beräkningshjälpmedel som används skall vara godkända enligt ISO 13 790:2004 eller liknade. Det interna värmetillskottet från elektriska apparater och kroppsvärme får vara maximalt 4 W/m². Soltillskott får inte räknas med vid beräkning av effektkrav. Dessutom gäller även krav enligt Boverkets Byggregler.⁸

⁵ <http://www.passiv.de> 2008-01-10.

⁶ <http://www.passivhus.nu> 2008-04-04.

⁷ Forum för energieffektiva byggnader (FEBY) 2007.

⁸ FEBY, 2007.

Klimatzon söder

Effektkrav: $P_{\max} = 10 \text{ W/m}^2$

Klimatzon norr

Effektkrav: $P_{\max} = 14 \text{ W/m}^2$

Bostadshus

För fristående byggnader mindre än 200 m^2 är effektkravet med hänsyn tagen till aktuell klimatzon enligt nedan.

Effektkrav: $P_{\max 200} = P_{\max} + 2 \text{ W/m}^2$

Figur 2.1 Effektkrav för passivhus i Sverige.

Klimatzon söder

Energikrav: $(\sum E_{fv} + \sum E_{pb} + \sum E_{el}) \leq 45 \text{ kWh/m}^2$

Klimatzon norr

Energikrav: $(\sum E_{fv} + \sum E_{pb} + \sum E_{el}) \leq 55 \text{ kWh/m}^2$

där

E_{index} Nettoenergi tillförd byggnaden från fjärrvärme (fv), biopanna (pb) eller köpt el (el)⁵

Bostäder

För fristående byggnader mindre än 200 m^2 är kravet med hänsyn tagen till aktuell klimatzon enligt nedan.

Energikrav: $E_{\max 200} = E_{\max} + 10 \text{ kWh/m}^2$

För varmvatten⁶ antas en standardiserad användning enligt nedan. För lokaler tas specifika data fram för beräkningarna.

Figur 2.2 Energikrav för passivhus i Sverige.

I Sverige ställs det för närvarande enbart effektkrav på passivhus. Energikravet ses endast som en rekommendation i väntan på mer kunskap. Samtliga riktvärden och krav för effekt- och energianvändning gäller enbart för bostäder såsom villor, parhus och radhus.⁹

⁹ FEBY, 2007.

2.3 Exempel på passivhusprojekt i Sverige

För att kunna utveckla passivhustekniken och få en bättre etablering på marknaden är det viktigt att göra uppföljningar på redan befintliga passivhusprojekt. De erfarenheter som redan finns inom passivhusbyggandet måste vidareutvecklas för att i framtiden kunna uppnå ännu bättre energieffektivitet. För att kunna göra detta krävs fortsatt forskning både för att minska köldbryggor men också för att hitta bättre material. Tyskland har till exempel fönster som håller lägre U-värden än vad som finns i Sverige. Nedan följer exempel på färdigställda passivhusprojekt.

2.3.1 Lindås

2001 byggdes Sveriges första passivhusprojekt i Lindås 20 km söder om Göteborg. Här byggdes 20 radhus, vardera med en bostadsyta på 120-124 m². Husen är demonstrationsobjekt och bygger på fyra års forskning bland annat i CEPHEUS-projektet. Under projekteringen var målet att minimera transmissions- och ventilationsförluster samt att använda sig av solfångare för uppvärmning av varmvatten.¹⁰

Tabell 2.1 Byggnadsdelarnas U-värde.

Byggnadsdel	U-värde (W/m ² K)
Ytterväggar	0.08
Tak	0.10
Betongplattan	0.11
Fönster, medelvärde	0.85
Dörr	0.80

Lufttäthetsmätningar av klimatskalet gav 0,3 l/s, m² vid 50 Pa. Husen är utrustade med värmeväxlare med en värmeåtervinning på 80 %, vilket är ett medelvärde vid drift med hänsyn till avfrostning. Skulle värmeväxlaren inte räckta till under kalla dagar finns en värmepatron för extra tillsatsvärme på 900 W. Under sommarhalvåret kan värmeväxlaren stängas av med såkallad bypass och huset ventileras då istället med uteluft eller fönstervädning. På varje radhus har 5 m² solfångare installerats som bidrar med cirka 40 % av varmvattenproduktionen.¹¹

Trots att lägenheterna i radhuset kostar 50 000 SEK mer än en standardlägenhet, på grund av tjockare isolering, så uppskattar arkitekten Hans Eek att kostnaderna tjänas in på ungefär 5 år. Efter inflyttningen 2001 har

¹⁰ Wall, M 2006:627

¹¹ Wall, M 2006:628

undersökningar gjorts för att se hur nöjda de boende är. De svarande tyckte generellt att innetemperaturen är bra både vinter och sommartid. Ljudförhållanden är bra då det gäller externt ljud och luftkvalitén är frisk och ren. Energianvändningen i lägenheterna är låg vilket är positivt. Det negativa som framkom är att badrummet upplevs som kallare än övriga delar av bostaden. Detta beror på att ventilationssystemet suger ut luft från badrummet. För att åtgärda detta kan ett golvvärmesystem installeras. Ännu en nackdel är att värmebatteriet i värmeväxlaren kan få energiförbrukningen att öka kraftigt om det skulle vara riktigt kallt under flera dagar i följd.¹²

Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut har utfört mätningar av energianvändningen. Mätningarna som redovisas i tabell 2.2, visar ett genomsnitt av den totala energianvändningen för samtliga hus. Eftersom solfångare bidrar med cirka 40 % av tappvarmvattnet är den köpta energin lägre än den totala energianvändningen. Den köpta energin delas upp dels för att visa hur stor del som går till uppvärmning av bostaden, tappvarmvatten, fläktar samt pumpar och dels hur stor del som utgörs av hushållsel. Uppdelningen sker enligt kravspecifikationens rekommendationer för energibehov.¹³

Tabell 2.2 Energianvändning för Lindås.

	Energianvändning (kWh/m²år)
Uppvärmning av bostad (el)	14.3
Tappvarmvatten (el)	15.3
Fläktar, pumpar	6.7
Hushållsel	31.8
Köpt energi	68.0
Tappvarmvatten (från solfångaren)	8.9
Totalt uppmätt energianvändning	76.9

2.3.2 Oxtorget

Kvarteret Oxtorget i Värnamo byggdes av Finnvedbostäder AB. Tanken var till en början att bygga traditionella lägenheter men efter jämförelse mellan driftskostnader och produktionskostnader väcktes intresse för passivhus som har låga driftskostnader. Efter diskussioner med berörda parter i projektet beslutades att samma kriterier som användes till Lindåsprojektet skulle användas för att säkerställa en bra lösning.¹⁴

¹² Granbom, M & Thorn, R 2007:14.

¹³ Wall, M 2006:628

¹⁴ <http://www.byggark.lth.se/?page=page44a0fa30b10a5> 2008-04-28.

Tabell 2.3 Byggnadsdelarnas U-värde.

Byggnadsdel	U-värde (W/m ² K)
Ytterväggar	0.10
Tak	0.07
Betongplattan	0.09
Fönster, medelvärde	0.94
Dörr	0.60

Mätningar av lufttätheten gav i genomsnitt 0,2 l/s, m² vid 50 Pa. Varje lägenhet utrustades med en värmeväxlare som har en värmeåtervinningsgrad på 85 %. Värmeväxlaren är placerad i en garderob samt utrustad med ljud-dämpare för att minimera buller. I värmeväxlaren finns det två fläktar som vardera har ett effektbehov på 58 W, fläktar som går dygnet runt, med ett luftflöde som kan varieras i olika fem steg. På varje hus har det installerats 25 m² solfångare som ska stå för hälften av varmvattenproduktionen.

Under hösten 2006 utfördes mätningar av Oxtorget's totala energianvändning. Resultatet av dessa mätningar uppgick till 67 kWh/m² köpt energi. I mätningresultatet kunde däremot inte hushållselen och energibehovet för uppvärmning av bostaden skiljas åt. Redovisningen bygger därför på uppskattningar som utförts och den totala energianvändningen ligger på 80 kWh/m² varav 69 kWh/m² är köpt energi. Även tappvarmvattnet och hushållselen är uppskattade värden. Uppvärmningen av bostaden är beräknat för en innetemperatur på 20°C.¹⁵

Tabell 2.4 Energianvändning för Oxtorget.¹⁶

	Energianvändning (kWh/m²år)
Uppvärmning av bostad	15
Tappvarmvatten (uppskattat)	25
Hushållsel (uppskattat)	40
Köpt energi	69
Tappvarmvatten (från solfångaren)	11
Totalt uppmätt energianvändning	80

¹⁵ <http://www.byggark.lth.se/?page=page44a0fa30b10a5> 2008-04-28.

¹⁶ Ibid.

2.3.3 Villa Malmborg

Det första friliggande passivhuset som byggdes i Sverige ligger i Lidköping och byggdes av familjen Malmborg. Då familjen tidigare bodde i ett vanligt svenskt enfamiljshus med en energianvändning på 28 000 kWh per år önskade familjen bygga ett energisnålt hus. Tillsammans med arkitekt Hans Eek kontaktade de flera småhusföretag och kom då i kontakt med Vårgårdahus. Dessa ansåg att passivhus var något som passade in i deras koncept, vilket är att bygga med hög kvalitet och lågt energibehov. Eftersom ett passivhus inte fanns i Vårgårdahus vanliga utbud ritades huset av konstruktören på Vårgårdahus efter familjen Malmborgs önskemål och krav. Konstruktionen som valdes var ett trähus med två våningar och en total bostadsyta på 170 m².¹⁷

Tabell 2.5 Byggnadsdelarnas U-värde.

Byggnadsdel	U-värde (W/m ² K)
Ytterväggar	0.10
Tak	0.07
Betongplattan	0.10
Fönster, medelvärde	0.80
Dörr	1.40

Villans värmesystem består av en värmeväxlare med en verkningsgrad på 85%. I denna finns ett tillsatsbatteri som drivs av varmvatten. Täthetskravet sattes till 0,2 l/s, m² vid 50 Pa.¹⁸

För att undvika uppkoppling till fjärrvärmenätet planerades en installation av ett solfångarsystem för uppvärmning av vattnet. Det krävdes ett komplement till solfångarna för att värma hela huset. I detta fall blev kostnaderna för pelletsuppvärmning för hög och beställaren ville inte ha ett elbatteri som tillsatsvärme. Slutligen valdes uppkoppling till fjärrvärmenätet vilket blev det mest lönsamma alternativet. Detta skedde däremot inte utan problem då fjärrvärmeföretaget ville ha ett högre energipris för passivhus. Detta eftersom energianvändningen var lägre än för vanliga hus. Samtidigt krävde fjärrvärmeföretaget att solfångare inte fick monteras om en uppkoppling skulle ske.¹⁹

För att få minst energiförluster bör ett passivhus egentligen vara utformat som en glob men då detta inte är särskilt funktionellt användes den näst bästa utformningen nämligen en kub. Fönsterytan i huset utgör cirka 15 % av

¹⁷ Jansson, U 2008:111ff.

¹⁸ Jansson, U 2008:112f.

¹⁹ Jansson, U 2008:122

golvytan. I en vanlig modern villa är motsvarande yta cirka 30 %. Eftersom väggarna är tjocka har fönstersmygarna snedställt för att få upplevelsen av att huset är ljust trots mindre fönsterytor.²⁰

Villa Malmborg färdigställdes 2007 och mätningar av energianvändandet pågår för närvarande och något resultat har därför inte färdigställts. Däremot är uppskattningar av den totala energianvändningen för Villa Malmborg utförda. Totalt köpt energi för Villa Malmborg uppgick till 85 kWh/m² där tappvarmvattnet och hushållselen är uppskattade värden medan uppvärmningsbehovet är beräknat för en innetemperatur på 22°C.²¹

Tabell 2.6 Energianvändning för Villa Malmborg.²²

	Energianvändning (kWh/m²år)
Uppvärmning av bostad	20
Tappvarmvatten (uppskattat)	25
Hushållsel (uppskattat)	40
Köpt energi	85

2.3.4 Frillesås

Under 2006 färdigställde Eksta Bostad AB 12 hyresrätter i Frillesås nära Kungsbacka. Husen har byggts, i tre fristående tvåplanshus med en total bostadsyta på 995 m², enligt passivhusprincipen. Detta projekt passade in i företagets miljötänkande. Eksta Bostad AB äger en stor yta solfångare som ger energi till hyresrätter, lokaler samt villor.²³

Tabell 2.7 Byggnadsdelarnas U-värde.²⁴

Byggnadsdel	U-värde (W/m ² K)
Ytterväggar	0.10
Tak	0.08
Betongplattan	0.10
Fönster, medelvärde	0.85
Dörr	1.00

²⁰ <http://www.nyteknik.se/administration/graddfilen/article71950.ece> 2008-06-17

²¹ <http://www.byggark.lth.se/?page=page44a4d60b47918> 2008-04-28

²² Ibid.

²³ http://www.ebd.lth.se/forskning/passivhus_demonstrationsprojekt/demonstrationsprojekt/frillesaas/ 2008-04-17.

²⁴ Ibid.

En lufttäthetsmätning gav 0,2 l/s, m² vid 50 Pa, vilket var bättre än det projekterade kravet. Varje lägenhet har en värmeväxlare som har en värmeåtervinning på 85 %. Ett värmeaggregat som ger extra värme vid behov värms upp med hjälp av fjärrvärme och solenergi. Ett vattenburet golvvärmesystem installerades i badrummet för att få extra värme vid behov samt för att undvika att badrummet skulle upplevas som kallare, vilket var kritik som framfördes i Lindåsprojektet. På taket installerades totalt 52 m² solfångare som bidrar till minskad energianvändning i varmvattenproduktionen. Det varmvatten som solfångarna inte klarar av att värma, värms upp av fjärrvärme. Enligt uppföljande undersökningar hos de boende upplever en stor del att temperaturen sjunker om ingen har varit i bostaden under ett antal timmar. Värmen stiger emellertid snabbt så fort någon rör sig och elektrisk utrustning aktiveras. Generellt upplevs en behaglig rumstemperatur.²⁵

Uppskattningar för hur stor energianvändningen är i Frillesås har gjorts då resultat från mätningarna inte är färdigställda. Den totala uppskattade energianvändningen är 81 kWh/m² jämfört med 68 kWh/m² som är köpt energi. Detta beror på att solfångarna ska stå för ungefär hälften av produktionen av tappvarmvatten. Hushållselen är ett uppskattat värde medan uppvärmningen av bostaden är beräknad för en innetemperatur på 22°C.²⁶

Tabell 2.8 Energianvändning för Frillesås.²⁷

	Energianvändning (kWh/m²år)
Uppvärmning av bostad	16
Tappvarmvatten (uppskattat)	12
Hushållsel (uppskattat)	40
Köpt energi	68
Tappvarmvatten (från solfångaren)	13
Totalt uppmätt energianvändning	81

2.3.5 Förskolan Synålen

I stadsdelen Annestad i Malmö har Malmö stad påbörjat bygget av förskolan Synålen. Med flexibilitet som tema ska byggnaden fungera som en förskola med fyra avdelningar eller ett äldreboende med 10 lägenheter. Som förskola kommer huset att ha en kapacitet på totalt 70 elever. Dessutom finns det lektrum, kök samt personalrum i dessa två långsmala byggnader på 851 m².²⁸

²⁵ <http://www.passivhuscentrum.se/kungsbacka.html> 2008-04-14.

²⁶ <http://www.byggark.lth.se/?page=page44a3b21f16cbe> 2008-04-28

²⁷ Ibid.

²⁸ Bülow-Hübe, H 2008:6f Artikel.

Tabell 2.9 Byggnadsdelarnas U-värde.

Byggnadsdel	U-värde (W/m ² K)
Ytterväggar	0.11
Tak	0.09
Betongplattan	0.09
Fönster, medelvärde	0.95

Grundtanken i projekteringen var att använda bärande takbalkar med mellanliggande isolering. Avsikten med detta var att kunna dra ventilationskanaler i tempererat utrymme och att förändringar i dessa lätt ska kunna utföras i framtiden, utan att göra hål i tätskiktet. Till en början hade byggnaden två motstående pulpettak men de ersattes av ett sadeltak. Detta medförde att de bärande takbalkarna fick bytas ut mot fackverksstakstolar då mellanväggarna både blev för höga och dyra. Eftersom ventilationskanalerna skulle placeras innanför klimatskalet utvecklades en speciallösning där ena sidan fick fackverktakstolar och den andra sidan takbalkar. Huset var projekterat med luftvärme med utplacerade värmebatterier. Detta ändrades istället till ett centralt luftbehandlingsaggregat med roterande värmeväxlare, med värmeåtervinningsgrad på 80 %, och ett vattenburet golvvärmesystem. Ventilationsflödet för förskolan kan varieras i flera steg där grundflödet är 1050 l/s. Under natten när byggnaden står tom stängs fläkten vilket ger ett genomsnittligt flöde på 500 l/s. Grundflödet för äldreboendefallet är 800 l/s men ger ett genomsnittligt flöde på 850 l/s då fläkten går dygnet runt.²⁹

När bygghandlingarna stod klara utfördes beräkningar för energianvändningen. Beräkningarna innefattade uppvärmning av bostaden, produktion av tappvarmvatten samt fastighetsel i form av fläktar och pumpar. Uppskattning av verksamhetselen är inte utförd. Resultatet av energianvändningen uppgick då till 69 kWh/m².³⁰

²⁹ Bülow-Hübe, H 2008:6f Artikel.

³⁰ Ibid.

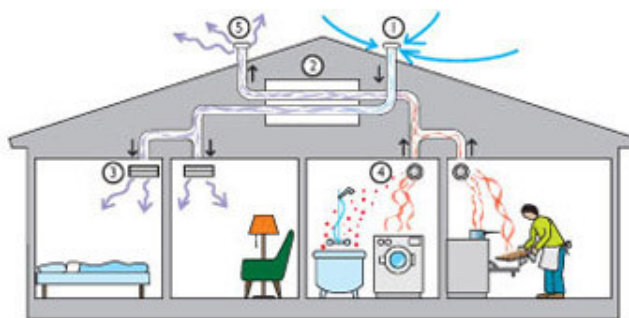
Tabell 2.10 Energianvändning för förskolan Synålen.

	Energianvändning (kWh/m²år)
Uppvärmning av bostad	36
Tappvarmvatten	25
Fläktar, pumpar	8
Energianvändning exklusive verksamhetsel	69

2.4 Installationer och teknik för passivhus

2.4.1 Ventilation

Ett FTX-system är en mekaniskt från- och tillufts ventilation med värmeväxling. En värmeväxlare som återvinner den värme som finns i frånluften installeras. Hur mycket värme som återvinns är helt upp till hur stor verkningsgrad som värmeväxlaren har. Frånluft är den luft som suges ut från bostaden, detta görs vanligtvis från kök, badrum och tvättstuga. Tilluften är den friska luft som tillförs i bostaden. Vanligtvis sitter dessa tilluftsdon i vardagsrum och sovrum där friskluft behövs som figur 2.3 visar. För att inte drag och obehag ska upplevas är det viktigt att tilluftsdonen placeras och utformas på rätt sätt. För att undvika drag ska tilluftsdonen placeras så att luften sprids parallellt med taket, aldrig riktad rakt ner. Enligt Boverket får inte lufthastigheten överstiga 0,15 m/s under uppvärmningssäsongen. För att ett FTX-system ska fungera bra är det viktigt att byggnaden är tät annars finns risk för överventilation. Skulle överventilation inträffa blir luften torr och kan ge irriterade slemhinnor och ögon. Vid en otät byggnad krävs mer energi till uppvärmning på grund av att kall luft läcker in och den luften som läcker ut återvinns inte. Det finns även risk för drag och lokal nedkylning av ytor.³¹



Figur 2.3 Visar hur luften går i ett FTX-system.³²

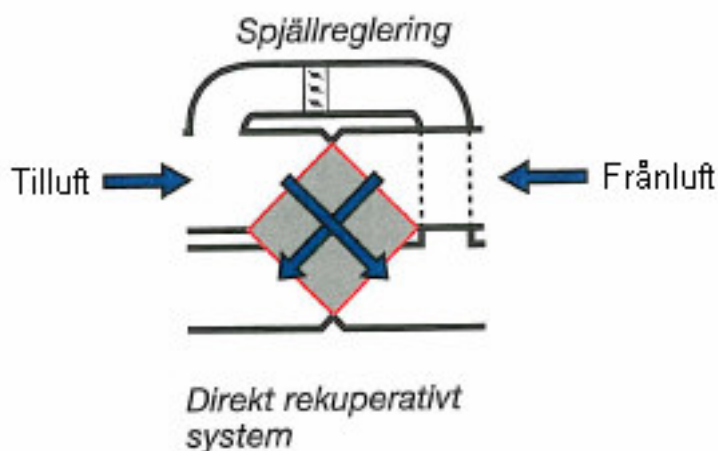
³¹ http://www.byggahus.se/varme/ftx_funkar.htm 2008-04-29.

³² <http://www.energimyndigheten.se/sv/Hushall/Din-ovriga-energianvandning-i-hemmet/Ventilation/FTX-system> 2008-02-12.

Återvinningen i värmeväxlaren sker när frånluften värmer upp tilluften. För att till- och frånluft inte ska blandas är värmeväxlaren uppbyggd med profilerade metallflänsar som ligger tätt ihop. Dessa metallflänsar bildar små kanaler där tilluften går i en kanal och frånluften i en annan enligt figur 2.4. Värmen som finns i frånluften värmer upp metallen som i sin tur värmer upp tilluften. För att kunna reglera värmeåtervinningen installeras ett "by pass" system. Som figur 2.5 visar finns en kanal som för luften förbi värmeväxlaren. Detta sker när luften ute har samma eller högre temperatur som inneluften ska ha.



Figur 2.4 Profilerade flänsar i en värmeväxlare.

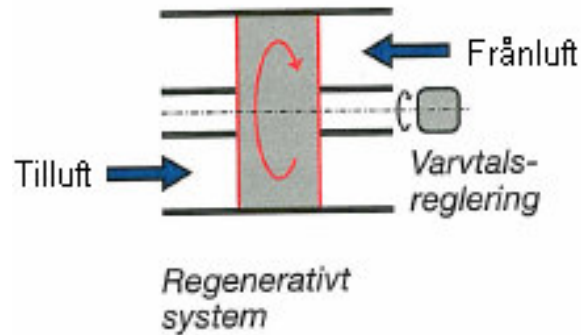


Figur 2.5 Direkt rekuperativt system.³³

Då en roterande värmeväxlare används fås samma by pass effekt då rotorns varvtal minskar. I en roterande värmeväxlare finns en roterande kärna där varm frånluft blåser genom på ovsidan och kall tilluft blåser på undersidan enligt figur 2.6. Det går dock inte att undvika en viss blandning av till- och frånluft, enligt beräkningar kan läckaget uppgå till nära 10 %. En roterande värmeväxlare kan även återvinna fukt så att tilluften får ett ökat fuktillskott.³⁴

³³ Abel, E & Elmroth, A 2006:146.

³⁴ Ibid.



Figur 2.6 Regenerativt system.³⁵

Skulle inte värmeåtervinningen vara tillräckligt stor används ett värmebatteri som drivs med el eller vatten. Värmebatteriet fungerar på samma sätt som en värmeväxlare förutom att luften värms upp av el eller vatten. Effektiva värmeväxlare har idag en verkningsgrad på runt 80 %.

För att räkna ut hur mycket värme som värmeväxlaren kan återge krävs fyra parametrar: uteluftstemperaturen, tilluftstemperaturen frånluftstemperaturen och verkningsgraden. Uträkning sker enligt ekvation 1.

$$\eta = \frac{T_{\dot{a}} - T_u}{T_f - T_u}$$

Ekvation 1 Ekvation för framtagning av värmeväxlarens temperaturverkningsgrad.³⁶

Där η = temperaturverkningsgrad
 $T_{\dot{a}}$ = lufttemperatur efter återvinning [C°]
 T_u = uteluftstemperatur [C°]
 T_f = frånluftstemperatur [C°]

2.4.2 Solfångare

Solfångare tar upp energin i solljuset med hjälp av absorbatörer. För att absorbatörer ska bli så effektiva som möjligt är de svartmålade då mörka färger absorberar värme bättre än ljusa. Värmen tas tillvara i en cirkulerande vätska eller gas. Då solstrålningen är tillräcklig och solfångaren börjar generera energi transporteras energin till en ackumulatortank där den lagras. Det finns även solcellmoduler som kan omvandla solenergi till elektrisk ström. Då enbart 15-20 % av solljuset kan omvandlas till elektrisk ström är detta alternativ inte lika vanligt som varmvattenlagring.³⁷ Solfångare används

³⁵ Abel, E & Elmroth, A 2006:146.

³⁶ Warfvinge, C 2001: 7.29.

³⁷ Larsson, S 2005:29.

vanligtvis för att värma upp tappvatten men kan även utnyttjas till radiatorer och golvvärme. Nackdelen med solenergin är att den endast kan fungera som ett komplement till varmvattenproduktionen. Detta på grund av att solens värmestrålning inte är tillräcklig under vinterhalvåret och under längre perioder med mulet väder.³⁸

2.4.3 Luftläckage

I ett passivhus får läckaget av luft enligt svensk standard SS-EN 13829 endast vara 0,3 l/s m² då trycket är +/- 50 Pa.³⁹ För att kraven ska kunna uppfyllas sätts en plastfolie i väggen. För att det inte ska läcka luft genom skarvarna tejpas dessa med dubbelhäftande tätningsband eller med speciell åldersbeständig tejp. Viktigast är att få lufttätt runt hörn, fönster och dörrar där det annars finns stor risk för läckage. Plastfolien placeras vanligen indragen ett stycke från insida vägg så att installationer av olika slag kan dras i väggen utan att perforera plastfolien och orsaka onödigt läckage. För att mäta en byggnads luftläckage används en fläkt som successivt ökar trycket inne i byggnaden. Trycket i byggnaden ökas i steg till 50 Pa, och ett avläsningsrör visar vilket luftflöde som krävs för att behålla detta tryck enligt figur 2.7. Luftflödet som avläses är lika med flödet som läcker ut. För att få en noggrann mätning görs en mätserie där trycket ökas till +50 Pa (övertryck) och en mätserie där trycket ändras till -50 Pa (undertryck) och sedan används ett snitt av resultaten. För att hitta eventuella luftläckage i plastfolien används en värmekamera eller rök. När dessa prover utförs är det viktigt att tätta alla ventiler, vattenledningar och andra håligheter så att mätningen blir korrekt.



Figur 2.7 Tryckavläsningsrör anger hur stort flöde som krävs för att behålla trycket.⁴⁰

³⁸ http://www.euronorm.se/filer/PB_ExoSol_OPC_10-0710-299.pdf 2008-02-14.

³⁹ FEBY, 2007.

⁴⁰ http://www.ebd.lth.se/fileadmin/energi_byggnadsdesign/images/Utbildning/AEBF01/foerelaesning_air-tightness_080214.pdf 2008-02-18.

3 Beskrivning av Bokliden i Mörarp

3.1 Allmän beskrivning

I Mörarp, ett litet samhälle i Helsingborgs kommun, görs för tillfället en tillbyggnad av ett äldreboende vid namn Bokliden. Idag innefattar Bokliden 31 bostäder som är uppdelade i två avdelningar med 15 respektive 16 lägenheter. Där finns samlingsrum, kök, personalrum och konferensrum. På grund av ökad efterfrågan behöver nu boendet byggas ut. Tillbyggnaden kommer att omfatta 13 nya lägenheter där varje lägenhet är 35 m². Det kommer även att finnas gemensamma ytor så som matsal och samlingsrum samt mindre tvätt- och städutrymmen. Totalt kommer tillbyggnaden att bli 670 m² BRA och byggas enligt passivhusprincipen. Nybyggnationen utförs av Byggmästarna i Skåne och ansvarig beställare är Bengt O Andersson på Kärnfastigheter. Tillbyggnaden påbörjades 2007 och planeras att vara inflyttningsklar i oktober 2008.⁴¹

3.2 Projekt Bokliden

Projekt Bokliden har fungerat bra och de ligger före i tidsplanen. Eftersom projekteringen varit så välgjord har inga stora problem uppstått. Det uppstod ett mindre problem då takpappen skulle läggas. I normala fall räcker det att spika fast pappen men då den var så tät klarade spiken inte att hålla kvar denna då det började blåsa. För att pappen inte skulle lyfta och flyga av, fick byggarna lägga regler för att tynga ner den som figur 3.1 visar.



Figur 3.1 Takpappen sätts på plats.

Tätningen av fönster och dörrar fungerade bra, det är viktigt att vara noggrann på dessa ställen då det finns många skarvar. Mätningar har gjorts för att se hur täta skarvarna i väggar och runt fönstren är. Mätningarna utfördes av Mattias

⁴¹ Bülow-Hübe, H 2008:4 Artikel.

Stenström på A-K konsult. En behållare som innehåller rök används för att hitta otätheter i plasten. När rök sprutas mot en skarv och virvlar bort innebär det att där finns ett läckage som figur 3.2 visar.

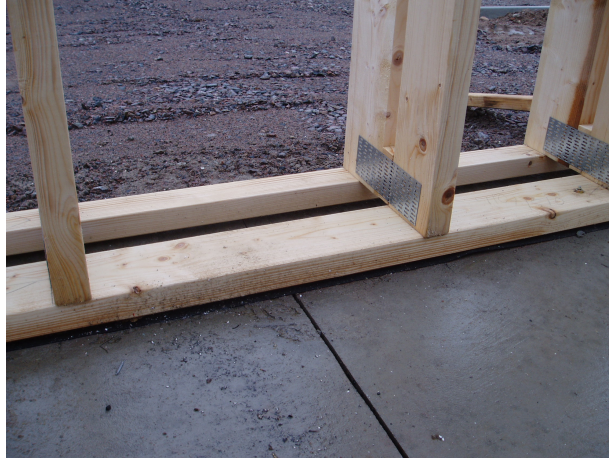


Figur 3.2 Undersökning av läckor med hjälp av rök.

En viktig del av ett sådant här bygge är att det finns en god kommunikation mellan de olika hantverkarna. Det uppstod ett litet problem med ventilationsdragningen. Ventilationen drogs först vilket gjorde att elektrikern inte kunde komma åt. I ett vanligt hus hade elen i dragits en annan väg men då plasten inte får penetreras blev detta ett problem. Detta visar vikten av att ha bra kommunikation mellan de olika parterna. Framåt jul var plattan klar och väggarna och taket var resta. Under det två veckor långa juluppehållet installerades två värmefläcktar för att påskynda uttorkningen av plattan. Efter mätningar av betongplattan framgick att den hade 90 % fuktighet och golvläggaren får inte lägga golv över en fuktighet på 85 %. För att minska vattnet i plattan har ett medel som heter Penetron tillsatts i betongen. Penetron ska binda upp vattnet kemiskt och på så sätt kan installationer utföras snabbare. Medlet tillsätts redan på betongstationen.⁴²

För att få rätt på akustiken mellan lägenheterna skärs en slits under de lägenhetsskiljande väggarna som figur 3.3 visar. I denna slits läggs en gummlist som ska absorbera stomljudet. Risken med denna metod är att ifall total täthet ej erhålls så kan kall luft läcka upp från marken och förstöra passivhuskonceptet. En annan risk med slitsen om den inte blir helt tät är att radon kan sippra upp från marken och vidare in i huset.

⁴² <http://www.penetron.com/en/2007%20Penetron%20brochure.pdf> 2008-06-17



Figur 3.3 Slitsar som motverkar ljudöverföring.

För att minska köldbryggorna i väggen används lösull. Som figur 3.3 ovan visar består den bärande ytterväggen av två delar, en bärande och en icke bärande regel. När väggarna är plastade och klara pumpas lösullen in med hjälp av en stor pump. Figur 3.4 visar hur en färdig vägg, fylld med lösull, ser ut. Även taket fylldes med lösull. Tak och väggar är sammansatta så lösullen pumpas in i taket och faller sedan ner i väggarna. Tanken med lösull är att den ska lägga sig mellan reglarna där vanliga mineralullskivor inte kommer åt och på så vis minska köldbryggorna. När detta utfördes blev det inte riktigt som tänkt eftersom lösullen inte kom mellan reglarna, vilket berodde på att mellanrummet var för litet enligt figur 3.5. För att undvika detta i framtiden kan den icke bärande regeln vara mindre så att mellanrummet mellan reglarna blir större.



Figur 3.4 Vägg fylld med lösull.



Figur 3.5 Bilden visar att lösullen inte kommer mellan reglarna.

Taket är uppbyggt med två 6,4 m Kertobalkar som är ihopskarvade på mitten. Kertobalkar är träfanér som är ihoplimmade i flera lager, till skillnad från limträbalk är kertobalkens fanéer vertikala. För att få plasten tät i taket kläms den fast mellan de bärande reglarna och kertobalkarna enligt figur 3.6. Skarvarna klistras sedan ihop för att säkerställa en tät konstruktion.



Figur 3.6 Uppbyggnad av kertobalkarna. Plastfolien ovanpå bärande vägg är lagd för att plastfolien skall kunna föras fram kontinuerligt i tak. Skarvarna klistras sedan ihop.

3.3 Uppvärmning

3.3.1 Värmeväxlare och ventilation

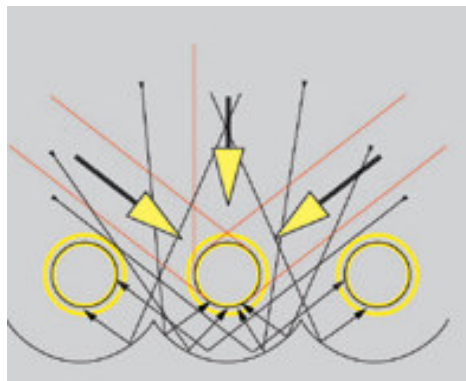
Uppvärmning av nybyggnaden kommer främst att ske genom ett centralt FTX-system för den nya vingen som har en kapacitet på 500 l/s. I denna sker återvinningen med en roterande värmeväxlare, regenerativt system, som har en värmeåtervinningsgrad på 81 %. För att få rätt tilluftstemperatur installeras ett elektriskt värmebatteri.

Undersökningar visar att det i ett äldreboende finns önskemål om en högre inomhustemperatur och radiatorer valdes därmed av ekonomiska skäl. De

radiatorer som installerats är vattenfyllda. För att värma upp vattnet används en gaspanna som finns i den befintliga byggnaden.⁴³

3.3.2 Solfångare

En solfångare kommer att byggas på den redan befintliga delen av byggnaden. Placering av solfångaren sker i söderläge med en lutning på 45°. Solfångarens absorbatörer utgörs av glaströr och inuti dessa finns två kopparrör. I kopparrören cirkulerar en vätska som förflyttar värmeenergin till en värmeackumulator där energin kan lagas. Enligt tillverkaren kan solfångaren leverera 590 kWh/m² år. För att solfångare ska få maximalt infång av solljus har en parabolliknande bakgrund tillverkats enligt figur 3.7. På så vis kan solfångaren tillgodoräkna sig mer indirekt solljus när solens strålar reflekteras mot bakgrunden.

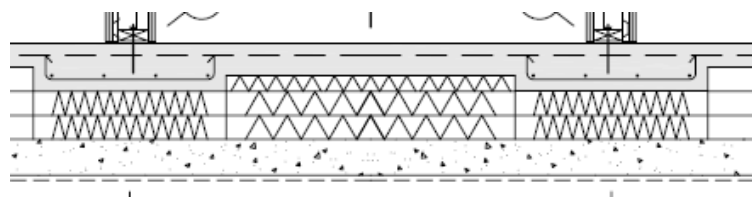


Figur 3.7 Solfångaren har en parabol liknade bakgrund för bättre solintag.⁴⁴

3.4 Konstruktion

3.4.1 Platta

Byggnaden består av en betongplatta på mark som är 100 mm tjock och har 300 mm underliggande isolering. Då plattan har fyra bärande punkter har den gjorts tjockare på dessa ställen för att klara av punktlaster enligt figur 3.8. Enligt projektering är plattans medel U-värde 0,11 W/m²K.



Figur 3.8 Platta på mark. Bilden visar två ställen där betongen gjorts tjockare på grund av punktlaster.⁴⁵

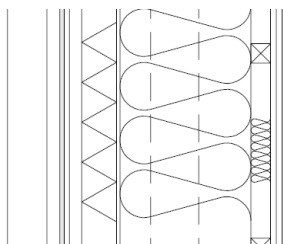
⁴³ http://www.epecon.se/pdf/Deco-Deco%20Integra_sept06.pdf 2008-02-20.

⁴⁴ http://www.euronom.se/filer/PB_ExoSol OPC_10-0710-299.pdf 2008-02-14.

⁴⁵ Bygghandling för Bokliden.

3.4.2 Yttervägg

Väggkonstruktionen enligt figur 3.9 består av fogfritt ventilerat putssystem på en 12 mm fasadskiva. För att få ett dränerande skikt i väggen sätts 28x70 mm luftningsläkt innanför putsen. Därefter följer 80 mm expanderad cellplast och 4,5 mm minerit vindstopper. Träreglarna är prefabelement som är 45x300 mm c/c 600 mm varav en bärande inre del bestående av 45x120 mm regel. Mellan plastfolien och vindstoppern sprutas lösull in. Lösullen täcker in träkonstruktionen och på så sätt minimeras köldbryggorna. De bärande reglarna är streckade på figur 3.9 nedan. När plastfolien satts på plats sätts 45 mm horisontella regler c/c 450 mm, mellan reglarna fästs 45 mm mineralull. På insidan skulle det sättas två 12,5 mm gipsskivor med brandklass R-30, men detta ersattes av tre lager 13 mm standard gipsskivor vilket motsvarar samma brandklass.



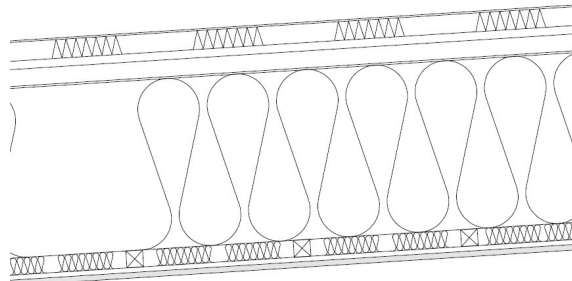
Figur 3.9 Väggenomsnitt..⁴⁶

3.4.3 Tak

Taket består av en bärande träkonstruktion med låg lutning enligt figur 3.10. Tätskikt av takpapp läggs direkt på 50 mm expanderad cellplast, som fästs på 20 mm råspont. Under denna kommer en luftspalt på 45 mm. Läkten som skapar luftspalten fästs på en oljehärdad träfiberskiva som i sin tur spikas direkt i kertobalkarna 57x450 mm c/c 1200 mm. Innanför denna kommer plastfolien. Utrymmet mellan kerto-balkarna, träfiberskivan och plastfolien fylls med 450 mm lösull. Under plastfolien korsläggs 45x45 mm c/c 600 mm regler för att ge utrymme för elinstallationer. Mellan reglarna läggs 45mm isolering. Isoleringen skulle täckas med två lager 15 mm gipsskivor med brandklass R-60 men ersattes, precis som i väggen med tre lager 13 mm standard gipsskivor. Cellplasten som ligger på råsponten i det yttersta skikt har ingen isoleringsfunktion utan är enbart till för att förhindra kondens. Under stjärnklara nätter finns det risk att nattutstrålningen sänker temperaturen på råsponten, medan temperaturen på luften i spalten kan vara lika med utetemperaturen. Detta kan medföra kondens på råsponten vilket kan leda till fuktproblem. Enligt projekteringen ska taket ha ett U-värde på 0,08 W/m²K.⁴⁷

⁴⁶ Bygghandling för Bokliden.

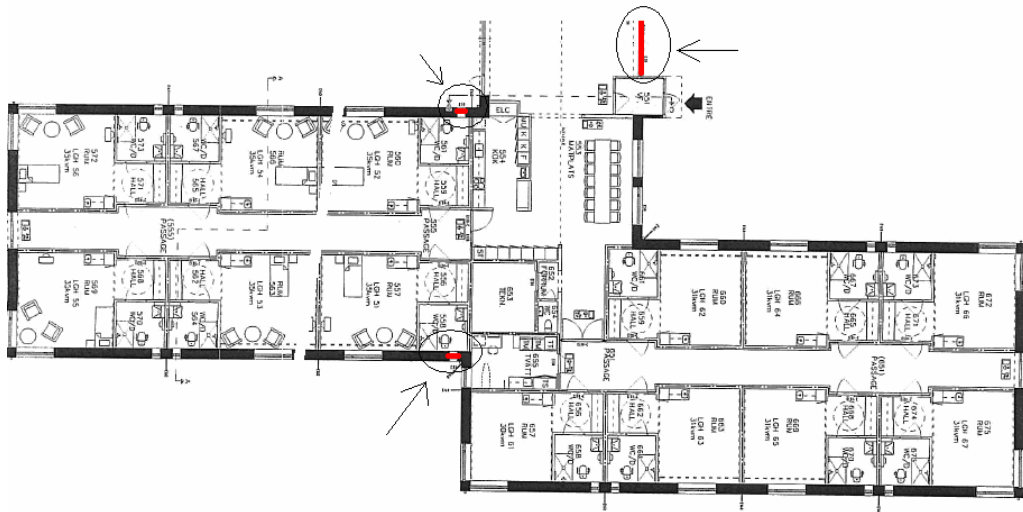
⁴⁷ Ibid.



Figur 3.10 Takgenomsnitt.⁴⁸

3.4.4 Brandskydd

För att förhindra spridning av eventuella brandgaser har ventilationskanalen i varje lägenhet utrustats med en backventil. Varje rum har en brandsensor som är kopplad till ventilationssystemet. Skulle brand uppstå i ett av rummen stoppas utsuget från lägenheten så att brandgaser inte sprids vidare. För att få ett extra brandskydd mellan olika brandceller används tre lager gips i väggarna. I inåtgående hörn, där två fönster från olika brandceller vetter mot varandra, ska ett utav fönstren vara brandklassade. På vårdboende ska fönstren vara klassade som E30, vilket innebär att de ska vara brandsäkra i 30 min. Figur 3.11 ett visar vilka tre fönster på Bokliden som är brandklassade fönster.



Figur 3.11 Brandfönsterplacering.⁴⁹

3.4.5 Akustik

För att stegljud inte ska överföras mellan lägenheter sågas det en skåra under de lägenhetsskiljande väggarna. Denna skåra skär genom betongplattan och första lagret av isolering. För att stegljudet ska brytas används en gummilist

⁴⁸ Bygghandling för Bokliden.

⁴⁹ Ibid.

som pressas ner i skåran. Gummilisten absorberar ljudet samt tätar mot eventuell fukt som kommer från marken. Ventilationssystemet projekteras för att uppfylla följande ljudkrav:⁵⁰

Tabell 3.1 Ljudkrav.

Utrymmen	Ljudnivå (dB)
Boenderum	30
Matsal, Vardagsrum	35
Personalrum	35
WC, Städ, Tvätt	35

3.5 Klimatskal och täthet

Huset projekterades med följande U-värden i klimatskalet: väggarna utförs med 0,11 W/m²K, tak med 0,08 W/m²K, golv i medeltal 0,11 W/m²K. Alla fönster har U-värde 0,9 W/m²K förutom några brandfönster som har U-värde 1,8 W/m²K. Täthetskravet för byggnaden är projekterat till 0,20 - 0,30 l/s m² vid +/-50 Pa.⁵¹

Tabell 3.1 Projekterade U-värden i Bokliden.

Byggnadsdel	U-värde W/m ² K (enligt projektering)
Tak	0,08
Platta	0,11
Väggar	0,11
Fönster	0,90
Brandfönster	1,80

3.6 Extra åtgärder vid projektering

3.6.1 Konstruktören

Vid val av konstruktion fick nya frågeställningar beaktas jämfört med ett vanligt projekt. En huvudfråga blev att undvika invecklade konstruktioner och istället skapa så enkla lösningar som möjlig för lättare säkerställa byggnadens täthet vid utförandet. I ett samarbete mellan Helena Bülow-Hübe, teknisk doktor och sakkunnig i energi på Tyréns i Malmö och Lars-Owe Nygårdh,

⁵⁰ Bygghandling för Bokliden.

⁵¹ Ibid.

konstruktör på Paragon Helsingborg utarbetades lämpliga detaljlösningar vid kritiska punkter för att minimera köldbryggor.⁵²

3.6.2 VVS-projektören

Vid projekteringen utgick VVS-projektören från de krav som utarbetats för passivhus och valde ett fläktaggregat med återvinning med roterande växlare. Eftersom byggnaden är ett äldreboende är känsligheten för drag större, och temperaturkravet är generellt sett högt i dessa verksamheter. I detta fall är den önskade innetemperaturen i vinterfallet satt till 23°C. Projektören ville undvika risk för kalla golv och var orolig för att omblandningen blir dålig vid luftvärme och inblåsning från taket. Vidare är varje lägenhet något isolerad, genom den isolering som ligger i mellanväggar av akustiska skäl. Om den tillförda värmen i olika rum skiljer sig åt är det svårt att åstadkomma rumsvis styrning om värmen distribueras med luft med ett centralt fläktaggregat. Dessa skäl medförde att vattenburna radiatorer valdes i lägenheterna. Eftersom tätheten är viktig i ett passivhus lade projektören stor vikt vid att minimera antalet genomföringar. Bland annat valdes en köksfläkt med kolfilter istället för en köksfläkt med frånluft. De genomföringar som inte kunde undvikas ska tätas noga. En värmemängdsmätare kommer också installeras för att kunna göra uppföljningar av energianvändningen.⁵³

3.6.3 El-projektören

Utgångspunkten för el-projektören var att inte göra genomföringar i plastfolien. Genom att dra rören i golvets betongplatta kunde genomföringar i väggarna därmed undvikas. Byggnaden ska också utrustas med elmätare för avläsning av energianvändningen.⁵⁴

3.6.4 Entreprenören

Eftersom passivhusprincipen var ny för entreprenören krävdes det alla inblandade hade kunskap om principen, vilket kunde säkerställas genom utbildning. Utbildningen genomfördes vid två tillfällen på byggplatsen i form av föreläsningar och diskussioner med samtliga inblandade.⁵⁵

⁵² Nygårdh, L-O 2008-04-09 Intervju.

⁵³ Rova, L 2008-04-09 Intervju.

⁵⁴ Elmfors, R 2008-04-09 Intervju.

⁵⁵ Lysebring, B 2008-03-31 Intervju

4 Antaganden för energisimuleringar

4.1 Energiberäkningsprogrammet VIP+

Företaget Skanska utvecklade 1990 energiberäkningsprogrammet VIP+ för uppskattning av byggnaders energianvändning.⁵⁶ Uppvärmning, tappvatten och elförbrukning kan beräknas. Vanligtvis görs beräkningar över ett år men kan även utföras under kortare perioder. För att få så korrekta resultat som möjligt görs beräkningar med ett tidssteg om en timme. Beräkningarna tar bland annat hänsyn till utomhusklimat, läge, sol, vind, värmelagring, och temperaturkrav (hur varm inomhusluften ska vara). I programmet tar man även hänsyn till värme- och ventilationssystemet. Programmet har nämligen enklare modeller för olika typer av installationer som t ex olika former av ventilationssystem (F, FT, FTX), värmepumpar, kylmaskiner, solvärmesystem, golvvärme etc.

VIP+ använder sig av förinställda klimatdata för olika orter. På så vis kan ett varierande utomhusklimat simuleras. Tanken med programmet är att bygga upp en modell av en byggnad vars energiförbrukning ska beräknas, för att sedan kunna ändra variabler för att få byggnaden så energieffektiv som möjligt. Programmet tar även hänsyn till byggnadens stomme för att beräkna lagringsvärme. Ju tyngre stomme som används desto större mängd värme kan byggnaden lagra. En nackdel med programmet är att det är optimerat för beräkning av hela byggnader medan dimensionering oftast sker rumsvis.⁵⁷

4.2 Interna värmestillskott

Genom att studera antalet elektriska apparater och hur mycket de används kan antaganden göras om hur stort det interna värmestillskottet är för Bokliden. Elektriska apparater innefattar i detta fall lampor, kyl, frys, tvättutrustning, TV och spis. Samtliga lampor har antagits vara 18 W lågenergilampor. Bedömningar har även gjorts av personal och patienters rörelse i den befintliga byggnaden. Ju mer de rör sig, desto större mängd värmeenergi avger de. Utifrån detta kan antaganden om storleken på interna värmestillskottet göras för tillbyggnaden. Tabell 4.1 visar antalet elektriska apparater, tiden de beräknas vara påslagna samt antalet personer i byggnaden under ett dygn.

⁵⁶ Allansson, S & Sundqvist, H 2006:45.

⁵⁷ VIP+ version 5.0 manual.

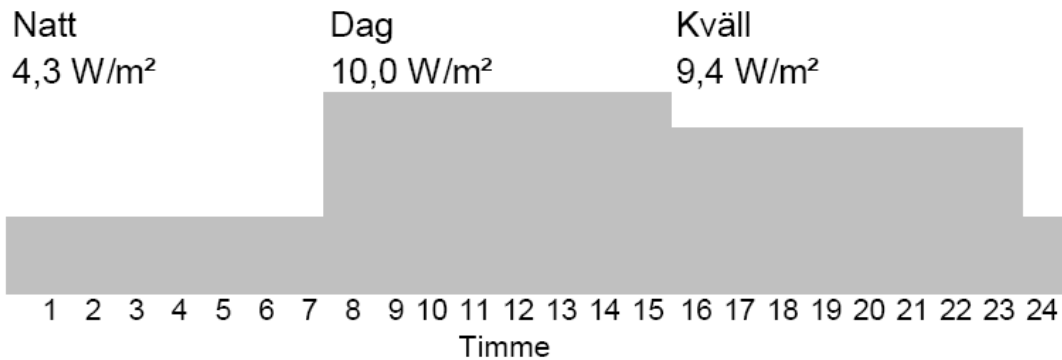
Tabell 4.1 Inventering av elektriska apparater och personer.

	Antal	Effekt (W)	Tid	Avgiven effekt (W)	Internlast (W/m ²)
Korridor					
Vägglampa	16	18,0	24		
Taklampa					
Alltid tänd	3	18,0	24		
Övriga	20	18,0	3		
Nödutgång	7	18,0	24		
				513,0	0,76
Lägenhet					
Taklampa	39	18,0	5		
Bordslampa	13	18,0	6		
				204,8	0,30
Kök					
Spis	1	2000,0	1		
Taklampa	7	18,0	12		
Kyl	2	100,0	24		
Frys	1	120,0	24		
				466,3	0,69
Samlingsrum					
TV	1	270,0	5		
Bordslampa	4	18,0	8		
				80,3	0,12
Tvätt					
Tvättutrustning	4	1000,0	15		
				2500,0	3,71
Personer					
Personal	2,5	100,0	24		
Patienter	13	100,0	24		
				1550,0	2,30
Genomsnitt					7,88

Det största värmestillskottet sker under dag- och kvällstid då personaltätheten är större och flera aktiviteter pågår bland annat tvätt, städning samt uppvärmning av patienters mat. Under dagen och på kvällen befinner sig patienterna ofta i korridorer och samlingsrum. Internlastschemat i figur 4.1 ger en överblick över när och hur stort värmestillskottet är under dagen. I genomsnitt på hela dygnet ger detta ett värmestillskott på 7,9 W/m², varav 5,6 W/m² är processenergi och resterande är personenergi. Detta medför en årlig energianvändning på 49 kWh/m² verksamhetsel. Ett alternativ till beräkning av processenergi kan vara med hjälp av energistatistik från år 2007, över Boklidens äldreboende, framtagna av Kärnfastigheter. Statistiken visar en energianvändning på 89,3 kWh/m², vilket medför processenergi på 10,2 W/m². Detta alternativ är dock inte lämpligt då statistiken inte visar vad som ingår i förbrukningen.⁵⁸

⁵⁸ Redzepagic, S 2008-01-25 Intervju.

Intenlastschema

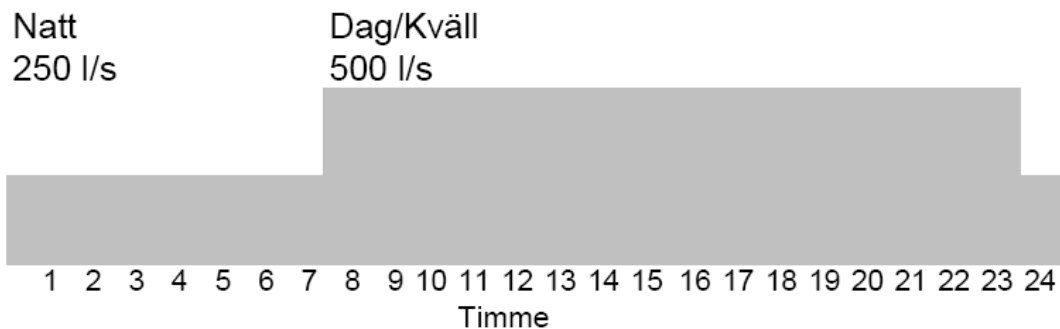


Figur 4.1 Schema över Boklidens värmeförbrukning över ett dygn.

4.3 Ventilation

Antaganden är gjorda för att dra ner energianvändningen, genom att halvera ventilationsflödet från 500 l/s enligt bygghandlingarna till 250 l/s under natten. Ventilationsschemat i figur 4.2 visar hur flödet varierar under dygnet.⁵⁹ Enligt Boverkets byggregler är kravet för luftomsättning 0,35 l/s, m². Trots att ventilationen sänks nattetid uppfylls detta krav. Dagtid är luftomsättningen 0,74 l/s, m² vilket är mer än dubbelt så mycket som Boverkets byggregler har som lägsta krav. Då aktiviteterna och antalet personer i rörelse minskar under natten sänks luftomsättningen till 0,37 l/s, m².⁶⁰

Ventilationsschema



Figur 4.2 Schema över Boklidens ventilation över ett dygn.

⁵⁹ Bygghandling för Bokliden

⁶⁰ Boverket 2006:124 (BFS 2006:12)

4.4 Uppvärmning av varmvatten

Med hjälp av statistik över Boklidens energiförbrukning kan den årliga energiåtgången för uppvärmning av varmvatten uppskattas. Ett genomsnitt från 2005 till 2007 års energianvändning i juni, juli och augusti ger en total energiåtgång på 36 kWh/m² för uppvärmning av varmvatten. Under sommarmånaderna antas att ingen energi går åt till uppvärmning av fastigheten. Den energi som används under sommaren går till att värma upp vatten. Med resurseffektiva engreppsblandare kan energiförbrukningen sänkas ytterligare 20 % vilket medför en energiåtgång vid varmvattenberedning på 29 kWh/m². Eftersom solfångare installeras på Boklidens befintliga byggnad kommer det sänka den totala energiåtgången för hela byggnaden. Däremot är det osäkert hur stor del av denna energitillförsel som kommer att överföras till utbyggnaden. Därmed utesluts solenergi från beräkningen av den totala energianvändningen för varmvattenberedning.

Ett alternativ till beräkning av energianvändning för vattenuppvärmning kan vara att använda sig av schablonvärden. I detta fall antas att 35 % av den totala vattenförbrukningen är varmvatten. Då den totala vattenförbrukningen ligger på 2066 m³ ger detta en varmvattenförbrukning på 620 m³ om 35 % av total vattenförbrukning antas vara varmvatten.⁶¹ Enligt ekvation 2 ger detta en energiförbrukning för uppvärmning av vatten på 20,6 kWh/m².⁶²

$$E_{vv} = V_{vv} \cdot 55/A_{temp} \text{ [kWh/m}^2\text{]}$$

*Ekvation 4.1 Energiförbrukning för uppvärmning av vatten.*⁶³

Detta ger en inblick i hur svårt det är att uppskatta energiåtgången för uppvärmning av vatten. I denna rapport kommer 29 kWh/m² att användas för total energianvändning för varmvattenberedning på Bokliden.

⁶¹ Boverket rapport 2002:19.

⁶² FEBY, 2007.

⁶³ Ibid.

4.5 U-värden

Vid simulering av Bokliden är det följande U-värden och ytor som har använts. Se tabell 4.2.

Tabell 4.2 Beräkning av u_{medel} .

Yta	U-värde (W/m ² K)	Area (m ²)	U×A (W/K)
Golv, Yttre randzon	0,12	144,80	17,96
Golv, inre randzon	0,11	529,90	57,23
Ytterväggar	0,11	260,90	27,66
Fönster (U-värde 0,9)	0,90	78,70	70,83
varav karm, ca	1,40	22,93	32,10
varav glas, ca	0,70	55,77	39,04
Fönster (U-värde 1,8)	1,80	7,94	14,29
Dörrar (U-värde 0,9)	0,90	12,02	10,82
Tak	0,08	783,70	65,05
$\sum A / \sum U \times A$		1 817,96	264,14

Köldbryggor	ψ (W/mK)	Längd (m)	$\psi \times L$ (W/K)
Grundsula - vägganslutning	0,03	142,49	3,56
Fönsterinfästning	0,04	211,13	8,45
Tak - vägg	0,04	142,49	5,70
$\sum \psi \times L$			17,71

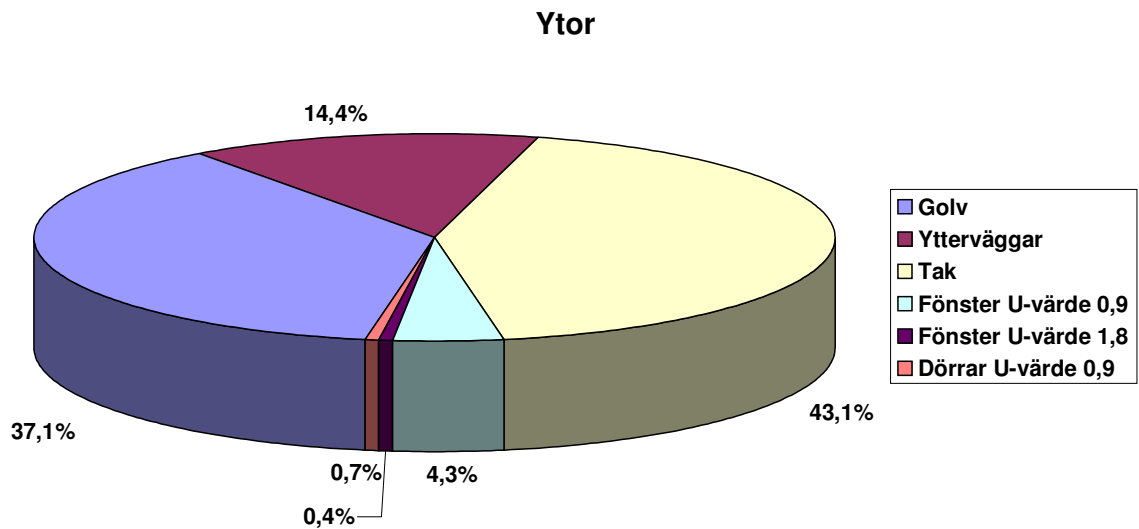
$\sum U \times A$ inklusive köldbryggor

281,84

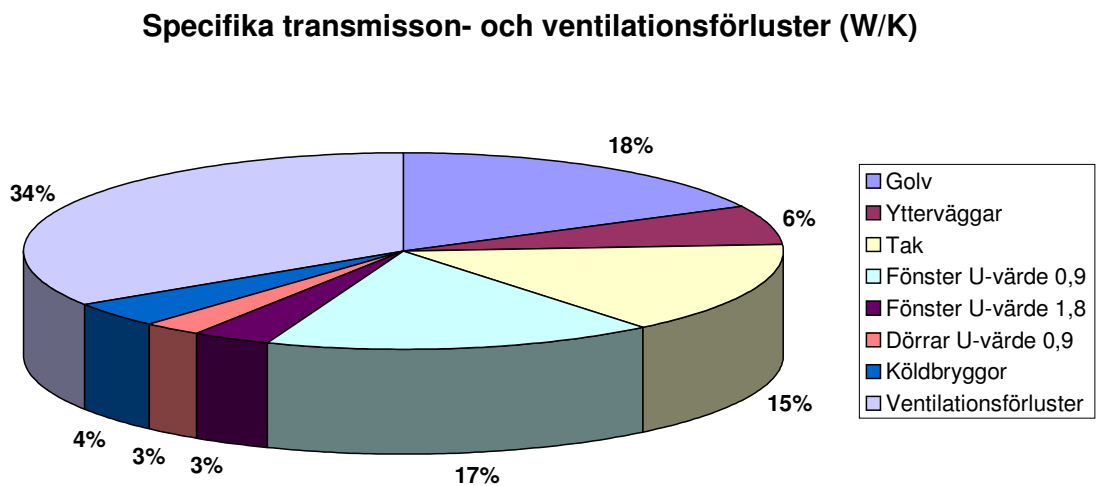
U_{medel} (W/m²K)

0,16

Figur 4.3 visar hur stor andel olika byggdelar upptar av den totala ytan. I figur 4.4 har dessa värden använts för att visa var och hur stora värmeförlusterna är inklusive ventilationsförluster och köldbryggor. Detta visar var det är viktigt att tänka på att använda låga U-värden.



Figur 4.3 Andel av total yta på bygghälsedelarna.



Figur 4.3 Fördelning av specifika transmissions- och ventilationsförluster (W/K).

5 Parameterstudie

För att undersöka huruvida Bokliden kan klassificeras som passivhus har en rad olika simuleringar genomförts med hjälp av energiprogrammet VIP+. Utgångspunkt är ett basfall som överensstämmer med indata från den tänkta konstruktionen och driften med ett antagande att hela huset ses som en lägenhet, det vill säga att enbart klimatskalet finns med i modellen. Indata för basfallet är:

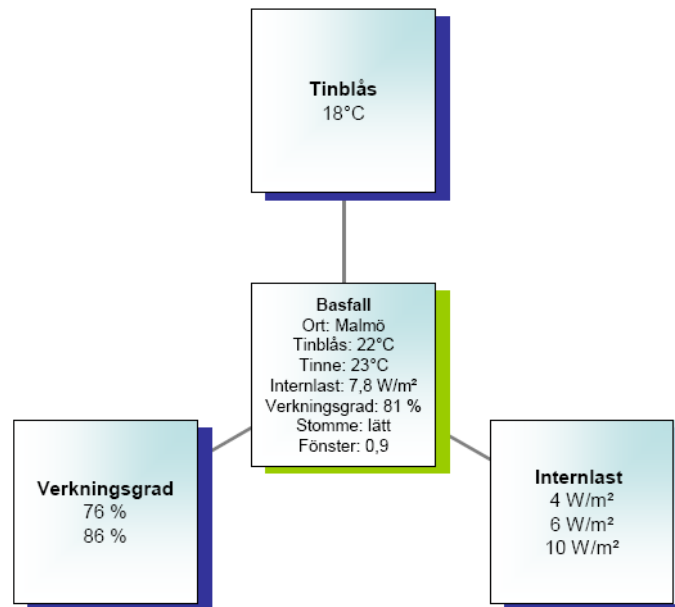
- T_{inne} : 23°C
- $T_{\text{inblås}}$: 22°C
- Internlast: 7,8 W/m²
- Verkningsgrad: 81 %
- Stomme: lätt
- Klimatdata: Malmö
- Fönster: U-värde 0,9 (U-värde 1,8 på tre brandfönster)
- Täthet: 0,2 l/s, m²

Dessa parametrar kommer att varieras i två studier för att undersöka hur effekt- och energibehovet påverkas.

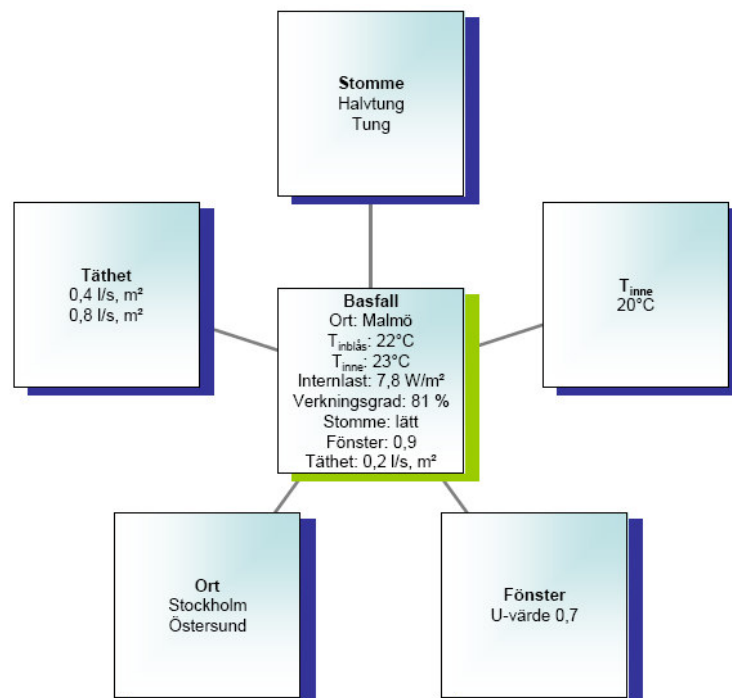
I den första studien ingår parametrarna internlast, inblåsningstemperatur och värmeväxlarens verkningsgrad. Parametrarna kommer att varieras på flera sätt för att se vilken parameter som påverkar effekt- och energibehovet mest enligt figur 5.1. Internlasterna kommer att varieras två steg upp till 10 W/m² och ned till 6 W/m² från det ursprungliga värdet på 7,9 W/m². Dessutom kommer en simulering göras med 4 W/m² för att den ska stämma överens med kravspecifikationen för passivhus. Inblåsningstemperaturen kommer att sänkas från 22°C till 18°C. Värmeväxlarens verkningsgrad kommer att sänkas från 81 % till 76 % men även höjas till 86 %.

I den andra studien kommer en parameter i taget jämföras med basfallet som utgångspunkt enligt figur 5.2. Parametrar som kommer att varieras är byggnadens stomme, ort för klimatdata samt innetemperaturen. Samtliga fönsterytor får ett lägre U-värde. Stommen kommer att varieras från lätt träkonstruktion till tung, helt i betong, samt en halvtung med betongväggar och takkonstruktion i trä. Därefter kommer simuleringar att utföras där klimatorten ändras från Malmö till Stockholm respektive Östersund. Innetemperaturen kommer att sänkas från 23°C till 20°C för att anpassas till kravspecifikationen för passivhus. Samtliga fönster och dörrar får U-värdet 0,7 utan någon hänsyn till behov av brandklassade fönster. Täthetskravet kommer att höjas från 0,2 l/s, m² till 0,4 l/s, m² för att sedan höjas till Boverkets tidigare täthetskrav som ligger på 0,8 l/s, m².

Resultatet av dessa två studier kommer att jämföras med krav ställda av Tysklands Institutet för passivhus och rekommendationer från Energimyndigheten.⁶⁴



Figur 5.1 Parameterstudie 1



Figur 5.2 Parameterstudie 2

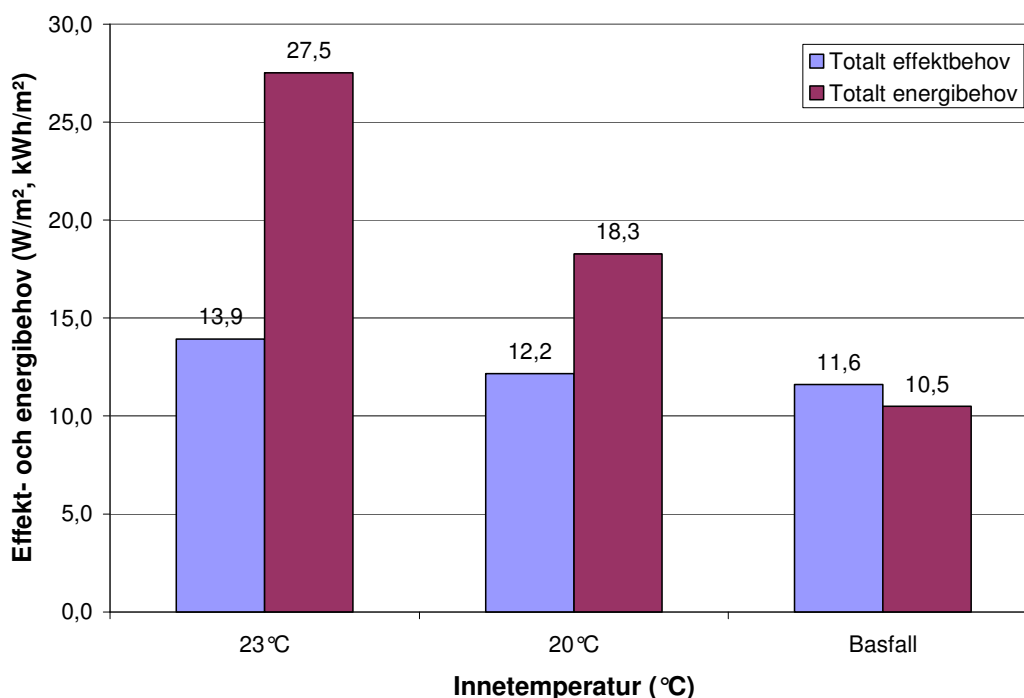
⁶⁴ Bilaga 1

6 Beräkningsresultat

6.1 Kravspecifikation

Kravspecifikationen för passivhus anger att den dimensionerande innetemperaturen skall vara 20°C. Vidare anges att av det interna värmetillskottet får endast 4 W/m² tillgodoräknas vid beräkning av det totala effekt- och energibehovet.⁶⁵ Första simuleringen är utförd enligt dessa krav med en antagen inblåsningstemperatur på 19°C och innetemperatur på 20°C och en verkningsgrad på 81 % för värmeväxlaren vilket är samma verkningsgrad som i basfallet (fall 21). För att kunna göra en jämförelse med Bokliden som äldreboende är nästa simulering utförd med inblåsningstemperatur 22°C och en innetemperatur på 23°C enligt basfallet. Det interna värmetillskottet är fortfarande 4 W/m² (fall 22).

Resultatet som redovisas i figur 6.1 visar att höjning av innetemperaturen gav en relativ liten ökning av effektbehovet, däremot blev energibehovet betydligt större. Detta beror på att det interna värmetillskottet enligt kravspecifikationen är lägre än det beräknade för Bokliden som ligger på 7,9 W/m². För att rumstemperaturen ska bli den efterfrågade krävs att radiatorerna måste avge mer värme, vilket kommer att medföra en ökad energianvändning.



Figur 6.1 Totalt effekt- och energibehov (W/m², kWh/m²) när simulering utförs med internlast efter kravspecifikationen för två olika innetemperaturer (23° respektive 20°) samt efter förväntad drift (basfall).

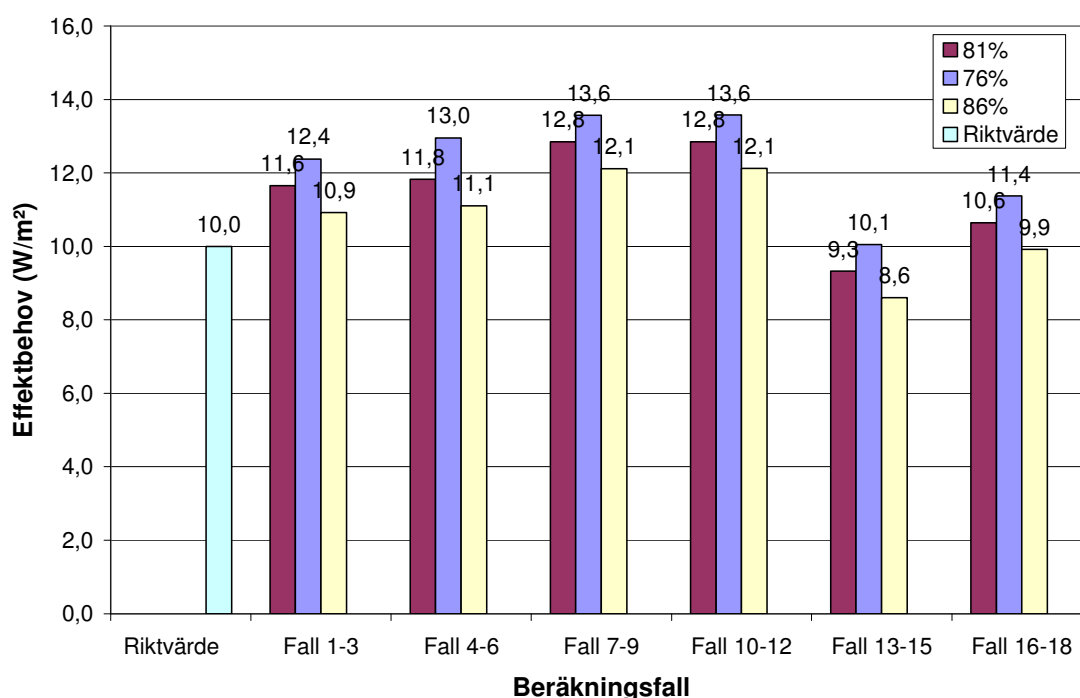
⁶⁵ FEBY, 2007.

6.2 Effektbehov

Figur 6.2 visar en parameterstudie där flera parametrar varierats i beräkningsfallen 1 till 18 för att ge det maximala effektbehovet för uppvärmning av Boklidens tillbyggnad. I samtliga fall jämförs värdena med de effektkrav som Energimyndigheten ställer på passivhus.⁶⁶

Bokliden klarar enbart detta krav när värmertilskottet ökar till 10 W/m² och verkningsgraden på värmeväxlaren är minst 81 % (fall 13 och 15). För en inblåsningstemperatur på 18° C är det däremot bara möjligt att uppfylla kraven med en verkningsgrad på minst 86 % (fall 18). Detta beror på att när interna värmertilskottet sjunker under kvällen och natten, ökar uppvärmningsbehovet från radiatorerna och värmeväxlaren vilket medför ett större effektbehov.

När det interna värmertilskottet ligger på det antagna värdet 7,9 W/m² och verkningsgraden på värmeväxlaren är 81 % överstigs kravet enbart med 1,6 W/m² (fall 1). Genom att öka effektiviteten på värmeväxlarens verkningsgrad till 86 % överstigs kravet endast med 0,9 W/m².



Figur 6.2 Effektbehovet (W/m²) vid beräkningsfall 1 till 18.

⁶⁶ FEBY, 2007.

6.3 Energibehov

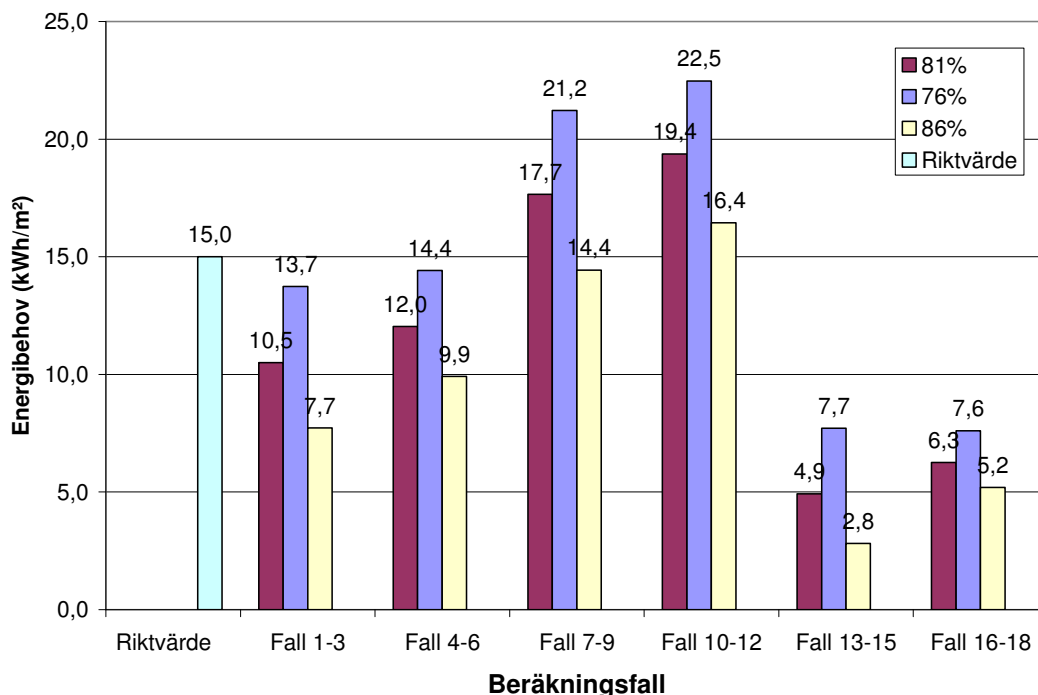
En studie med utgångspunkt i energibehov är gjord där flera parametrar studerats i beräkningsfall 1 till 18 vilket sammanfattas i figur 6.3. Alla resultat jämförs med det tyska Passivhus institutets krav för maximal energiåtgång vid uppvärmning. Detta är dock inget krav som den svenska kravspecifikationen ställer på passivhus utan enbart en rekommendation.⁶⁷

Vid den första simuleringen av Bokliden har indata tagits direkt från bygghandlingarna. Verkningsgraden på värmeväxlaren är 81 % och inblåsningstemperaturen är 22° C. Resterande värms upp av radiatorer för att nå 23° C då det interna värmetillskottet ligger på 7,9 W/m² (fall 1). Genom att sänka värmeväxlarens verkningsgrad till 76 % får det till följd att energibehovet ökar (fall 2). Dock inte lika mycket som när värmetillskottet sänks från 7,9 W/m² till 6 W/m² med den ursprungliga verkningsgraden (fall 7). Om däremot verkningsgraden på värmeväxlaren ökar till 86 % ges ett godkänt värde enligt kravspecifikationens rekommendationer trots att interna värmetillskottet ligger på 6 W/m² (fall 9).

Ytterligare simuleringar visar att en sänkt inblåsningstemperatur till 18° C skulle ge ett högre energibehov (fall 4 till 6). Detta har troligen sin grund i att värmeväxlaren får kyla luften som efter återvinning har en högre temperatur. Eftersom beräkningsresultatet inte visar något energibehov för kylning är detta bara ett antagande. I detta fall är det däremot inte möjligt då Boklidens värmeväxlare saknar kylaggregat. Mekanismen är snarare så att rotorn i värmeväxlaren hade varvat ner när återvinningstemperaturen blivit för hög. Radiatorerna kommer istället att tillgodose det ökade energibehovet.

Om värmetillskottet skulle öka till 10 W/m² ger detta ett betydligt lägre energibehov när inblåsningstemperaturen är 22° C och värmeväxlarens verkningsgrad är 81 % (fall 13) eftersom energibehovet till radiatorerna nästan skulle försvinna. Om verkningsgraden skulle sänkas till 76 % ger detta ett större energibehov (fall 14). I detta fall är energibehovet till radiatorerna oförändrat och behovet går istället till värmeväxlaren. Genom att inblåsningstemperaturen sänks till 18° C ger detta ett större energibehov då verkningsgraden på värmeväxlaren är 81 % respektive 86 % (fall 16 och 18). Detta beror på värmeväxlaren nu inte förser rummet med någon värme utan uppvärmningen står radiatorerna för. När verkningsgraden är 76 % är energibehovet nästan oförändrat jämfört med samma verkningsgrad men inblåsningstemperatur på 22° C (fall 17). Detta beror på att värmeväxlaren täcker en del av värmebehovet så att radiatorerna kräver ett lägre energibehov.

⁶⁷ FEBY, 2007.

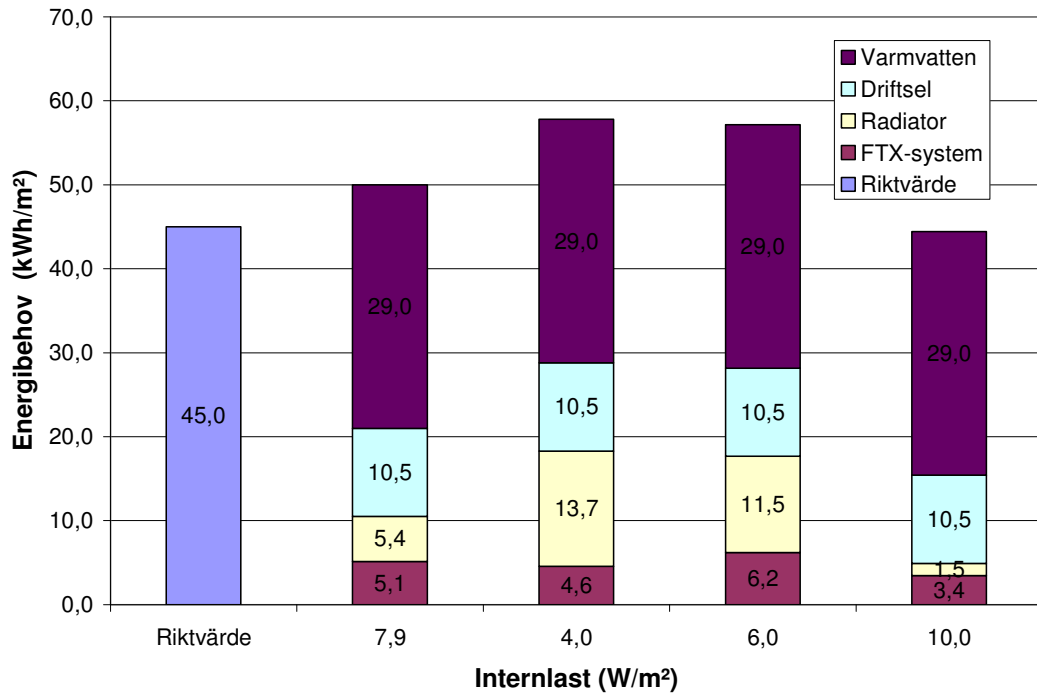


Figur 6.3 Energibehovet (kWh/m²) vid beräkningsfall 1 till 18.

Figur 6.4 redovisar beräkningsfallen 1, 7 samt 13 i relation till Energimyndighetens energikrav för passivhus, där inte bara energiåtgången för uppvärmning visas utan också driftselen och varmvattenberedningen. Första stapeln visar jämförelsetalet som Tyskland ställer på total energiåtgång för uppvärmning.⁶⁸

I samtliga beräkningsfall antas varmvattenberedningen vara konstant då varmvattenbehovet inte förändras allt eftersom det interna värmetillskottet varierar. Energibehovet för driftselen är även den konstant, och utgörs endast av drivning av fläktaggregatet. Andra stapeln visar basfallet som med god marginal klarar det rekommenderade energikravet (fall 1). När värmetillskottet och innetemperaturen minskar till 4 W/m² respektive 20°C ger detta en stor ökning av radiatorernas energibehov däremot minska energibehovet för fläktaggregatet (fall 21). När sedan det interna värmetillskottet minskar till 6 W/m² och innetemperaturen ligger på 23°C sjunker radiatorernas energibehov men fläktaggregatets energibehov gör en liten ökning (fall 7). Anledning till detta är att när mindre värmetillskott kan tillgodoräknas måste värmen tillföras på något annat vis. I detta fall är det radiatorerna som arbetar mer. Skulle däremot värmetillskottet öka till 10 W/m² kommer värmeväxlaren stå för största delen av uppvärmningen då radiatorerna nästan är överflödiga (fall 13).

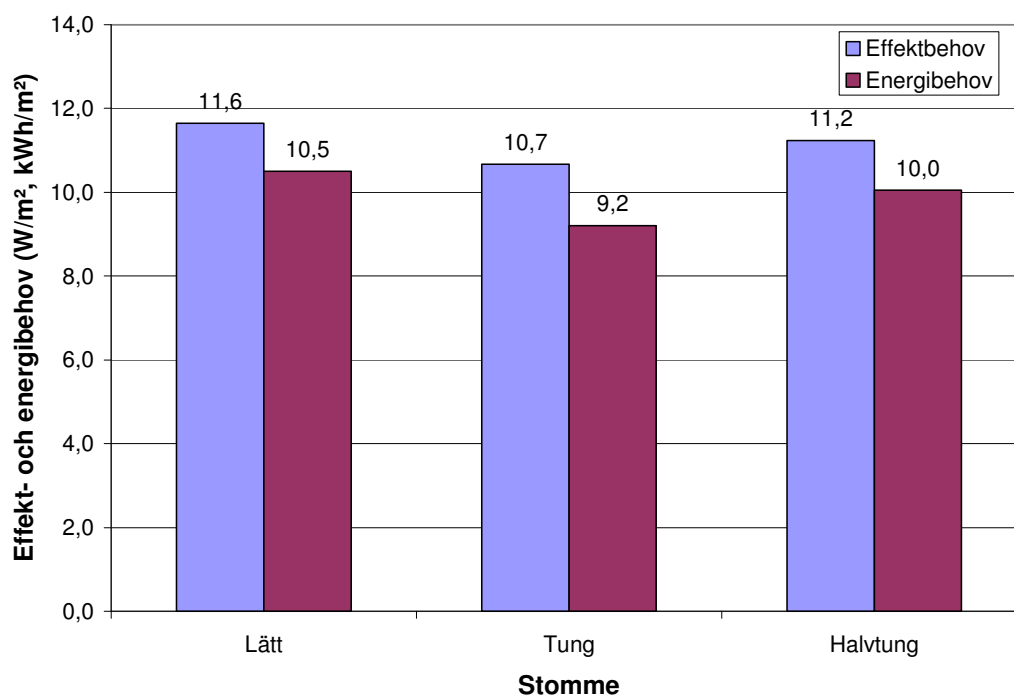
⁶⁸ <http://www.passiv.de/> 2008-01-10



Figur 6.4 Energibehovet (kWh/m²) med varierande internlast jämfört med kravspecifikationen.

6.4 Alternativa stomkonstruktioner

Flera försök att sänka effekt- och energibehovet med hjälp av alternativa stomkonstruktioner är utförda i beräkningsfallen 19 och 20. Det första försöket visar basfallet med en bärande träkonstruktion (fall 1). I nästa simulering är träkonstruktionen i ytterväggarna utbytt mot 200 mm betong (fall 19) och i sista försöket är även takkonstruktionen utbytt mot betong (fall 20). Som diagrammet visar sänks effekt- och energibehovet efter hand då mer betong kommer in i konstruktionen. Detta beror på att värmetrögheten i betong är bättre jämfört med trä.⁶⁹ Det vill säga att på nätterna när det interna värmestillskottet sjunker enligt figur 4.1 kan värme istället avges från väggar och tak, som under dagen har lagrat värmen i betongen. Det tar däremot längre tid för en tung betongkonstruktion att bli varm jämfört med en lätt träkonstruktion. Resultatet redovisas i figur 6.5.

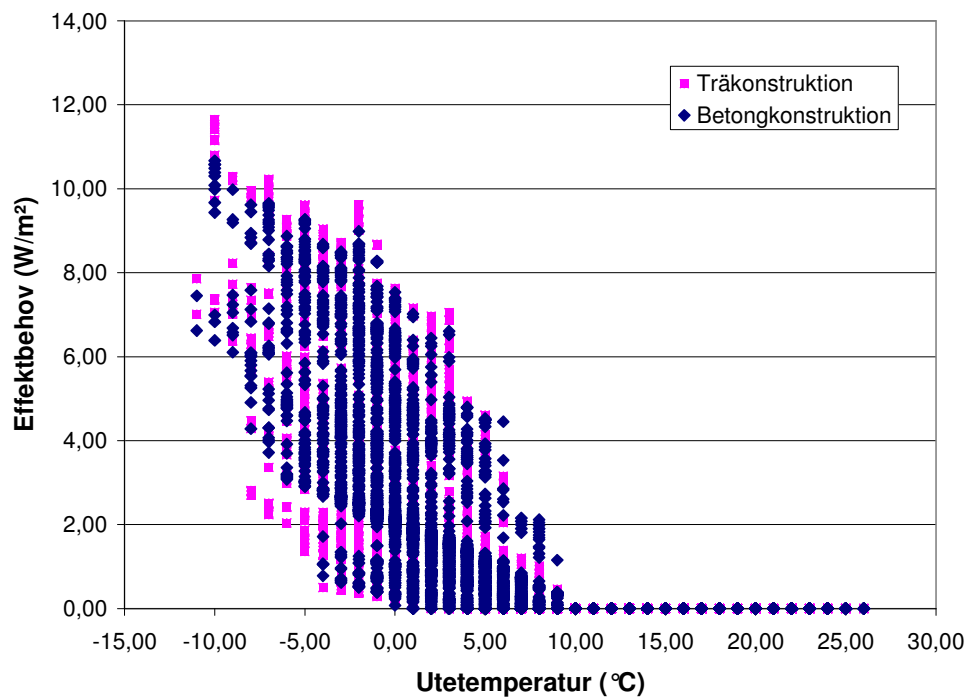


Figur 6.5 Effekt- energibehovet (W/m^2) med varierande konstruktioner.

Figur 6.6 ger en överblick över hur ofta effektkravet överstigs på ett år. Indata för simuleringarna är basfallet men där konstruktionen varierar mellan trä- och betongkonstruktion. Som figur 7.6 visar är det bara en liten del som överstiger kravet på $10 W/m^2$ oavsett om stomme består av trä eller betong. Första simuleringen är utförd med träkonstruktion helt enligt bygghandlingarna (fall 1). Resultatet visade att av årets 8760 timmar var det enbart 16 timmar som effektbehovet översteg kravet. Ett ännu bättre resultat gav däremot nästa

⁶⁹ Warfvinge, C 2001:6.39.

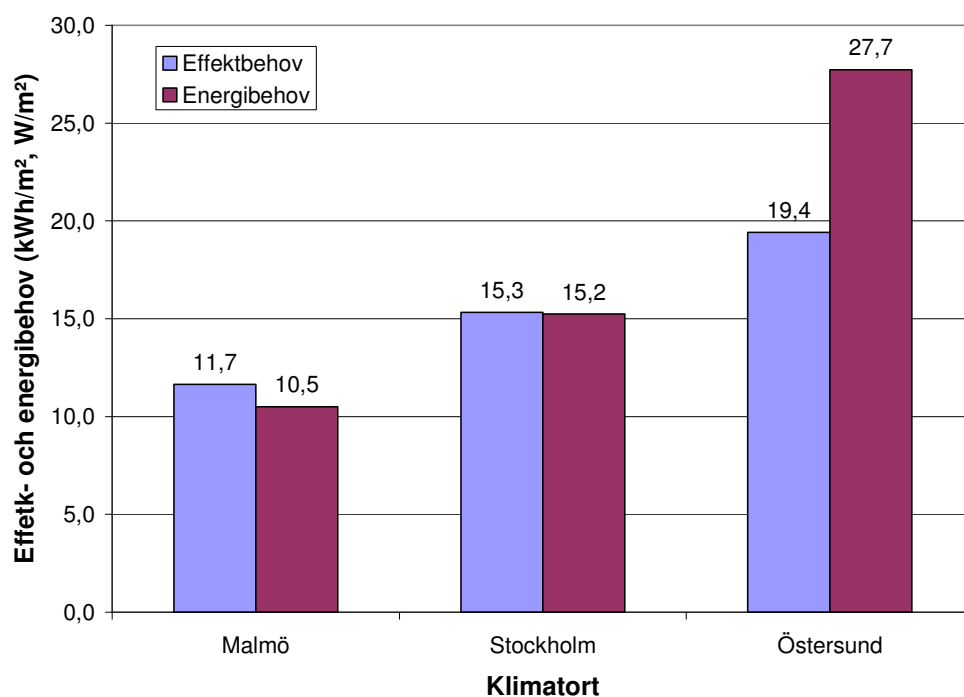
simulering med betongkonstruktion (fall 20). Här är det endast 7 timmar av årets timmar som översteg effektkravet.



Figur 6.6 Effektbehovet (W/m²) med varierande konstruktioner vid 23°C.

6.5 Klimatort

Figur 6.7 redovisar effekt- och energibehovet där Bokliden har placerats i olika klimatorter och klimatzoner. Simuleringarna utförs för klimatort Malmö och Stockholm i den södra klimatzonen och för Östersund i den norra.⁷⁰ Första simuleringen visar basfallet där Malmö används som klimatort (fall 1). Nästa simulering har klimatort Stockholm (fall 23). Eftersom Stockholms lägsta dimensionerande utetemperatur ligger lägre än Malmös medför detta att effekt- och energibehovet ökar, men har fortfarande samma krav att uppnå som Malmö. Skulle däremot Bokliden byggas i närheten av Östersund skulle det bli svårt att klassificeras som passivhus trots att effekt- och energikraven ligger högre i norra klimatzonen (fall 24).⁷¹ I detta fall har den lägre dimensionerande utetemperaturen fört med sig en ökning för både effekt- och energibehovet. Däremot är ökningen av energibehovet betydligt större än för effektbehovet, vilket beror på att radiatorerna får arbeta mer för att bibehålla rätt innetemperatur. Radiatorernas totala energianvändning har mer än tre dubblats för Östersund jämfört med Malmö.



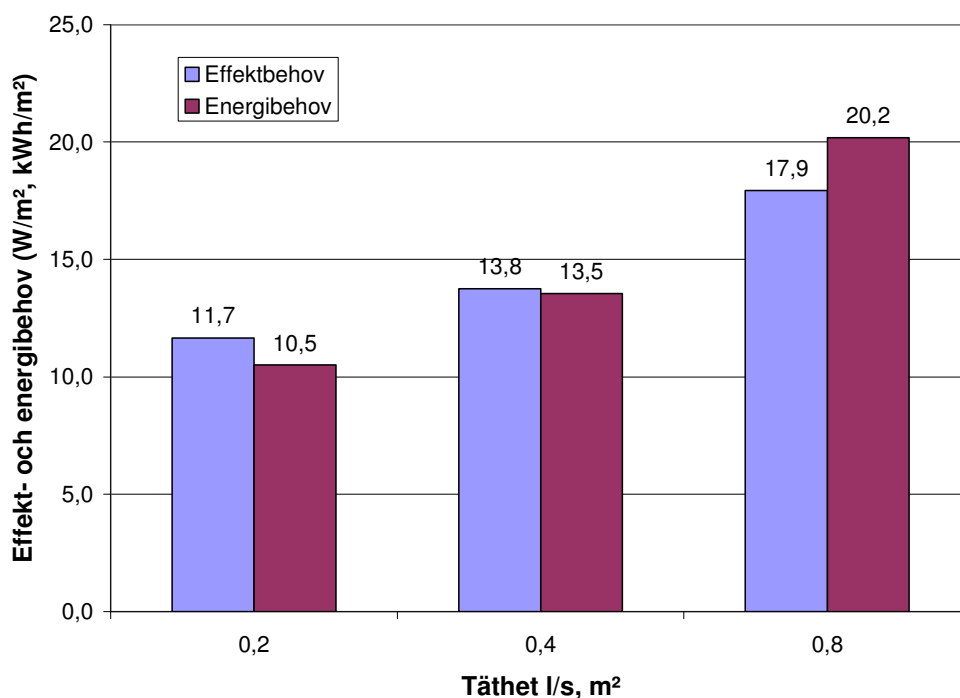
Figur 6.7 Effekt- och energibehov med varierande klimatort.

⁷⁰ Boverket 2006:173 (BFS2006:12).

⁷¹ FEBY, 2007.

6.6 Täthet

För att uppnå passivhusstandard är minimeringen av otätheter en viktig del i byggnadsarbetet för att undvika värmeläckage. Detta redovisas i figur 6.8. Boklidens basfall är beräknat med ett läckage på 0,2 l/s, m² (fall 1). Skulle denna siffra öka till 0,4 l/s, m² medför detta att både effekt- och energibehovet går över kravspecifikationens rekommendationer (fall 26). En simulering är även gjord med Boverkets byggreglers tidigare krav på täthet, det vill säga 0,8 l/s, m² (fall 27).⁷² Där har effekt- och energibehovet har ökat kraftigt jämfört med basfallet.

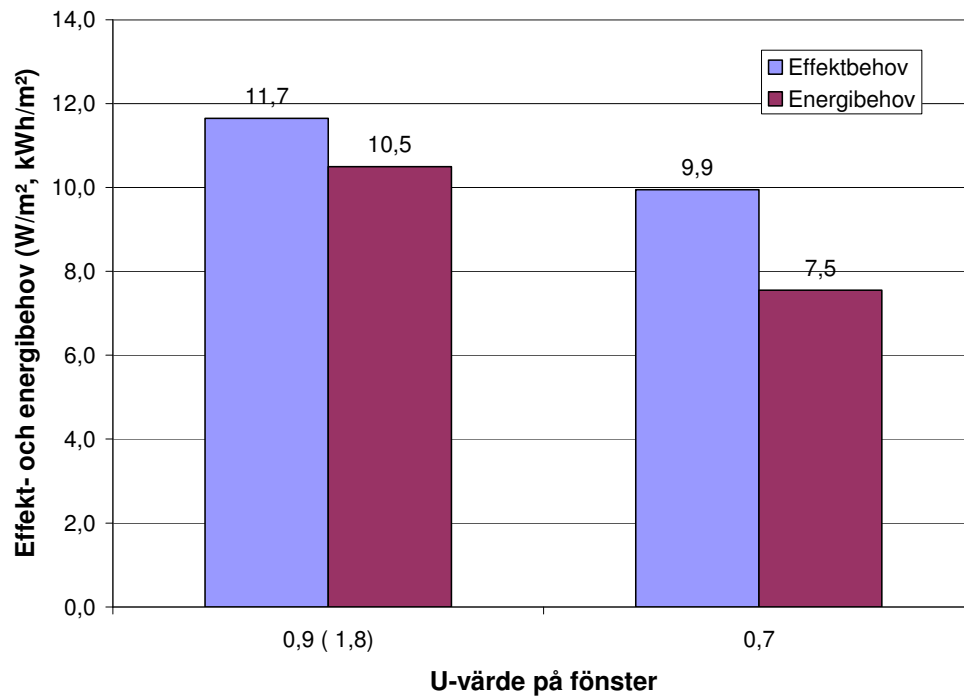


Figur 6.8 Effekt- och energibehov med varierande täthetskrav.

⁷² Boverket 1999:137 (BFS1998:38).

6.7 Varierat U-värde på fönster

I basfallet har samtliga fönster och dörrar U-värde $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ förutom tre brandfönster med U-värde $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ (fall 1). Genom att ersätta alla fönster och dörrar till andra med U-värde $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ utan hänsyn till behov av brandfönster visar figur 6.9 vilken skillnad det blir för effekt- och energibehovet (fall 25). Detta visar betydelsen av bra U-värden på fönster och dörrar.

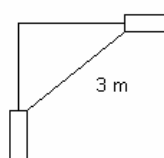


Figur 6.9 Effekt- och energibehov med varierande U-värde på fönster.

7 Diskussion

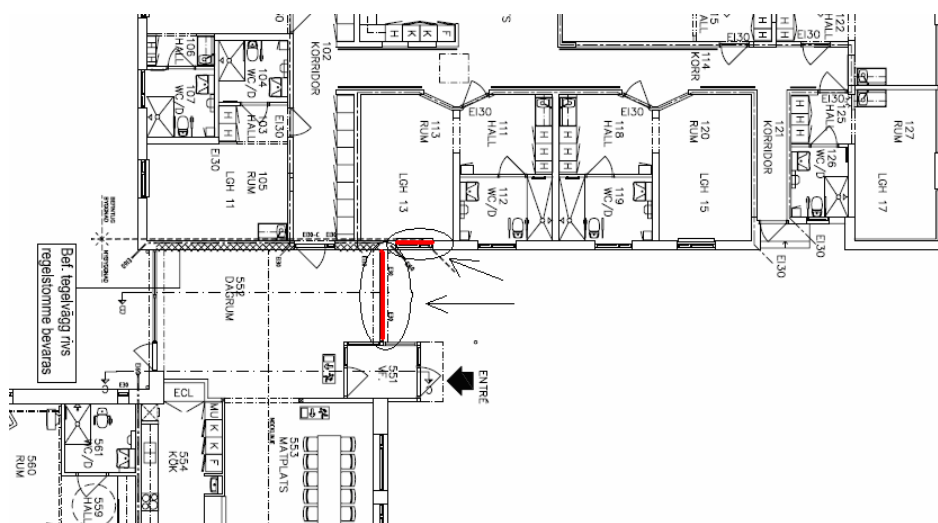
7.1 Brand

De fönster som används till passivhus ska ha ett genomsnittligt U-värde på 0,9 W/m²K. För att uppfylla detta krav används treglasfönster. Dagens brandfönster är tvåglasfönster och har därför sämre U-värde. De brandfönster som används på Bokliden är E30 och har U-värdet 1,8 W/m²K vilket är betydligt högre än kravet. När två fönster placeras i ett inåtgående hörn krävs ett minsta avstånd på 3 m för att inte behöva montera brandklassade fönster. Se figur 7.1. Detta krav uppfylls dock inte Bokliden enligt figur 7.2, där det större fönstret måste vara brandklass E30.



Figur 7.1 Mätning av minsta avstånd mellan fönster.

För att sänka energiförbrukningen är det viktigt att tänka på vilket fönster som brandklassas. I Boklidens fall är det bättre att välja det lilla fönstret som brandfönster då fönsterytan med sämre U-värde blir mindre. Att riva ut ett redan befintligt fönster för att ersätta det med ett brandfönster har dock inte varit något alternativ i detta fall, eftersom det befintliga fönstret måste vara öppningsbart på grund av det tillhör en lägenhet. Det är viktigt att tänka på vilka fönster som brandklassas då passivhus projekteras. Finns valmöjligheten så ska ett mindre fönster väljas som brandfönster för att minimera värmeförluster.



Figur 7.2 Brandfönsteralternativ.⁷³

⁷³ Bygghandling för Bokliden.

7.2 Klassificering

Eftersom värmeväxlaren inte kan säkerställa varma golv har ett vattenburet radiatorsystem installerats. Vattnet värms upp av gas. Detta på grund av att Boklidens befintliga byggnad värms upp av gas och utbyggnaden kopplas samman med detta system. Enligt kravspecifikationen däremot bör gaspanna inte användas till passivhus utan den rekommenderar fjärrvärme eller biopanna med pellets.⁷⁴ Att få värme från fjärrvärmenät är däremot inte möjligt i detta fall. Eftersom Mörarp som ligger en bit utanför Helsingborg saknas utbyggt fjärrvärmenät.⁷⁵ Detta betyder att passivhus egentligen bör byggas där det finns tillgång till fjärrvärme eller att en biopanna installeras. För att minska förbrukningen av gas har det installerats en solfångare på Boklidens befintliga byggnad som kommer att ge varmvatten till hela byggnaden.

Enligt kravspecifikationen ska en byggnad inte förbruka mer än 10 W/m² för rumsvärme. I Boklidens fall är simuleringar gjorda för var timme året runt. Resultatet gav ett högre effektbehov än 10 W/m² och kravspecifikationen skall följas får Bokliden inte klassas som passivhus. Men frågan är hur strikt definitionen ska följas. Maximalt effektbehov för Boklidens basfall ligger på 11,7 W/m², vilket är en bit över kravspecifikationens högsta värde. Undersöks däremot hur många gånger det maximala effektbehovet överstigs per år bör Bokliden klassificeras som ett passivhus. Undersökningen visade att vid enbart 16 gånger av årets totalt 8760 timmar överstegs maximala effektbehovet på 10 W/m², vilket kan anses som försumbart.

Den stora skillnaden mellan ett vanligt bostadshus och ett äldreboende är att fler människor bor tillsammans och att innetemperaturen är högre. De äldre tillbringar sin dag i sin bostad och i de gemensamma utrymmena såsom dagrum och korridorer. Enligt kravspecifikationen får endast 4 W/m² tillgodoräknas som värmetillskott från personer och teknisk utrustning. I Boklidens fall, där mycket folk vistas tillsammans, ökar det interna värmetillskottet markant. I ett vanligt boende varierar antalet personer mycket under en dag. Generellt för ett vårdboende är att det mest är personal som är i rörelse. Detta medför att det finns ett internt värmetillskott även på natten trots att all elektrisk utrustning avstängd och personalantalet är mindre. På dagen när personaltätheten ökar och elektriska apparater är påslagna ger detta ett större internt värmetillskott än vad som får tillgodoräknas. Detta visar att kravspecifikationen för passivhus bör utökas från enbart villor, parhus och

⁷⁴ FEBY, 2007.

⁷⁵ http://www.landskrona.se/pages/cgi-bin/PUB_View_File.exe?pageId=1351&objType=4&versionId=1&objByName=hbg-lka_fv.pdf 2008-04-21.

radhus till att även omfatta äldreboende, där ett högre internt värmetillskott får tillgodoräknas.

7.3 Alternativ konstruktion

Vid simulering av alternativa konstruktioner framgick det att en tyngre stomme av betong gav ett lägre effektbehov jämfört med trä. Detta beror på att betong har större värmetröghet och kan därmed lagra större mängd värme i konstruktionen jämfört med trä. När interna värmetillskottet minskar på natten kan värmen som betongkonstruktionen avger, motverka ett ökat energibehov. För att hitta det mest gynnsamma alternativet gjorde beräkningarna i två steg. För det första gjordes beräkningar med betongväggar och trätak. Detta medförde att energianvändningen sjönk marginellt. Därför gjordes beräkning där både väggar och tak var helt i betong. Resultaten visade att desto mer betong som kom in i konstruktionen, desto lägre blev effektbehovet.

En kostnadsjämförelse är genomförd mellan betongkonstruktion och den befintliga träkonstruktionen. En betongvägg och ett betongtak med samma U-värde är framtagna med hjälp av Sektionsfakta. I väggen är den bärande träkonstruktionen ersatt med 200 mm betong och lösullen är ersatt med dubbla lager 150 mm tjock mineralull. I övrigt är väggen uppbyggd på samma vis träkonstruktionen. Taket är försett med ett plattbärlag med 160 mm snabbtorkande betong och har samma innertak som träkonstruktionen. På betongen placeras fackverkstakstolar av trä med samma ytterbeläggning som i träkonstruktionen. Arbetslöner och omkostnadspålägg för både trä- och betongkonstruktionen är efter Sektionsfakta. Kostnaderna för varje byggdel redovisas i tabell 7.1.⁷⁶

Tabell 7.1 Total kostnad för olika byggdelar.

Byggdel	Kostnad (kr)
Trävägg	733 000
Betongvägg	781 000
Trätak	1 160 000
Betongtak	1 873 000

Den totala byggkostnaden för de olika stomalternativen redovisas nedan i tabell 7.2. Trätak och trävägg bildar tillsammans en lätt stomme medan den tunga stommen består av tak och vägg gjorda av betong. Den halvtunga stommen är en kombination av trätak och betongvägg.

⁷⁶ Wikells Byggberäkningar AB 2006.

Tabell 7.2 Total byggkostnad för tak och vägg vid varierande stomme.

Stomme	Totalkostnad (kr)
Lätt	1 898 000
Halvtung	1 945 000
Tung	2 658 000

Enligt Öresundskraft kostar en kilowattimme för naturgas 71,1 öre/kWh.⁷⁷ Detta används för att undersöka vad den totala kostnaden för uppvärmning blir på ett år vid varierande stomme. Kostnaderna för dessa stomalternativ redovisas i tabell 7.3.

Tabell 7.3 Total energikostnad under ett år för uppvärmning vid varierande stomme.

Stomme	Energikostnad (kr)
Lätt	5 036
Halvtung	4 820
Tung	4 414

En kostnadsjämförelse mellan olika stomalternativ visar att den lätta stommen är den mest lönsamma även på lång sikt eftersom priset att bygga med trästomme istället för med betong uppgår till över 600 000 kr. Samtidigt som skillnaden för den årliga energikostnaden enbart är cirka 620 kr innebär det att lägre energianvändning inte skulle täcka de högre byggnadskostnaderna inom rimlig tid.

7.4 Åtgärder

Om kravspecifikationen skulle förändras finns några åtgärder som skulle kunna sänka Boklidens effekt- och energibehov. Den ena är att installera en värmeväxlare med en verkningsgrad på 86 % istället för den nuvarande med en verkningsgrad på 81 %. Den andra åtgärden skulle vara att ersätta samtliga fönster med andra som har lägre U-värde samt att förändra placeringen av fönstren för att undvika kravet på brandfönster. Effektbehovet kommer i detta läge att falla under kravspecifikationens maximala värde.

⁷⁷ <http://www.oresundskraft.se/templates/GenericPage.aspx?id=18936> 2008-05-08.

7.5 Akustik

För att kunna uppfylla akustikkraven på Bokliden har slitsar i betongplattan skurits ut. Slitsarna skärs under lägenhetsskiljande väggar. I skarvarna sätts en gummilist som ska absorbera ljud. Gummilisten absorberar ljud men ska också täta mot eventuell fukt och kyla som kommer underifrån. Trots att gummilisten tätar väl så blir det inte lika tätt som om betongplattan hade varit hel. Detta kan bli ett problem om läckaget blir så stor att inneklimatet påverkas. Blir inte slitsen tillräckligt tät finns även risk för att markradon kan läcka in. Ett alternativ till att slitsa betongplattan är att gjuta en förtjockning under de lägenhetsskiljande väggarna. Förtjockningen gör att ljudet leds ner i marken istället. Detta alternativ är betydligt dyrare då det kräver att det under varje vägg gjuts en förtjockning vilket gör att det går åt mer betong och armering.

7.6 Fönster

Den svaga punkten i ett fönster är karmen på grund av att isolering saknas. Det är därför viktigt att ha ett fönster där glasandelen är så stor som möjligt. När mätningar görs för att bestämma ett fönsters U-värde används ett snitt av karmen och glaset. Används ett fönster som har en liten glasandel är risken stor att U-värdet inte blir så lågt som produkten anger. Boklidens toalettöfönster är 410 x 1510mm. Enligt uträkningar får ett sådant fönster ett U-värde på cirka 1,18 W/m² på grund av att det är så smalt. Används ett fönster med stor andel glas kan U-värdet sjunka lägre än vad som anges på produkten. Är fönstren för stora släpper de in för mycket värme. Små fönster har sämre förmåga att släppa in ljus och isolera mot värmeförluster. Därför är det viktigt att välja rätt storlek på fönstren.⁷⁸

⁷⁸ SP-rapport, 2007.

8 Referenser

8.1 Litteratur

Abel, E & Elmroth, A (2006) Byggnaden som system, Forskningsrådet Formas

Boverket (2006) Regelsamling för byggregler – Boverkets byggregler, BBR

Boverket (1999) Regelsamling för byggregler – Boverkets byggregler, BBR

Bülow-Hübe, H (2008) Analys av förutsättningar och begränsningar vid utformning av skolor, förskolor och äldreboende som passivhus i Sverige. Proceedings från Passivhus Norden, Trondheim, 2-3 april 2008.

Forum för energieffektiva byggnader (2007) Kravspecifikationen för passivhus i Sverige – Energieffektiva bostäder, Energimyndighetens program för passivhus och lågenergihus, Version 2007:1

Granbom, M & Thorn, R (2007) Passivhus det långsiktiga valet, Chalmers Tekniska Högskola, Byggt teknik 2007:72.

Jansson, U (2008) Passivehouses in Sweden, Lunds Tekniska Högskola, Energi och Byggnadsdesign EBD-T--08/9.

Larsson, S (2005) Bygg snålt med egen energi, Svensk Byggtjänst.

Näslund, E (2007) Passivhus aktiverar byggsvetige. I: *Byggindustrin* Vol. 8, s.10-13.

SP-rapport (2007) U-värdesberäkning av Elite Extreme 0,9.

Structural Design Software (2006) VIP+ Manual version 5.0.0 svensk.

Wall, M. (2006) Energy-efficient terrace houses in Sweden. Simulations and measurements. *Energy and Buildings* 38 (2006), pp 627-634, Elsevier Science Ltd.

Warfvinge, C (2001) Installationsteknik AK för V, Lunds Tekniska Högskola.

Wikells Byggberäkningar AB (2006) Sektionsfakta 06/07

8.2 Elektroniska källor

<http://www.byggark.lth.se/?page=page44a4d60b47918> (Läst 2008-04-28)
Energi och Byggnadsdesign

<http://www.byggark.lth.se/?page=page44a0fa30b10a5> (Läst 2008-04-28)
Energi och Byggnadsdesign

<http://www.byggark.lth.se/?page=page44a3b21f16cbe> (Läst 2008-04-28)
Energi och Byggnadsdesign

http://www.ebd.lth.se/fileadmin/energi_byggnadsdesign/images/Utbildning/AEBF01/foerelaesning_air-tightness_080214.pdf (Läst 2008-02-18) Energi och Byggnadsdesign

http://www.ebd.lth.se/forskning/passivhus_demonstrationsprojekt/demonstrationsprojekt/frillesaas/ (Läst 2008-04-17) Energi och Byggnadsdesign
<http://www.energimyndigheten.se/sv/Hushall/Din-ovriga-energianvandning-i-hemmet/Ventilation> (2007-11-23), (Läst 2008-02-12). Energimyndigheten.

http://www.energimyndigheten.se/Global/Filer%20Energifakta/ER_2008_9.pdf (Läst 2007-04-10) Energimyndigheten.

<http://www.energimyndigheten.se/sv/Hushall/Din-ovriga-energianvandning-i-hemmet/Ventilation/Franluftsventilation> (2007-11-23), (Läst 2008-02-12). Energimyndigheten.

<http://www.energimyndigheten.se/sv/Hushall/Din-ovriga-energianvandning-i-hemmet/Ventilation/FTX-system> (2007-11-23), (Läst 2008-02-12). Energimyndigheten.

http://www.epecon.se/pdf/Deco-Deco%20Integra_sept06.pdf (Läst 2008-02-20). Epecon.

http://www.euronom.se/filer/PB_ExoSol OPC_10-0710-299.pdf (Läst 2008-02-14). Euronom.

http://www.landskrona.se/pages/cgi-bin/PUB_View_File.exe?pageId=1351&objType=4&versionId=1&objByNamme=hbg-lka_fv.pdf (Läst 2008-04-21). Öresundskraft och Landskrona kommun.

<http://www.nyteknik.se/administration/graddfilen/article71950.ece> (Läst 2008-06-17). Nyteknik

<http://www.passiv.de> (Läst 2008-01-10). Passivhaus Institut.

<http://www.passivhuscentrum.se/kungsbacka.html> (Läst 2008-04-14).
Passivhuscentrum.

<http://www.passivhus.nu> (Läst 2008-04-04). Forum för energieffektiva byggnader.

<http://www.penetreron.com/en/2007%20Penetreron%20brochure.pdf> (Läst 2008-06-17). Penetreron

<http://www.sr.se/cgi-bin/malmo/nyheter/artikel.asp?artikel=569151> (Läst 2008-04-14). Sveriges Radio

<http://www.oresundskraft.se/templates/GenericPage.aspx?id=18936> (Läst 2008-05-08). Öresundskraft

8.3 Muntliga källor

Lysebring, B (2008-03-31). Platschef på Byggmästar´n i Skåne, Helsingborg

Elmfors, R (2008-04-09). El-projektör på CLC Installationskonsult, Helsingborg

Nygårdh, L-O (2008-04-09). Konstruktör på Paragon, Helsingborg

Redzepagic, S (2008-01-25) Energicontroller på Kärnfastigheter, Helsingborg

Rova, L (2008-04-09). VVS-projektör på Renega AB, Helsingborg

8.4 Bilagor

Parameterstudie

Bilaga 1

Beräkningsfall	Internlast [W/m ²]				T _{inbåds} [°C]				Tinne [°C]				Verkninggrad [%]				Stomme		Ort			Fönster u-värde		Täthet [l/s.m ²]			
	4	6	8	10	22	19	18	20	23	76	81	86	Trä	Betong	Malmö	Stockholm	Östersund	Basfall	0,7	0,2	0,4	0,8					
	4	6	8	10	22	19	18	20	23	76	81	86	Trä	Betong	Malmö	Stockholm	Östersund	Basfall	0,7	0,2	0,4	0,8					
1			X		X			X		X		X	X		X			X		X							
2			X		X			X	X			X	X		X			X		X							
3			X		X			X			X		X		X			X		X							
4			X		X	X		X				X	X		X			X		X							
5			X		X	X		X				X	X		X			X		X							
6			X		X	X		X				X	X		X			X		X							
7								X		X			X		X			X		X							
8			X		X			X	X			X	X		X			X		X							
9			X		X			X				X	X		X			X		X							
10			X		X	X		X		X		X	X		X			X		X							
11			X		X	X		X	X			X	X		X			X		X							
12			X		X	X		X				X	X		X			X		X							
13				X	X			X		X			X		X			X		X							
14			X	X	X			X	X				X		X			X		X							
15			X	X	X			X			X		X		X			X		X							
16			X	X	X	X		X	X			X	X		X			X		X							
17			X	X	X	X		X	X			X	X		X			X		X							
18			X	X	X	X		X	X			X	X		X			X		X							
19			X	X	X			X		X			X	X				X		X							
20			X	X	X			X		X			X	X				X		X							
21	X				X						X																
22	X				X					X																	
23			X		X					X					X												
24			X		X					X					X	X											
25			X		X					X					X				X								
26			X		X					X					X				X		X						
27			X		X					X					X				X			X					