



Passivhus norr om polcirkeln

Passivhuslösningar i Kiruna

Daniel Söderlund

Handledare:

Thomas Olofsson, Umeå Universitet

Simone Kreutzer, Tyréns AB

Daniel Söderlund

Ht 2010

Examensarbete, 15 hp

Högskoleingenjörsprogrammet i Byggt teknik, 180 hp

Förord

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Simone Kreutzer, Tyréns AB som gjort arbetet möjligt, tack för engagemang och stöttning.

Vidare vill jag även tacka följande:

Utan inbördes ordning, Leif Fällman Tyréns AB, Sonja Ritscher Tyréns AB, Thomas Nylund Kiruna Kommun, Lisbeth Pekkari Kiruna kommun, Birgitta Nyström Tyréns AB, Jutta Schade Luleå tekniska universitet, Örjan Matti Tyréns AB, Thomas Olofsson Umeå universitet, Peo Wikström ECS AB, Curt Persson Norrbottens länsmuseum, Tommy Wesslund Wesslunds VVS, Christian Ranevi och Sara Fredlund, Christofer Tapper Tyréns AB, Johan Hermansson aircoil, Johan Mella Tekniska Verken Kiruna, Passivhusinstitutet Tyskland, LKAB samt övriga på Tyréns kontor i Sundsvall som bistått med hjälp.

Sammanfattning

Under de senaste åren har europaparlamentet tagit fram material för ett direktiv som reviderades under maj 2010. Direktivets mål är att säkerställa en minskning av den gemensamma utsläppsnivån, som bestämdas i och med Kyotoavtalet. Direktivet fastlår att det inom byggbranschen finns stora möjligheter till energieffektiviseringar och utsläppsminskningar vilket har frambringat parlamentets krav på nästan-nollenergibyggnader gällande nyproduktion och till viss del även renovering från och med 2020. Offentliga byggnader ska uppfylla kraven redan 2018 för att statuera goda förebilder.

Arbetsgången har följt en klar och tydlig linje där de olika stegen varit problemkartläggning, informationsinsamling, simulering och avslutningsvis analysering och tolkning. Därefter revideras projektet och nästkommande problem påbörjas enligt samma arbetsgång.

Studien leder till en passivhusprojektering med utgångspunkt att uppnå de internationella kraven för passivhus ställda av Passivhusinstitutet i Darmstadt, Tyskland. Dessutom är en av projekterings utgångspunkter att det tänkta huset ska vara beläget norr om polcirkeln, närmare bestämt Kiruna stad, Sverige. Husets grundkonstruktion bygger på de befintliga arbetarbostäderna ”bläckhornen”, uppförda under 1900-talets början i Kiruna stad. Ett radhus har arbetats fram med fyra lägenheter som teoretiskt klarar de uppsatta internationella kraven. Till huset har ett fjärrvärmesystem valts som reglerar inomhustemperaturen via golvvärmslingor. Fjärrvärme styr även uppvärmning av tappvarmvatten samt fungerar som frostskydd då det är kopplat till ett förvärmningsbatteri av uteluften. Projektverktyget som använts heter Passivhus projekteringspaket, PHPP och är ett program avsett för framtagande av passivhus.

Vidare jämförs de internationella kraven med de svenska kraven ställda av Forum för energieffektivt byggande, FEBY samt med gällande byggregler från Boverket, BBR 16. Resultatet fås genom en kombination av byggnadens form, god lufttäthet, effektivt ventilationsåtervinningsaggregat och ”goda” köldbryggor. Dessutom genomförs en mindre känslighetsanalys för konstruktionen där givna värden för att klara den internationella passivhusstandarden ändras för att sedan studera resultatet. För att ge en kritisk bild diskuteras avslutningsvis problem och brister med ett passivhus.

Abstract

In recent years, the European Parliament has produced materials for a directive which was revised in May 2010. The directive is made to ensure the common level of CO₂ emissions for each member within the EU, as was defined in the Kyoto agreement. The directive states that the construction industries have great opportunities to make energy efficiency improvements and CO₂ emission reductions. Therefore the directive statement is to produce near-zero energy buildings for new construction and even some renovation buildings from 2020. Public buildings must meet the requirements already in 2018 to set a good example.

The process has followed a clear line where the steps were problem identification, information gathering, simulation, and finally analysis and interpretation. Then reviewing the project and starting next problems with the same steps.

This project leads to a passive house on the basis that it will meet the international requirements for passive houses pledged by the Passive House Institute in Germany. Furthermore, one of the projects base points to the proposed building is that it will be located north of the Arctic Circle in Sweden, more specifically in Kiruna city. The building's design is based on the existing house "bläckhorn", built in the early 1900s, and located in Kiruna city. Based on the "bläckhorn" terrace houses with four apartments have been projected that theoretically can handle the set of international requirements. The house has a district heating system, which regulates the indoor temperature through the floor heating systems. District heating also controls the heating of domestic hot water and serves as an antifreezer. Project tool that has been used is called Passive house design packages, PHPP. It is a program designed for the production of passive houses.

To achieve all the requirements it's necessarily to put more effort in designing than a traditional design. Further a comparison of the international requirements, the Swedish requirements by Forum for energy efficient building, FEBY as well as with the current building regulations from Boverket, BBR 16 is made.

The results are obtained by a combination of the building's shape, good air tightness, efficient ventilation recovery units and "good" thermal bridges. In addition, a smaller sensitivity analysis for the construction is made where the values required meeting the international standard passive house is changed to see what the result become. To provide a critical view, problems and shortcomings with a passive house is discussed.

1	INLEDNING.....	1
2	SYFTE.....	2
3	BAKGRUND.....	3
3.1	<i>Vad är ett passivhus.....</i>	3
3.2	<i>Jämförelse mellan olika kravdefinitioner.....</i>	3
3.3	<i>Passivhus projekteringspaket.....</i>	8
3.4	<i>Bläckhornen.....</i>	9
3.5	<i>Kiruna.....</i>	10
3.6	<i>Framtidens direktiv.....</i>	11
4	METOD.....	13
5	RESULTAT.....	14
5.1	<i>Konstruktion.....</i>	14
5.1.1	<i>Köldbryggor.....</i>	16
5.2	<i>Mark.....</i>	17
5.3	<i>Strålningsdata.....</i>	17
5.4	<i>Komponenter och installationer.....</i>	17
5.4.1	<i>Fönster.....</i>	17
5.4.2	<i>Värmesystem.....</i>	18
5.4.3	<i>Ventilation.....</i>	18
5.4.4	<i>Tappvarmvatten.....</i>	19
5.4.5	<i>Bastu.....</i>	20
5.4.6	<i>Elektriska installationer:.....</i>	20
5.5	<i>Enskild ytterlägenhet.....</i>	20
5.6	<i>Klimatdata.....</i>	21
5.7	<i>Känslighetsanalys.....</i>	22
6	DISKUSSION OCH SLUTSATSER.....	28
7	LITTERATURLISTA.....	33

Bilaga A – Kravdefinition certifiering enligt Passivhusinstitutet

Bilaga B – Ordningsföljd inmatning i PHPP

Bilaga C – Tekniskt dokument fönsterkarm

Bilaga D – Tekniskt dokument ventilationsaggregatet

Bilaga E – Tekniskt dokument fjärrvärmecentral

Bilaga F – Tekniskt dokument förvärmningsbatteri

Bilaga G – Tekniskt dokument golvvärme

Bilaga H – Ritningar Bläckhornen

Bilaga I – Ritningar passivhuset Bläckhorn

Bilaga J – Planlösning passivhuset Bläckhorn

Bilaga K – Ritning tappvarmvattenledning

Bilaga L – Ritning ventilationsledning

Bilaga M – Ritning passivhuset Bläckhorn detaljer

Bilaga N - Beräkningar

Bilaga O - Primärenergifaktorer

Bilaga P – Bilder över gruvdrift samt sprickor och deformationsanalyser

Bilaga Q – Lämpliga områden

1 Inledning

Den allmänna uppfattningen när det gäller energieffektivt byggande är att det är orimligt, eller åtminstone väldigt svårt att genomföra med god ekonomisk behållning i kallare klimat utan absurt stora dimensioner. Samtidigt står vi inför ett vägskäl där vi måste omvärdera våra teorier då alla tecken och undersökningar visar på att vårt leverne inte kan fortsätta som det gör. Vidare kommer direktiv från Europaparlamentet med krav på nästan-nollenergibyggnader för att klara energimålet från Kyotoavtalet där 20 procent av energiförbrukningen ska minska. Då byggsektorn står för 40 procent av den totala energiförbrukningen finns här en stor besparingspotential. Ett passivhus med internationell standard har ett årligt energibehov på 15 kWh/m², oavsett klimat. Det är en reduktion med 90 procent jämfört med de kraven som Boverket ställer i BBR 16 [1] för byggnader i zon I dit Kiruna Kommun och stad hör. Alltså finns det en möjlighet att i kallt klimat spara upp till 90 procent av uppvärmningskostnaderna genom att bygga med internationell passivhusstandard och samtidigt få andra positiva effekter såsom ökad boendekomfort och minskad miljöbelastning på omgivningen.

Passivhus har på senare år fått större uppmärksamhet runt om i landet och det har debatterats flitigt huruvida namnet överrensstämmer med det verkliga husets passivitet och huruvida det är ett fullt fungerande koncept som verkligen minskar energiutgifterna. Dessutom framförs åsikter som vida skiljer sig hur komplicerat det "borde" vara att leva i ett passivhus.

2 Syfte

Projektera ett hus placerat i Kiruna stad som uppfyller de internationella passivhuskraven uppsatta av Passivhusinstitutet i Darmstadt, Tyskland.

Dessutom kommer en mindre känslighetsanalys att presenteras över resultatet då givna värden ändras.

Motivet till att försöka projektera ett hus som ska klara så låga energikrav som ett passivhus i ett kallt klimat är att frambringa tillförlitliga teoretiska bevis för att det är möjligt, och om det är möjligt i nordligaste Sverige kan man påstå att det finns förutsättningar överallt.

3 Bakgrund

3.1 Vad är ett passivhus

Passivhus är en byggnadsstandard som ursprungligen myntades under 1980-talet på två skilda håll i världen. Dels Bo Adamssons arbete med att bygga välisolerade hus med minimala energiförluster i Kina, dels Amory Lovins passivhusbyggnation i klippiga bergen. Det blev framförallt känt för den större massan genom Wolfgang Feists vidareutveckling av teorierna att det går att bygga så pass energieffektivt att uppvärmningen kan ske via tilluften. Hans definition från 1989 [2] lyder *”ett passivhus är en byggnad för vilken termisk komfort kan uppnås endast genom förvärmning eller förkylning av friskluftstillskottet som krävs för tillräckligt god inomhusluftkvalitet, utan behov av återcirkulerad luft”*. Det är dock inget krav att uppvärmningen måste ske via tilluften utan en möjlighet då 10 W/m^2 (effektbehovskravet) är gränsen för vad luften klarar av att bära vid en given temperatur på ca 50 grader Celsius (gränsen för tilluftstemperatur = 52 grader Celsius). Med ett passivhus uppnås hög energieffektivitet samtidigt som inomhuskomforten bibehålls eller i de flesta fallen ökar, dessutom minskar miljöbelastningen. För Sveriges norra område har BBR 16 [1] ett krav på $150 \text{ kWh/m}^2\text{år}$, i relation till det kravet är passivhuskravet en tiondel. Passivhus är inte endast en teoretisk standard utan det finns flera praktiska mätningar och observationer på uppförda byggnader för att verifiera teorin. Inomhuskomforten blir bättre på grund av att klimatskalet och dess detaljer genomförs med noggrannhet och hög kvalitet. Det resulterar i minimalt med strålande ytor som kan ge upphov till obehag, inga ställen där otätheter kan ge upphov till läckage och dessutom försvinner symptom som kallras då temperaturskiktningen aldrig är större än 3 grader Celsius oberoende av riktning i ett rum eller hus. Att bygga extremt täta och noggranna hus beror till stor del på infiltrationsfenomenet som annars kan stjäla mycket energi, men det har även sin orsak i exfiltrationen där varm och fuktig luft kan leta sig in i otätheter och sedan orsaka fuktskador då temperaturskiktningen i väggen medför en kondensation mitt i konstruktionen. Ett passivhus kan ta längre tid att bygga på grund av noggrannheten vid projektering då alla detaljer och flöden behöver analyseras och bestämmas. Extra vikt läggs vid detaljprojektering då en skillnad mot ett ”standardbygge” är att problem i största möjliga mån inte ska lösas på plats då det lätt kan ge upphov till konsekvenser i slutresultatet. En klyscha som även fungerar vid passivhus är att tiden och arbetet som läggs i början fås ut i slutet i form av resultat, tid och pengar (besparing). Vidare finns det mycket skriven och dokumenterad information angående passivhus, både allmän och fördjupad i bland annat följande referenser [2-18], dessutom finns information att tillgå på Passivhusinstitutets [19] och Passivhuscentrums [20] hemsidor. Problem som kan uppstå i ett passivhus framförs under rubriken Diskussion samt i Wollbergs examensarbete [21].

3.2 Jämförelse mellan olika kravdefinitioner

Kravdefinitionerna som finns att tillgå är den internationella passivhusdefinitionen framtagen av Passivhusinstitutet (se bilaga A), den svenska definitionen enligt Forum för energieffektivt byggande, FEBY [4] samt gällande BBR 16 [1] från Boverket. Nedan följer en sammanställning av kraven.

Energibehov

- » Internationellt passivhuskrav:

Värmebehov $\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{år}$ oavsett vilket klimat som råder

eller effektbehovet under nästa rubrik.

- » Svenskt passivhuskrav:

Uppfylla kraven enligt BBR alternativt råd enligt följande där det som ingår är energi för värme, varmvatten, driftel och övrig fastighetsel.

Viktat

Zon I: $68 \text{ kWh/m}^2\text{år}$
Zon II: $64 \text{ kWh/m}^2\text{år}$
Zon III: $60 \text{ kWh/m}^2\text{år}$

Ej viktat

Zon I: $58 \text{ kWh/m}^2\text{år}$
Zon II: $54 \text{ kWh/m}^2\text{år}$
Zon III: $50 \text{ kWh/m}^2\text{år}$

För eluppvärmda hus

Zon I: $34 \text{ kWh/m}^2\text{år}$
Zon II: $32 \text{ kWh/m}^2\text{år}$
Zon III: $30 \text{ kWh/m}^2\text{år}$

- » BBR 16:

Energi för värme, varmvatten, driftel och övrig fastighetsel.

Bostäder ej eluppvärmning

Zon I: $150 \text{ kWh/m}^2\text{år}$
Zon II: $130 \text{ kWh/m}^2\text{år}$
Zon III: $110 \text{ kWh/m}^2\text{år}$

Bostäder eluppvärmning

Zon I: $95 \text{ kWh/m}^2\text{år}$
Zon II: $75 \text{ kWh/m}^2\text{år}$
Zon III: $55 \text{ kWh/m}^2\text{år}$

Effektbehov

- » Internationellt passivhuskrav:

10 W/m^2

- » Svenskt passivhuskrav:

Mindre en- och tvåfamiljsbostäder
< 200 m^2

Zon I: 14 W/m^2
Zon II: 13 W/m^2
Zon III: 12 W/m^2

Flerbostadshus och lokaler

Zon I: 12 W/m^2
Zon II: 11 W/m^2
Zon III: 10 W/m^2

Dimensionerande temperatur för beräkning är DUT20 med beräknad tidskonstant.

- » BBR16:

För eluppvärmda bostäder/lokaler

Zon I: $5,5 \text{ kW}$
Zon II: $5,0 \text{ kW}$
Zon III: $4,5 \text{ kW}$

Primärenergi

- » Internationellt passivhuskrav:
 $\leq 120 \text{ kWh/m}^2\text{år}$ inklusive hushållsel, fastighetsel och verksamhetsel.

Primärfaktor el = 2,6.

- » Svenskt passivhuskrav:
Primärenergi ingår i energibehovet, dock fri primärenergi för hushållsel och verksamhetsel.

Primärfaktor el = 2,0.

- » BBR 16:
Primärenergi ingår i energibehovet, dock fri primärenergi för hushållsel och verksamhetsel.

Primärfaktor el = 2,0.

Lufttäthet

- » Internationellt passivhuskrav:
 $n_{50} < 0,6 \text{ l/h}$

Provtryckning ska genomföras minst vid färdigställning.

- » Svenskt passivhuskrav:
 $q_{50} < 0,3 \text{ l/sm}^2$

Provtryckning rekommenderas.

- » BBR 16:
Inget värde, dock så pass tät att energianvändning och installerad effekt uppnås

Provtryckning krävs ej.

Energiberäkningar

- » Internationellt passivhuskrav:
Enligt PHPP

- » Svenskt passivhuskrav:
Valfri metod som hänvisar till gällande ISO EN 13790, dock ska byggnadens tidskonstant finnas med

- » BBR 16:
Valfri metod som hänvisar till gällande ISO EN 13790

Värmevinster

- » Internationellt passivhuskrav:
Värmebehov maximalt $2,1 \text{ W/m}^2$
Effektbehov maximalt $1,6 \text{ W/m}^2$

- » Svenskt passivhuskrav:
Maximalt 4 W/m²
- » BBR 16:
Inga rekommendationer

Area

- » Internationellt passivhuskrav:
m² = golvarea utan väggar, ytor över två meter ingår till 100 procent medan ytor under två meter ingår till 50 procent
- » Svenskt passivhuskrav:
A_{temp} enligt BBR 16
- » BBR 16:
A_{temp} enligt BBR 16

Köldbryggor

- » Internationellt passivhuskrav:
Ska konstrueras köldbryggsfritt < 0,01 W/mK. Beräknas separat i köldbryggsprogram enligt EN ISO 10211.
- » Svenskt passivhuskrav:
Rekommendationer att beräkna i separat program.
- » BBR 16:
Inget krav att beakta.

Dimensionerande temperaturer

- » Internationellt passivhuskrav:
Enligt två klimatsituationer, den kalla klara dagen med solvinster samt den mindre kalla molniga dagen utan solvinster.
- » Svenskt passivhuskrav:
DUT₂₀
- » BBR 16:
D_{VUT}

U-värden klimatskal

- » Internationellt passivhuskrav krav:
U < 0,15 W/m²K
- » Svenskt passivhuskrav krav:
U < 0,15 W/m²K

- » BBR 16:
Bostäder ej eluppvärmning $U_{\text{medel}} < 0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Bostäder eluppvärmning $U_{\text{medel}} < 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$

Alternativt krav för byggnader med $A_{\text{temp}} \leq m^2$ se BBR 16.

U-värden fönster

- » Internationellt passivhuskrav:
 $U_w \leq 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ samt
 $U_w \leq 0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$ inbyggt i klimatskalet
- » Svenskt passivhuskrav:
 $U_w < 0,90 \text{ W/m}^2\text{K}$

Dessutom behövs den operativa temperaturen beräknas vid stora glaspartier.

- » BBR 16:
Inga krav på fönster

Övertemperaturfrekvens

- » Internationellt passivhuskrav:
Högst 10 procent av sommarhalvåret får det vara över 25 grader Celsius
- » Svenskt passivhuskrav:
Högst 10 procent mellan april-september får det vara över 26 grader Celsius
- » BBR 16:
Inga krav

Ventilation

- » Internationellt passivhuskrav:
Återvinningsgrad > 75 procent

Ska uppfyllas enligt certifikat alternativt verifierad metod av Passivhusinstitutet. Ej certifierade aggregat erhåller ett avdrag på 12 procent av verkningsgraden. Största tilluftstemperaturen är 52 grader Celsius. Rekommenderat minsta tilluftsflöde $30 \text{ m}^3/\text{h}$, pers.

- » Svenskt passivhuskrav:
Återvinningsgrad > 70 procent

Det finns förbehåll på att det kan krävas högre återvinningsgrad i de två nordliga zonerna. Största tilluftstemperaturen är 52 grader Celsius. Minimiflöde $0,35 \text{ l/sm}^2$.

- » BBR 16:
Endast allmänna råd om att hus $> 60 \text{ m}^2$ ska ha en återvinning som är > 70 procent

3.3 *Passivhus projekteringspaket*

PHPP står för Passivhus projekteringspaket och är ett excelbaserat program. Det fungerar som planeringshjälp vid passivhusprojektering och är framtaget av Passivhusinstitutet i Darmstadt, Tyskland [2, 3]. Programmet bygger dels på den vanliga byggnadsfysiken som går att beskriva matematiskt, dels på verklighetsbaserade observationer utförda vid passivhusbyggnationer och kan därför ges stor tillförlitlighet vid slutresultatet. PHPP ska inte bara fungera för arkitekten eller ingenjören utan är även ett hjälpmedel för VVS konsultens arbete. Programmet har stått under ständig utveckling från första lanseringen 1998 vilket medfört att påverkande detaljer upptäckts och förts in som en del av projekteringen. Programmet tar alltså hänsyn till faktorer som för ett ”vanligt” BBR hus inte skulle påverka nämnvärt men som för ett passivhus kan utgöra många procentandelar.

Programmet bygger på att specifik objektdata förs in på givna sidor som sedan länkas ihop för att genomföra energi- och effektbehovsberäkningarna. Resultatet presenteras på en verifieringssida med tillhörande JA eller NEJ om kraven är uppfyllda för den givna kriteriepunkten. Under bilaga B redovisas ordningsföljden för inmatande i PHPP.

Med PHPP möjliggörs beräkningar av U-värden för de olika elementen i klimatskärmen samt mellanskiljande väggar i flerbostadshus. Fönstrens U-värden beräknas enligt standard EN ISO 673 samt EN ISO 410 och skuggning och sommarskuggningens påverkan av energi- och effektbehovet planeras. Det tar även hänsyn till ventilationssystemets inverkan samt övertemperaturfrekvens vid en given temperaturgräns. Vidare beräknas förluster för distribution av värme och tappvarmvatten. I viss mån tillgodogörs förlusten som värmeenergi innanför klimatskalet. Även olika uppvärmningssystemens primärenergibehov beroende på installerade komponenter (fastighetsel) samt hushållets elbehov konverterat med en primärenergifaktor presenteras när given fakta är tillförd. Alla beräkningar är dessutom kopplade till given klimatdata som finns förprogrammerad i en urvalslista för olika orter världen över. Klimatdatan baseras på verkliga mätningar.

Då vi i Sverige även har Boverkets reglemente att ta hänsyn till finns det i den svenska versionen som kom ut 2010 en extra flik för kontroll av kraven för energihushållning enligt BBR 16 kapitel 9 [1].

Eftersom passivhus till största delen utnyttjar passiv värme från internt tillskott och solinstrålning är inmatningen av detaljerade värden för fönstren såsom orientering i höjddled (höjdvinkel) och sidled (azimut) samt skuggande objekt en viktig del. Skuggande objekt utgörs bland annat av balkonger, räcken, olika installationer, träd och planteringar, närliggande byggnader, skogsbestånd och geologi samt var i väggens djup fönstret är anslutet. Alla delarna matas in för att reducera solvinsterna.

En stor skillnad att beakta mellan internationella beräkningar och nationella beräkningar vid projektering är att alltid använda yttermått av klimatskalet. I Sverige använder vi innermått och får som följd en köldbrygga med positivt tecken där transmissionsförlusterna är större. Vid användning av yttermått räknas exempelvis vägghörn två gånger vilket medför att köldbryggorna ofta blir negativa, med andra ord är den isolerande förmågan bättre för köldbryggsdelen än för övriga närstående element.

En annan skillnad är effektbehovsberäkningen. Normen för effektbehovsberäkning är standardiserad enligt EN 12831 men den ger oftast ett överdimensionerat effektbehov när det

gäller passivhus eftersom ingen hänsyn tas till tillskott i form av solvärme, interna vinster eller termisk tröghet. Därför beräknas effektbehovet enligt en mångårig erfarenhet, kontrollerad och validerad via verkliga projekt samt teoretiska beräkningar. Den går ut på att ta fram två effektbehov, ett för den klara kalla dagen med solinstrålningsvinster samt ett för den mindre kalla dagen med molnigt väder där inga solvinster finns tillgängliga. Exempelvis skulle den dimensionerande vinterutetemperatur som används för beräkning av effektbehovet enligt BBR (motsvarande det lägsta uppmätta dygnsmedelvärde som inträffar högst 30 gånger på 30 år) motsvara den kalla men klara dagen. Teoretiskt renderar det i ett stort effektbehov men i praktiken skulle behovet inte vara lika stort. Dessutom är de givna kalla dagarna få och kortvariga, vilket för välisolerade hus inte ger ett ökat värmeeffektbehov eftersom nedkyllningen är långsam (den termiska trögheten).

Energibehovet beräknas enligt två metoder, kallade årsmetod samt månadsmetod där båda är baserade på EN ISO 13790. Standarden utgår från att transmissionsförlusterna och ventilationsförlusterna summeras och sedan subtraheras med gratisvärmens användbarhet i form solvärme och interna tillskott. Det som skiljer metoderna åt är att för årsvärmebehovet beräknas energibalansen för hela uppvärmningsperioden medan månadsmetoden bestämmer balanserna månad för månad. Oftast stämmer de båda metoderna överens med varandra i slutresultatet men delsummorna kan inte jämföras då de relaterar till olika perioder. Vilken metod som ska stå till grund väljs enligt förhållandet tillskott/förlust, där ett värde över 0,7 resulterar i att månadsmetoden bör användas då undersökningar visar att det annars kan ge för låga resultat [2, 3].

Internvärmestillskotten är satt till att maximalt utgöra $2,1 \text{ W/m}^2$ för att inte frambringa ett glädjetal som är för högt antaget. Det beror på den energieffektiva utvecklingen inom hushållskomponenter samt att huset ska fungera även utan mycket gratistillskott.

Vidare genomför Passivhusinstitutet oberoende provningar med följande certifiering för komponenter och byggsystem där alla testerna sker med samma förutsättningar. Väljer projektören att använda dessa komponenter finns det tillförlitlighet till resultatet.

3.4 *Bläckhornen*

Passivhusets konstruktion bygger på en typ av hus som kallas för ”bläckhorn” och finns belägna i stadsdelen Sibirien i Kiruna stad [23]. Dess ursprung var arbetarbostäder för Luossavaara Kirunavaara AB:s (LKAB) manskap och arkitektritades av Gustaf Wickman. De finns i två varianter och det är den andra, variant två som står modell åt passivhuset. De byggdes mellan åren 1907-1909 då Kiruna stad expanderade kraftigt i och med järnmalmens brytningar. Med yttermåttan 11,5 gånger 11,5 meter och två våningar innehöll de två enrumslägenheter ämnade för ungarlar och två tvårumslägenheter för barnfamiljer. Det typiska utseendet fås av det brutna pyramidtaket i falsad plåt. Originalritningarna finns inte bevarade men ritningskopior finns i LKAB:s arkiv [24]. Dessutom finns det kopior i Kiruna Kommuns arkiv som motsvarar byggnadens ut- och insida från 1989 (bilaga H). Kiruna Kommun har genomfört en enkätundersökning [25] med syfte att samla in åsikter om stadsmiljön och analysen ska fungera som ett underlag för kommunens framtida planering av bebyggelsen. I enkäten söktes bland annat svar på platser och byggnader som karakteriserar Kiruna stad och som i de svarandes syn aldrig borde förändras. Kyrkan var mest svarad men även ”bläckhornen” hamnade högt upp inom kategorierna.

För att lättare uppnå ett energieffektivt hus kan förhållandet mellan omslutande ytor dividerat med inneslutande volym studeras. Ju lägre värde desto bättre energieffektivitet uppnås där den bästa formen för en solid del är klotet och den sämsta är rektangeln. Läggs utbyggnader och andra fragment till ökar den omslutande arean mer än vad den inneslutande volymen gör.

3.5 Kiruna

Kiruna är Sveriges nordligaste och dessutom största kommun sett till ytan, medan invånarantalet uppgår till omkring 23000 folkbokförda människor varav 18000 bor i centralorten. För att få en uppfattning om hur stor Kiruna Kommun är kan arealen jämföras med Skåne län, Blekinge län och Hallands län tillsammans. Terrängen övergår från skogsmarker i öst till Sveriges högsta fjäll, Kebnekaise i väst. Något som är talande för området är den stora variationen i klimatet där det lokalt kan skilja mycket i både temperatur, vindhastigheter och nederbörds mängd. Väderstationen är belägen vid Kiruna flygplats sydost om centralorten och temperaturskillnaden mellan platserna är ofta vintertid 10-15 grader Celsius då det i själva staden sällan blir kallare än minus 20 grader Celsius medan man vid mätstationen kan mäta temperaturer under minus 30 grader Celsius. Samtidigt kan det vara högre vindhastigheter i staden än vid flygplatsen. Ytterligare en detalj som påvisar kontrasterna är att både Sveriges nederbördsrikaste och nederbördsfattigaste platser Riksgränsen och Abisko finns i Kommunen. På grund av den globala lokaliseringen norr om polcirkeln råder det ett polklimat som yttrar sig i sju månader med bland annat mer solinstrålning än exempelvis Stockholm varav 50 dygn med midnattssol. Kontrasterna till sommarens midnattssol är vinterns polarnätter som råder under 20 dygn [26, 27, 28, 29].

På grund av gruvdriften och dess malmbrytning har deformationer i marken uppstått. Eftersom malmdären i Kiruna går snett ned i marken riktad mot staden uppstår deformationer och sprickor i marken när malm bryts och fraktas bort och sedermera ersätts av mark/berg ovanifrån. Än så länge pågår inte brytningar under staden men i takt med att brytningarna går djupare ned i ådern kommer deformationerna att spridas längre in i staden. Deformationerna är som störst rakt ovanför brottet men sprickor som påverkar markens egenskaper bildas nästan vinkelrätt från ådern med riktning mot stadskärnan (bilaga P). På grund av deformationerna är staden tvungen att flyttas i etapper för att inte riskera byggnader och framförallt människors dagliga säkerhet. Därför planeras den nya staden att byggas på mark som inte har en potentiell malmbrytning under sig [30], men det är inte bara att säga att det ska vara malmfritt under staden då större delen av området runt Kiruna stad har potentiell fyndighet eller tillhör den blivande riskzonen för deformationer, dessutom finns det flygplats, järnväg, renvandringsleder, gruvan och dess gråbergshögar och dammar att ta hänsyn till [29, 30]. Det starkaste förslaget har tidigare varit att i etapper flytta område för område mot Luossavaaras södra sluttningar, ett berg där det tidigare varit gruvdrift [30]. Det som talar för området runt Luossavaara är de natursköna inslagen. Klimatet talar dock mot då det skulle missgynna byggnadsfysiken, därför tittar kommunen åt öster där stadsdelen Tuollavaara är belägen. Bilaga Q visar lämpliga områden passande en byggnation utpekad av Thomas Nylund, stadsarkitekt i Kiruna Kommun. För mer information angående stadsomvandlingen och gruvdriften hänvisas läsare till Kiruna Kommuns hemsida [31] samt LKAB:s hemsida [30].

Kiruna Kommun har arbetat fram ett dokument kallat Vision 2099 [32] som antogs av kommunfullmäktige 2004. Det visar under flera huvudkategorier hur framtidens stad är tänkt att fungera och där står bland annat ” *Ekologiskt anpassat framtidssamhälle, ... en stad som har en beredskap för att på ett bra sätt leva upp till tidens krav inte minst i fråga om miljöanpassning, ny teknik, energisystem och hållbarhet, Stor hänsyn tas till utformning av bebyggelse och val av*

byggnadsmaterial, byggteknik och funktionalitet". Vidare finns det planer att bygga ett område i det "nya" Kiruna stad som riktar sig mot hållbarhet, ekologi och energieffektivitet kallat "*Expo 2015*". Tanken är att det ska visa på möjligheterna med olika typer av byggande och boende samt fungera som ett incitament för framtidens utveckling av byggnader och boendemiljöer [29].

3.6 *Framtidens direktiv*

Under maj 2010 kom Europaparlamentet med en omarbetad version av direktivet som bland annat åtar EU:s medlemsländer att minska energiförbrukningen med 20 procent fram till år 2020 samt att den förbrukade energin till stor del ska produceras från förnybara källor [33]. I den omarbetade versionen fastslås att en stor besparingspotential finns i byggsektorn som står för nära 40 procent av den totala energiförbrukningen och 35 procent av utsläppen. Direktivet syftar därmed till att gynna en förbättring av byggnaders energibehov, både nybyggnationer och större renoveringar samtidigt som lokalt klimat och förhållanden beaktas.

Vidare visar analyser och trender att byggsektorn är ett område som kontinuerligt expanderar och utan energieffektivisering på flera plan skulle energianvändningen öka linjärt med expansionen.

En byggnads livslängd och det faktum att det går många år mellan renoveringar genererar en energi- och miljöpåverkan under längre tid. Därför är det av vikt att tidigt beakta energibehovskraven och vid större ombyggnationer se vad som kan åstadkommas för att förbättra den totala energiprestandan. Alternativa lösningar för energiförsörjningen (både värme och kyla) som främjar utvecklingen av hållbara system ska premieras. För att stimulera utvecklingen ytterligare kommer diverse ekonomiska åtgärder att finnas tillgängliga i form av bidrag, fonder och programarbeten och de ska fungera som katalysatorer för den nationella och lokala progressionen.

Medlemsstaterna ska även ha möjligheten att definiera vad en större renovering innebär för att på så sätt kostnadseffektivt kunna avgöra om byggnader som står inför en ombyggnation även bör förbättra energiutgifterna. Definitionen ska relatera till de mest väsentliga delarna för att uppehålla en god energiåtgång. Den föreslås utgå från procenttal av exempelvis klimatskalets ytor eller i förhållande till värdet för att gälla oavsett storlek på byggnaden.

Det konstateras även att installatörer och byggare är de grupperna som ytterst ligger till grund för att direktivet implementeras med gott resultat och därför bör tillräckligt många inom kategorierna erhålla den kompetens inom energieffektivitet och förnybar energi som krävs. I projekteringsstadiet ska teknisk, ekonomisk och miljömässig genomförbarhet kartläggas vad gäller:

- Decentraliserade energiförsörjningssystem baserad på förnybara källor.
- Kraftvärme.
- Fjärr-/närvarme samt fjärr-/närkyla baserad på förnybara källor.
- Värmepumpar.

Kraven som kommer gälla är följande:

- "*alla nya byggnader senast den 31 december 2020 är nära-nollenergibyggnader.*"
- "*nya byggnader som används och ägs av offentliga myndigheter är nära-nollenergibyggnader efter den 31 december 2018.*"

Dessutom ska nationella planer för ökandet av nära-nollenergibyggnader etableras. Planerna ska förutom målbeskrivning för att öka omvandlandet till nära-nollenergibyggnader vid renoveringar även innehålla definitionen av en nära-nollenergibyggnad i relation till nationella, regionala eller lokala förhållanden inklusive primärenergikrav i kWh/m². En viktig del i de nationella planerna är även att upprätta delmål för hur energiförbrukningen ska förbättras senast 2015 för att visa att man är redo 31 december 2020. Utvecklingen som medlemsländerna gör kommer att redovisas i en rapport, utgiven vart tredje år med början i slutet av 2012. I samband med rapporten kommer en kommission att vid behov föreslå insatser om ländernas arbeten inte motsvarar förväntningarna.

4 Metod

Det startade med en undersökning angående möjligheten att analysera och jämföra ett standardhus baserat på Boverkets krav med ett passivhus men då liknande studier genomförts valdes försöket att projektera ett passivhus i Kiruna stad.

Projektet har följt en arbetsgång där problem kartläggs för att sedan samla in information som kan lösa problemet. Därefter simuleras och analyseras testvärden för de tänkta lösningarna. Avslutningsvis tolkas resultatet i förhållande till den blivande konstruktionens helhet. Med andra ord är studien av kvalitativ grund [34] vilket även är fallet då känslighetsanalysen genomförs.

Huvuduppgiften i början var att hitta en lämplig byggnad att utgå från för att sedan anpassa klimatskalet till passivhusstandard. Då examensarbetet endast är på 15 hp kontaktades Jutta Schade, doktorand vid Luleå tekniska universitet för att tillhandahålla lämpliga konstruktioner. Konstruktionernas lämplighet analyserades utefter dess kompaktitet som beskrivs under bakgrunden.

Vidare har kontakter från Kiruna Kommun förmedlat lämpliga framtida områden för ett passivhus. Mark-/jordkaraktär har analyserats för att undersöka dess påverkan.

En strävan har varit att i största möjliga mån använda Passivhusinstitutet certifierade produkter då de produkterna har utvärderats under samma villkor.

En grundläggande tanke vid projekteringen har varit att konstruktionen inte ska skilja sig från mängden och framförallt se till de boendes komfort och trivsel.

5 Resultat

Ska ett ja- eller nej-svar ges på frågan om det är möjligt att bygga ett passivhus norr om polcirkeln, närmare bestämt i Kiruna stad blir det ett entydigt ja baserat på PHPP simuleringarna.

Alla beräkningar redovisas i bilaga N förutsatt att de är räknade för hand, PHPP beräkningar redovisas endast som resultat.

Energibehov enligt årsmetoden:	14,8 kWh/m ² år
Energibehov enligt månadsmetoden:	15,5 kWh/m ² år
Effektbehov:	9,9 W/m ²
Specifikt primärenergibehov:	65 kWh/m ² år
Övertemperaturfrekvens:	0 %
Specifikt energibehov enligt BBR:	32 kWh/m ² år

Tabell 1. – Redovisade resultat enligt internationellt passivhuskrav

5.1 Konstruktion

Konstruktionen bygger på de tidigare nämnda arkitekturritade ”bläckhornshuset” med måtten 11,5 x 11,5 meter, skillnaden är att det slutliga huset är ett radhus med måtten 34,5 x 11,5 meter. Konstruktionens lufttäta skikt består av skarvtejpade OSB-skivor med en lämplig plastfolie dragen runt mellanbjälklaget och taknocken för att få en tät och sammanhängande anslutning. Plastfolien förses med gummilister för att motverka brott vid rörelse då material av trä rör sig beroende på yttre omständigheter. Även övergången mellan betonggrunden och väggen måste lösas lufttätt, exempelvis med en sträckmetallingjuten plastfolie. En viktig detalj är att välja kvalitativ åldersbeständig tejp. Dessutom har konstruktionen fått ett vindfång till varje entré samt ett installationsrum mitt på norrfasaden. De utrymmena utgör ingen del av klimatskalet utan är fristående delar och påverkar energibehovet varken positivt eller negativt i beräkningarna. Skiljeväggens U-värde är endast intressant ur ett effektperspektiv då byggnaden ska klara av att hålla temperatur och komfort trots att en eller flera lägenheter står tomma utan internt tillskott. I övrigt har det karakteristiska utseendet eftersträvat i största möjliga mån (bilaga I). Nedan följer husets uppbyggnad, inre och yttre övergångsmotstånd är summerade i U-värdets resultat:

Element	Uppbyggnad	λ -värde W/mK	Tjocklek mm	U-värde W/m ² K
Yttervägg	Gipsskiva	0,22	13	
	Isolering + träregel	0,042	45	
	OSB-skiva	0,13	15	
	Isolering + lättregel	0,03956	170	
	Isolering + lättregel	0,03956	170	
	Tyvekduk			
	Luftspalt			
	Liggande panel			
	Summa		413	0,096

Tabell 2. – Klimatskalets ytterväggskonstruktion med tillhörande U-värde

Element	Uppbyggnad	λ -värde W/mK	Tjocklek mm	U-värde W/m ² K
Yttertak	Gipsskiva	0,22	13	
	Isolering + träregel	0,042	45	
	OSB-skiva	0,13	15	
	Isolering + lättregel	0,037565	400	
	Råspont	0,13	22	
	Tyvekduk			
	Luftspalt			
	Falsad plåt			
	Summa		495	0,08

Tabell 3. – Klimatskalets yttertaks konstruktion med tillhörande U-värde

Element	Uppbyggnad	λ -värde W/mK	Tjocklek mm	U-värde W/m ² K
Grund	Golvbeläggning	0,13	22	
	Betong	1,7	100	
	Isolering	0,035	250	
	Skumglas	0,15	300	
	Summa			672

Tabell 4. – Klimatskalets grundkonstruktion med tillhörande U-värde

Element	Uppbyggnad	λ -värde W/mK	Tjocklek mm	U-värde W/m ² K
Skiljevägg	Gipsskiva	0,22	13	
	OSB-skiva	0,13	15	
	Isolering + träregel	0,054	120	
	OSB-skiva	0,13	15	
	Gipsskiva	0,22	15	
	Summa			176

Tabell 5. – Lägenheternas skiljeväggskonstruktion med tillhörande U-värde

Varje lägenhet har lika planlösning (bilaga J), dock är de spegelvända mot varandra för att minska ventilationens, värmedistributionens och varmvattenledningarnas dragningar. Planlösningen består av följande rum:

Lokalisering	Rum	m ²
Bottenvåning:	Sovrum	12,8
	Förråd	6,1
	Toalett/Klädvård	6,6
	Hall	10,9
	Kök	21,6
	Vardagsrum	25,74
1 Våning:	Sovrum	17,9
	Förråd	7,9
	Sovrum	14,7
	Förråd	1,6
	Sovrum	10
	Förråd	4
	Toalett/Bastu	10,3
	Gemensamhet	14,5
	Summa	164,64

Tabell 6. – Lägenheternas uppbyggnad

5.1.1 Köldbryggor

Intressanta detaljer vad gäller köldbryggskoefficienter finns presenterade under bilaga M och har följande värden:

Detalj	Längd m	ψ -värde W/mK
Sockel	91,48	-0,029717
Vägghörn	18,69	-0,053556
Takfot 1	92	-0,032679
Takfot 2	61,2	-0,02723
Taknock	30,9	-0,004706
Mellanbjälklag	54,16	-0,004793

Tabell 7. – Klimatskalets köldbryggor med tillhörande koefficient och längd

Valet av köldbryggsberäkning (vid god konstruering) vid passivhusprojektering står mellan att låta köldbryggorna motsvara noll, alltså varken positivt eller negativt eller att beräkna dem då möjligheten finns att tillgodoräkna sig en energivinst som i slutändan genererar mindre kostnader. För att kunna hävda att köldbryggorna är noll ska det med säkerhet kunna sägas att konstruktionsdetaljen är helt köldbryggsfri vilket motsvarar ett ψ -värde $< 0,01$ W/mK. Är värdet med sannolikhet större måste koefficienten beräknas enligt gällande EN ISO 10211. I denna konstruktion visar kalkylerna att de gjorda köldbryggsberäkningarna resulterade i en minskning med fyra procent av de totala transmissionsförlusterna.

5.2 Mark

Markförhållanden samt omgivande geologi som kan förhindra solinstrålning i de tre områdena är lika varandra och redovisas därför inte enskilt då tester visar att det endast skiljer en tiondel i slutresultat. Därför bestäms det att följande teoretiska värden på markegenskaperna används:

Värmekonduktivitet:	$\lambda = 2,0 \text{ W/mK}$
Värmekapacitet:	$\rho c = 2,0 \text{ MJ/m}^3\text{K}$
Grundvattennivå:	$z_w = 1,5 \text{ m}$
Grundvattenflöde:	$q_w = 0,05 \text{ m/d}$

Vidare förses byggnaden med en kantisolering placerad vertikalt med en tjocklek på 0,2 m och ett djup på 1,0 m. Simuleringar i PHPP visar på bättre markegenskaper om den placeras vertikalt, dock kan det finnas risker för att tjälen kan tränga ned i marken intill byggnaden. Det finns inga förhinder att i efterhand placera en horisontell isolering för att förhindra tjälspridning mot grunden.

Områden som stadsarkitekt Thomas Nylund delgivit (bilaga Q) ligger som tidigare beskrivits mot stadsdelen Tuollavaara i den östra delen av Kirunas stadsbild. Från kartor med terrängangivelser och höjdkurvor har avstånd och höjdangivelser till möjliga skuggande objekt registrerats och förts in i PHPP. Fönstren placeras 0,15 m in i väggen och förses med en ytterligare reduktion ned till 80 procents instrålning på grund av stolpar från balkongerna samt en mindre skiljevägg mellan respektive lägenhets altandel. Avståndet till Kirunavaara som motsvarar det högsta berget och därmed den största skuggningen är 5,18 km och dess höjd är 239,2 m högre än de västliga fönstren som berget skuggar. I de övriga riktningarna är terrängen inte lika kuperad varför värden för potentiellt närliggande byggnader har förts in. För sommarfallet har instrålningen reducerats än mer då det är stor sannolikhet att det finns lövträd och andra buskage som är placerade i solens väg in genom fönstren. I och med att skuggningssituationen troligtvis minst är som den antagits uppstår ingen övertemperatur i någon av lägenheterna.

5.3 Strålningsdata

Strålningsdata är lite svårdefinierad då det beror på mer än vilken färg det är. Exakt fakta [35] har inte funnits att tillgå och därför har värden för absorption motsvarande röd och svart färg använts då de står till grund för fasaden och taket. Vidare har emissionsvärden på 0,85 och 0,9 använts.

5.4 Komponenter och installationer

I den mån information funnits att tillgå av tillverkare alternativt genom datablad från Passivhusinstitutet redovisas de i bilagorna. Framst för att delge uppbyggnad och teknisk information.

5.4.1 Fönster

Fönstren består av två komponenter, glas och karm. Beräkningen av U-värden baseras som tidigare nämnt på EN ISO 673 samt 410 vilket kortfattat betyder att man viktar ihop fönsterdelens U-värde med karmdelens U-värde, dessutom tas hänsyn för köldbryggorna som

uppstår vid glasranden (distansen mellan fönstren) i anslutningen mellan fönster och karm. Tillsammans med själva inbyggnaden som även generar en köldbryggskoefficient ska U-värdet motsvara ett värde $\leq 0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$. En parameter som är av vikt är fönstrets solenergitransmittans, g-värde (procentuell) som anger hur mycket av solens strålning fönstret släpper in. Produkterna är certifierade av Passivhusinstitutet [36, 37, 38] och datablad tillhörande fönsterkarmen presenteras under bilaga C. Husets fönster har följande värden:

Detalj	Ψ_{glasrand} W/mK	$\Psi_{\text{montering}}$ W/mK	g-värde	U-värde W/m ² K
Glas _{syd}			0,61	0,6
Glas _{övrig}			0,54	0,51
Karm	0,033	-0,001		0,68
			Summa	0,69

Tabell 8. – Fönstrens konstruktion med tillhörande U-värde

Den totala fönsterarean uppgår till $75,2 \text{ m}^2$ vilket motsvarar ca 11,4 procent av den invändiga golvarean, med andra ord uppfylls Boverkets rekommendationer [1] om 10 procent.

5.4.2 Värmesystem

Primärsystemet utgörs av en fjärrvärmecentral (bilaga E) kopplad till fjärrvärmens sekundärnät och den styr all uppvärmning. Till centralen är en golvvärmeanordning (bilaga G) kopplad och det utgör sekundärsystemet. Ett sekundärsystem behövs för att hålla den relativt låga temperaturen som golvslingorna erfordrar för att inte skapa övertemperaturer eller lagring av värmen där slingorna är förlagda. Dessutom ser sekundärsystemet till att varje rum kan reglera temperaturerna oberoende av varandra. Med andra ord värms huset av golvvärmeslingor trots att det finns en viss risk att det är ett för trögt system, slingorna är dock inte ingjutna i någon betong utan placerade flytande separat från grunden. Med trögt system menas ett system där lagrad värme fortsätter att tillföras huset efter att systemet stängts av. Vidare försörjer fjärrvärmecentralen konstruktionen med tappvarmvatten och förvärmning av uteluften till ventilationsåtervinningsaggregatet. Systemets pump för värme varierar mellan 5-45 W. I primärenergibehovsberäkningarna används det övre värdet för att inte underskatta behovet. Fjärrvärmens kommer från kraftvärmeverk och i manualen för PHPP finns det en möjlighet att förtränga el som kommer från kraftverk med mer koldioxidutsläpp då kraftvärmeverk producerar el samtidigt som värme. Möjligheten att förtränga ”smutsig” el gör att det finns en chans att påverka det redovisade utsläppet av koldioxid för konstruktionens uppvärmning men i denna projektering valdes att avstå från möjligheten. Istället redovisas det verkliga koldioxidutsläppet som uppgår till $3,3 \text{ g/kWh}$. Övrig information är att primärenergifaktorn (bilaga O) för fjärrvärme är satt till 0,7 trots att vedburen värme har värdet 0,2 och den stora uppvärmningen sker med en blandning av flis, torv och avfall.

5.4.3 Ventilation

Ventilationen i huset består av ett rörsystem kopplat till ett återvinningsaggregat. Återvinningsaggregatet (bilaga D) har en effektiv återvinnig, då ventilationssystemet är uppbyggt enligt bilaga L på 91,9 procent. Det innebär i praktiken att den kalla uteluften efter energiöverföring i återvinningsaggregatet erhåller en temperatur upp mot 18,5 grader Celsius utan någon typ av eftervärmning, förutsatt att återvinningsaggregatet inte fryser och isbildning uppstår i återvinningskanalerna. Behöver aggregatet avfrostas sjunker verkningsgraden då ingen återvinning kan ske samtidigt. Dessutom åtgår det energi för att uppbbringa en avfrostning. I det

projekterade passivhuset har ett förvärmningsbatteri (bilaga F) koppats till fjärrvärmens (uppvärmningssystemet) och fungerar då som frostskydd, med andra ord sjunker aldrig uteluften under temperaturgränsen. Den primäre energi som åtgår för att driva systemet, det vill säga pumpens effekt multiplicerat med tiden den används har beaktats och summerats med övrig primärenergianvändning. Pumpen som används har en varierad effekt mellan 5-22 W, men i beräkningen har den övre gränsen använts. Vidare är energiförbrukningen projekterad för användning dygnet runt under de sju månader som månadsmedeltemperaturen understiger 0 grader Celsius. Det ger upphov till ca 112 kWh köpt energi. Förvärmningsbatteriet är gemensamt för alla lägenheter och är placerad i installationsrummet. Därefter leds uteluften till respektive återvinningsaggregat i lägenheternas klädvårdsavdelning (bilaga L). Återvinningsaggregatets el-effektivitet ligger på 0,24 Wh/m³ och placeringen medför korta rördragningar via ett schakt upp till övre våningen där även utrymme ovan innetaket används för tilluften för att inte påverka rumsbildningen. Sommartid sker en bypass i återvinningsaggregatet för att åstadkomma samma ventilation utan återvinning. Genom att placera ett återvinningsaggregat i varje lägenhet kan regleringen ske individuellt beroende på egna önskemål. Luftflöden i toalettutrymmen är delvis beroendestyrda efter fukthalt men har ett grundflöde. Köksflödet kan hållas lågt utan forcering då en kolfilterfläkt monteras.

Lokalisering	Rum	Tilluftflöden l/s	Frånluftflöden l/s	Överluft l/s
Bottenvåning:	Sovrum	10		
	Förråd		5	
	Toalett/Klädvård		15	
	Hall			10
	Kök		10	
	Vardagsrum	18		
1 Våning:	Sovrum	10		
	Förråd	5		
	Sovrum	5		
	Förråd	5		
	Sovrum	5		
	Förråd		5	
	Toalett/Bastu	0+5	23+5	
	Gemensamhet			30
	Summa	58	58	37,5

Tabell 9. – Ventilationsflöden för respektive rum samt summerade flöden per lägenhet

5.4.4 Tappvarmvatten

Varmvattenledningarna utgår från värmeväxlingen via fjärrvärmecentralen, med andra ord har en ackumulatortank för lagring av vatten valts bort. Sedan leds de via mellanbjälklaget till respektive lägenhets fördelarskåp (bilaga K). Fördelarskåpets har flera funktioner, bland annat att fungera som knutpunkt för vidare förgrening till respektive lägenhets tappställe. Det möjliggör även en skarvfri rördragning från värmeväxlingen till fördelarskåpet och från fördelarskåpet till tappstället. Då alla ledningar är dragna osynliga i bjälklag och väggar skulle en vattenskada bli svår att snabbt upptäcka men i och med den skarvfria rördragningen (rör i rör) upptäcks läckage då det samlas i fördelarskåpen. Ett fördelarskåp gör även enskilda mätningar av vattenförbrukning möjlig. En annan lösning hade varit att från värmeväxlingen dra ledningar direkt till respektive lägenhet men då hade mängden rör ökat. Rum med vattenförsörjning är placerade i närheten av varandra i planlösningen (bilaga J). För tappvarmvattenuppvärmningen används en pump med varierad effekt mellan 5-22 W och även här används det övre värdet för att inte underskatta energiutgifterna. Det resulterar i ett behov på 5,72 kWh

5.4.5 Bastu

Bastun är placerad i lägenhetens övre plan och har en effekt på 3,6 kW. I antagandena används bastun under sex månader av året samt fyra timmar per vecka under de sex månaderna, då skulle energibehovet bli 1382,4 kWh/år. I beräkningarna för primärenergiebehovet avrundas värdet till 1600 kWh/år. Ventilationen för bastuutrymmet är helt behovsstyrt vad gäller både till- och frånluft.

5.4.6 Elektriska installationer:

Diskmaskin Miele G5985 SCVi	0,83 kWh/14 kuvert 0,711 kWh/12 kuvert
Tvättmaskin Miele W5963 WPS	0,91 kWh/8 kg 0,57 kWh/5 kg
Torktumlare Miele T8967 WP EcoComfort	2,3 kWh/användning
Kylskåp Miele K14827 SD	0,13 kWh/dygn
Frysskåp Miele FN14827 S	0,33 kWh/dygn
Matlagning spishäll Miele KM6383 samt H5681 BPR	0,2 kWh/användning

Dessutom tillkommer primärenergi om badkaret på övre våningen har bubbel-/massagefunktion. Det har dock inte beaktats i beräkningarna då de baseras på ett vanligt badkar.

5.5 Enskild ytterlägenhet

För att få ett hus certifierat (bilaga A) som passivhus enligt internationella krav ska hela byggnaden uppfylla de ställda kraven. Varje enskild lägenhet behöver för den delen inte klara kraven. Men alla system ska vara anpassade för att upprätthålla samma komfort oavsett om det är en mittenlägenhet eller en ytterlägenhet. Ytterlägenheterna har till skillnad mot mittenlägenheterna mer area som gränsar mot uteluft vilket resulterar i ett ökat energi och effektbehov, alltså bor de med en ytterlägenhet fortfarande i ett passivhus men inte i en passivhuslägenhet. För att ta reda på hur mycket installerad effekt som behövs och vilken energiåtgång de har simulerades en enskild ytterlägenhet i PHPP, skillnaderna mot hela huset är areorna och volymen, i övrigt är samma komponenter installerade och klimatskalet är uppbyggt på samma sätt. Resultatet redovisas nedan:

Energiebehov enligt årsmetoden:	17,9	kWh/m ² år
Energiebehov enligt månadsmetoden:	18,1	kWh/m ² år
Effektbehov:	11	W/m ²
Specifikt primärenergiebehov:	68	kWh/m ² år
Övertemperaturfrekvens:	0	%
Specifikt energiebehov enligt BBR:	36	kWh/m ² år

Tabell 4. – Ytterlägenheternas redovisade resultat enligt internationellt passivhuskrav

5.6 *Klimatdata*

Då klimatet i Kiruna Kommun och stad är lokalt varierande har olika klimatdata samlats in, testats och utvärderats. Det är senare års klimatfakta som är intressant i och med att klimatförändringarna runt oss. Ursprungligen används de förinlagda värdena i PHPP, därefter gjordes en datasökning med programmet Meteonorm för platsen där det tänkta "Expo2015" planeras vilket renderade i vissa mindre skillnader och slutligen kontrollerades information från SMHI vad gäller temperatur och globalstrålning. Meteonorms värden baseras på meteorologiska databaser för energiberäkningar. Det gav olika slutresultat med mindre skiftande karaktär där den minst gynnsamma används vid redovisade resultat. Den minst gynnsamma utgjordes av SMHI:s fakta kombinerat med värden från PHPP då SMHI inte kan tillhandahålla alla uppgifter som söks. Inget effekttillskott kan tillgodoräknas under uppvärmningsperioden på grund av den geografiska lokaliseringen då effektbehovet baseras på de två minst gynnsamma klimaten som även nämnts i bakgrunden. I Kiruna stad råder polarnätterna under effektbehovets två minst gynnsamma dagarna vilket gör att resultatet i detta fall ger två fall med samma effektbehov. Dimensionerande temperatur är bestämd till -25 grader Celsius vilket motsvarar Boverkets tabeller över dimensionerande vinterutetemperatur för Kiruna stad med en 9 dagar lång lagringströghet.

5.7 Känslighetsanalys

Känslighetsanalysen över ändrade simulerade testvärden presenteras i tabell 4 nedan med kommentarer över det blivna resultatet.

Typ av ändring	Ursprung	Ändring	energibehov	effektbehov	Kommentar
			kWh/m ² år	W/m ²	
1. Andelen fönster syd	29,95%	15 %	0,3	-1,2	Andelen fönster i alla riktningar motsvarar ca 10 % av golvarean. Procentandelen till vänster är andelen fönster i förhållande till väggen de är monterade i. Minskas fönsterarean minskar även värmestillskottet från solen vilket borde rendera i ett högre behov av energi och effekt men samtidigt minskar transmissionsförlusterna och det är nästan viktigare i "polklimat".
2. Andelen fönster nord	3,08 %	10 %	1,3	0,5	I nordlig riktning finns knappt någon solinstrålning under uppvärmningsperioden vilket medför att transmissionsförlusterna ökar mer än vad tillskottet gör.
3. Andelen fönster väst	4,51 %	10 %	0	0,02	I västlig riktning blir det ingen större skillnad vilket beror på den ofta raka solinstrålningen vilket ger lägre förluster på grund av utstickande objekt och instrålningsvinkel.
4. Andelen fönster öst	4,51 %	10 %	0,1	0,02	skillnaden i östligt läge mot västligt läge beror på jordklotsaxelns lutning, dock en knappt märkbar skillnad. 0,6 % av energikravet för passivhus och 0,06 % av motsvarande krav för nybyggnationer från BBR (150 kWh/m ² a).

Typ av ändring	Ursprungs	Ändring	energibehov	effektbehov	Kommentar
			kWh/m ² år	W/m ²	
5. U-värde fönster med montering	0,7 W/m ² K	1,04 W/m ² K	6,9	1,5	Ett tydligt exempel på hur noga det är att välja kvalitativa produkter. Samtidigt kan det inte nog poängteras vikten av att kontrollera tillverkarnas uppgivna värden.
6. Fönsterlokalisering	se ovan	Lika delar N-S, O-V	4,4	1	Ett "symmetriskt" hus med lika delar fönster i parallella riktningar genererar en energiförlust som blir markant mycket större än om fönsterplaceringen är väl genomtänkt. Här är det ca 19 % fönster vid varje tillhörande vägg vilket medför att förlusterna är 3598 kWh/a större medan det i ursprungsläget endast uppgår till 115 kWh/a.
7. U-värde dörr	0,61 W/m ² K	1,3 W/m ² K	1,2	0,4	Trots att ytterdörren inte utgör någon stor del av klimatskalet påverkar den resultatet om U-värdet är lite sämre. Sämre dörrar kan lätt ge upphov till obehagskänslor som "drag" och kallras.
8. U-värde vägg	0,096 W/m ² K	0,18 W/m ² K	6,6	2,3	BBR sätter krav på energihushållningen genom att byggnader i klimatzon I ska klara sig med 150 kWh/m ² a, alternativt använda de U-värden vid ändringarna för klimatskalet om byggnaden har ett A _{temp} som är mindre eller lika med 100 m ² . 6,6 kWh/m ² år motsvarar en ökning av energibehovet med nästan 46,5 %.
9. U-värde tak	0,08 W/m ² K	0,13 W/m ² K	3,7	1,3	3,7 kWh/m ² a kan verka lite men i relation till ursprungsbehovet är det en ökning på 26 %.
10. U-värde grund	0,105 W/m ² K	0,15 W/m ² K	1,7	0,4	Den mindre skillnaden mot övriga klimatskalet beror på differensen mellan inomhustemperatur och marktemperatur.

Typ av ändring	Ursprungs	Ändring	energibehov	effektbehov	Kommentar
			kWh/m ² år	W/m ²	
11. U-värde v+t+g	se ovan	se ovan	12,2	4	När man konstruerar alla delar enligt BBR ger det en ökning med 86 %. Samtidigt kan det sättas i relation till BBR kraven för nybyggnation på 150 kWh/m ² a, då har man sparat in 82,4 % energibehov.
12. Antalet boende	16	20	0	0	De interna värmekällorna har ett fast värde på 2,1 W/m ² på grund av att det inte projekteras ett hus med alldeles för högt tillskott.
13. Vindskyddskoefficienter	0,07; 15	0,10; 15	0,6	0,5	Vindskyddskoefficienterna talar om hur mycket av blåsten som träffar huset. I detta fall ändras värdena från att vara måttligt avskärmade till att inte ha någon avskärmning alls, i båda fallen är det flera exponerade sidor.
14. Dimensionerande innetemperatur	20	24	6,3	1,4	Ett generellt råd för att spara energi brukar vara att man ska sänka inomhustemperaturen med någon grad. Är man samtidigt av den typen som gillar att ha det varmt finns det mycket att spara på att ta på sig en tröja. I passivhus brukar det generellt inte vara ett problem med att de boende vill ha en högre temperatur då ytor som kan stråla inte finns på grund av de välisolerande komponenterna.
15. Köldbryggor	-0,02106 w/mK	0,02 w/mK	2,5	0,8	Ett bevis på att det lönar sig att detaljprojektera köldbryggor.

Typ av ändring	Ursprungs	Ändring	energibehov	effektbehov	Kommentar
			kWh/m ² år	W/m ²	
16. Luftomsättning	681 m ³ /h	829 m ³ /h	0,5	0,1	Genom att inte kontrollera ventilationen så att den går på minimumflöde när ingen vistas i bostaden förloras 0,5 kWh/m ² a. BBR kraven ligger på 0,35 l/sm ² vid vistelse i byggnaden medan det kan sänkas till 0,1 l/sm ² när ingen finns i byggnaden.
17. Vent. återvinningsgrad	93 %	83 %	3	0,6	Få procents skillnad kan ändå utgöra en märkbar skillnad
18. Infiltrationsgrad	0,2 1/h	0,6 1/h	2,9	2,5	Då BBR rekommenderar en luftomsättning på cirka 0,5 omsättningar per timme är en infiltrationsomsättning på grund av otätheter på 0,6 1/h en väldigt stor, speciellt då en infiltrationsförlust inte kan återvinnas.
19. Ventilationsrörsisolering	150 mm	0 mm	2,9	0,6	Isoleras inte utelufts- och avluftskanalerna stjälar de värme från byggnaden som motsvarar lika mycket som ett sämre ventilationsaggregat.
20. Varmvattenrörsisolering	50 mm	0 mm	0	0	Energibehovet och effektbehovet för uppvärmning förändras inte, dock sker en mindre ökning av primärenergibehovet.
21. Skuggning	80 %	60 %	0,7	0	Skuggning av fönster kan vara avgörande för att klara. Om skuggningen ökar med 20 % stiger värdet förbi gränsen för ett passivhus.
22. Takhöjd	2,5	2,4	-0,1	-0,1	Eftersom skillnaden endast är en decimeter blir utfallet inte stort, dock ska man tänka sig för innan man planerar att ha extra högt i tak då det genererar ventilationsförluster.

Typ av ändring	Ursprungs	Ändring	energibehov	effektbehov	Kommentar
			kWh/m ² år	W/m ²	
23. Markegenskaper	$\lambda=2,0$ W/m ² K $\rho c=2,0$ MJ/m ³ K	$\lambda=0,4$ W/m ² K $\rho c=3,0$ MJ/m ³ K	-1,5	-0,4	I exemplet motsvarar markegenskaperna torv vilket inte i sig är lämpligt att bygga på men det som påvisas är vikten av bra markförhållande. En stor vinning kan göras om man har möjligheten att välja mellan olika typer av markegenskaper i området där huset ska byggas.
24. Klimatzon	I	III	-10	-5,1	Lokaliseringen på jordklotet bestämmer hur klimatskalet ska konstrueras. Flyttas huset till Lund minskar energibehovet med 70 %.
25. Minskar huset till original	33,5x11,5	11,5x11,5	5,9	1,4	Värdet antyder att det finns förhoppningar om att kunna tillverka ett enfamiljshus i passivhusstandard även i kallare klimat. Värden och komponenter motsvarar det projekterade passivhuset med skillnaden att referensarean blir lite större.
26. Luftkanalernas längd	12,811 m; 4 m	0,5 m; 0,5 m	-0,3	-0,1	Minskas längden kalla rör kan energi sparas. Ett sätt att förlägga korta kalla rör är att ställa återvinningsaggregatet nära en yttervägg.
27. Sommarskuggning	75 %	50 %	0	0	Under sommaren krävs oftast ingen extra energi eller effekt då det yttre klimatet är gynnsamt.
28. Varmvattencirkulation	0 m	25 m	0	0	Ger endast ett marginellt ökat primärenergibehov.
29. Sammanslagning av 5-10, 15-18 samt 21	se ovan	se ovan	38,2	12	52,4 kWh/m ² a klassas enligt BBR som ett mycket energisnålt hus och det är det i relation till vad kraven för en nybyggnation är, men i relation till ett passivhus är det långt ifrån.

Tabell 4. – Känslighetsanalys med ursprungsvärde, ändringsvärde samt resultat för energi och effektbehov

Då huset är en komplex enhet där allt hänger samman och samspelar med varandra för att ge ett gott slutresultat är det svårt att peka på enskilda detaljer som är avgörande, dock går det att påvisa att vissa ändringar gör större skillnad än andra. Nedan visas ett sammandrag av ovanstående tabell för de fyra enskilt mest påverkade posterna:

- » U-värde fönster: +6,9 kWh/m²år
- » U-värde vägg: +6,6 kWh/m²år
- » Dimensionerande
innetemperatur: +6,3 kWh/m²år
- » Fönsterlokalisering: +4,4 kWh/m²år

6 Diskussion och slutsatser

Det ska tydliggöras att projektets resultat teoretiskt bevisar att det finns stora möjligheter att bygga ett internationellt passivhus norr om polcirkeln, i Kiruna stad. Även om programmet PHPP bygger på mer än 20 års erfarenhet inom passivhusbyggnation är det först när huset är byggt det klart och tydligt kan statueras som bevis för att det är fullt möjligt att bygga ett passivhus efter de internationellt uppsatta kraven.

Även om passivhus känns som framtiden idag har det varit ett fungerande koncept i över 20 år i Europa. Då kan frågan ställas om det kommer vara gällande standard i framtiden, att europaparlamentets direktiv om nästan-nollenergihus översatt kommer att betyda internationellt definierat passivhus. Nu bygger direktivet visserligen på att varje nation ska upprätta en definition som dessutom är lokalt anpassad efter klimatet, vilket betyder att kravet i norra Sverige kanske kommer att lyda likt ett passivhus, medan kravet för södra Sverige möjligtvis kommer att motsvara ett nollenergibehovshus eller till och med ett så kallat plusenergihus som producerar mer energi än vad det gör av med. Det är en god tanke som europaparlamentet kommer med när de i direktiv förklarar vad som kommer att gälla och inte bara strävar efter förhållningssätt och rekommendationer som lätt blir luftslott för att dölja en gråare fasad med oföränderligt beteende. I Sverige, särskilt de norra delarna finns det stora besparingspotentialer med att bygga energieffektivt då transmissionsförlusterna minskar avsevärt medan en byggnad i södra Europa skulle generera stora besparingar då kylbehovet nästan helt försvinner.

Beaktas dessutom de ökande energipriserna till beräkningarna gynnas exempelvis passivhus mer då ett sådant hus inte påverkas av konjunktorens svängningar i lika stor utsträckning som ett traditionellt hus. Med en jämförelse från förra vinterns (2009-2010) höga energipriser där många hushåll hade en ökad energikostnad på flera tusen kronor skulle ett passivhus tala i termer likt flera hundra kronor, alltså de 90 procent lägre kostnaderna som tidigare betonats.

Den stora osäkerhetsfaktorn i de teoretiska beräkningarna är pålitligheten till klimatdatan. Kiruna stad befinner sig cirka 100 meter högre upp än SMHI:s mätstation på flygplatsen. Det leder till att när det är kallt vid mätstationen är det inte fullt så kallt inne i staden, dessutom blåser det mer inne i staden än vad det gör vid flygplatsen vilket kan påverka en byggnads energi- och effektbehov. Svårigheten har varit att få fram tillförlitlig testdata som visar på den skillnaden som beskrivs på Kiruna Kommuns hemsida och ännu svårare från de tänkta platserna för ett framtida passivhus. På grund av osäkerheten har tre olika klimatdata bearbetats för att studera skillnaden i resultat. Å ena sidan kan det klart hävdas att ett hus som byggs närmare staden men dimensioneras för flygplatsens meteorologiska uppgifter har ett effektbehov som är lägre än antagna värden och därmed inte får problem att upprätthålla boendekomforten. Å andra sidan kan det hävdas att värmesystemets effekt blir aningen överdimensionerat. Invändningen är att pumparna som styr de tekniska installationerna är helt och hållet behovsstyrda. Det betyder att pumpen arbetar på just det varvtalet som behövs för att avge exakt den effekt konstruktionen eftersträvar för att exempelvis hålla 20 grader Celsius inomhus. I slutändan valdes de minst gynnsamma klimatförutsättningarna vad gäller temperatur och strålning.

Vid alla typer av hus som medför höga besparingar av exempelvis energi eller miljöbelastning framhålls oftast de positiva effekterna, därför är det viktigt att ge en nyanserad bild och även påvisa det som kan upplevas som negativt.

Inget hus har byggts efter de internationella passivhuskraven i ett så pass kallt klimat som projektet syftar till. Med andra ord kan PHPP endast teoretiskt validera projektet, det är först när en byggnad projekterad med PHPP finns på plats i exempelvis Kiruna stad som det även kan hävdas vara praktiskt tillämpbart i mycket kallare klimat.

Övertemperaturer är ett fenomen som ofta påtalas då en byggnad är väldigt isolerad och tät. Programmet PHPP tar hänsyn till fenomenet och visar med hur många procent av årets dagar det är övertemperatur. Därefter är det upp till projektören att lösa problemet, för det är ett lika starkt krav som vilket annat av passivhuskraven. I manualen till PHPP framhålls det dessutom att andelen övertemperaturdagar inte bör överstiga fem procent. Med en sämre projektering där ingen avskärmning finns är det stor sannolikhet att boendeklimatet kommer att upplevas som mindre bra. Utan skuggning i konstruktionen som presenteras under resultatet skulle en cirka 40 procentig övertemperatur erhållas vilket skulle vara olidligt att bo i, det innebär att 146 av årets dagar har en inomhustemperatur över 25 grader Celsius.

Många skeptiker hävdar att ett passivhus trots allt måste ha ett visst tillskott av energi för värme och att det är direktverkande el. Visst stämmer tesen till viss del då installationer använder en viss mängd ren el, men det går inte att påstå att det endast gäller passivhus då alla hus med tekniska installationer kräver en viss driftel. Med ett värmeåtervinningssystem kan exempelvis energibehovet reduceras markant men det kräver ändå en viss elektricitet för att fungera. Då kan frågan ställas vilket som är mest hållbart mellan att bortse från ett ventilationssystem med följden att byggstandarden måste förändras eller få ett visst elektriskt behov med konsekvensen att den totala energibesparingen blir mycket högre. Därför borde kritiken riktas mot elproducenternas hållbarhet. Har ventilationen ett elektriskt eftervärmningsbatteri ökar självklart elbehovet och det tar projekteringen hänsyn till då all primäre energi ska. Det är inte optimalt att eftervärma luften med ett elektriskt batteri av just den anledningen att elbehovet ökar, därför eftersträvas alternativa lösningar. Ska det ske eftervärmning av luften (luftburet värmesystem) finns det lösningar med berg- eller markvärmekollektorer kopplade till batteriet alternativt fjärrvärme. En bättre lösning är att inte värma huset via tilluften utan ha ett separat uppvärmningssystem likt det projekterade golvvärmesystemet. Det ger mindre elektriskt behov, större regleringsmöjligheter men samtidigt en ökad investeringskostnad.

Vidare kan tekniska installationer ge upphov till åsikter. De kräver ett visst underhåll för att fungera optimalt. Då kan det diskuteras vilket ansvar som ska åläggas till de boende. Inställning och kalibrering vid idrifttagandet ska självklart skötas av en auktoriserad person men på vems ansvar är det att filter byts i exempelvis återvinningsaggregatet och att ventilationskanalerna rengörs.

Att byta ett filter en gång om året och se över ventilationskanalerna under samma tid borde vara mödan värd för att spara den större mängd energi som möjliggörs genom översynen, installationerna fungera sämre om de inte ses över. Det är dessutom inte komplicerade handlingar att genomföra. Vidare kan det diskuteras hur det gemensamma installationsutrymmets installationer ska skötas. Det borde vara upp till de boende att bestämma då det inte är någon skillnad mot en vanlig byggnad med fjärrvärme eller dylikt. Vad händer i ett vanligt hus när golvvärmesystemet inte fungerar, antingen tar man hand om problemet själv om den kunskapen finns, annars kontaktas en sakkunnig för att råda bot på problemet. Det som kan medföra begynnande besvär innan driften är optimal är om systemet innehåller många skilda delar som ska samspela. Ett system med många olika delar och komponenter som ska fungera tillsammans blir även mer sårbart än ett system med färre delar, alltså ska projektören i största

möjliga mån försöka ha enkelhet som ledord vid projekteringen. Vidare är det idag svårt att kombinera vissa system med andra i Sverige. Fjärrvärmebolagen brukar vara mindre benägna att tillåta att en solfångare sköter uppvärmningen av tappvarmvatten under sommarhalvåret. Installeras solceller finns det svårigheter att sälja överskottet av elektricitet då elbolagen inte är benägna att köpa upp den och ett eget slutet system skulle inte vara värd investeringen. Det föreligger att ske en lagändring inom kort vilket kan göra det möjligt för småproducenter att sälja elektricitet till kraftnätet.

Renoverbarheten och möjligheten till ombyggnationer kommer även ofta på tal. Ett passivhus bygger på att ha så tätt klimatskal som möjligt och även om installationsskikt planeras och föreskrifter upprättas finns det alltid en risk att de boende kan ”punktera” klimatskalet. Det leder till ett större energibehov samt markant ökade risker för bland annat fuktskador då kondensering kan ske i konstruktionen. I Sverige är vi vana med att konstruktioner förses med ett installationsskikt vilket möjliggör vissa inre arbeten men ska det behövas ett liknande installationsskikt vid fasaden? Och hur ska de boende göra när de vill bygga till fler rum? Det är problem som i framtiden behöver lösas vilket Joel Wollberg har studerat [21].

Frågan om det verkligen blir en mindre miljöpåverkan genom att bygga extremt energisnålt kan ställas då det kräver många olika material, det åtgår trots allt mycket energi för att framställa materialen. Här måste en djupare studie göras vid valet av material där materialets förbrukade energi och kostnad ställs mot husets sparade energi och den mindre förbrukade energins framställning. Miljöbelastningen torde bli mindre, åtminstone om hänsyn tas vid valet av material. I slutändan får vissa negativa konsekvenser uppstå för att få till en större positiv åtgärd, och att exempelvis byta ett filter i återvinningsaggregatet en gång om året borde motsvara ansträngningen för att spara i denna konstruktion 93 procent av luftens uppvärmning.

Fjärrvärmens kommer från kraftvärmeverk vilket betyder att det samtidigt alstras elektricitet som värme produceras. I beräkningen beaktas inte att den el som produceras kan förtränga el som kommer från smutsigare anläggningar och därmed ge ett negativt koldioxidutsläpp. Det hänger samman med att passivhus är ett hållbart boende och vid ett hållbart boende kan det krävas att exempelvis koldioxidutsläpp redovisas om det är möjligt. Det är trots allt en av de stora anledningarna till att vi måste bygga mer energieffektivt och dra ner på energikonsumtionen.

Känslighetsanalysen påvisar hur slutresultatet varierar då givna värden ändras. Många av punkterna kan vid en första anblick se ut att inte vara avgörande då de knappt ökar eller sänker behovet med mer än någon kWh/m²år. En slutsats som kan delges efter projekteringen är det att allt hänger samman och ger ett gott slutresultat. Det visar inte minst den sista punkten där flera värden har förändrats och energibehovet snabbt ökar, ändå är det inga drastiska förändringar som gjorts och huset skulle ändå kallas som ett lågenergihus då det fortfarande har ett energibehov som minskat till nära en tredjedel av Boverkets krav för zon I. 1,5 kWh/m²år kan verka som en liten energimängd, och det är det om det sätts i relation till Boverkets krav på 150 kWh/m²år för zon I. Där utgör det endast en procent av energibehovet men för ett passivhus som har ett krav på 15 kWh/m²år utgör det tio procent, därför är det viktigt att jämförelserna ställs i relation till rätt kategori för att ge en uppfattning om hur viktiga de små detaljerna blir. Två av de fyra högsta posterna vid känslighetsanalysen är även ”gratisposter” som kan uppnås genom god planering. Fönstrens lokalisering borde vara en självklarhet även vid all annan byggnation. Särskilt då det är en enkel lösning för att sänka energikostnaderna borde kunder och byggherrar vara intresserade av att hitta ”gratislösningar”. Den andra ”gratislösningen” innebär att sänka inomhustemperaturen och visar sig vara nästan lika effektiv som att installera bättre fönster eller sänka väggens värmegenomgångskoefficient. Det är en gratislösning som riktar sig till de boende i större utsträckning. I slutändan handlar det om komfortkänslan hos de boende. I ett passivhus är det lättare att hålla nere temperaturen då temperaturgradienten är inte skiljer sig lika mycket samt att de strålande ytorna inte utgör något problem, till skillnad från en sämre

konstruktion där det kan upplevas obekvämt att vistas vid lägre temperaturer. Avkall kanske kan göras då ett par tjockare kläder kan generera att inomhustemperaturen kan sänkas med någon grad och därmed spara på energiutgifterna även för konventionellt byggda hus.

Husets form är av stor vikt vid energieffektivt byggande. Vid optimerade förhållanden mellan omgivande areor och inneslutande volym underlättas projekteringen för att minska energibehovet. Den bästa formen för en energieffektiv byggnad är klotet/halvcirkeln men det är en svår byggnadsform att gå vidare med. Sämst byggnadsform när det gäller enkla solida element är kuben. Men en byggnad är sällan helt symmetrisk och då måste det tilläggas att ju mer former och utstickande delar en byggnad har desto sämre blir tidigare nämnt förhållande. Enkelt och kompakt är eftersträfvande förklaringar vid energieffektivt byggande.

Ventilationsprojekteringen är gjord efter att infiltrationen högst får vara 0,2 omsättningar per timme. Kravet säger 0,6 omsättningar per timme men de hus som byggs i dagens läge har värden runt 0,1 omsättningar per timme. Det gör att ett antagande på 0,2 omsättningar per timme inte är för optimistiskt. Ventilationen kan även lösas på andra sätt, alternativ hade varit att ha ett sommaruteluftsintag och ett vinteruteluftsintag beroende på temperatur. Sommartid hade ett intag beläget i norr genererat en kyleffekt och ett intag i söder under vintern hade delar av uppvärmningsperioden alstrat en liten förvärmning. Skuggningssituationerna är antagna efter hur områden kan tänkas bli utformade då det inte finns någon gällande detaljplan eller omgivningsbeskrivning för framtida områden. Det som är säkert vid skuggningen är hur passivhuskonstruktionen självskuggar sina fönster via bland annat balkongerna och fönstersmygarna samt gruvbergets lokalisering. I slutändan handlar allt om hur väl byggnadsarbetarna utför sina uppgifter då en projektör endast kan utgå från en modell som på förhand skulle generera ett internationellt passivhus. Därför är det viktigt med detaljprojektering.

Dagens strävan att energieffektivisera elektriska installationer går ut över den gratisvärme som annars skulle ha genererats. De nya lågenergilamporna ger cirka en tiondels värmealstring mot vad de äldre glödlamporna gav. Detsamma gäller vitvaror och tv-apparater. Summan av alla lågenergiprodukter gör att de interna värmetillskotten blir mindre ju mer utvecklingen går framåt. Med andra ord hade det varit lättare att vara självförsörjande utan tillskottsvärme innan produktutvecklingen eftersträvades. Frågan är om kostnaderna för energieffektiviserande produkter jämnar ut sig med att byggnaden behöver tillföras en liten del extravärme som annars hade tillförts gratis.

För att visa att ett passivhus inte är mycket mer annorlunda än ett vanligt hus, mer än att energibehovet drastiskt minskat projekterades en bastu i varje lägenhet. Grundprojekteringen utgår från att den är elektriskt ansluten vilket kan ändras men då måste någon typ av värmekanal punktera klimatskalet om den exempelvis skulle vara vedeldad. Eftersom den är elektrisk har värden för användandet tagits fram och genererat en ökning av primärenergi behövet, dock fortfarande med stor marginal till den uppsatta gränsen för primärenergianvändandet.

Detaljritningarna har fungerat som grund för de köldbryggsberäkningar som gjordes i programmet HEAT2. Syftet var att få fram anslutningsdetaljernas köldbryggskoefficient vilka för passivhus ofta är negativa då det är yttermått man räknar med vid klimatskalet. Det renderade i att byggnaden optimerades i tre steg vilket även medförde att köldbryggsberäkningarna gjordes om tre gånger för att överrensstämma med konstruktionen.

Byggsystemet med lättträreglar är ingen standard för passivhus men många fördelar genereras av lättträelement. Bland annat kan köldbryggorna nästan helt försummas och de som beräknas får mycket bättre värden än vid traditionella träreglar, tjocklekar kan reduceras och vikten kan hållas nere. En motsvarande väggkonstruktion med traditionella träreglar skulle behövt ha en tjocklek motsvarande ca 0,55 meter för att erhålla motsvarande U-värde. OSB-skivor som det lufttäta

skiktet valdes av anledning för att visa på att det finns alternativ till plastfolien som i stort sett är standardlösningen i Sveriges byggbransch.

Vidare ska det förtydligas att konstruktionen som tagits fram är ett förslag, inte den enda lösning på energieffektivt byggande. Med andra ord kan energisnåla hus konstrueras på många olika vis. I slutändan är det inte vilket namn som byggnadsstandarderna har som är avgörande utan att vi tar åt oss av utvecklingen och för den vidare då vårt klimat och vår levnadsstandard kräver det. För ingen inklusive mig själv känner att framtidens energieffektivisering inom bostadssektorn ska gå ut över den levnadsstandard vi utvecklat under flera hundra år.

Fortsatt arbete för ett komplett underlag innehåller hållfasthetsberäkningar och dimensioneringar. Dessutom behövs en detaljerad VVS projektering av en sakkunnig i ämnet.

7 Litteraturlista

- [1] Boverket (2009) *Boverkets byggregler, BBR*.
http://www.boverket.se/Global/Webbokhandel/Dokument/2008/BBR_15/BBR_avsnitt9_supplement_energiushallning.pdf (Hämtad 2010-10-25)
- [2] Passivhusinstitutet (2010) *Utbildningsmaterial för internationellt certifierad passivhusexpert*.
- [3] Passivhusinstitutet (2010) *Passivhus projekteringspaket 2007 PHPP 2007 – Krav på kvalitetskontrollerade passivhus*. Alingsås
- [4] Forum för energieffektiva byggnader (2009) *FEBY Kravspecifikation för Passivhus Version 2009 – Framtagen inom Energimyndighetens program för Passivhus och lågenergihus*.
http://www.energieffektivabyggnader.se/download/18.712fb31f12497ed09a58000142/Kravspecifikation_Passivhus_version_2009_oktober.pdf (Hämtad 2010-10-25)
- [5] Edvardsson, Lindeberg Granqvist och Standar (2008) *Passivhus av helväggselement i träull – en undersökande och jämförande studie*. Lund: Media-Tryck
- [6] Tegvald, Erik och Undén, Eva (2006) *Studier av energibehov i energieffektiva radhus i Lindås*. Lund
- [7] Green, Peter och Wetterholm, Henrik (2006) *Upphandling av entreprenader med stora krav på kvalitet*. Borås
- [8] Karresand, Molin, Persson och Åberg (2009) *How passive are your activities? – An interdisciplinary comparative energy analysis of passive and conventional houses in Linköping*. Linköping
- [9] Myrstrand Jonsén, Solberg och Pettersson (2009) *Passivhus – framtidens boende? – den svenska utbredningen av och förklaringar till det ökade intresset av passivhus*. Göteborg
- [10] Glad, Wiktoria (2006) *Aktiviteter för passivhus – en innovations omformning i byggprocesser för energisnåla bostadshus*. Linköping
- [11] Jansson, Ulla (2008) *Passiv houses in Sweden – experiences from design and construction phase*. Lund
- [12] Brunbäck, Henrik och Teinvall, Ola (2008) *Passivhus – Ett alternativ för äldre*. Lund
- [13] Granbom, Mikael och Thorn, Robert (2007) *Passivhus det långsiktiga valet – en konkret jämförelse mellan konventionellt byggande och passivhus*. Göteborg
- [14] Andersson, Axbo och Sjöholm (2009) *Finns det en framtid för plusenergihus? – en studie av framtidsutsikter för miljövänligt boende i Sverige*. Malmö

- [15] Lidén, Helena (2009) *Energieffektivisering av byggnader – En fallstudie av en befintlig byggnad. Går det att nå energikravet för passivhus?* Lund
- [16] Nordling, Ebba och Carlsson, Louise (2009) *Passivhus – En analys av dess lönsamhet och utbredning.* Stockholm
- [17] Pihl, Andreas (2009) *Renovering av miljonprogrammet till passivhus – Implementering av tysk prefabteknik.* Uppsala
- [18] Andersson, Magnus och Cederholm, Anders (2009) *Alternativa byggsystem för att minska transmissionsförlusterna på miljonprogrammets byggnader.* Växjö
- [19] Passivhusinstitutet <http://www.passiv.de/> (Hämtad 2010-10-25)
- [20] Passivhuscentrum <http://www.passivhuscentrum.se/> (Hämtad 2010-10-25)
- [21] Wollberg, Joel (2010) *Vilka risker finns det med framtidens energieffektiva byggnader – en analys av passivhuskonceptets robusthet.*
<http://lup.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOld=1689229&fileOld=1691764>
 (hämtad 2010-10-31)
- [22] Warfvinge, Catarina (2007) *Installationsteknik AK för V.* Lund: Studentlitteratur AB
- [23] Brunnström, Lasse (1981) *KIRUNA – ett samhällsbygge i sekelskiftets Sverige del I.* Umeå: UTAB
- [24] Brunnström, Lasse (1981) *KIRUNA – ett samhällsbygge i sekelskiftets Sverige del II.* Umeå: UTAB
- [25] Kiruna Kommun (2007) *Sammanställning av enkätundersökning "Vilken är din bild av Kiruna?"*.
http://www.kommun.kiruna.se/upload/9891/Sammanst%c3%a4llning%20av%20enk%c3%a4tsvar%20-%20steg%201_web.pdf (Hämtad 2010-10-22)
- [26] Kiruna Kommun (2010) *Kommunfakta.* <http://www.kommun.kiruna.se/Om-kommunen/Kommunfakta/> (Hämtad 2010-10-22)
- [27] Regionfakta.com (2010) *Fakta om Kiruna Kommun.*
<http://www.regionfakta.com/StartsidaLan.aspx?id=3445> (Hämtad 2010-10-22)
- [28] Matti, Örjan, analys, strategi och planering, Tyrens, Kiruna, telefonkontakt 2010-09-10
- [29] Nylund, Thomas, stadsarkitekt, Kiruna Kommun, Kiruna, telefonkontakt 2010-09-10
- [30] LKAB (2009) *LKAB framtid* <http://www.lkabframtid.com/> (Hämtad 2010-10-22)
- [31] Kiruna Kommun (2009) *Stadsomvandlingen.*
<http://www.kommun.kiruna.se/Stadsomvandlingen/> (Hämtad 2010-10-22)
- [32] Kiruna Kommun (2009) *Vision 2099.*
<http://www.kommun.kiruna.se/Stadsomvandlingen/Vision-2099/> (Hämtad 2010-10-22).

- [33] Europaparlamentet (2010) *EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV om byggnaders energiprestanda (omarbetning)*.
[http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/cls/cons_cons\(2010\)05386\(rev3\)_/cons_cons\(2010\)05386\(rev3\)_sv.pdf](http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/cls/cons_cons(2010)05386(rev3)_/cons_cons(2010)05386(rev3)_sv.pdf) (Hämtad 2010-10-22)
- [34] Backman, Jarl (2008) *Rapporter och uppsatser*. Umeå: Studentlitteratur AB
- [35] Petersson, Bengt-Åke (2007) *Tillämpad byggnadsfysik*. Ungern: Elanders Hungary Kft
- [36] Passivhusinstitutet *Certifikat fönsterkarm*.
http://www.passiv.de/01_dph/UntBH/HerstLi/01Bauw/Fenst/Zertif/Z_Pazen_ENERsign.pdf
(Hämtad 2010-10-28) samt <http://www.pazen-technik.de/> (Hämtad 2010-10-28)
- [37] Passivhusinstitutet *Certifikat fönsterglas*.
http://www.passiv.de/01_dph/UntBH/HerstLi/01Bauw/Vergl/Zertif/Z_Guardian_ClimaGuardN3_Kr90_12mm_Ug051_g054.pdf (Hämtad 2010-10-28)
- [38] Passivhusinstitutet *Certifikat fönsterglas*.
http://www.passiv.de/01_dph/UntBH/HerstLi/01Bauw/Vergl/Zertif/Z_arcon_N_solar_Kr90_12mm_Ug060_g61.pdf (Hämtad 2010-10-28)
- [39] Kyrkander, Anders och Ruud, Svein (2010) *Värmepump ingen ursäkt för sämre klimatskal*.
<http://www.arkitekt.se/s52851> (Hämtad 2010-08-17)

Bilagor

Bilaga A – Kravdefinition certifiering enligt Passivhusinstitutet

Bilaga B – Ordningsföljd inmatning i PHPP

Bilaga C – Tekniskt dokument fönsterkarm

Bilaga D – Tekniskt dokument ventilationsaggregatet

Bilaga E – Tekniskt dokument fjärrvärmecentral

Bilaga F – Tekniskt dokument förvärmningsbatteri

Bilaga G – Tekniskt dokument golvvärme

Bilaga H – Ritningar Bläckhornen

Bilaga I – Ritningar passivhuset Bläckhorn

Bilaga J – Planlösning passivhuset Bläckhorn

Bilaga K – Ritning tappvarmvattenledning

Bilaga L – Ritning ventilationsledning

Bilaga M – Ritning passivhuset Bläckhorn detaljer

Bilaga N - Beräkningar

Bilaga O - Primärenergifaktorer

Bilaga P – Bilder över gruvdrift samt sprickor och deformationsanalyser

Bilaga Q – Lämpliga områden