

FUNGERAR PASSIVHUSTEKNIK I SUBARKTISKT KLIMAT?



Stefan Dehlin

2017-06-15

FÖRORD

Ett hållbar byggande är ett av byggbolaget NCCs främsta fokusområden. Vårt sätt att bidra till minskad klimatpåverkan är bland annat genom att vara med och driva utvecklingen mot mer energieffektiva byggnader.

Detta projekt är kopplat till NCCs fullskaledemonstration ”Sjunde huset” vilken fungerar som en testbädd för utformning, materialval, teknisk lösningar, ny teknik och byggprocesser att bygga energieffektivt i subarktiskt klimat. Projektet har finansierats av NCC, SBUF (Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond) och Energimyndigheten och utförts i samverkan med det tvärvetenskapliga utvecklingsprojektet ATTRACT (Attraktiva, hållbara livsmiljöer i kallt klimat).

Arbetsgrupp NCC (i alfabetisk ordning)

Jan Berggrén

Jan Byfors

Christina Claeson Jonsson

Stefan Dehlin (PL)

Elsa Fahlén

Catrin Heincke

Peter Koskinen

Anders Ljungberg

Joanna Redman Hedensjö

Martin Sandberg

Magnus Österbring

Referensgrupp

Kristina Gabriell, PEAB

Peter Johansson, NCC

Linda Martinsson, Skanska

Mats Nilsson, TVAB

Thomas Olofsson, LTU

Daniel Risberg, LTU, bidrog med underlag att uppskatta den specifika energianvändningen.
Alla bilder av Joanna Redman Hedensjö om inte annat anges.

Juni 2017

Stefan Dehlin, NCC



SAMMANFATTNING

Aktuellt projekt har utförts i samverkan med det tvärvetenskapliga utvecklingsprojektet ATTRACT¹ och syftar till en fullskaledemonstration av ett lågenergihus för subarktiskt klimat. Huset fungerar som en testbädd för utformning, materialval, tekniska lösningar, ny teknik och byggprocesser att bygga energieffektivt i subarktiskt klimat:

NCC ligger långt framme i utvecklingen av passivhus. Att dra ner energianvändningen i våra bostäder är nödvändigt och med stigande energipriser och teknikutveckling är det både tryggt och alltmer lönsamt att äga ett lågenergihus.

I Tuolluvaara strax utanför Kiruna har NCC i samarbete med Kiruna kommun och Tekniska Verken i Kiruna byggt ett lågenergihus, ett så kallat passivhus, anpassat till subarktiskt klimat, det så kallade Sjunde huset. Byggprojektet har sitt ursprung från de stora samhällsomvandlingarna i Kiruna och Gällivare och de nya skärpta EU direktiven gällande energianvändning. Enligt det omarbetade direktivet om byggnaders energiprestanda ska EU:s medlemsstater se till att alla nya byggnader senast den 31 dec 2020 är nära-noll-energibyggnader. Direktivet innebär att alla nya byggnader på sikt ska vara mycket energieffektiva, något som är en särskilt stor utmaning i subarktiskt klimat.

Kiruna erbjuder ett subarktiskt klimat samt en förestående stadsflytt som gör studier av lösningar för energieffektiv byggnation extra intressanta att utvärdera.

Parhuset som baseras på NCC:s koncept för energieffektiva och miljövänliga småhus, Kuben, är byggt enligt FEBYs passivhuskriterier² med förutsättningar utifrån Klimatzon I. NCC beräknar att utvecklings- och produktionskostnaden ligger runt 70 % högre än för ett vanligt Kuben-hus. Materialval har gjorts med omsorg, i möjligaste mån BASTA-godkända, och målet har varit att byggnaden förtillverkas i komponenter som monteras på plats då konventionella platsbyggen är inte aktuellt.

Idén till Sjunde huset i Toulluvaara uppkom i ett samtal mellan NCCs Jan Byfors, Teknisk chef, samt Mats Nilsson på Tekniska Verken i Kiruna.

Vi kan konstatera att fullskaledemonstrationen Sjunde huset har bidragit till att öka kunskapen om lågenergihus och nya innovativa tekniska lösningar och att det går alldeles utmärkt att bygga lågenergihus i subarktiskt klimat.

Några viktiga erfarenheter och resultat:

Huset har en ”energieffektiv” kompakt utformning med få köldbryggor och vindfång som ”sluss” för att hindra värme att strömmar ut. Båda lägenheterna uppfyller lufttäthetskravet på 0,3l/s m² oavsett om angränsande vägg mellan lägenheterna tas med i areaberäkningen eller inte.

¹ ATTRACT <http://www.ltu.se/proj/Attract-Hallbar-samhallsplanering>

² <http://www.nollhus.se/>

En del problem med sporadiskt boende hyresgäster, felaktigt inköpta givare samt driftproblem - förutsättningar som ligger utanför aktuellt projekts påverkan.

Luftvärmesystem är speciellt underhållsintensiva och kräver regelbundna injusteringar av luftflöden, underhåll – såsom kanalrensning och filterbyte – samt omkoppling mellan sommar och vinter för att kunna leverera god komfort och inomhusmiljö. Luftvärmens (till/frånluftsdon i tak: frånluftsdon i våtutrymmen och kök) leder till viss ojämn temperaturfördelning i huset – kallare entréplan än övervåning – samt kalla golv och torrt inomhusklimat.

Dygnsmedelverkningsgraden hos ventilationsaggregaten i de båda lägenheterna mättes under perioden 2016-10-01 till 2017-02-20 upp till 81 % respektive 80 %. Jämförelsevis mättes samma verkningsgrad för tre villor i Vallda Heberg med likadana aggregat upp till 75 %, 73 % samt 76 %. Med hjälp av den uppmätta temperaturverkningsgraden i ventilationsaggregatet har värmeförlusttalet tagits fram. Kravet på värmeförlusttalet ligger på $19,8 \text{ W/m}^2 A_{\text{temp}}$ och mätresultat för respektive lägenhet och för hela huset ligger en bra bit under kravet för FEBY12.

De så kallade NASA-duscharna, som har en recirkulerande funktion med varmvatten, har ett litet elbatteri som egentligen gör att huset har "ett icke renodlat system som värms med både el och fjärrvärme". Men då elbatterierna är "högst begränsade", så klassas byggnaden istället att ha "ett renodlat värmesystem". Anpassning av uppmätta värden (se Kapitel *Specifik energianvändning*) visar att Sjunde husets uppskattade specifika energianvändning $E_{\text{levererad}}$ är $56,7 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$ som då understiger FEBY12 krav på den specifika energianvändningen på 63 kWh/m^2 . På grund av problem med sporadiskt boende hyresgäster kan vi inte bekräfta förmodade energivinster med LED-belysning, NASA-duscharna och vitvaror. Vi kan dock konstatera att levererad solenergi för bägge lägenheters paneler översteg den i projekteringen beräknade produktionen.

Produktionen underströk hur viktigt det var att projektera rätt från början då sena ändringar under byggets gång är dyra att genomföra och kan påverka slutprodukten. Det är viktigt att tidigt förmedla vikten av noggrannhet i utförandet i allmänhet och tätskiktet i synnerhet. Man vill också belysa att bygga passivhus ibland innebär andra krav på utförande och arbetsmoment. Vad som skiljer mot "traditionellt byggande" måste tidigt klargöras och svaras upp emot kompetensmässigt.

INNEHÅLL

INLEDNING	5
BAKGRUND.....	5
SYFTE.....	5
AVVIKELSE.....	5
SPRIDNING.....	6
SJUNDE HUSET	7
SJUNDE HUSET SOM PASSIVHUS.....	7
ENERGIEFFEKTIVISERINGSÅTGÄRDER.....	8
MÄTNINGAR OCH ANALYS	15
FEBY12.....	15
VENTILATIONSSYSTEMET.....	15
FÖRUTSÄTTNINGAR MÄTNINGAR OCH BERÄKNINGAR.....	16
BEGRÄNSNINGAR OCH AVVIKELSER INDATA OCH FÖRUTSÄTTNINGAR.....	18
TEMPERATURVERKNINGSGRAD.....	20
TEMPERATURVERKNINGSGRAD – JÄMFÖRELSE MED VALLDA HEBERG.....	27
ENERGIANVÄNDNING BATTERI.....	27
VÄRMEFÖRLUSTTAL.....	28
SPECIFIK ENERGIANVÄNDNING.....	30
SOLENERGI.....	31
LUFTTÄTHET.....	32
SLUTSATSER	34
FORTSATTAS STUDIER	36

INLEDNING

Bakgrund

Sveriges åtagande enligt EU-direktivet om byggnaders energiprestanda innebär att alla nya byggnader ska vara nära-noll-energibygnader senast den 31 december 2020 och att nya byggnader som används och ägs av offentliga myndigheter ska vara nära-noll-energibygnader efter den 31 december 2018. Byggnader ska ha mycket hög energiprestanda och dessutom krävs att den lilla mängden energi som tillförs dessa byggnader i hög grad ska utgöras av förnybar energi, inklusive förnybar energi på plats eller i närheten.

Att hitta ekonomiskt försvarsbara totallösningar för hela områden och stadsdelar kommer att vara en viktig del i att nå allt tuffare energiprestandakrav. Samtidigt är det viktigt att inte tumma på andra hållbarhetsaspekter, såsom att områdena ska vara attraktiva att leva och vistas i.

Mot bakgrund av de stora samhällsomvandlingarna i Kiruna och Gällivare och de ny skärpta EU-direktiven gällande energianvändning finns en unik möjlighet att göra rätt från början – att skapa ett nytt hållbart och attraktivt samhälle. Samtidigt är förutsättningarna för byggnation i subarktiskt klimat utmanande.

Aktuellt projekt har utförts i samverkan med det tvärvetenskapliga utvecklingsprojektet ATTRACT. Inom ATTRACT bedriver forskare från Luleå tekniska universitet och företag ”forsknings- och utvecklingsarbete för att ta fram innovativa varor och tjänster som bidrar till byggandet av hållbara attraktiva livsmiljöer i den subarktiska zonen”, det vill säga stora delar av bland annat Sverige, Ryssland, Kina och Kanada. Detta kan vara alltifrån ”produkter relaterade till attraktiva utemiljöer, isolermaterial och lågenergihus, till innovativa hållbara energilösningar anpassade för byggnader i kallt klimat”.

Syfte

Projektet testar och utvärderar byggprojektets innovativa energieffektiva tekniska lösningar – installationer och material – utefter förutsättningarna från ett subarktiskt klimat.

Syftet är att öka kunskapen om lågenergibyggande och passivhusteknik i subarktiskt klimat vilket då stödjer byggbranschens strävan mot ett mer hållbart och energieffektivt byggande.

Avvikelse

Färdigställandet av byggnaden och igångsättning av mätningar försenades över ett år då byggprojektet fördröjdes. Bland annat beroende på sena leveranser av byggmaterial och produkter. Sedan dröjde det ett par månader innan hyresgästerna flyttade in så att man kunde planera in ett ”kontinuerligt” nyttjande av lägenheterna. Det visade sig dock att hyresgästernas nyttjande inte var särskilt kontinuerligt utan kan beskrivas som mer sporadiskt.

Vi har också haft vissa problem med att fånga in god data. Förutom ett alltför sporadiskt användande av lägenheterna har också indata påverkades av ett visst eftersatt underhåll och problem i driften samt felaktig tempgivare, bland annat i ventilationsaggregatets avluftskanal. Detta har påverkat mätningarna och analyserna till den grad att de har försenats (längre tid att

samla tillräckligt med indata) samt att vi inte har kunnat bekräfta förmodade energivinster med LED-belysning, NASA-duscharna och vitvaror.

Spridning

Spridning har varit omfattande och bland annat skett genom NCC media: NCC "Stjärnan", Beyond Construction och NCCs hemsida³ – samt internt LTU⁴⁵ och Kiruna kommun. Sammanlagt så nämns Sjunde huset i ett tiotal artiklar i olika tidsskrifter, bland annat Byggindustrin⁶, Husbyggaren⁷, Ny Teknik⁸ och Tidningen Innovation från VINNOVA⁹. Artikel i VVS-Forum 2016-10. Resultat från Sjunde huset sprids också genom det tvärvetenskapliga utvecklingsprojektet ATTRACT¹⁰.

Artiklar om Sjunde huset kommer att presenteras på konferenser, bland annat *Cold Climate HVAC 2018 – The 9th International Cold Climate Conference Sustainable new and renovated buildings in cold climates* i Kiruna 12-15 mars 2018. Abstract submission i maj 2017, bland annat "Passive house construction above the Arctic circle" (Dehlin et al).

Sjunde huset blev nominerat till Årets Bygge 2015, se länkar Byggindustrin och Ny Teknik ovan.

³ <https://www.ncc.se/vara-projekt/passivhus-sjunde-huset-kiruna/>

⁴ <https://www.ltu.se/research/areas-of-excellence/attractive-built-environment/Nyheter-och-aktuellt/Bygger-lagenergihus-i-nya-Kiruna-1.114564>

⁵ <https://www.ltu.se/research/areas-of-excellence/attractive-built-environment/Nyheter-och-aktuellt/Attraktivt-energisnalt-hus-i-kallt-klimat-1.120625>

⁶ <http://byggindustrin.se/artikel/fordjupning/sjunde-huset-visar-vagen-nar-kiruna-andrar-skepnad-20767>

⁷ <http://www.husbyggaren.se/sjunde-huset-i-kiruna/>

⁸ <http://www.nyteknik.se/nyheter/nordligt-passivhus-kan-vinna-arets-bygge-6395867>

⁹ <http://www.tidningeninnovation.se/2015/03/varmt-aven-i-kallt-klimat/>

¹⁰ <https://www.ltu.se/proj/Attract-Hallbar-samhallsplanering/Attract-Attraktiva-hallbaralivsmiljoer-i-kallt-klimat-1.98921>

SJUNDE HUSET

Sjunde huset som passivhus

Passivhus är ett sätt att minska energianvändningen för uppvärmning i bostadsektorn och för att långsiktigt nå EU-målen för energianvändning och koldioxidutsläpp. Produktionen av passivhus har ökat markant de senaste åren, framförallt i länder som Tyskland och Österrike, men också i de nordiska länderna. Med rätt materialval och utförande anses det inte svårare att bygga passivhus än konventionella bostäder. Utmaningen blir dock större i ett kallare klimat på grund av ökat uppvärmningsbehov.

Att bygga småhus som klarar passivhuskraven är svårare än att bygga flerbostäder eftersom mantelytan i förhållande till boendeytan är större för småhus och därmed finns större transmissionsförluster. Genom att låta uppföra ett passivhus i en subarktisk klimatzon kan vi utvärdera hur konstruktion, materialval och installationer klarar det extrema klimatet samt hur produktionsfasen bör utformas.



Figur 1 Sjunde huset

Sjunde huset, se *Figur 1*, är ett passivhus projekterad och uppförd utifrån NCCs koncept för energieffektiva och miljövänliga småhus ”Kuben”. NCC beräknar att utvecklings- och produktionskostnaden ligger runt 70 % högre än för ett vanligt Kuben-hus. Materialval har gjorts med omsorg. I möjligaste mån har BASTA-godkända material valts. En målbild har varit att byggnaden förtillverkas i komponenter som monteras på plats då konventionella platsbyggen inte är aktuellt.

Huset har uppförts i Tuolluvaara som kommer bli en del av det nya Kiruna. Klimatet klassas som subarktiskt vilket innebär långa och kalla vintrar och korta och milda somrar.

I november 2014 stod Sjunde huset färdigbyggt och var redo för inflyttning.

Viktig erfarenhet från bygget var vikten att projektera rätt från början. Sena ändringar är dyra att genomföra och kan påverka slutprodukten. Det är viktigt att tidigt förmedla vikten av noggrannhet i utförandet i allmänhet och tätskiktet i synnerhet. Att bygga passivhus innebär ibland andra krav på utförande och arbetsmoment. Vad som skiljer mot "traditionellt byggande" måste tidigt klargöras och svaras upp emot kompetensmässigt.

Energieffektiviseringsåtgärder

Energieffektiva hus kräver att värmeförlusterna minimeras genom klimatskalet, vilket i praktiken betyder en byggnadsform som är kompakt och ett klimatskal som är välisolerat, lufttät och med få köldbryggor. Dessutom behövs ett högeffektivt ventilationssystem med hög återvinningsrad för att minimera ventilationsförlusten, vilket resulterar i ett mycket lågt värmebehov.

Energieffektiva vitvaror och andra installationer minskar elförbrukningen.

Utformning

Huset är ett parhus med stomme i trä. Huset har två lägenheter på vardera 140 kvadratmeter boarea. De två lägenheterna ("lägenhet 1" till vänster och "lägenhet 2" till höger) har något olika planlösning, men ser i huvudsak ut enligt (se *Figur 2*):

Markplan

- Kök med fjärrvärmeanslutna vitvaror
- Vardagsrum med möjlighet till avdelning för extra sovrum
- Tvättstuga med teknikutrymme
- Toalett samt dusch med recirkulerande varmvatten

Plan 2

- Ett större sovrum
- Två mindre sovrum
- Toalett samt dusch med recirkulerande varmvatten
- Ett allrum med möjlighet att dela av till ytterligare ett sovrum
- Klädkammare

För att minska värmeförlust genom klimatskalet har utformning av Sjunde huset och dess placering på tomten anpassats till det arktiska klimatet. Byggnaden visar en kompakt form som undviker vinklar i fasad, vilket minimerar potentialen för köldbryggor.



Figur 2 Sjunde huset, 2014

För att minska att kallluft tar sig in i huset har vindfång byggts vid entréerna som fungerar som luftslussar i övergången från ute till inne, se *Figur 3*. Detta rum är inte uppvärmt och har väggar av ”lätt isolerstandard”. Grundplattan avisoleras från huset så att den inte utgör köldbrygga samt utformas så att risken för tjälskjutning minimeras. Förutom vindfång, så ligger också förråd och carport utanför ”det varma skalet”, se *Figur 2*. Balkongen har byggts fristående för att undvika köldbryggor.



Figur 3 Vindfång

(Bild: Stefan Dehlin, NCC)

Klimatskal

För att minimera transmissionsförlust krävs ett väl isolerat klimatskal, se *Tabell 1*. För Sjunde huset har man valt fönster och dörrar med en låg värmegenomgångskoefficient (U-värde), 0,65 W/m²K och 0,7 W/m²K. Yttreväggarna är extra isolerad med fast polyuretanskum (PIR), vilket är ett effektivt och högpresterande isoleringsmaterial som möjliggör mycket effektiva energibesparingar med minimal utrymmes användning. PIR-isolering har ett u-värde från 0,023 W/m²K jämfört med mineralull som ligger mellan 0,034 och 0,39 W/m²K. Taket är isolerat med 1000 mm lösull istället för 400 mm som brukligt i ett standardhus. Bottenplatta är isolerad med 400 mm grafitcellplast.

Den genomsnittliga värmegenomgångskoefficienten för klimatskalet, U_m (isoleringvärdet), är mindre än 0,16 W/m²K där BBR-kravet är 0,40 W/m²K.

Tabell 1 Materialval och U-värden

Vindsbjälklag	1000 mm lösull ($\lambda=0,039$ W/mK) inkl reglar.	$U=0,0349$ W/m ² ,K
Yttreväggar	50 mm Fasadskiva ($\lambda=0,031$ W/mK); 6 mm minerit; 120 mineralull reglat cc600; 140 mm PIR ($\lambda=0,023$ W/mK) *; 45 mm mineralull, reglat cc450 +13 mm gipsskiva	$U=0,07915$ W/m ² ,K
Bottenplatta	400 mm grafitcellplast ($\lambda=0,031$ W/mK), 100 mm betong exkl. markegenskaper	$U=0,076$ W/ m ² ,K
Fönster	$g=0,37$ solavskärmning 0,5 enligt Sveby	$U=0,65$ W/m ² ,K
Fönsterdörrar	$g=0,37$ solavskärmning 0,5 enligt Sveby	$U=0,7$ W/m ² ,K
Dörrar		$U=0,7$ W/m ² ,K

Att den isolerade konstruktion är lufttät är viktig för olika anledningar. Lufttäteten reducerar både infiltration av kall luft som leder till kalldrag och ökat värmebehov och exfiltration med luft som transporteras ut ur byggnaden. Just exfiltration är det man vill minimera för att undvika fuktskador som kan uppstå när den varma fuktiga luften inifrån kyls ned inne i väggen och det bildas kondens.

Grönt yttertak och dagvattenhantering

Huset har ett låglutande yttertak (< 60°) med mossa/sedum/gräs. Fördelarna med den här sortens tak är många. Sedumtak har en isolerande verkan (jordsiktet är termiskt tung), fångar upp luftföroreningar och tar hand om dagvatten. På Sjunde huset testas två olika typer av sedumtak (sedum respektive sedum-ört), se *Figur 4*, för att se vilken sort som är mest effektiv vad gäller dagvattenhantering – vilket tak som bäst tar upp regn- och smältvatten, samt dagvattenföroreningar. Testet utförs på LTU och redovisas bland annat genom det tvärvetenskapliga utvecklingsprojektet ATTRACT.



Figur 4 Sedumtak och sedum-örttak (Bild: Godecke Blecken, LTU)

Förutom sedumtak som minskar risken för stora flöden finns det inom tomtmarken svackdiken och stenkistor. Dagvattenhanteringen löses alltså lokalt inom tomtmarken.

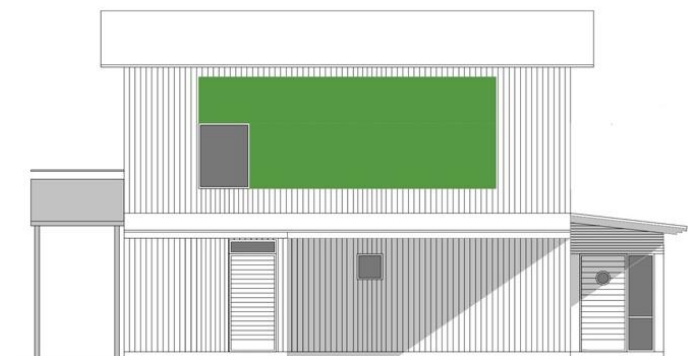
Solavskärmning

Det är vanligt att passivhus utrustas med solavskärmning. Genom att begränsa solinstrålningen minskar risken för övertemperaturer under sommarhalvåret.

Sjunde huset har dock ingen solavskärmning.

Solceller

Varje lägenhet är utrustad med cirka 15 m² solceller från det svenska företaget Midsummer. Solceller i klimat med låg sol och mycket snö ger även under vintern värdefulla energiinflöden. För att optimera användningen under vintern har solcellerna placerats på fasaderna istället för på taket. På så vis kan även reflektionen från snön öka produktionen av el. Under sommaren, med en lång period med midnattsol kommer elproduktionen vara mycket stor. Det är beräknat att huset kan tillgodoräkna sig ca 500 kWh/år från solcellerna som har en beräknad total produktion på ca 900 kWh/år.



Figur 5 Solceller på fasad mot söder

Figur 5 visar solceller på fasad mot söder vilka ger energi till vänstra lägenheten.

Fjärrvärme

Huset värms av ett lokalt distriktvärmesystem som i sin tur värms av det kommunala fjärrvärmesystemet. Värmen distribueras i huset genom ett luftburet värmesystem. Distriktsvärmen direktmatas till ventilationsaggregatets värmebatteri och till tvättmaskin, torktumlare och diskmaskin. Fjärrvärmenätet är samförlagt med vatten- och avloppsledningarna. Fjärrvärmen har även använts till att tjältina marken innan produktionsstart och uppvärmning av bodetablering. Detta innebär att behovet av elanvändning reducerats även i produktionsfasen.

Värmeväxlare

Värmen i huset distribueras via ett FTX-ventilationssystem av märket Flexit modell UNI 3. Sjunde huset har alltså ett luftburet värmesystem med tilluftsdon placerade i tak. I våtutrymmen och kök sitter frånluftsdon, också placerade i tak. Det lufttäta klimatskalet gör att FTX ventilationen, med återvinning av den befintliga rumsvärmen, fungerar optimalt, minskar värmeläckaget och tar bort kalldraget. FTX-aggregatet har en hög verkningsgrad på värmeväxlarna. I värmeväxlaren värms den friska uteluften av frånluften, som har en verkningsgrad på över 80 %. Utvärdering ventilationssystemet görs i Kapitel *Mätningar och analys*. Fjärrvärme försörjer ventilationsaggregatets värmebatteri, tvättmaskin, torktumlare samt diskmaskiner.

Vitvaror och belysning

Sjunde huset har utrustats med energisnåla vitvaror och belysning för att ytterligare minska energibehovet, se *Figur 6*. Vitvarorna är inkopplade på fjärrvärmen och förväntas ge en 80 % minskning av elbehovet. Eftersom Kiruna har en lång mörkerperiod med polarnatt har huset utrustats med olika typer av fasad- och utebelysning. Samtliga är LED vilket uppskattas ge en besparing på upp till 80 % för samma ljusflöde jämfört med vanliga glödlampor.



Figur 6 Vitvaror och belysning

(Bild: Jutta Schade, LTU)

Samförläggning av fjärrvärme och vatten- och avloppsledningarna

Bostadsområdet där Sjunde huset ligger har en speciell infrastruktur för vatten, avlopp och fjärrvärme. Ett lågtempererat fjärrvärmenät har samförslagts tillsammans med vatten- och avloppsledningarna som då värms upp av spillvärmen. Att alla ledningar ligger tillsammans gör det möjligt att lägga ledningarna på bara 70 centimeters djup. Normalt i Kiruna gäller det att ledningar måste grävas ner 3 meter för att ligga frostfritt. Eftersom Kiruna är byggt på berggrund minskas därmed förläggningskostnaderna drastiskt. Vidare studier om samförläggning kommer att utföras och redovisas genom det tvärvetenskapliga utvecklingsprojektet ATTRACT.

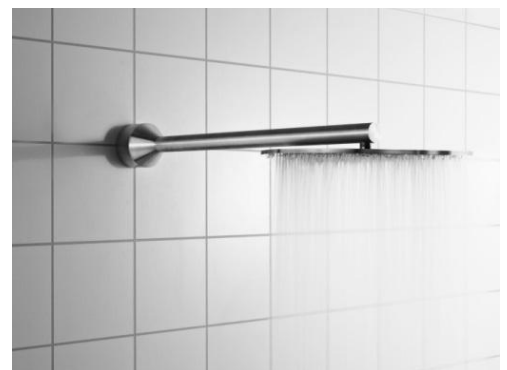


(Bild: Youen Pericault, LTU)

Figur 7 Samförläggning fjärrvärme med vatten och avlopp

Duschar

Istället för konventionella duschsystem har Sjunde huset utrustats med energismarta cirkulationsduschar från Orbital, se **Fel! Hittar inte referensälla.** och *Figur 9*. Cirkulationsduschar med NASA-teknik renar och återanvänder vattnet: Vatten som rinner ut i golvbrunnen samlas upp, renas och pumpas tillbaka till duschmunstycket. Därmed kan samma vatten användas om och om igen. I den interna reningsanläggningen finns ett filter som drar till sig partiklar, bakterier och virus. Vattnet spolat ut först när man har duschat färdigt. Till en tiominutersdusch åtgår endast fem liter



Figur 8 "NASA-dusch"

(Bild: Orbital-systems.com)

vatten. Vattnet förlorar ungefär två grader i temperatur från duschmunstycket till golvbrunnen, vilket medför att vattnet behöver värmas upp igen med hjälp av en elpatron i duschanläggningen. Elpatron i duschar klarar energikravet men kan behöva avsteg i BBR för att inte påverka passivhuscertifieringen (se bland annat resonemang i Kapitel *Specifik energianvändning*).



Figur 9 "NASA-duschar" i Sjunde huset (Bild: Jutta Schade, LTU)

Duscharna som är synnerligen resurs- och energieffektiva förväntas minska vattenåtgången med 90 % och energiåtgången vid duschning med 80 %, vilket ger en beräknad besparing på ca 1750 kWh/år.

Display

Lägenheterna i Sjunde huset är utrustade med displayer i hallen samt temperaturgivare i samtliga rum, se *Figur 10*. Detta underlättar för de boende att hålla koll på användningen av varmvatten och energi. I hallen finns även en huvudströmbrytare som gör det enkelt att släcka samtliga lampor i lägenheten.



Figur 10 Energidisplay

MÄTNINGAR OCH ANALYS

Avsikten med att bygga Sjunde huset har varit att visa att det trots sitt nordliga och subarktiska läge går att bygga ett energisnålt hus som dessutom uppfyller de svenska kraven för passivhus.

Sjunde huset är byggt enligt FEBYs passivhuskriterier med utgångspunkt från förutsättningar utifrån Klimatzon I (Norrbottens, Västerbottens och Jämtlands län).

För att uppnå de krav som ställs på den specifika energianvändningen krävs bland annat ett ventilationssystem med en hög återvinningsgrad. Som en del i utvärderingen av Sjunde huset ska ventilationssystemets funktion i ett subarktiskt klimat utredas. Det innebär framför allt att titta på verkningsgraden i värmeåtervinningen samt jämföra denna mot en framräknad verkningsgrad som ventilationsleverantören presenterat i en aggregatspecifikation.

Med hjälp av den uppmätta verkningsgraden i ventilationsaggregatet ska även värmeförlusttalet tas fram. Värmeförlusttalet är en parameter som ingår i kravet för passivhus enligt FEBY12. Därefter ska verkningsgraden i Sjunde huset jämföras med resultaten från studier av Vallda Heberg där man har installerat likadana ventilationsaggregat.

FEBY12

I Sverige har en förening för utveckling och spridning av energieffektivt byggande, Sveriges centrum för Nollenergihus, tagit fram passivhuskriterier anpassade för svenska förhållanden. Dessa kriterier (FEBY12) ställer bland annat krav på specifik energianvändning samt värmeförlusttal. Eftersom kravet för specifik energianvändning är högt, behöver ventilationen ha en hög verkningsgrad.

Värmeförlusttal är ett mått på den värme som läcker ut ur byggnaden när det är som kallast utomhus och kriterierna för uppfyllande beror på vart i landet byggnaden är placerad samt vilken typ av uppvärmningssystem som finns.

För Sjunde huset gäller att värmeförlusttalet maximalt får uppgå till $19,8 \text{ W/m}^2 A_{\text{temp}}$.

Enligt FEBY12 får inte byggnadens specifika energianvändning $E_{\text{levererad}}$ överstiga $63 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$, är då byggnaden klassas som icke elvärm.

Luftläckning q_{50} genom klimatskärmen får vara maximalt $0,30 \text{ l/s m}^2$ omslutande area vid en tryckdifferens på 50 Pa .

Ventilationssystemet

Lägenheterna har varsitt ventilationssystem med aggregat placerade i klädkammaren på övre våningsplan.

Ventilationsaggregatet är av fabrikatet Flexit, modell UNI 3, vilken är en modell anpassad för bostadsventilation. Aggregatet har en roterande värmeväxlare och ett värmebatteri som är kopplat till fjärrvärmenätet.

Aggregatspecifikationen för aggregatet placerat i Sjunde huset visar en verkningsgrad på 83 % vid DVUT $-30 \text{ }^\circ\text{C}$.

Distributionssystemet

Luften distribueras ut i lägenheternas sovrum och allrum med don placerade i takhöjd. I kök, badrum och tvättstuga finns ingen tilluft utan enbart frånluft. Utöver uppgiften att förse lägenheterna med ny ren luft har ventilationssystemet även en uppgift att täcka värmebehovet i byggnaden. Det finns alltså inga radiatorer i byggnaden utan värme är luftburen.

Drift och styrning

Ventilationsaggregatet har tre driftflöden: hög- respektive lågfart samt ett forceringsläge som enbart körs i 30 minuter. Default för ventilationsaggregatet är högfart, vilken är projekterad och injusterad på 55 l/sek ($0,4 \text{ l/s, m}^2 A_{\text{temp}}$). Vid ett besök på plats i november 2016 visade det sig att den högra lägenheten, lägenhet 2, hade flödet inställt på lågfart, vilket den troligtvis haft sedan driftsättning. Lågflöde motsvarar ett flöde på ca 40 l/s.

Tilluftstemperaturen styrs av bör-värdet i rumsluften, alltså den önskade temperaturen i rummet. Börvärdet regleras hela tiden mot ett år-värde, som mäts i frånluftstemperaturen.

Avfrostning

I ventilationsaggregatet finns en inbyggd avfrostningsfunktion. Funktionen behöver dock aktiveras manuellt vilket sällan görs eftersom problem med påfrysning bara undantagsvis uppkommer i aggregat med roterande värmeväxlare. Risken är dock större i Sjunde huset med tanke på dess subarktiska klimat.

Avfrostningen sker i två steg:

Det första steget innebär att rotorn varvas ner vid en viss förutbestämd utetemperatur. Andra steget innebär att även fläktarna varvas ner när utetemperaturen når ytterligare lite lägre. Så länge utetemperaturen är under den gräns som är angiven i inställningarna för avfrostning kommer rotorn/fläkten att köras på den lägre hastigheten. Hastighetssänkningen varar alltså inte enbart i några minuter utan tills utetemperaturen stiger över förinställda gränstemperaturen.

Om avfrostningsfunktionen inte är aktiverad och påfrysning uppstår, är det ”värsta som kan hända” att rotorn stoppas och att ett rotorlarm går. Om detta händer kommer den varma frånluften så småningom att ha frostat av rotorn som då automatiskt startar igen.

Allt visar dock på att avfrostningsfunktionen inte har aktiverats i någon av lägenheternas aggregat.

Förutsättningar mätningar och beräkningar

Följande presenteras hur mätningarna samlats in samt under vilka perioder verkningsgraden är framtagen från.

Från det att huset togs i drift har bland annat temperaturer och luftfuktighet loggats med *minutvärden*, både i ventilationsaggregaten samt för olika rum i huset. Mätvärdena som ligger till grund för den tekniska analysen samt senare även för framtagning av värmeförlusttalet är

emellertid medelvärden på 15-minutersbasis. Detta eftersom minutvärden gav för stora filer att hantera.

Temperaturverkningsgraden har tagits fram dels på helårsbasis (2016-01-31 till 2017-02-20), men även för perioden oktober 2016 till februari 2017 som är en del av uppvärmningssäsongen. Detta för att se hur verkningsgraden skiljer sig åt mellan uppvärmningssäsong och på årsbasis, då verkningsgraden kan förväntas ligga något högre.

Det finns en värmemängdsmätare till värmebatteriet i aggregatet som lästs av och jämförts med en framräknad energianvändning i batteriet.

Givare

Givare av fabrikatet Regin har installerats i ventilationsaggregatet för loggning av temperaturer i fem punkter. De fem givarna mäter temperaturen i uteluften, tilluften (innan värmebatteriet), tilluften (efter värmebatteriet), frånluften och i avluften. Utöver temperaturer mäts även den relativa fuktigheten i dessa punkter. Givarnas placering syns i *Figur 11*. Observera att det finns två aggregat och därmed två uppsättningar av givare, en för varje lägenhet.

Energianvändning värmebatteri

Energianvändningen i batteriet har beräknats med hjälp av uppmätta temperaturer och tagits fram med hjälp av följande samband:

$$Q_{\text{Batteri}} = \sum_{i=1}^{i=n} \rho \times C_p \times q \times (T_{\text{tilluft},i} - T_{\text{vvx},i})$$

där

Q_{Batteri}	=	energianvändningen i kWh
ρ	=	luftens densitet; 1,2kg/m ³
C_p	=	specifik värmekapacitet; 1 kJ/kgK
q	=	luftflödet i m ³ /h
$T_{\text{tilluft},i}$	=	tilluftstemperatur vid varje 15-minutersvärde
$T_{\text{vvx},i}$	=	temperatur efter växlaren vid varje 15-minutersvärde

Värmeförlusttal

För att beräkna värmeförlusttalet med hjälp av uppmätta värden i byggnaden används sambandet:

$$VFT_{\text{DVUT}} = H_T \times (21 - \text{DVUT}) / A_{\text{temp}}$$

H_T är byggnadens värmeförlustkoefficient [W/K] och DVUT är den dimensionerade vinterutetemperaturen för aktuell ort.

För bestämning av VFT väljs DVUT för en tidskonstant på högst 12 dygn, vilket motsvarar -24,3 °C. Om man väljer en tidskonstant på enbart 1 dygn blir DVUT istället -30,3 °C. VFT har beräknats för både 1 dygn och 12 dygns tidskonstant för att se hur de båda skiljer sig åt.

H_T tas fram från sambandet:

$$H_T = U_m \times A_{omsl} + \rho \times C_p \times q_{läck} + \rho \times C_p \times d \times q_{vent} \cdot (1 - \eta)$$

U_m	klimatskärmens genomsnittliga U-värde
A_{omsl}	klimatskärmens omslutande area, mätt invändigt
$\rho \times C_p \times q_{läck}$	värmeeffektförbrukning pga luftläckning $q_{läck}$ [m^3/s], luftens densitet ρ [kg/m^3], och värmekapacitet C_p [$kJ/kg, K$]
$\rho \times C_p \times q_{vent} \cdot (1 - \eta) \times d$	värmeeffektförbrukning pga. ventilation med hänsyn till systemets verkningsgrad, η , densitet, ρ , värmekapacitet, C_p , relativ driftstid, d

Luftläckningen, $q_{läck}$, för ett FTX-system beräknas med hänsyn till byggnadens läge och ventilationens balansering, enligt EN ISO 13789:2008:

$$q_{läck} = q_{50} \cdot A_{omsl} \cdot e / (1 + f/e ((q_{till} - q_{från}) / q_{50} \cdot A_{omsl})^2)$$

$q_{till} - q_f$	luftöverskottet mellan tilluft och frånluft [l/s]
q_{50}	läckflödet vid 50 Pa tryckskillnad mellan inne och ute [m^3/s].
e och f	tabellerade vindskyddskoefficienter

Eftersom flödet i ventilationen är balaserat bli $q_{till} - q_{från} = 0$, förenklas sambandet till:

$$q_{läck} = q_{50} \cdot A_{omsl} \cdot e$$

Specifik energianvändning

I kravet på specifik energianvändning ingår köpt energi för uppvärmning, tappvarmvatten, och byggnadens installationer (fläktar och pumpar). De så kallade NASA-duscharna som har en recirkulerande funktion med varmvatten har ett litet elbatteri som egentligen gör att har "ett icke renodlat system som värms med både el och fjärrvärme". Men då elbatterierna är "högst begränsade", så klassas byggnaden istället att ha "ett renodlat värmesystem", det vill säga, byggnadens specifika energianvändning, $E_{levererad}$, får inte överstiga $63 \text{ kWh/m}^2 A_{temp}$, år (se Kapitel *FEBY12*).

Dock har uppmätta värden inte använts rakt av utan vissa anpassningar har behövt göras. Detta resonemang och beräkning presenteras i Kapitel *Specifik energianvändning*.

Begränsningar och avvikelser indata och förutsättningar

Viktiga begränsningar och avvikelser i indata och förutsättningar att beakta till kommande analys:

Mätperioder

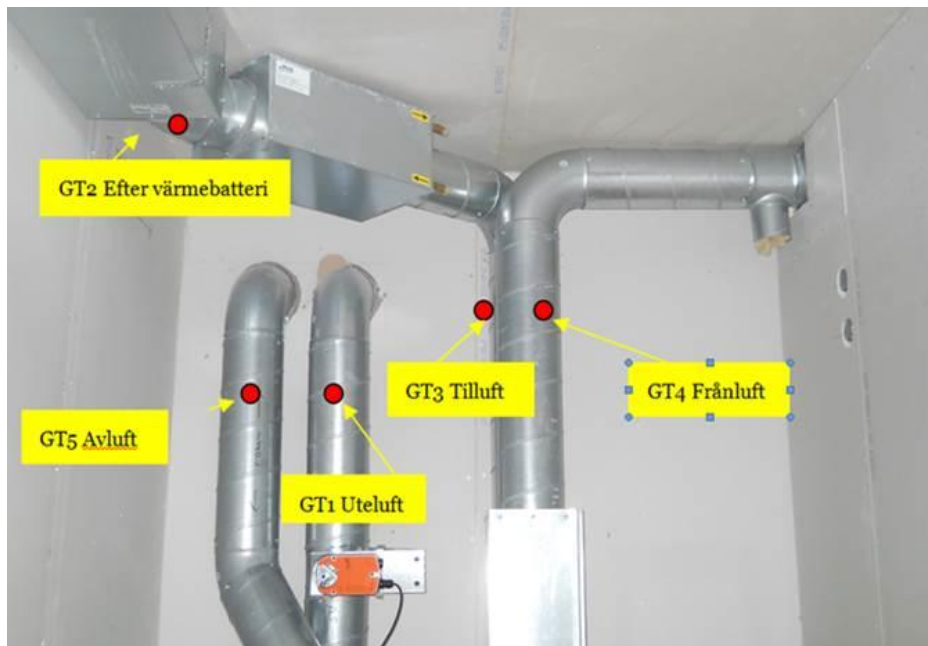
Insamling av mätdata tidsperioder 2016-01-31 till 2016-04-30 respektive 2016-08-20 till 2017-02-20 beroende på problem routrar: problem med överföring av mätdata till databas samt överskrivna mätdata.

Givare

Två givare, GT1 respektive GT5, se *Figur 11*, har blivit felinköpta. Givarna som blivit installerade kan enbart mäta temperaturer i intervallet 0-50 °C. Alla minustemperaturer har registrerats som 0 °C. Detta påverkar även den relativa fuktigheten som också mäts i varje punkt, eftersom denna är direkt kopplad till temperaturen som mäts upp. När den loggade temperaturen blir fel blir därmed även den relativa fuktigheten fel.

För att kunna analysera ventilationsaggregatets funktion behövs temperaturer framförallt vid de kallaste perioderna. Eftersom GT1 visar fel för alla minustemperaturer har den uppmätta temperaturen i GT1 istället ersatts av den uppmätta temperaturen i GT25 för utetemperaturer under 0 °C. GT25 är en givare som används för utvärdering av temperaturen i ytterväggen. Denna mäter enbart temperatur och ingen relativ fuktighet.

För avluftstemperaturen GT5 finns ingen motsvarande temperaturgivare där temperaturer kan hämtas. Temperaturverkningsgraden har istället beräknats med hjälp av temperaturen på tilluften, vilket gör att GT5 inte behövt användas.



Figur 11 Placering av givare i ventilationsaggregat till lägenhet 2

Eftersom uteluftsgivaren GT1 sitter i en kanal, medan givaren som ersätter GT1 vid minustemperaturer, GT25, sitter på en vägg i norrläge skiljer sig temperaturerna åt. Detta innebär att temperaturen på GT1 ofta är en till ett par grader högre än GT25 vid samma tidpunkter. Det har trots detta inte gått att ta fram ett medelvärde för hur mycket varmare det är i GT1 än i GT25, vilket innebär att temperaturen från GT25 använts utan några korrigeringar. Hur detta eventuellt påverkar temperaturverkningsgraden tas upp i kapitel *Temperaturverkningsgrad*.

Styrning

Den undercentral som Tekniska Verken, fjärrvärmelieferantören i Kiruna, äger har under en lång tid haft en fabriksinställd styrning med nattsänkning som inte varit känd. Detta har inneburit att

värmebatteriet till ventilationen nattetid inte kunnat leverera den mängd värme som behövts, vilket i sin tur lett till att inomhustemperaturen sjunkit märkbart. Vid ett besök på plats den 22 november 2016 upptäcktes funktionen med nattsänkning som då togs bort.

Filter och flöde

Filter i de båda aggregaten byttes för första gången den 22 november 2016, i alla fall ett och ett halvt år efter igångsättning istället för ”minst en gång per år”, eller ”efter luftens föroreningsgrad”, som Flexit rekommenderar. Dessutom har aggregatet i lägenhet 2 av okänd anledning körts på lågfart, något som ändrades vid samma tillfälle som filtren byttes ut.

Temperaturverkningsgraden har sannolikt inte påverkats av detta, men det finns dokumenterat att den hyresgäst som delvis bodde i lägenhet 2 tyckt att det varit kallt inomhus. Från mätdata kan man se att temperaturen i frånluften som lägst visar 15 °C under vintern och det har sannolikt sin förklaring i det låga flödet tillsammans med nattsänkningen som resulterade i för låg energimängd in i lägenheten. Samma problem finns inte för lägenhet 1, trots att det även här fanns nattsänkning, men med skillnaden att luftflödet där gick på högfart (och inte lågfart som i lägenhet 2).

Hyresgäster

Luleå Tekniska universitet, LTU, hade från starten ett hyreskontrakt med Kiruna kommun, ägare av Sjunde huset, på 5 år. Intentionen var att LTU skulle upplåta lägenheterna till två gästprofessorer med respektive familjer som ”mer eller mindre” permanent boende. Av olika anledningar har dock lägenheterna brukats i betydligt mindre grad än vad som var planerat och förväntat. Detta gäller framför allt lägenhet 2 (högra lägenheten).

Utgångsläget för analysen har därför varit att fallet för ”normalt brukande” inte uppfylls. Detta påverkar energi- och varmvattenanvändning samt reducerar ”verkliga” internlaster, till exempel att vi får en betydande reduktion i fuktillskott från duschning och matlagning. En direkt konsekvens av detta är bland annat att behovet av avfrostning minskar.

Att det fanns en nattsänkning som gjort att temperaturen i lägenhet 2 nådde som lägst 15 °C, mätt i frånluften, hade kunnat upptäckas och åtgärdas mycket tidigare om det funnits en permanent hyresgäst i lägenheten och som gjorde en felanmälan.

Temperaturverkningsgrad

Temperaturverkningsgrad över ett år

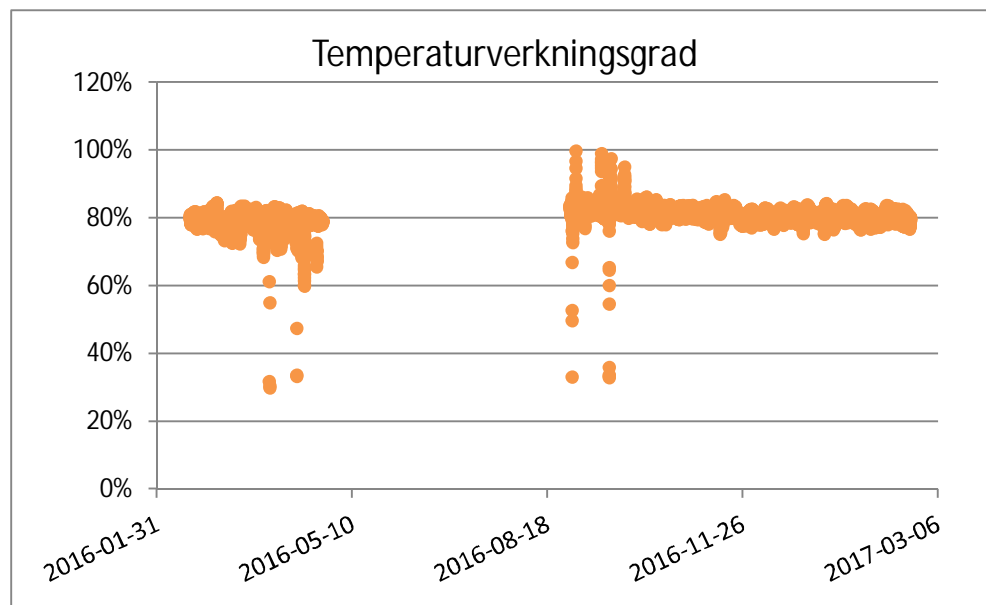
Temperaturverkningsgraden har beräknats för perioden 2016-01-31 till 2017-02-20, men eftersom det finns vissa glapp i mätinsamlingen, saknas resultat för delar av perioden.

Medeltemperaturverkningsgraden på årsbasis är uppmätt till:

- 81 % för lägenhetsaggregat 1
- 79 % för lägenhetsaggregat 2

Lägenhet 1 – vänster

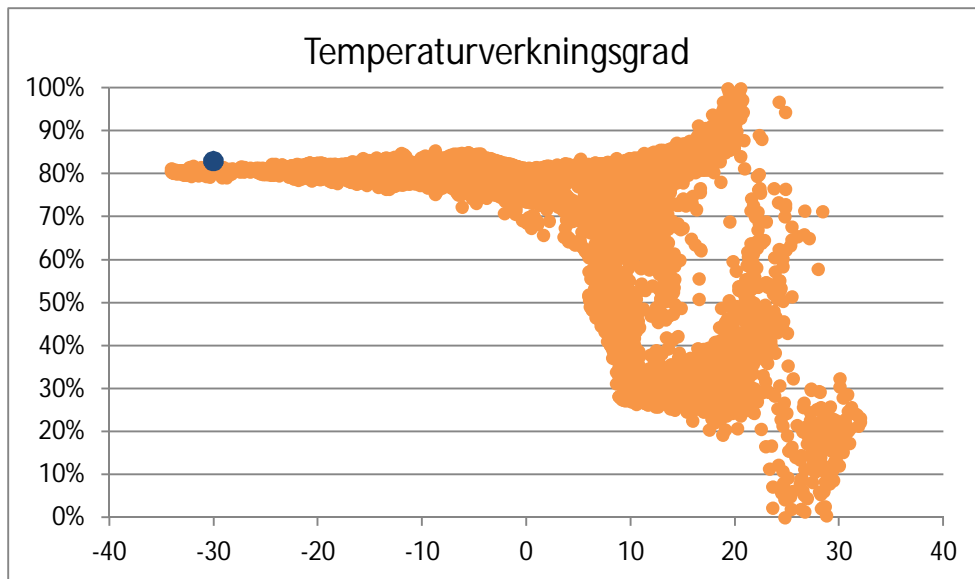
I *Figur 12* presenteras temperaturverkningsgraden för varje 15-minutersintervall under drygt ett år, dock med ett längre uppehåll mellan maj till augusti. Medeltemperaturverkningsgraden under perioden ligger på 81 %. Bortsett från några avvikelser ser verkningsgraden ut att ligga ganska stabilt runt 80 %.



Figur 12 Temperaturverkningsgrad för lägenhet 1 under drygt ett år

Figur 13 visar temperaturverkningsgraden plottad mot utelufttemperaturen för att åskådliggöra hur det ser ut vid olika utelufttemperaturer.

Tydligt är att värmväxlaren arbetar mest stabilt när det är kallt ute. När det blir varmare ute är resultatet mer utspritt: Temperaturverkningsgraden går mot 100 % när det är lika varmt ute som man önskar inne. Verkningsgraden närmar sig 0 % när utelufttemperaturen är högre än tilluftstemperaturen, vilket beräkningsmässigt ger en låg verkningsgrad, ibland till och med en negativ verkningsgrad. I figuren har den i aggregatspecifikationen angivna temperaturverkningsgraden ritats in, se kapitel 0. Eftersom denna verkningsgrad är angiven för DVUT -30 °C är det också vid den temperatur som verkningsgraden ritats in. Man kan konstatera att den uppmätta verkningsgraden till större del överstiger den uppmätta.

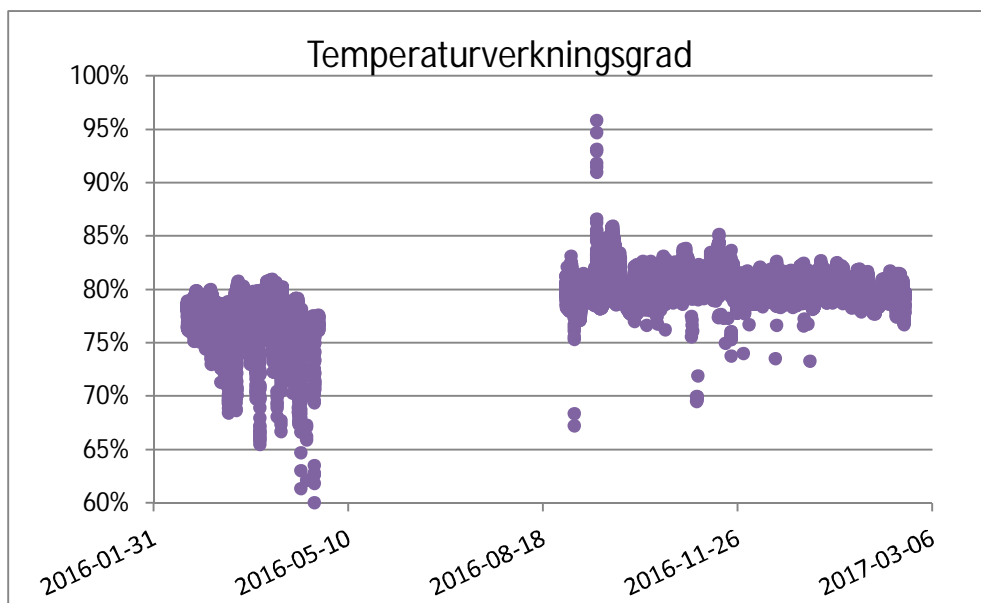


Figur 13 Temperaturverkningsgrad för lägenhet 1 plottad mot utelufttemperaturen

Som också syns i Figur 13 hamnar utelufttemperaturen ibland över 30 °C, trots det subarktiska klimatet. Detta beror på intaget där utomhusgivaren sitter ligger i söderläge med solen värmande under stora delar av dagen sommartid.

Lägenhet 2 – höger

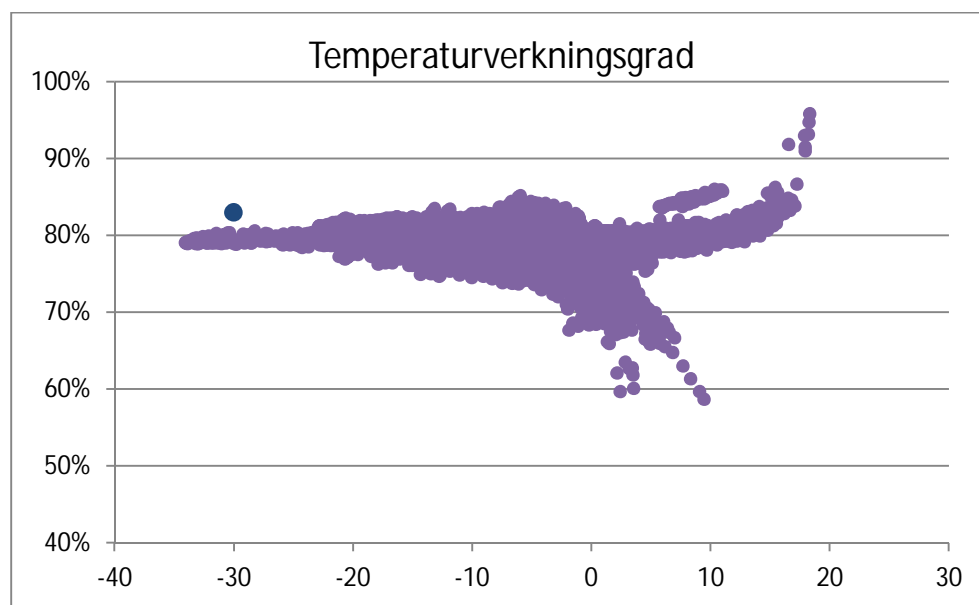
Figur 14 visar temperaturverkningsgraden för varje 15-minuters intervall plottad under samma intervall som för lägenhet 1, även där med ett längre uppehåll mellan maj och augusti. Medeltemperaturverkningsgraden under perioden ligger på 79 %.



Figur 14 Temperaturverkningsgrad för lägenhet 2 under drygt ett år

Figur 15 visar temperaturverkningsgraden plottad mot utelufttemperaturen för att åskådliggöra hur det ser ut vid olika utelufttemperaturer. Tydligt är även för lägenhet 2 att aggregatet arbetar

stabilast när det är kallt ute. När det blir varmare ute är resultatet mer utspritt. Till skillnad från aggregatet i lägenhet 1 blir dock verkningsgraden aldrig sämre än cirka 60 %. Det beror på att intagstemperaturen är lägre sommartid eftersom tilluftsintaget sitter på norrsidan och inte exponeras för direkt solljus som är fallet med intagsluften i lägenhet 1. Däremot har lägenhet 2 generellt något sämre verkningsgrad än lägenhet 1. Den angivna verkningsgraden på 83 % (blå punkt i diagrammet, se Kapitel *Ventilationssystemet*) ligger något högre än den uppmätta vid samma uteluftstemperatur.

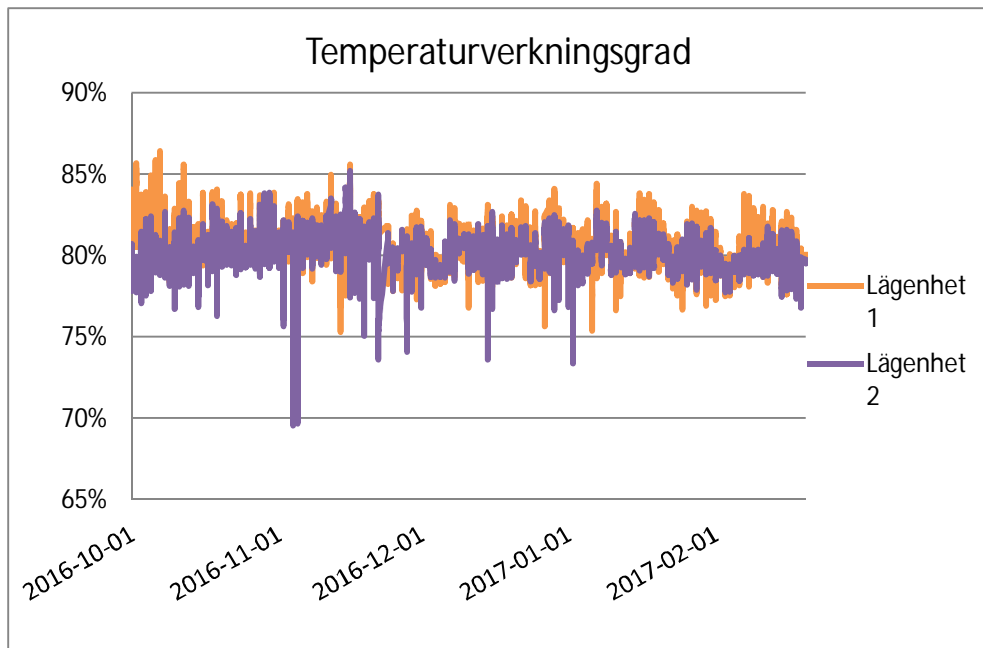


Figur 15 Temperaturverkningsgrad för lägenhet 2 plottad mot utelufttemperaturen

Temperaturverkningsgrad under uppvärmningsperiod

Figur 16 visar plot för temperaturverkningsgraden i de båda aggregaten under perioden 2016-10-01 till 2017-02-20. Medelverkningsgraden under denna tid är uppmätt till

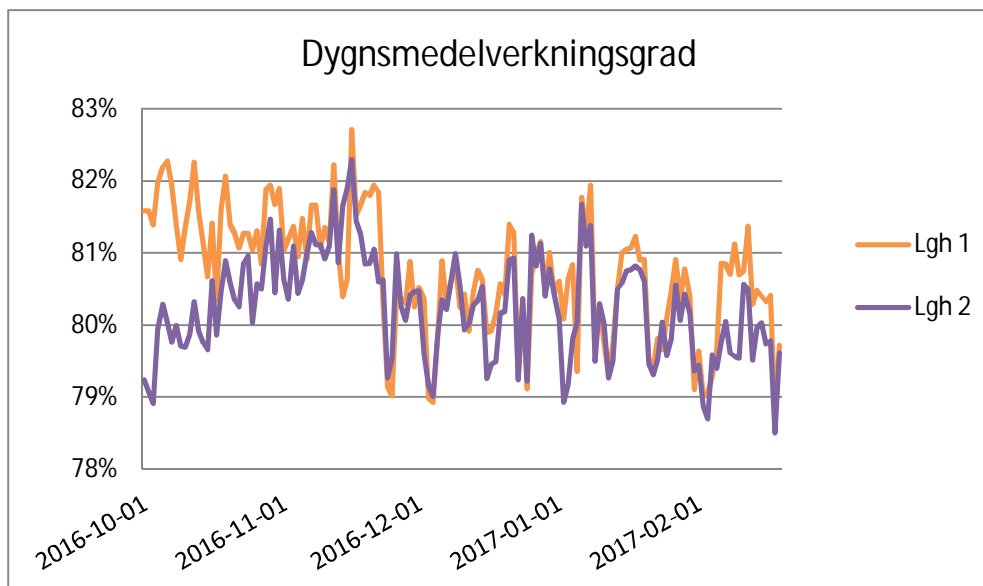
- 81 % för lägenhetsaggregat 1
- 80 % för lägenhetsaggregat 2



Figur 16 Temperaturverkningsgrad i lägenheterna under en uppvärmningsperiod

För att få en tydligare bild över hur temperaturverkningsgraden ändrar sig över tid har den i Figur 17 plottats med dygnsmedel istället för med 15-minutersvärden (som i Figur 16).

I början av perioden skiljer sig temperaturverkningsgraderna för de båda aggregaten åt i viss grad. Verkningsgraden för aggregat i lägenhet 1 är högre än temperaturverkningsgraden för aggregatet i lägenhet 2. Ingen förklaring till denna avvikelse i början av perioden har hittats.



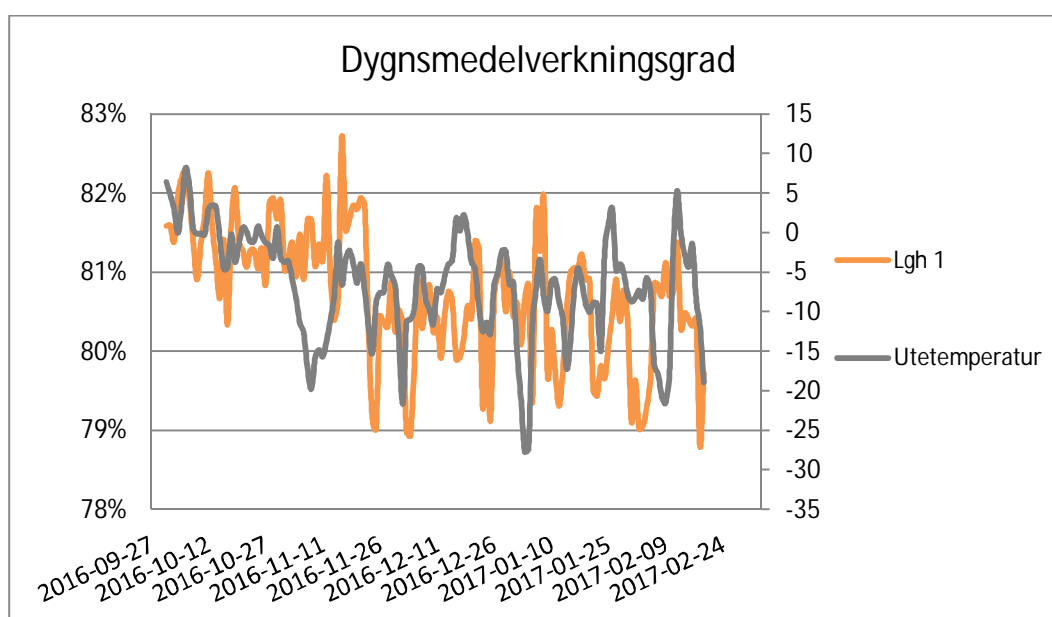
Figur 17 Medeltemperaturverkningsgrad per dygn under uppvärmningssäsongen

Lägenhet 1 – vänster

Trots att de båda ventilationsaggregaten är identiska och betjänar likadana lägenheter skiljer sig resultaten stundvis åt dem emellan. Förutsättningen för lägenhet 1 är att intagskanalen sitter i söderläge och solens inverkan blir större för denna lägenhet än för lägenhet 2.

Figur 18 visar dygnsmedeltemperaturverkningsgrad och dygnsmedeltemperaturen ute på varsin axel. När uteluftstemperaturen sjunker ner mot -20 °C kan man se att temperaturverkningsgraden också sjunker. Detta skulle kunna förklaras med en viss påfrysning på aggregatet, men eftersom lägenheten inte haft permanenta hyresgäster är det svårt att veta om det funnits något betydande fuktillskott under dessa perioder.

Dygnsmedeltemperaturverkningsgraden för lägenhet 1 under perioden 2016-10-01 till 2017-02-20 är 81 %.



Figur 18 Dygnsmedelverkningsgraden under uppvärmningssäsong för lägenhet 1

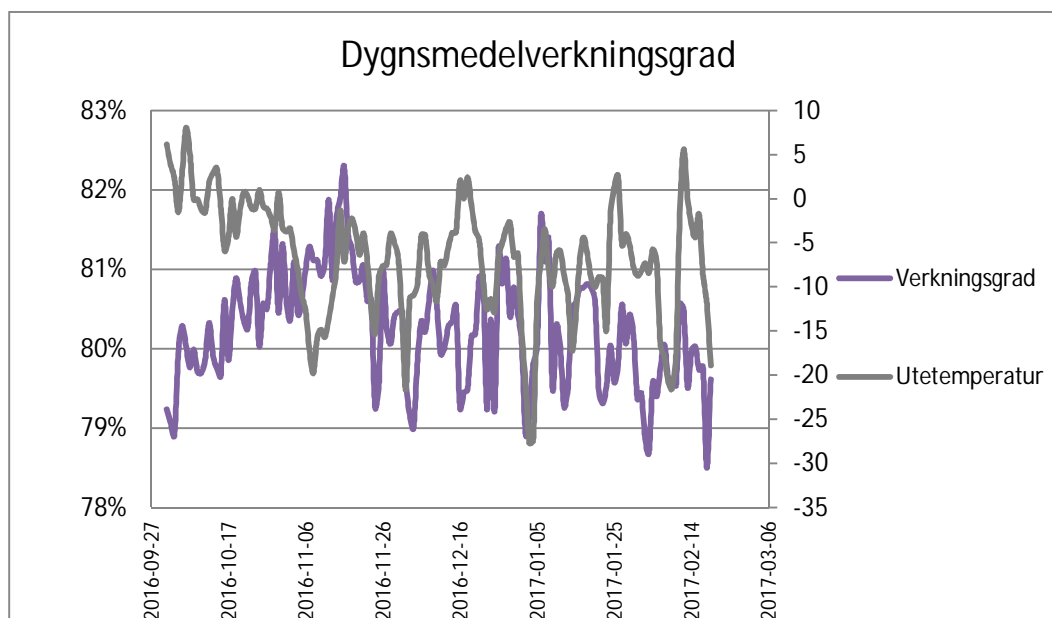
När det varit minusgrader utomhus har, som tidigare nämnts (se "Givare" i Kapitel *Förutsättningar mätningar och beräkningar*), temperaturen hämtats från en annan givare, placerad på yttervägg mot norr. Trots att temperaturen i kanalen på grund av sitt väderskydd varit högre har ingen hänsyn tagits till detta. Anledningen till detta är att det varit svårt att avgöra hur många grader som skulle behöva läggas till för att spegla verkligheten på bästa sätt. Med de temperaturer från GT25 (givaren på yttervägg) som använts blev medelverkningsgraden 80,6 % för alla dagar med minustemperaturer. Om man skulle addera 2 °C för att ta hänsyn till att den faktiska temperaturen (i kanalen) är högre än den på ytterväggen skulle motsvarande verkningsgrad hamna på 79,2 %. Säkert är alltså att den verkningsgrad som redovisats tidigare snarare är bättre än verklighetens och inte tvärtom.

Lägenhet 2 – höger

I *Figur 19* visas verkningsgraden och utetemperaturen med dygnsmedel för lägenhet 2. Det är inte lika tydligt för lägenhet 2 som för lägenhet 1 att verkningsgraden minskar med sjunkande temperatur. De första 1,5 månaderna av uppvärmningssäsongen steg verkningsgraden kontinuerligt när temperaturen sjönk, medan det var tvärtom i slutet av mätperioden. Logiskt sett borde uteluftstemperaturen som hämtats från GT25 (se ”Givare” i Kapitel *Förutsättningar mätningar och beräkningar*) stämma bättre för lägenhet 2 eftersom GT25 och GT1 är placerade i samma väderstreck och dessutom i närheten av varandra. Skillnaden är att GT1 är placerad i en kanal medan GT25 är placerad på en vägg. Sedan tidigare vet man att lägenhet 2 är den lägenhet som haft mest oregelbundet brukande och det är därför svårt att veta om det varit mycket fuktillskott i slutet av perioden när verkningsgraden blivit sämre.

Den 22 november 2016 byttes filtret i aggregatet samtidigt som flödet ändrades från lågfart till högfart.

Dygnsmedelverkningsgraden för lägenhet 2 under perioden 2016-10-01 till 2017-02-20 är 80 %.



Figur 19 Dygnsmedelverkningsgraden under uppvärmningssäsong för lägenhet 2

Avfrostning

Eftersom det högst sannolikt inte varit någon avfrostningsfunktion aktiverad i något av aggregaten (se Kapitel *Ventilationssystemet*) innebär detta att om det skulle bli en påfrysning på någon av rotorerna skulle dessa till slut stanna. Detta (att någon rotor skulle stått stilla) skulle i sin tur innebära att temperaturerna i intagsluften och tilluften (efter växlaren) till slut skulle vara samma. Vid närmre genomgång kan man emellertid se att det aldrig finns något fall då dessa temperaturer varit samma. Bland annat så är skillnaden mellan temperaturerna minst 20 °C vid uteluftstemperaturer under -5 °C.

Detta innebär alltså att fallet för maximal påfrysning aldrig inträffar. Dock skall påpekas att vi inte har sett något ”normalt brukande” av lägenheterna (se Kapitel *Förutsättningar mätningar och beräkningar*) vilket definitivt har påverkar förutsättningarna för påfrysning: Utan fuktillskott från lägenheterna borde det i princip vara omöjligt att få påfrysningsproblem i aggregatet.

Temperaturverkningsgrad – jämförelse med Vallda Heberg

I Vallda Heberg utanför Göteborg byggde NCC ett passivhusområde 2013 med bland annat likadana passivhus som det i Kiruna, med vissa skillnader i klimatskal etc. men interiört är husen likadana och betjänas dessutom av exakt likadana ventilationsaggregat (Flexit UNI3) med luftburen värme. Även i Vallda Heberg har det gjorts utvärderingar på temperaturverkningsgraden i tre av villorna.

Dygnsmedelverkningsgraden i de tre villorna i Vallda Heberg mättes upp till 75 %, 73 % samt 76 %. Mätperioden för dessa var början av december 2013 till slutet av februari 2014.

I Sjunde huset var dygnsmedelverkningsgraden i den båda lägenheterna 81 % respektive 80 % under perioden 2016-10-01 till 2017-02-20, alltså till stor del under samma månader som i Vallda, men vid olika år.

Eftersom Sjunde huset och villorna i Vallda haft olika brukarmönster är det svårt att jämföra resultaten rakt av. Det har utöver detta funnits begränsningar i mätdata, styrning etc. för Sjunde huset som också kan ha påverkat verkningsgraden. Men tittar man bara på de redovisade siffrorna kan man konstatera att verkningsgraden är bättre i Sjunde huset än i Vallda. Detta kan bero på att man, trots det sydliga läget, haft mer påfrysning på rotorn i Vallda eftersom fuktlasterna troligtvis varit mycket högre där. I en kombination med att det inte funnits några påfrysingar i Sjunde huset vid låga uteluftstemperaturer ges värmeväxlaren dessutom möjlighet att arbeta effektivt även när det är väldigt kallt ute, vilket också höjer den genomsnittliga verkningsgraden.

Energianvändning batteri

Under perioden 2016-10-01 till 2017-02-20 har den energi som värmeväxlaren återvinner beräknats och mätts upp. Det är viktigt att nämna att den period som analyserats inte innefattar hela uppvärmningssäsongen, vilket innebär att mer energi i batteriet åtgått under året än det som redovisas i kommande avsnitt.

Utöver detta har även den återvunna mängden energi i värmeväxlaren beräknats utifrån förutsättningarna presenterade under ”Energianvändning värmebatteri” i Kapitel *Förutsättningar mätningar och beräkningar*, men med skillnaden att temperaturdifferensen över värmeväxlaren ersatts av temperaturdifferensen över värmebatteriet. Läger man ihop dessa två energimängder får man den energimängd som skulle ha använts om det inte funnits någon värmeväxling.

Luftflödet för lägenhet 1 är på 55 l/s under hela perioden, men för lägenhet 2 ändras luftflödet från lågfart till högfart i slutet av november, vilket måste tas hänsyn till i beräkningen. Lågfart är 40 l/s och högfart är 55 l/s.

Uppmätt vs beräknad

Se *Tabell 2*: I lägenhet 1 har batteriet använt 4482 kWh mellan 2016-10-01 till 2017-02-20 och för lägenhet 2 är motsvarande siffra 4016 kWh. Dessa siffror är avlästa från värmemängdsmätaren.

Eftersom lägenheterna är identiska borde det uppmätta energibehovet varit detsamma, men det skiljer ca 500 kWh dem emellan. En logisk förklaring till att det använts mindre energi i lägenhet 2 är att luftflödet varit lägre.

Tabell 2 Resultat för uppmätt och beräknad energi i värmeväxlare och batteri

	Lägenhet 1 [kWh]	Lägenhet 2 [kWh]
Uppmätt energi batteri	4482	4016
Beräknad energi batteri	3909	4026
Beräknad återvunnen energi vvx	5030	4454
Beräknat energibehov utan vvx	8939	8480

Resultaten för uppmätta och beräknade mängden energi i värmebatteriet visas i *Tabell 2*. Vi kan se att uppmätt och tillförd mängd energi i batteriet för lägenhet 1 skiljer sig åt. Oklart vad det beror på.

För lägenhet 1 gäller att värmeväxlaren återvunnit 56 % av energin under perioden och för lägenhet 2 gäller att värmeväxlaren återvunnit 53 % under samma period.

Den återvunna mängden energi i värmeväxlaren, som också har beräknats, går inte att kontrollera mot någon uppmätt siffra. Eftersom energimängden i värmeväxlaren tas fram genom bland annat T_{ute} finns en risk att värdet inte blir rätt med tanke på att T_{ute} har hämtats från en annan givare, GT25, placerad på norrsidans vägg. Felmarginalen är därmed högst för lägenhet 1 som har sitt luftintag på huset södersida.

Värmeförlusttal

Kravet på värmeförlusttalet (VFT) i Sjunde huset ligger på $19,8 \text{ W/m}^2 A_{temp}$ och det har i ett tidigt skede beräknats till $16,3 \text{ W/m}^2$.

Indata till beräkning

Några värden är framtagna i uppdraget kring utvärderingen av ventilationsaggregatet. Övriga har tagits fram i andra utvärderingar eller beräkningar inför byggnationen av Sjunde huset. I *Tabell 3* framgår vilka värden de olika parametrarna har samt var dessa härstammar från.

Tabell 3 Värden för att beräkna VFT

Parameter	Värde	Ursprung
DVUT	-24,3 till -30,3	Tabellerad
U_m	0,16 W/m ² K	Framtagen genom beräkningar i IDA
A_{omsl}	526,62 m ²	Beräknat i IDA för hela byggnaden.
ρ	1,2 kg/m ³	Densitet luft, Tabellerad
C_p	1,0 kJ/kgK	Luftens värmekapacitet; Tabellerad
q_{vent}	55 l/s	Injusterat vid idrifttagande ¹
η	81 % lgh 1 79 % lgh 2	Temperaturverkningsgraden från kap 5.1.1 samt 5.1.2 ²
d	1	Eftersom ventilationen går dygnet runt blir den relativa drifttiden 1.
q_{50}	87 l/s lgh 1 75 l/s lgh 2	Uppmätt på plats, ingår i en annan del av utvärderingen av Sjunde huset
$q_{sup}-q_{ex}$	0	Balanserat flöde ger 0
e	0,07	Tabellerat värde i FEBYs kravspecifikation

¹ Lägenhet 2 har haft ett flöde på 40 l/s fram till slutet av november, vilket hänsyn tagits till vid beräkningen.

² Systemverkningsgraden ska inte bara ta hänsyn till aggregatets temperaturverkningsgrad utan även till värmeförluster i kanaler, avfrostningsmetodik och obalans i luftflöden. Eftersom det inte går att dra en slutsats kring detta har enbart den framräknade temperaturverkningsgraden använts.

Beräkningen ska göras vid en dimensionerande innetemperatur på 21 °C. Sedan tidigare har det visat sig att frånluftstemperaturen i lägenhet 2 under en period varit enbart 15 °C. På sommaren har även frånluftstemperaturen i de båda lägenheterna varit över 26 °C. Men om man ser över hela mätperioden 2016-01-31 till 2017-02-20 är medeltemperaturen i frånluften ca 21 °C för båda lägenheterna.

Uppmätt vs beräknat

I Tabell 4 presenteras resultatet av värmeförlusttalet vid både DVUT_{min} (-24,3 °C) och DVUT_{max} (-30,3 °C). Som tydligt framgår av tabellen ligger värmeförlusttalet en bra bit under kravet på 19,8 W/m²A_{temp} som FEBY12 ställer.

Tabell 4 Värmeförlusttal för Sjunde huset

	VFT _{DVUTmin}	VFT _{DVUTmax}
Lägenhet 1	14,20	16,10
Lägenhet 2	14,30	16,20
Hela huset	14,20	16,10

Det värmeförlusttal som tidigare beräknats till $16,3 \text{ W/m}^2$ togs fram med hjälp av en tidskonstant på 12 dygn, alltså motsvarande $DVUT_{\max}$. Detta innebär alltså att det uppmätta värdet för VFT och det beräknade stämmer väldigt bra överens.

Specifik energianvändning

Den specifika energianvändningen, alltså värme, varmvatten och fastighetsel har av LTU, genom Daniel Risberg, tagits fram med hjälp av uppmätta värden från perioden 15 juli 2015 till 15 juli 2016:

- El: 1298 kWh, varav 22 kWh går till motorvärmare
- Värme: 4237 kWh värme, varav 189 kWh varmvatten

De uppmätta värdena har dock inte använts rakt av utan vissa anpassningar har gjorts (se också begränsningar och avvikelser i Kapitel *Begränsningar och avvikelser indata och förutsättningar*):

- Eftersom det inte varit ett normalt brukande i huset så är de 189 kWh som mätts upp inte rimliga. Istället för att använda de 189 kWh har brukarindata för normalt brukande hämtats från Sveby¹¹, vilka motsvarar 20 kWh/m^2 , år. Man måste dock ta hänsyn till att det i Sjunde huset finns energisåla så kallade NASA-duschar (se Kapitel *Energieffektiviseringsåtgärder*) vilka uppges minska värmebehovet till varmvatten med 80 %. Detta ger då en schablon på $10,65 \text{ kWh/m}^2$, år istället för de 20 kWh/m^2 , år som Sveby rekommenderar.
- Inomhustemperaturen i Sjunde huset har stundtals varit låg. I FEBY räknar man med att inomhustemperaturen ligger på 21°C . Om man justerar för den stundtals låga inomhustemperaturen fås ett tillskott på 1 kWh/m^2 , år.
- Eftersom huset knappt varit bebott har vissa antaganden gjorts. Vitvaror är inkopplade på fjärrvärme, vilket innebär att när man tvättar, diskar och torktumlar går det åt energi som inte tillhör den specifika energianvändningen. Men då huset och dess vitvaror har haft ett lågt nyttjande har det antagits att dessa siffror är noll. Det finns alltså ingen undermätning till vitvarorna, så hur mycket värme som exakt gått åt är inte känt.
- En annan följd av lågt nyttjande av huset och dess installationer är att den el som använts helt och hållet antas vara fastighetsel förutom de 22 kWh el som mätts upp till motorvärmare. Under perioden 15 juli 2015 till 15 juli 2016 har 1298 kWh el använts. Solelen har producerat 1098 kWh el och av dessa har 663 kWh sålts till nätet och resterande 435 kWh till huset. Detta innebär att den fastighetsel som används i underlaget för att räkna ut den specifika energianvändningen blir $1298 - 22 = 1276 \text{ kWh}$ (där solenergin ”till huset” ingår i de uppmätta 1298 kWh).

¹¹ www.sveby.org

Krav enligt FEBY12 på den specifika energianvändningen är 63 kWh/m², år för ett, så kallat, *renodlat system*, alltså ett hus med enbart fjärrvärme som uppvärmningskälla. NASA-duscharna som har en recirkulerande funktion med varmvatten har ett litet elbatteri som egentligen gör att huset har *ett icke renodlat system* som värms med både el och fjärrvärme”. Men då elbatterierna är ”högst begränsade”, så klassas byggnaden istället att ha ett *renodlat värmesystem*.

$$E_{\text{Levererad}} = E_{\text{uppvärmning}} + E_{\text{fastighetsel}} + E_{\text{tappvarmvatten}}$$

$$E_{\text{fastighetsel}} = 1276/140 (A_{\text{temp}}) = 9 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$$

$$E_{\text{tappvarmvatten}} = 10 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$$

Uppvärmningsenergin har korrigerats med hjälp av graddagsmetoden¹², vilket ger ett tillskott på 7 kWh/m², år eftersom den aktuella mätperioden var varmare än ett normalår.

$$E_{\text{uppvärmning}} = (4237-189)/140 + 7 + 1 = 28,9 + 8 = 36,9 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$$

$$E_{\text{Levererad}} = 10,65 + 1 + 7 + (4237-189)/140 + 1276/140 = 56,7 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$$

Resultatet visar att Sjunde husets uppskattade specifika energianvändning ($E_{\text{Levererad}}$ 56,7 kWh/m²,år) inte överstiger FEBY12 passivhuskrav på 63 kWh/m² A_{temp}, år.

Solenergi

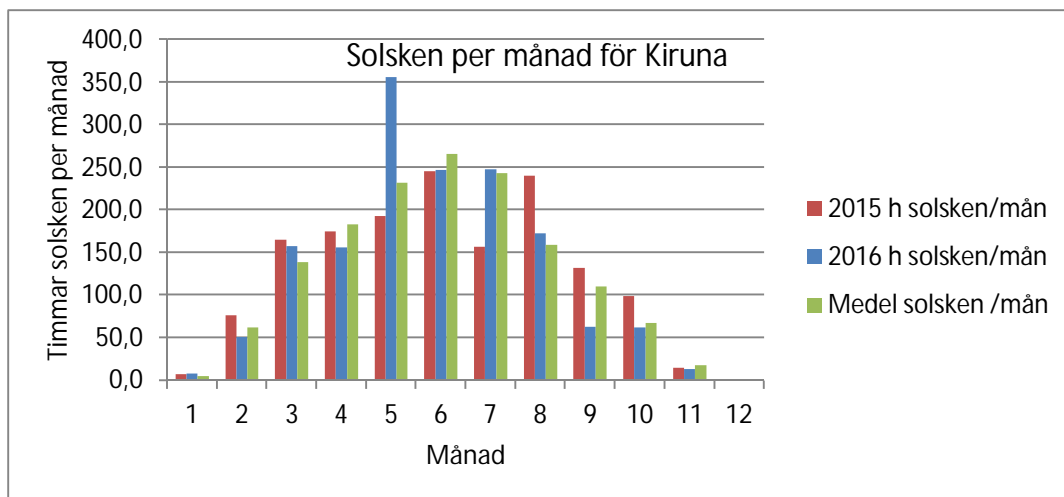
I projekteringen hade solpanelerna en beräknad total produktion på ca 900 kWh/år.

Tabell 5 Produktion solenergi 2015 och 2016

	Lägenhet 1 [kWh]	Lägenhet 2 [kWh]	Totalt [kWh]
2015	480	696	1176
2016	637	1059	1696

Högra huset med ca 15m² solpaneler på fasaden långsidan som vetter mot öster har visat sig ha en mer optimerad placering som tillgodogjort sig mest energiflöde, närmare 45-65 % mer än de 14m² på vänstra lägenheten som vetter mot söder, se *Figur 5*.

¹² Se bland annat www.smhi.se



Figur 20 Solskenstimmar per månad för Kiruna

Utifrån *Figur 20* kan man spekulera skillnaden i produktion solenergi mellan lägenheterna att goda sommarmånader 2016 speciellt gynnade energiflödet för lägenhet 2 (höger) vars solpaneler vetter mot öster. Låg solinstrålning under vintern fångas inte upp av solpanelerna för lägenhet 2 i samma omfattning.

Lufttätet

Lufttätetsprov utfördes av Sjunde huset under september 2014. Både den vänstra och högra lägenheten provades separat.

Det beräknade luftläckaget på den totala omslutande arean blev mellan 0,23 och 0,27 l/s m², projektets uppsatta lufttätet krav var 0,31 l/s m². Båda lägenheterna uppfyller lufttätetskravet av 0,31/s m² inom 10 % felmarginal oavsett om angränsande vägg mellan lägenheterna tas med i areaberäkningen eller inte.

Figur 21, *Figur 22* och *Figur 23*, av Peter Koskinen, NCC, visar lufttätetsprovningen.



Figur 21 Blowerdoor monterad i huvudentré vänster hus



Figur 22 Uteluft, avluft och avlopp tätades med ballong



Figur 23 Tätning Im-kanal och VP-rör

Provet utfördes enligt standard EN- 13829 *Byggnaders termiska egenskaper - Bestämning av byggnaders lufttätethet – Tryckprovningmetod*, med under och övertryck. Blowerdoor monterades i huvudentrén och all övrig ventilation tätades med ballonger. Avlopp tätades med tejp eller med ballonger. VP-rör tejpades. Vid provtillfället var det fint väder och nästan vindstill.

SLUTSATSER

Fullskaledemonstrationen Sjunde huset har definitivt bidragit till att öka kunskapen om lågenergihus och nya innovativa tekniska lösningar. Sjunde huset är byggt enligt FEBYs passivhuskriterier med utgångspunkt från förutsättningar utifrån Klimatzon I och denna rapport presenterar en dokumentation av valda energieffektiviseringsåtgärder – tekniska lösningar och ny teknik – mätning och analys av ventilationssystemet, värmeförlusttal och den specifika energianvändningen.

Vi kan både konstatera att det går alldeles utmärkt att bygga lågenergihus i subarktiskt klimat och sammanställa några viktiga resultat och erfarenheter för kommande liknande projekt:

Projektets mål är att möjliggöra för lågenergibyggnader i subarktiskt klimat, såsom Kiruna, och att helhetstänk och hållbarhetsaspekter skulle genomsyra byggprocesserna. Själva utgångspunkten för utvecklingen av Sjunde huset var NCC:s koncepthus Kuben som uppgraderades till ett passivhus. Genom att ta fram ett passivhus som koncepthus anpassat för Kirunas förhållanden har huset potential att senare reproduceras till lägre produktionskostnad. Därtill kommer kommande hus att få låga driftkostnader på grund av den låga energiförbrukningen. Ett välfungerande och hållbart passivhuskoncept torde därmed vara ett attraktivt alternativ vid nyproduktion av hus i Kiruna. Ur ett hållbarhetsperspektiv är också den nya generationen av hus ett bra miljöval.

Aktuell affärschef för NCC Construction Norra Norrbotten poängterar vikten att projektera rätt från början. Sena ändringar är dyra att genomföra och kan påverka slutprodukten. Det är viktigt att tidigt förmedla vikten av noggrannhet i utförandet i allmänhet och tätskiktet i synnerhet. Att bygga passivhus innebär ibland andra krav på utförande och arbetsmoment. Vad som skiljer mot "traditionellt byggande" måste tidigt klargöras och svaras upp emot kompetensmässigt.

Huset har en "energieffektiv" kompakt utformning med få köldbryggor och vindfång som "sluss" för att hindra värme att strömma ut. Båda lägenheterna uppfyller lufttäthetskravet på 0,3l/s m² oavsett om angränsande vägg mellan lägenheterna tas med i areaberäkningen eller inte.

Mätningar och analys har definitivt påverkats av en del problem med sporadiskt boende hyresgäster, felaktigt inköpta givare samt en del driftproblem. Förutsättningar som ligger utanför aktuellt projekts påverkan. Vi kan därför inte bekräfta förmodade energivinster med LED-belysning, NASA-duscharna och vitvaror.

Man kan ändå dra en del viktiga och välgrundade slutsatser om luftvärmesystemet.

Luftvärmesystem är speciellt underhållsintensiva och kräver regelbundna injusteringar av luftflöden, underhåll – såsom kanalrensning och filterbyte – samt omkoppling mellan sommar och vinter för att kunna leverera god komfort och inomhusmiljö. Luftvärmesystem (till/frånluftsdon i tak – frånluftsdon i våtutrymmen och kök) leder till viss ojämn temperaturfördelning i huset – kallare entréplan än övervåning – samt kalla golv och torrt inomhusklimat. Svårt för hyresgäster att reglera inomhustemperaturen.

Med hjälp av den uppmätta temperaturverkningsgraden i ventilationsaggregatet har värmeförlusttalet tagits fram. Värmeförlusttalet är en parameter som ingår i kravet för passivhus enligt FEBY12. Temperaturverkningsgraden i Sjunde huset jämfördes med resultaten från studier av Vallda Heberg där man har installerat likadana ventilationsaggregat.

I Sjunde huset var dygnsmedelverkningsgraden i den båda lägenheterna 81 % respektive 80 % under perioden 2016-10-01 till 2017-02-20. Dygnsmedelverkningsgraden i de tre villorna i Vallda Heberg mättes upp till 75 %, 73 % samt 76 %. Mätperioden för dessa var början av december 2013 till slutet av februari 2014, alltså till stor del under samma månader som för Sjunde huset, men vid olika år.

Nu är en rak jämförelse projekten emellan svår att göra då de har haft olika brukarmönster och att det har funnits begränsningar i mätdata och styrning för Sjunde huset som också kan ha påverkat temperaturverkningsgraden, se Kapitel *Begränsningar och avvikelser indata och förutsättningar*. Större fuktlasten för Vallda Heberg med möjliga påfrysningar i värmeväxlarna kan också (ej bekräftat från Vallda Heberg) vara en faktor som påverkar temperaturverkningsgraden. Men tittar man bara på de redovisade siffrorna kan man konstatera att temperaturverkningsgraden är bättre i Sjunde huset än i Vallda.

Kravet på värmeförlusttalet (VFT) i Sjunde huset ligger på $19,8 \text{ W/m}^2 A_{\text{temp}}$. Resulten för $DVUT_{\text{min}}$ ($-24,3 \text{ }^\circ\text{C}$) och $DVUT_{\text{max}}$ ($-30,3 \text{ }^\circ\text{C}$) visar att värmeförlusttalet för respektive lägenhet och för hela huset, ligger en bra bit under kravet som FEBY12 ställer.

Resultatet visar att Sjunde husets uppskattade specifika energianvändning ($E_{\text{Levererad}}$ 56,7 kWh/m²,år) inte överstiger FEBY12 passivhuskrav på 63 kWh/m² A_{temp}, år.

Levererad solenergi för bägge lägenhetens paneler översteg den i projekteringen beräknade produktionen. Speciellt panelerna som tillhör lägenhet 2 och vetter mot öster visade på gott resultat för ett soligt 2016.

FORTSATTAS STUDIER

Syftet med fullskaledemonstrationen Sjunde huset var att det skulle fungera som en testbädd för utformning, materialval, tekniska lösningar, ny teknik och byggprocesser. Val av innovativa teknik- och materiallösningar gjordes och införlivades i byggprojektet. Vidare liknande tillvägagångssätt är nödvändiga, dels för att testa ny innovativ teknik för energieffektivisering, men också för att introducera nya möjligheter till byggbranschen.

Vidare studier på Sjunde husets ventilationssystem och luftburen värme: I Kapitel *Temperaturverkningsgrad* kan man se att verkningsgraden minskade när utelufttemperaturen sjönk. Pondera att någon varit i lägenheterna vid de tydliga minskningar av verkningsgrad och uteluftstemperatur som syns i Figur 18 och Figur 19. Hur ändras verkningsgraden om avfrostningsfunktionen kopplas in?

Det skulle också vara intressant att testa olika temperaturgränser för avfrostningen för att se hur detta påverkar verkningsgraden. Dock kan det vara viktigt att nämna att det andra steget i avfrostningsfunktionen som innebär att luftflödet sänks kan skapa problem med värmetillskottet i lägenheterna eftersom värmen är luftburen. Då ventilationsaggregat är en avgörande komponent för ett energieffektivt hus – huset skall ventileras och värme återvinnas. Kompletterande studier ger underlag att definiera prestandavärden och vad som fungerar och vad som inte fungerar. Varför kan uppmätta värden skilja sig ifrån kalkylerade?

Ser man på vidare drift och ett mer permanent nyttjande av Sjunde huset så föreslås att följa upp produktionen av solenergi och hur man kan använda den för att minska byggnadens energianvändning.

Avseende byggprocessen så är det ett generellt behov att studera produktionsmetoder och specifika arbetsmoment för uppförande av energieffektiva hus. Vad behöver man speciellt tänka på och vilka förutsättningar bör man uppfylla. Till exempel, vad krävs för vidareutbildning av produktionspersonalen.

