



Vallda Heberg

– Sveriges största passivhusområde med förnybar energi

LÅGAN Rapport nov 2014

Elsa Fahlén, Henrik Olsson, Martin Sandberg och Pernilla Löfås
Christer Kilersjö och Niklas Christensson
Per-Erik Andersson Jessen

www.laganbygg.se

Framsida: Vallda Heberg under byggnationen, foto taget av Bergslagsbild AB.

www.laganbygg.se



Förord

Föreliggande rapport har tagits fram med stöd från LÅGAN-programmet, Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF), NCC Forskning och Utveckling, NCC Construction Sverige AB och Eksta Bostads AB. Författarna vill rikta ett stort tack till finansörerna som möjliggjort en så detaljerad utvärdering av Vallda Heberg från komponent-, hushålls- och byggnadsnivå till hela områdets energisystem.

Författarna vill även tacka Julia Östberg, Håkan Jimmefors, Henrik Olsson och Axel Rosander som genomfört deras examensarbete inom ramen för detta demonstrationsprojekt om Vallda Heberg. Deras arbete utgör ett betydande bidrag till projektet som helhet och till denna slutrapport. Ytterligare personer som bidragit till detta arbete och som vi vill tacka är Anders Ljungberg och Martin Jansson som bistått med mätningar och input till resultatanalysen samt Åsa Lindell, Stina Rosén och Maggie Makdessi som bidragit till enkätstudien.

Tack till projektets referensgrupp som bestått av Christer Kilersjö (Eksta Bostads AB), Henrik Pihlblad (Diligentia), Per Andersson (PEAB/Bengt Dahlgren), Linda Martinsson (SKANSKA) och Christina Claeson-Jonsson (NCC).

Slutligen vill vi tacka Ekstas personal och NCC:s projektorganisation för att ha varit behjälpliga och stöttat upp projektet, inte minst i samband med Vallda-dagen.

Elsa Fahlén

Göteborg, november 2014

LÅGAN-programmet (program för byggnader med mycket LÅG energiANvändning) är ett nationellt program som drivs av Sveriges Byggindustrier med ekonomiskt stöd av Energimyndigheten. LÅGAN syftar till att stimulera energieffektiv ny- och ombyggnad, synliggöra marknaden för byggnader med låg energianvändning och bidra till ett brett utbud av aktörer som erbjuder produkter eller tjänster för lågenergihus och trygga beställare av sådana produkter och tjänster.

www.laganbygg.se

www.laganbygg.se

Sammanfattning

Att hitta totallösningar för hela områden och stadsdelar kommer att vara en viktig del i att nå allt tuffare energiprestandakrav. I Vallda Heberg, sydväst om Kungsbacka, har ett helt bostadsområde byggts enligt passivhusstandard där en stor del av den använda energin tillgodoses med förnybar energi från solfångare, solceller och en biobränslepanna.

Bostadsområdet består av en mix av olika typer av byggnader som är anpassade för boenden i olika åldrar. Bostadsområdet består av 26 villor, sex radhuslängor med plats för 22 seniorboenden, fyra fyrbostadshus med sammanlagt 16 lägenheter samt ett äldreboende med 64 lägenheter. Förutom att samtliga byggnader ska uppfylla passivhusstandard, ska energin till uppvärmning och tappvarmvatten bestå till 100 % av förnybar energi från ett närvärmesystem (lokalt fjärrvärmesystem). Målet är att 40 % av slutanvändarenergien för uppvärmning och tappvarmvatten ska komma från solfångare och resterande 60 % från en pelletspanna.

Vallda Heberg har genom detta demonstrationsprojekt följts upp och utvärderats utförligt inom ramen för LÅGAN:s ”Program för byggnader med mycket låg energianvändning” samt med stöd från Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF). Målet med projektet har varit att kunna visa på möjligheten att bygga hela bostadsområden energieffektivt utan att tumma på kravet om en god inomhusmiljö. I denna rapport besvaras bland annat följande frågor:

- Klarar alla bostadshus passivhuskraven?
- Hur upplevs inomhusmiljön?
- Svenskt rekord i solenergi?
- Vad har varit bra? Vad skulle kunna göras annorlunda?

Passivhusvillorna, vilka är de passivhus som varit bebodda längst, lever upp till förväntad energiprestanda med god marginal. Prognosen för äldreboendet efter ett halvår med full verksamhet visar att energianvändningen ligger nära men strax över den beräknade energianvändningen. För hyreshusen (radhusen och fyrbostadshusen) överstiger energianvändningen den beräknade. Detta bedöms bero på i huvudsak tre faktorer – förluster från varmvattencirkulationen i byggnaderna sommartid, en högre inomhustemperatur vintertid än antaget (för fyrbostadshusen) samt på flitig vädring vintertid, vilket inte bedömts som nödvändigt i välventilerade passivhus. Observera att tvätt- och diskmaskinerna i passivhusen tar en del av sitt varmvattenbehov från tappvarmvattenslingan, vilket egentligen skulle kunna räknas bort från den specifika energianvändningen eftersom hushållsenergin inte ska ingå enligt Boverkets byggregler (vilket inte gjorts i rapporten).

Generellt sett visar mätresultaten och enkätundersökningen på ett gott inomhusklimat i samtliga boendeformer. Inomhustemperaturen under vintern upplevdes som bra av de boende i alla boendeformer (radhus 55+, fyrbostadshus samt villorna). Sommartid skiljde sig de boendes upplevelse av inomhustemperaturen mer, där boende i villorna (egna hem) och radhusen (hyreshus 55+) var mer nöjda än boende i fyrbostadshusen (hyreshus). Sommaren 2014 var en extremt varm sommar vilket gav upphov till höga temperaturer även inomhus. Bostadsbolaget Eksta Bostads AB bedömer att deras hyresgäster i Vallda Heberg, samt i deras övriga passivhusbestånd, generellt sett varit mer nöjda med inomhusklimatet än andra hyresgäster.

www.laganbygg.se



En tidig prognos visade att det fanns en god chans att nå målet om 40 % solenergi i energianvändningen till uppvärmning och tappvarmvatten, medan en uppdaterad prognos visar att det är en bit kvar till att nå målet. Den främsta anledningen är att vissa av solfångarna har producerat mindre solvärme än beräknat. Initiala problem med solfångarna, vilka avspeglas i mätvärdena, har nu åtgärdats. Området är dessutom inte fullt utbyggt ännu, vilket påverkar både den totala energianvändningen och hur väl solfångarna kan utnyttjas. Det behövs därför mätvärden under en längre period för att utvärdera måluppfyllelsen.

Förluster av värme i kulvertsystemet ser ut att vara ganska höga. Det är dock svårt att dra starka slutsatser om förlusterna i kulvertarna på grund av osäkerheter i mätningar och antaganden som ger väldigt stora utslag på de procentuella förlusterna. En faktor som påverkar värmeförlusterna i det sekundärsystem där extra mätningar genomförts är att den uppmätta värmeanvändningen är lägre än projekterat, vilket ger en högre värmeförlust procentuellt sett. I och med att den totala värmeanvändningen i Vallda Heberg kommer att öka när området är fullt utbyggt väntas de procentuella värmeförlusterna i primärkulverten att minska, och därmed även energisystemets totala förluster.

Sammantaget visar projektet på goda resultat redan efter relativt kort tid i drift. Ett minst lika viktigt resultat är att de boende i passivhusområdet generellt sett är nöjda. Fungerar inte inomhusklimatet att bo i spelar det ingen roll hur energisnåla husen är. Injustering av systemen har varit centralt för att nå dessa resultat. Troligen finns ytterligare potential för injustering, framförallt i hyreshusen och av solfångarna. Det är också tydligt i resultaten att brukarbeteendet är avgörande för byggnadernas prestanda. Därför är ett ökat fokus på informationsinsatser till de boende en viktig del i injusteringen av alla passivhus.

Exploateringen påbörjades 2011 och färdigställande skedde sommaren 2014. Projektering och produktion har skett i ett lyckosamt partnersamarbete mellan beställaren, Kungsbackas kommunala bostadsbolag Eksta Bostads AB, entreprenören, NCC Construction Sverige AB och projektörerna Markgren Arkitektur AB, Mats Abrahamsson Arkitekter AB, NCC Teknik, Andersson & Hultmark och BA-Elteknik. En viktig framgångsfaktor har varit att byggherre, entreprenör, arkitekter och konsulter har jobbat tillsammans för projektets bästa, mot gemensamma mål och med total transparens och öppenhet. Stort fokus har legat på energifrågan från start i projektet vilket ökat medvetenhet hos alla aktörer som varit inblandade. Vad som kan göras bättre i nästa projekt är att lägga ännu mer tid i tidigt skede, genomföra mer riskanalys, att involvera installatörerna ännu tidigare i projektet samt att ännu starkare involvera de boende. För att leva upp till tuffa ambitioner och ta nästa steg måste alla vara med.

Sammanfattningsvis ger samverkan, engagemang och tidigt involverande av de partners som verkar i projektet ett bättre resultat. Det är viktigt att resursfrågan såväl som andra hållbarhetsfrågor löper som en röd tråd genom hela projektet och att kontinuerlig dialog förs med boende för att helheten ska bli bra. Vallda Heberg-projektet visar att det går att bygga hela stadsdelar energieffektivt med nöjda boende.

www.laganbygg.se



Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	Syfte	2
1.2	Frågeställningar	2
1.3	Metod för uppföljning	3
2	BESKRIVNING AV VALLDA HEBERG	6
2.1	Beskrivning av passivhusen	6
2.2	Beskrivning av systemet för generering och distribution av värme	13
3	RESULTAT	15
3.1	Passivhusens energiprestanda	15
3.2	Passivhusens uppmätta inomhusklimat	21
3.3	Passivhusens upplevda inomhusklimat	28
3.4	Uppföljning av energisystemet	35
4	EKONOMISK ANALYS	45
4.1	Beräkningsexempel för villorna	45
4.2	Ekonomisk analys och diskussion	46
5	FRAMGÅNGSFAKTORER OCH FÖRBÄTTRINGSOMRÅDEN	48
6	SLUTSATSER	51
7	INFORMATIONSSINSATSER	52
8	REFERENSER	53

www.laganbygg.se

BILAGOR:

Bilaga 1: Detaljmätningar i tre passivhusvillor

Bilaga 2: Sammanställning av svar på vinterenkäten från boende i villorna, radhusen och fyrbostadshusen

Bilaga 3: Sammanställning av svar på sommarenkäten från boende i villorna, radhusen och fyrbostadshusen

Bilaga 4: Sammanställning av svar på vinter- och sommarenkäten från anställda i äldreboende

Bilaga 5: Artikel om utvärdering av komfortkyla och solcellsanläggning

www.laganbygg.se



1 Inledning

Att hitta totallösningar för hela områden och stadsdelar kommer att vara en viktig del i att nå allt tuffare energiprestandakrav. I Vallda Heberg, sydväst om Kungsbacka, har ett helt bostadsområde byggts enligt passivhusstandard där en stor del av den använda energin tillgodoses med förnybar energi från solfångare, solceller och en biobränslepanna.

Bostadsområdet består av en mix av olika typer av byggnader som är anpassade för boenden i olika åldrar. Bostadsområdet består av 26 villor, sex radhuslängor med plats för 22 seniorboenden, fyra fyrbostadshus med totalt 16 lägenheter samt ett äldreboende med 64 lägenheter, se Figur 1.

Förutom att samtliga byggnader ska uppfylla passivhusstandard, ska energin till uppvärmning och tappvarmvatten bestå till 100 % av förnybar energi från ett närvärmesystem (lokalt fjärrvärmesystem). Målet är att 40 % av slutanvändarenergin för uppvärmning och tappvarmvatten ska komma från solfångare och resterande 60 % från en pelletspanna.



Figur 1 Skiss över Vallda Heberg (bild: Markgren Arkitektur AB).

Projektering och produktion har skett i ett partnersamarbete mellan bland annat beställaren, Kungsbackas kommunala bostadsbolag Eksta Bostads AB, och entreprenören, NCC Construction Sverige AB. Att bygga energieffektivt i så stor skala är unikt och helhetstänket som genomsyrat hela projektet är ovanligt. Därför är det extra intressant att följa upp – Hur bra blev det? Vad har vi lärt oss? Vad skulle vi gjort annorlunda?

1.1 Syfte

Syftet med demonstrationsprojektet är att göra en utförlig uppföljning av Vallda Heberg bostadsområde med fokus på energiprestanda och inneklimat för de färdigställda passivhusen, samt att följa upp hur väl energisystemlösningen presterar och hur den storskaliga implementeringen av solvärme fungerar tillsammans med passivhusen.

Målet är att visa på möjligheten att bygga hela bostadsområden energieffektivt utan att tumma på kravet om en god inomhusmiljö. Spridning av erfarenheter och lärdomar från Vallda Heberg är ett sätt att visa andra att ett sådant projekt är genomförbart samt att visa på framgångsfaktorer och eventuella hinder som behöver undanröjas för framtida projekt.

1.2 Frågeställningar

Nedan följer de frågeställningar som projektet ska ge svar på.

Uppföljning av passivhusens energiprestanda

- Hur väl stämmer beräknad energianvändning i passivhusen med verkligt utfall? Hur stor är spridningen i energianvändning mellan olika hushåll?
- Hur ser fördelningen ut mellan energi till uppvärmning, kyla (äldreboendet) tappvarmvatten och fastighetsel för de olika typerna av bostäder i området?
- *Extra frågor för uppföljningen av äldreboendets solcells- och komfortkylanläggning:* Finns avsättning för all solel inom byggnaden eller hur mycket el levereras ut på nätet? Lever anläggningen upp till målet om att täcka 40 % av fastighetselen med solel (på årsbasis)? Hur väl följer solelproduktionen behovet av el till komfortkylanläggningen och nås målet om en täckningsrad på 100 % solel till kylbehovet (på årsbasis)?

Uppföljning av uppmätt och upplevt inomhusklimat

- Hur ser inomhusklimatet ut i de verkliga passivhusbostäderna och hur upplevs det av de boende i området och av personalen som arbetar i äldreboendet?
- Hur skiljer sig den upplevda inomhusmiljön i de olika typerna av bostäder och mellan olika boende?
- Hur ser dagsljuset ut i bostäderna (villorna) och hur upplevs dagljuset av de boende (alla bostäder)?

Uppföljning av områdets energisystem

- Hur mycket av värmebehovet till uppvärmning och tappvarmvatten kan täckas av värme från solfångarna i området? Nås målet om 40 % solvärme i energianvändningen till uppvärmning och tappvarmvatten i området?
- Hur stora är värmeförlusterna i det lokala fjärrvärmesystemet?

Uppföljning av processen

- Vilka har varit de största framgångsfaktorerna i projektet?
- Vad skulle kunna förbättras i processen till nästa projekt?

1.3 Metod för uppföljning

För att besvara frågeställningarna har omfattande mät- och enkätundersökningar genomförts inom projektet, se nedan.

1.3.1 Uppföljning av passivhusens prestanda

För att säkerställa att passivhusen i Vallda Heberg lever upp till förväntad prestanda mäts energi till uppvärmning, kyla (i äldreboendet), tappvarmvatten¹ och fastighets- och brukarel. Mätningarna på bostadsnivå för villorna, radhusen, fyrbostadshusen och äldreboendet presenteras nedan.

Total energianvändning för samtliga hushåll:

Samtliga husägare har tillfrågats om en fullmakt för att få tillgång och tillåtelse att använda uppgifter om deras månadvisa värmeförbrukning till uppvärmning och tappvarmvatten, kallvattenförbrukningen och hushållselanvändningen. Utöver detta mäts fastighetselen (el till FTX-aggregatet).

Äldreboendets solcells- och komfortkylanläggning

På äldreboendet mäts solelproduktionen i solcellsanläggningen som finns installerad på äldreboendets tak samt elanvändningen till komfortkylan, till fastighetens drift samt till verksamheten på timbasis. Överskottsel som levererats till elnätet har erhållits från elleverantören.

Tre passivhusvillor lokaliserade i olika väderstreck har dessutom valts ut för att utvärderas extra utförligt med avseende på lufttäthet och temperaturverkningsgrad i FTX-aggregat. I Figur 2 visas de passivhusvillor där detaljmätningarna utförts, Nätvingevägen 2 (N2), Guldvingevägen 9 (G9) och 16 (G16). Dessa är placerade i olika värdersträck i området. Nedan presenteras genomförandet av dessa mätningar. En mer utförlig beskrivning av hur detaljmätningarna gått till återfinns i Bilaga 1.

Lufttäthet i tre passivhusvillor:

Lufttätheten är intressant att följa upp då den har en stor påverkan för husets funktion. Det är av intresse att veta vad den ligger på initialt för att jämföra med projekterade värden samt när byggnaderna varit i bruk en tid för att se om den förändrats när de boende brukat byggnaderna. Därför har uppföljande mätningar genomförts i dessa tre hus i slutet av projektperioden vilka jämförs med mätningar utförda vid projektperiodens början.

Temperaturverkningsgrad i FTX-aggregat i tre passivhusvillor:

Temperaturverkningsgraden på värmeväxlaren i FTX-aggregatet har följts upp då den har en stor påverkan på byggnadernas funktion med avseende på energiprestanda och boendekomfort. Det är också av intresse att se om den förändras med tiden. Kontinuerliga mätningar har genomförts med 15-minutersintervall.

¹ Värmen till tappvarmvatten beräknas utifrån uppmätt varmvattenåtgång i m³ och antagandet om en värmeåtgång på 55 kWh/m³ (schablonvärde baserat på Elmroth, 2009).



Figur 2 Situationsplan med markering av villor där detaljmätningar utförts (baserat på skiss av Markgren Arkitektur AB).

1.3.2 Uppföljning av uppmätt och upplevt inomhusklimat

I samtliga passivhus mäts rumstemperaturen och luftfuktigheten kontinuerligt varje timme. I tre passivhusvillor lokaliserade i olika väderstreck, se Figur 2, har dessutom detaljerade punktmätningar av termisk komfort och dagsljusfaktor genomförts. En mer utförlig beskrivning av hur detaljmätningarna gått till återfinns i Bilaga 1.

Mätningarna av inomhusklimatet har kompletterats med en enkätundersökning i syfte att ta reda på hur det termiska klimatet upplevs av de boende i de olika passivhusen. Beteendenaspekter och den upplevda inomhusmiljön i bostäderna är extra intressant att följa upp i detta område i och med att bostadsområdet täcker in dels boenden för olika åldrar och dels personal i äldreboendet. Detta kan ge viktig kunskap för branschen då passivhus blir allt vanligare, och kan behöva anpassas för boenden med olika levnadsmönster och behov.

Mätning av rumstemperatur och luftfuktighet i samtliga hushåll samt av utomhustemperatur:

I samtliga hushåll (utom i äldreboendet) mäts rumstemperaturen och luftfuktigheten med givare kopplad till central drift undercentral (DUC). De boende har tillfrågats om en fullmakt för att få ta del av mätvärdena för inomhustemperatur och luftfuktighet i byggnaderna. I fem lägenheter i äldreboendet har separata givare installerats för att mäta rumstemperatur och luftfuktighet. Det fanns dock för stora brister i mätvärdena för att presentera dessa i rapporten. En utegivare har kopplats till central DUC för att även logga utomhustemperaturen.

Mätning av termiskt klimat i tre passivhusvillor:

Det termiska klimatet har mätts i enlighet med standard "SS-EN ISO 7730:2005 - Ergonomi för den termiska miljön - Analytisk bestämning och bedömning av termisk komfort med hjälp av indexen PMV och PPD index samt kriterier för lokal termisk komfort", vilket ger ett kvantitativt mått på upplevelsen av inomhusklimatet.

Mätning av dagsljusfaktor i tre passivhusvillor:

Mätning av dagsljusfaktorn är ett försök att jämföra uppmätt dagsljus med teoretiska beräkningar utförda i examensarbete av Österbring och Heier (2012).

Som en del av utvärderingen av inomhusklimatet i de olika hustyperna har en enkät skickats ut till hushållen för att få en uppfattning om hur klimatet faktiskt upplevs. Enkäterna innehöll frågor rörande termiskt klimat, dagsljus i bostäderna under sommar- och vintersäsong och levnadsvanor, och återfinns i dess helhet i Bilaga 2-4. Uppdelning av undersökningen efter byggnadstyp gjorde enligt följande:

Enkät för villor:

Då villorna funnits på plats och varit bebodda redan vid årsskiftet 2012/2013 gjordes sommarundersökningen för sommaren 2013 (maj t.o.m. augusti) och vinterundersökningen för vinterhalvåret 2013/2014.

Enkät för övriga boendeformer:

För övriga boendeformer gjordes sommarundersökningen för sommaren 2014 (maj t.o.m. augusti) och vinterundersökningen för vinterhalvåret 2013/2014.

Enkäter för äldreboendet:

En enkät skickades ut till de anställda på äldreboendet för att undersöka hur inomhusklimatet upplevdes under sommaren 2014 (maj t.o.m. augusti) och vinterhalvåret 2013/2014. Enkäten var utformad i två delar där den första delen avser att undersöka hur de anställda upplevde sitt inomhusklimat och den andra delen var inriktad på hur de anställda tror att de boende upplevde sitt inomhusklimat.

Vid procentberäkningar av enkätsvaren från villorna, radhusen 55+ samt fyrbostadshusen har totala antalet enkätsvar från respektive boende räknats som referensvärde vid procentberäkningar, dvs. inte utifrån det totala antalet hushåll i respektive bostadstyp. Eftersom underlaget är så litet har vi valt att avstå från att beräkna statistiska parameterar.

1.3.3 Uppföljning på områdesnivå

Mätdata för hela områdets energisystem har samlats in för att konstruera värmebalanser för hela och delar av området för upp till ett år. Mätningar har genomförts enligt följande:

Energibalans för området:

Mätningarna omfattar levererad energi från biobränslepannan, från vacuum- och plana solfångare samt använd energi i byggnader, med värmemängdsmätare placerade i respektive krets och mätare av volym varmvatten som använts i varje bostad. Värmemängdsmätningar har genomförts för att få en bild av hur olika delar av systemet presterar. Observera att dessa mätningar är förenade med stora mätosäkerheter eftersom det är så små temperatur-differenser mellan fram- och returledningarna i fjärrvärmesystemet i Vallda Heberg.

1.3.4 Uppföljning av processen

För att ge en bild av uppföljningen av processen har Eksta, NCC och Andersson och Hultmarks fått ge sin bild av vilka som varit de största framgångsfaktorerna i projektet och av vad som skulle kunna förbättras i processen till nästa projekt. Dessutom har en extern referensgrupp till projektet, bestående av representanter från andra byggföretag och fastighetsägare, fått svara på vad de tar med sig från Vallda Heberg-projektet. Syftet har varit att på detta sätt ringa in de avgörande faktorerna för att lyckas även i framtida projekt.

2 Beskrivning av Vallda Heberg

Bostadsområdet i Vallda Heberg består av en mix av olika typer av byggnader som är anpassade för boenden i olika åldrar. Bostadsområdet består av totalt 128 hushåll, varav 26 villor (enbostadshus), sex radhuslängor med plats för 22 seniorboenden, fyra fyrbostadshus med totalt 16 lägenheter samt ett äldreboende med 64 lägenheter, se Figur 1. Villorna ägs av de boende och övriga bostäder utgörs av hyresrätter. I rapporten benämns de olika bostadstyperna enligt följande:

Villor	26 egna hem
Radhus 55+	22 hyresrätter
Fyrbostadshus	16 hyresrätter
Äldreboende	64 hyresrätter

De olika delarna av bostadsområdet i Vallda Heberg blev färdigställda, inflyttade och började mätas vid olika tidpunkter. Den byggnadstyp som har funnits på plats längst tid är villorna, som var helt inflyttade vid årsskiftet 2012-2013 och där mätdata finns från denna tidpunkt. Efter villorna kom radhusen, som var fullt inflyttade och har fullständiga mätdata från och med augusti 2013. Fyrbostadshusen var inflyttade och uppmätta från och med december 2013. Sist ut var äldreboendet, som varit i bruk sedan oktober 2013 men var inte fullbelagt förrän i början av januari 2014.

Förutom att samtliga byggnader ska uppfylla passivhusstandard, ska energin till uppvärmning och tappvarmvatten bestå till 100 % av förnybar energi från ett närvärmesystem (lokalt fjärrvärmesystem). Minst 40 % av värmen för uppvärmning och tappvarmvatten ska genereras via solfångare och resterande 60 % från en pelletspanna.

2.1 Beskrivning av passivhusen

Samtliga byggnader i Vallda Heberg har projekterats som passivhus enligt principen välisolerade byggnader med lågt luftläckage och värmeåtervinning. I bostadsbeståndet finns variationer i teknikval vad gäller isoleringsmaterial och vägg tjocklek. I fyrbostadshusen används exempelvis högpresterande polyisocyanurat isolering (PIR). Tack vare detta blir väggen 10 cm tunnare, vilket innebär en större boendeyta. I villorna används minerallull (standardisolering) och i radhuslängorna används grafitcellplast med bättre värmegenomgångskoefficient (U-värde). Trots detta har väggarna gjorts tjockare i radhuslängorna (0.5 m) än i villorna (0.37 m), vilket beror på att det är svårare att uppnå passivhusstandard för enplanshus. I äldreboendet används stenull, vilket är ett bättre isolermaterial ur brandhänseende, och som ger ett liknande U-värde som för minerallull.

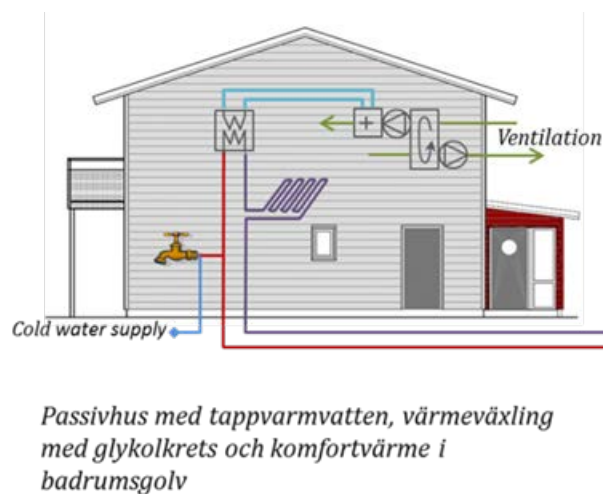
För villor och radhus 55+ har 22°C använts som lägsta inomhustemperatur i energisimuleringarna. För fyrbostadshusen har 21°C använts som lägsta inomhustemperatur. Äldreboendet har i energiberäkningarna simulerats för att hålla en lägsta respektive högsta inomhustemperatur på 22°C respektive 25°C. Enligt energiberäkningar ska byggnadernas totala årliga specifika energianvändning se ut enligt Tabell 1.

Tabell 1 Beräknad årlig specifik energianvändning för byggnaderna i Vallda Heberg

	Villor	Radhus	Fyrbostadshus	Äldreboende
Beräknad specifik energianvändning (kWh/m ² /år)	60	59	52	51

En förenklad skiss av principen för värme- och varmvattensystemet så som det ser ut i alla Vallda Hebergs passivhus utom äldreboendet visas i Figur 3. Tappvarmvatten levereras i kulvert från en fristående undercentral till husen. En del av varmvattnet tappas ur i kran, medan resten fortsätter genom en värmeväxlare kopplad till ett värmebatteri som vid behov förser tilluften med värme. Efter värmeväxlaren passerar varmvattnet genom en VVC-ledning där en golvvärmeslinga (med en beräknad effekt på ungefär 100 W) till badrummet är kopplad, för att sedan flöda i VVC-ledningen tillbaka till undercentralen. Systemet är designat för att de boende ska kunna få varmvatten till kranen utan väntetid vilket innebär att det hela tiden kommer att finnas ett flöde i varmvattenslingan. Legionellatillväxt undviks genom att det inte finns något stillastående vatten samt genom att returtemperaturen aldrig understiger 50°C.

Värmebatteriet kommer bara att användas då det finns ett uppvärmningsbehov, medan den värme som avges av golvvärmeslingan och resten av VV- och VVC-ledning kommer att vara närvarande året om på grund av det konstanta flödet. Mätning av värme i passivhusen görs från temperaturdifferensen på ingående och utgående flöde i byggnaden och kommer därför att inkludera den värme som avges i golvvärme och ledningar.



Figur 3 Principiell skiss över värme- och varmvattensystemet i passivhusen (Jimmefors och Östberg, 2014, baserat på skiss från Mats Abrahamsson Arkitektkontor AB).

Ytterligare en detalj som är värd att nämna är att vitvaror i passivhusen tar en del av sitt varmvattenbehov från tappvarmvattenslingan. Tanken bakom denna design av systemet är att ge en högre baslast för värmebehovet i området för att solvärmen ska kunna utnyttjas bättre. En mer konventionell lösning är att använda hushållsel för att bereda varmvatten i vitvarorna. Användningen av hushållsel kommer således att bli något lägre då förvämt vatten används i vitvarorna. Samtidigt ger detta en något högre användning av tappvarmvatten, vilket även påverkar den specifika energianvändningen.

2.1.1 Villor

Passivhusvillorna utgörs av tvåplans enbostadshus, se Figur 4, med en golvyta på sammanlagt 140 m² (A_{temp}). Byggnaden har en balkong som även fungerar som solavskärmning. Farstukvisten fungerar som ett vindfång, vilket dämpar blåst in i huset.



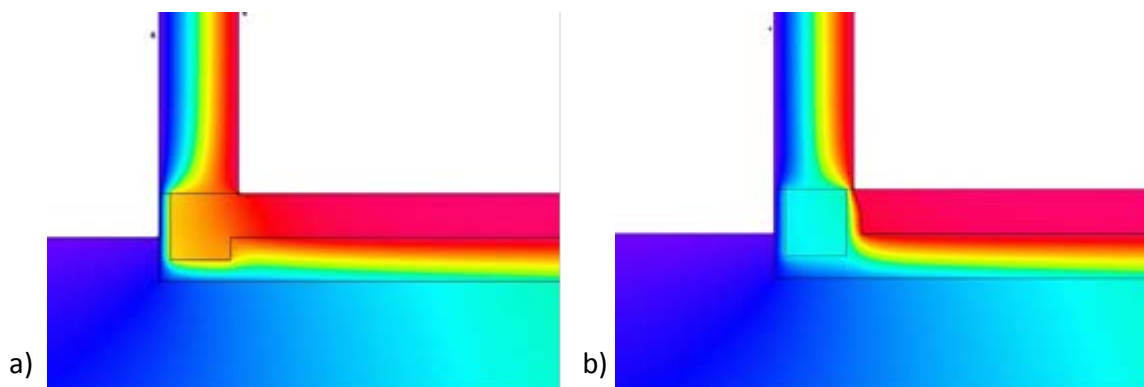
Figur 4 Passivhusvilla i Vallda Heberg (bild: Mats Abrahamsson Arkitektkontor AB).

Byggnaden är välisolerad med lågt luftläckage. För att minska värmeförlusterna har konstruktioner med en låg värmegenomfångskoefficient använts, isolertjockleken har ökats och köldbryggor har reducerats. Bland annat har specialfönster använts, och väggar och platta på mark har isolerats med 10 cm extra isolering och taket med 25 cm extra isolering. Värmegenomfångskoefficienter (U-värden) för byggnadens konstruktionsdelar presenteras i Tabell 2. Dessa resulterar i ett genomsnittligt U-värde för hela byggnaden på $0.17 \text{ W/m}^2\text{K}$, att jämföra med kravet på $0.50 \text{ W/m}^2\text{K}$ enligt BBR 18 (Boverket, 2011). Isolertjockleken på väggar är 37 cm, på tak 72 cm och 40 cm på grund.

Tabell 2 Värmegenomgångskoefficienter och area för villornas olika konstruktionsdelar

Konstruktionsdel	U-värde [W/m ² K]	Total area [m ²]
Vindsbjälklag	0.055	70
Golvbjälklag	0.08	70
Yttervägg	0.106	144.3
Ytterdörr inkl. karm	0.7	2.2
Fönsterdörrar inkl. karm	0.8	4.3
Fönster inkl. karm	0.75	19.2
Ytterdörr med fönster inkl. karm	0.74	2.2

Utöver U-värden för konstruktionsdelarna påverkas byggnadens transmissionsförluster av köldbryggor. Dessa återfinns vid anslutning till platta på mark, mellanbjälklag, fönster och dörrar, balkonginfästningar, ytter- och innerhörn, takfot och entrétak. Exempelvis används en U-formad kantbalk (istället för en L-formad) runt hela bottenplattan för att reducera köldbryggorna, se Figur 4. Figuren visar en ögonblicksbild av temperaturskillnader i konstruktionen beroende på val av kantbalkisolering där rött motsvarar en hög temperatur och blått en låg temperatur. Ju längre ut det röda ligger desto högre blir värmeförlusterna. Simuleringar med beräkningsprogrammet HEAT2 visar att köldbryggorna, efter att dessa har reducerats, motsvarar 17 % av klimatskalets totala förluster.



Figur 5 Simulering av värmeförluster (Watt per löpmeter kantbalk och Kelvin, W/m, K) vid kantbalken runt bottenplattan för en standard L-formad balk (figur a) och för en U-formad kantbalk (figur b).

Förutom ett tätt klimatskal har byggnaden ett från- och tilluftsventilationssystem med värmeväxlare (ett FTX-aggregat) för att återvinna värmen i frånluften till att förvärma tilluften. FTX-aggregatet antas ha en temperaturverkningsgrad på 80 %. I villorna mäts värme till uppvärmning (inkl. VVC-förluster), volym tappvarmvatten som används och fastighetsel på timbasis. Dessutom mäts den totala elanvändningen av elbolaget.

Byggnadens energibehov har beräknats i IDA Indoor Climate and Energy 4.1 där en 3D-modell upprättats. Specifikt värmeeffektbehov i hus och garage är beräknat till 12 W/m². Årlig energianvändning (exkl. hushållsel) är beräknad till 60 kWh/m², fördelat på uppvärmning (39.2 kWh/m²), fastighetsel (5.6 kWh/m²) och tappvarmvatten (15.4 kWh/m²).

2.1.2 Radhus 55+

Radhuslängorna i Vallda Heberg (Figur 6) är totalt sex till antalet, och innehåller tillsammans 22 lägenheter där personer äldre än 55 år kan bo. Lägenheterna varierar i antal rum (2-4 r.o.k.) och i storlek (64-91 m²).



Figur 6 Radhusbyggnad i Vallda Heberg (bild: Mats Abrahamsson Arkitektkontor AB och Markgren Arkitektur AB).

Byggnaderna är konstruerade i ett plan med betongplatta på mark. Väggen är uppbyggd av lager med träreglar och mineralull, som tillsammans med grafitcellplast ska ge tillräckliga isolerande egenskaper. Fasaden är beklädd med träpanel. Taket är uppbyggt kring takstolar av trä och har lösull som isolering. U-värden för byggnadens delar kan ses i Tabell 3.

Tabell 3 Värmeigenomgångskoefficienter för radhusens olika konstruktionsdelar

Konstruktionsdel	U-värde [W/m ² K]
Vindsbjälklag	0.05
Golvbjälklag	0.08
Yttervägg	0.07
Fönsterdörrar inkl. karm	0.80
Fönster inkl. karm	0.75

Ventilation i radhusen sker genom från- och tilluftssystem med värmeåtervinning (FTX), vilket innebär att en stor del av värmeförlusten till omgivning via ventilation elimineras. Mätning av volym tappvarmvatten och el görs för varje lägenhet, medan värme till uppvärmning mäts för hela huskroppar.

Beräkningar av radhusens årliga specifika energianvändning med IDA Indoor Climate and Energy 4.1 gav ett värde på 59 kWh/m²/år fördelat på 37.3 kWh/m²/år till uppvärmning, 15.4 kWh/m²/år till tappvarmvatten och 6.2 kWh/m²/år till fastighetsel.

2.1.3 Fyrbostadshus

Fyra fyrbostadshus (Figur 7) med vardera fyra lägenheter har byggts i passivhusutförande i Vallda Heberg. Lägenheterna, som är fördelade på två våningar, är mellan 2 och 4 r.o.k. med boytor på mellan 67 och 95 m².



Figur 7 Bild på ett fyrbostadshus i Vallda Heberg (bild: Mats Abrahamsson Arkitektkontor AB och Markgren Arkitektur AB).

Byggnaden är konstruerad med en betongplatta på mark, samt en betongplatta som separerar de två våningarna och en betongvägg som separerar lägenheterna i det vertikala planet. Konstruktionen bärs upp med pelare och balkar av stål. Väggarna är uppbyggda av två lager med träreglar och mineralull, med ett mellanliggande lager av polyisocyanurat (PIR) och träpanel som fasadbeklädnad. Takkonstruktionen består av trätakstolar med en kall vind och isolerande lösull. I Tabell 4 presenteras beräknade U-värden för flerbostadshusets olika konstruktionsdelar.

Tabell 4 Värmeegenomgångskoefficienter för flerbostadshusets olika konstruktionsdelar

Konstruktionsdel	U-värde [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
Vindsbjälklag	0.07
Golvbjälklag	0.07
Yttervägg	0.09
Fönsterdörrar inkl. karm	0.80
Fönster inkl. karm	0.75

Ventilation i fyrbostadshusen sker även här genom FTX-aggregat. Mätning av värme till uppvärmning görs för hela huskroppar, medan tappvarmvatten och el mäts lägenhetsvis.

Årlig specifik energianvändning har beräknats med IDA Indoor Climate and Energy 4.1 vilket gav resultatet $52 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{år}$. Fördelningen mellan olika energi poster blev enligt beräkning $25.4 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{år}$ till uppvärmning, $20 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{år}$ till tappvarmvatten och $6.1 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{år}$ till fastighetsel.

Taken på de fyra fyrbostadshusen är täckta av plana solfångare som bidrar till uppvärmningen i området. Den värme som genereras av dessa solfångare används inte för att värma fyrbostadshusen, utan transporteras till två av undercentralerna för att sedan fördelas mellan äldreboendet, radhuslängorna och en del av villorna. Plana solfångare på fyrbostadshusen har inte varit igång tillräckligt länge för att mätningar ska kunna användas i denna undersökning. I stället har en schablon för deras utbyte på $300 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{år}$ använts.

2.1.4 Äldreboende

Äldreboendet i Vallda Heberg (Figur 8) är det första passivhuscertifierade äldreboendet i Sverige. Byggnaden innehåller 64 lägenheter uppdelade på sex avdelningar på tre våningar. Utöver lägenheterna finns ytor avsedda för äldreboendets verksamhet och anställda, som kök och kontor.



Figur 8 Bild på äldreboendet i Vallda Heberg (bild: Markgren Arkitektur AB).

Äldreboendets bärande konstruktion består av betongväggar som står på en betongplatta på mark. Ytterväggarna har en träregelkonstruktion på insidan och en stålregelkonstruktion på utsidan, båda isolerade med stenull. Fasaderna är täckta med fibercementplattor och träpanel. Takets konstruktion är uppbyggd kring balkar av träkomposit med mellanliggande isolering. Vinden används som teknikutrymme för luftbehandlingsutrustningen. Tabell 5 visar U-värden för äldreboendets olika delar.

Tabell 5 Värmegenomgångskoefficienter för äldreboendets olika konstruktionsdelar

Konstruktionsdel	U-värde [W/m ² K]
Vindsbjälklag	0.08
Golvbjälklag	0.11
Yttervägg	0.09
Fönsterdörrar inkl. karm	0.84
Fönster inkl. karm	0.84

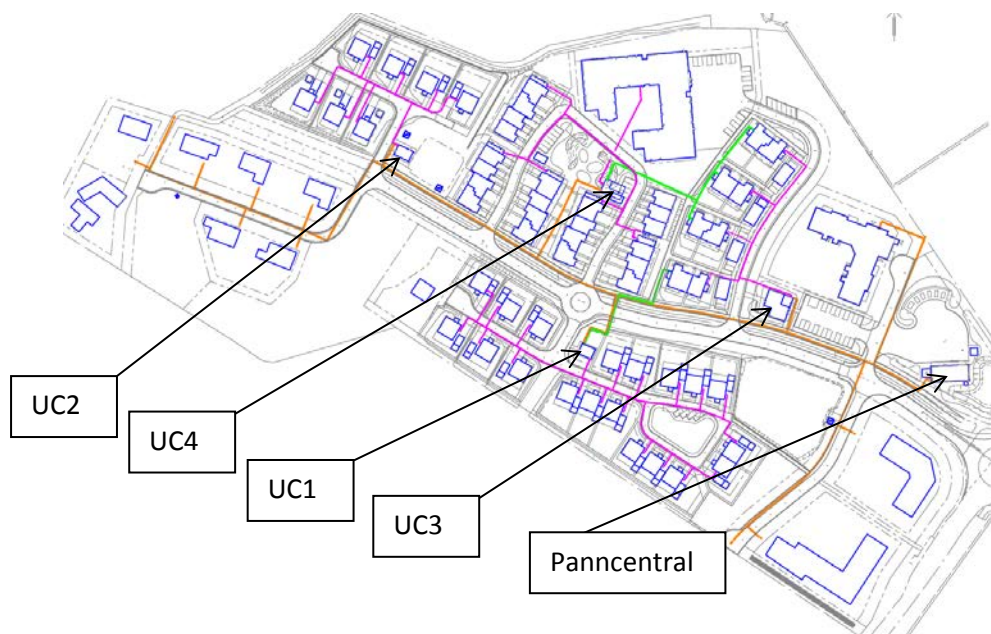
Då de boende i byggnaden är känsliga för höga temperaturer finns möjlighet att både kyla och värma tilluften. Dessutom finns radiatorer i varje rum för att möjliggöra reglering av temperatur efter varje boendes behov. Detta är en skillnad mot de andra byggnaderna i Vallda Heberg, där det endast finns uppvärmning av tilluft samt golvvärme i badrum. Radiatorsystemet i äldreboendet värms av en separat varmvattenledning från undercentralen, och är inte kopplat på tappvarmvattenledningen så som är fallet i de andra byggnaderna. Den värme som lämnar undercentral 4 med destination äldreboendet mäts i undercentralen för att ge möjlighet att jämföra med det som mäts i äldreboendet och på så sätt undersöka förlusten av värme i ledningarna.

Energiberäkning av byggnaden i IDA Indoor Climate and Energy 4.1 gav en årlig specifik energianvändning på 51 kWh/m²/år. Fördelningen mellan olika energiposter är 38.6 kWh/m²/år till uppvärmning, 6.1 kWh/m²/år till tappvarmvatten och 14.5 kWh/m²/år till fastighetsel. Dessutom har de solceller som sitter på äldreboendets tak antagits ha en generering av el på 8.5 kWh/m²/år (där ytan avser uppvärmd golvyta A_{temp} i äldreboendet) vilken kan inkluderas som en minuspost i den specifika energianvändningen (den andel som kan tillgodogöras momentant i byggnaden).

Initialt var målet att solcellerna skulle täcka 40 % av fastighetselen på årsbasis och att 100 % av elbehovet till komfortkylan skulle tillgodoses med el från solceller på årsbasis. Det bedömdes att det krävdes en solcellsytan på 375 m². Solcellsytan utökades senare till 545 m², vilket innebär att det kommer att vara ännu lättare att leva upp till dessa två mål. En mer utförlig beskrivning av solcellerna och kylmaskinerna ges i Bilaga 5.

2.2 Beskrivning av systemet för generering och distribution av värme

För uppvärmning av byggnaderna i Vallda Heberg har ett system valts som kombinerar värmegenerering via solfångare och en biomassaeldad panna. Värmen distribueras i ett lokalt fjärrvärmesystem uppdelat på en primärsida och en sekundärsida. En kortfattad beskrivning av generering och distribution ges här. För en mer ingående beskrivning se Olsson och Rosander (2014). Värmesystemet visas med kulvertar, panncentral och undercentraler i Figur 9.



Figur 9 Skiss över kulvertssystemet i Vallda Heberg (baserad på skisser av Andersson & Hultmark AB och Markgren Arkitektur AB). Orange linje är primärkulvert, lila linje är sekundärkulvert och grön linje är solvärmekulvert som transporterar solvärme från solfångare på fyrbostadshusen till UC1 och UC4.

2.2.1 Generering av värme

Uppvärmningen av byggnader och varmvatten i Vallda Heberg är tänkt att ske med så stor andel solvärme som möjligt. För att uppnå detta har systemet designats med en solfångaryta som är något större än konventionellt för den värmelast som ska täckas. Det behov som inte täcks av solvärme ska tillfredställas av en träpelletseldad panna.

I Vallda Heberg finns plana solfångare med en total aperturarea på ca 570 m². Dessa är placerade på undercentraler (där fjärrvärmens primär- och sekundärsidor möts) som innehåller ackumulatortankar där solvärmens kan lagras. De finns även placerade på fyrbostadshusens tak. De plana solfångarna presterar bra under den varma delen av året, men sämre då uttemperaturen sjunker för lågt.

För att uppnå en hög andel solvärme i systemet har ytterligare en aperturarea på 108 m² installerats på den byggnad som innehåller pellets pannan (panncentralen). Dessa solfångare är av typen vakuumrör, och presterar på grund av sin utformning betydligt bättre under del kalla årstiden än de plana solfångarna. Lutningen på vakuumrörsolfångarna (70 grader från horisontalplan) har valts för att optimera för vinterförhållanden, men även för att minimera förluster under den varma årstiden. Eftersom de plana solfångarna presterar bra under sommaren kommer ett tillskott på solfångaryta att ge en stor övergenerering som inte är önskvärd. Tankar för värmelagring finns kopplade även till vakuumrörsolfångarna, men hjälper

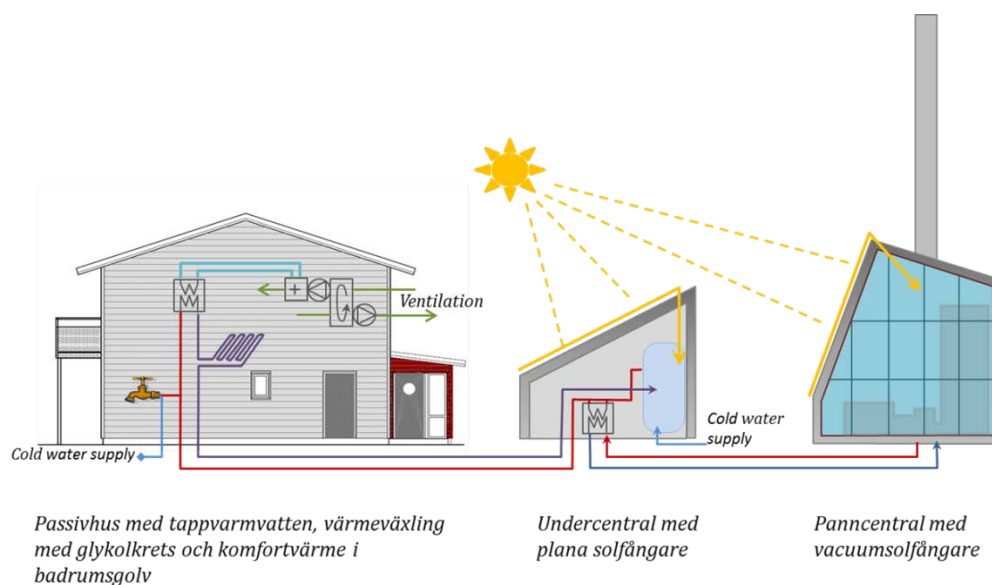
också till att jämna ut värmelasten för pelletspannan vilken kan bli hög vid vissa tidpunkter på vintern.

2.2.2 Distribution av värme

Transporten av värme från de enheter där den genereras till byggnader där den ska användas sker via ett kulvertsystem uppdelat på en primärsida och en sekundärsida. Det primära systemet är ett konventionellt fjärrvärmesystem med väl tilltagen isolering som transporterar värme från panncentralen till fyra undercentraler. I undercentralerna växlas värmen från primärkulverten över till det sekundära systemet, vilket även tillförs värme från plana solfångare.

Varje undercentral betjänar en del av bostadsområdet. De sekundära system som utgår från undercentraler och binder samman dem med byggnader är så kallade GRUDIS-system. Detta innebär att tappvarmvatten värms i undercentralen och transporteras genom en kulvert till byggnaden där det ska användas. Värme till byggnadens uppvärmning tas också från tappvarmvattnet, innan detta leds tillbaka till undercentralen för att värmas upp på nytt. Det varmvatten som tappas ut i byggnaden ersätts med färskvatten i undercentralen. En förenklad bild av hela systemet från panncentral via undercentral och till hus visas i Figur 10.

Med denna typ av system elimineras behovet av ett värmesystem i husen, vilket innebär att inga förluster från ett sådant finns. Varmvatten kommer däremot att cirkulera hela tiden genom byggnaderna eftersom behov av tappvarmvatten finns året runt, även under perioder då inget uppvärmningsbehov finns.



Figur 10 Värmens väg genom systemet i Vallda Heberg från panncentral, via undercentral till passivhushus (Jimmefors och Östberg, 2014, baserat på skisser från Mats Abrahamsson Arkitektkontor AB och Markgren Arkitektur AB).

3 Resultat

Presentationen som ges i detta resultatkapitel avser att ge svar på de frågeställningar som återfinns i Avsnitt 1.2. Uppföljningen av energi och inomhusklimat har delvis genomförts i två examensarbeten. Energianvändning och inomhusklimat för passivhusen behandlas av Jimmefors och Östberg (2014) och en analys av energisystemet med fokus på värmedistribution och solvärme har gjorts av Olsson och Rosander (2014). Resultat från examensarbetena har kompletterats med mätdata för en längre tidperiod, samt med ytterligare enkätsvar för att täcka in fler bostäder och för både ett vinter- och ett sommarfall. De slutsatser som kan dras i denna rapport skiljer sig i vissa fall från de som framkom i examensarbetena på grund av kompletteringen av mätdata. Resultaten har även kompletterats med ytterligare detaljmätningarna för de tre passivhusvillorna.

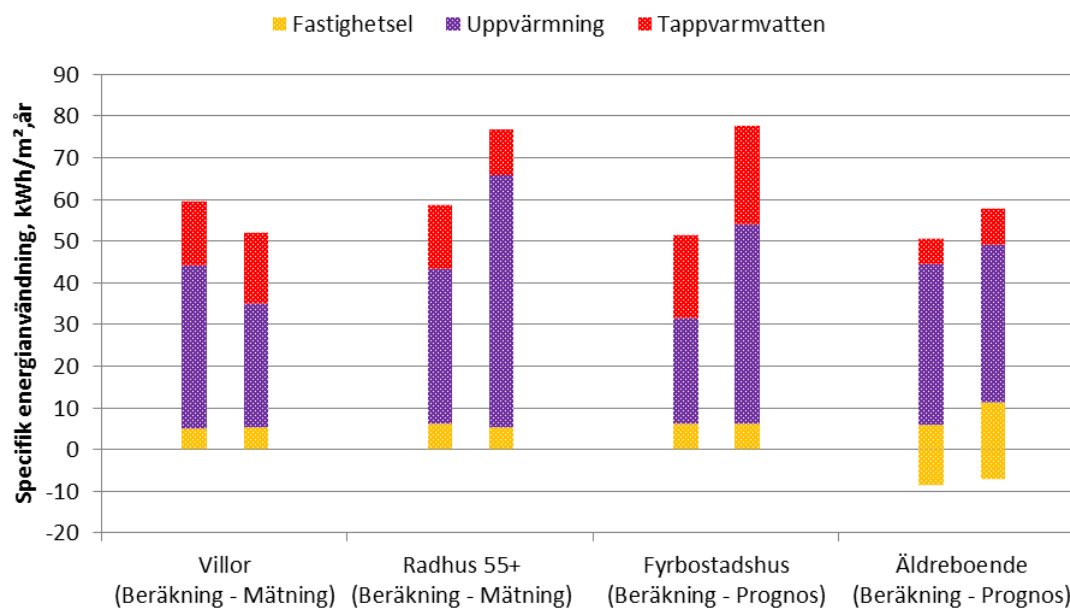
3.1 Passivhusens energiprestanda

De resultat som presenteras här avser energiprestanda för de olika typerna av passivhus som finns i Vallda Heberg och som är beskrivna i Avsnitt 2.1. Figur 11 visar en sammanfattning av medelvärden för specifik energianvändning i de olika typerna av passivhus. Resultaten är framtagna med mätdata fram till och med augusti 2014. Resultat från mätningar över ett helt år (villor och radhus 55+) och från prognosvärden gjorda utifrån minst nio respektive sex månader av mätdata (fyrbostadshus och äldreboende) jämförs med beräknade värden på specifik energianvändning.

Som ses i Figur 11 har villorna en lägre specifik energianvändning än vad som uppskattades i beräkningarna. Äldreboendet ligger något över beräknat värde. Resultatet från radhusen 55+ och fyrbostadshusen visar på en avsevärt högre energianvändning än beräknade värden, i huvudsak från högre användning av energi till uppvärmning. Mer kommentarer kring de olika byggnaderna redovisas i Avsnitt 3.1.2 och 3.1.3.

Observera att äldreboendet har takmonterade solceller, vilkas elgenerering kan räknas av från den specifika energianvändningen, därav förskjutningen av dessa staplar nedanför nollnivån i diagrammet. För den uppmätta solelproduktionen som presenteras i Figur 11 inkluderas endast genererad el från solceller som kan tillgodogöras som fastighetsel (ungefär 63 % av total generering enligt beräkningar på timbasis). I energiberäkningarna har antagits att all solel kan tillgodogöras fastigheten. Äldreboendets högre nettoenergianvändning ser främst ut att komma från fastighetsel och tappvarmvatten, samt från det faktum att avräkningen från solceller blev mindre än beräknat.

Observera att tvätt- och diskmaskinerna i passivhusen tar en del av sitt varmvattenbehov från tappvarmvattenslingan. Värmeanvändningen för tappvarmvatten till vitvarorna bedöms ligga i storleksordningen 3-4 kWh/m²/år, och borde kunna dras ifrån den specifika energianvändningen eftersom hushållsenergin inte ska ingå enligt Boverkets byggregler (vilket inte har gjorts i denna rapport). Uppskattningen baseras på enkätsvaren om boendes disk- och tvättvanor i villorna, fyrbostadshusen och radhusen (2-6 diskmaskiner och 2-6 tvättar i veckan) samt utifrån schablonantal för vattenanvändningen vid disk och tvätt (15 respektive 50 liter) samt baserat på eget antagande om att 100 % respektive 30 % av vattenanvändningen till disk- och tvättmaskiner utgörs av varmvatten. Den grova beräkningen för villorna, fyrbostadshusen och radhusen ger en energianvändning på 3.7, 4.2 respektive 2.7 kWh/m²/år. Boende i villorna diskar och tvättar mest men har också störst boyta per hushåll.



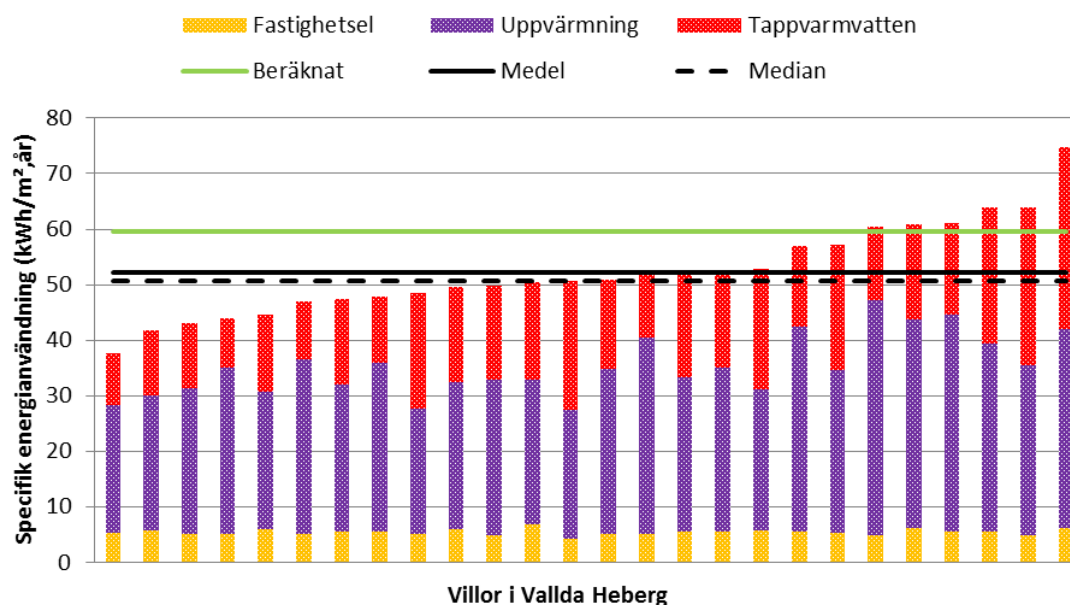
Figur 11 Medelvärden för specifik energianvändning i de olika typerna av passivhus som finns i Vallda Heberg.

3.1.1 Villor

Genomsnittsvillan lever upp till förväntad energiprestanda och presterar till och med något bättre än vad som uppskattades i beräkningar. Den specifika energianvändningen i de 26 passivhusvillorna under ett år från 1 september 2013 till 31 augusti 2014 presenteras i Figur 12. Som framgår av figuren är energianvändningen i de 26 nära identiska byggnaderna kraftigt varierande, från värden strax under 40 kWh/m²/år upp till värden runt 75 kWh/m²/år. Specifik energianvändning inkluderar fastighetsel som används för att driva byggnadens fasta installationer, värme till uppvärmning och värme till varmvatten.

Notera att disk- och tvättmaskiner som finns installerade i husen använder tappvarmvatten, vilka därmed behöver mindre hushållsel. Den värme som används till varmvatten är till stor del brukarrelaterad och det är också den som skiljer sig mest åt då energianvändningen i de olika byggnaderna jämförs. Huset med högst användning av varmvatten ligger nästan fyra gånger högre än huset med lägst användning. Även värme till uppvärmning kan skilja sig kraftigt åt mellan de olika husen, där de lägsta är runt 25 kWh/m²/år och de högsta upp emot 40 kWh/m²/år.

Då uppmätta medelvärden för respektive energipost i den specifika energianvändning jämförs med de beräknade/antagna värdena i Figur 11 ses följande: den uppmätta driftelen överensstämmer relativt väl med den beräknade; den uppmätta värmeanvändningen till tappvarmvattenanvändningen är något högre än den antagna; den uppmätta värmeanvändningen till uppvärmning är något lägre än den beräknade. Vid energisimuleringar som gjorts för denna byggnad har inomhustemperaturen antagits vara 22 °C, men medeltemperaturen inomhus under den kalla årstiden var egentligen 21.3 °C i passivhusvillorna. Detta kan vara en förklaring till den lägre användningen av värme till uppvärmning. Även värmen till uppvärmning är till viss del brukarberoende, då den påverkas av vanor som hur ofta den boende vädrar.



Figur 12 Specifik energianvändning i de 26 passivhusvillorna under ett år.

Utöver det som definieras som specifik energianvändning är det intressant att undersöka hur mycket övrig elektricitet som använts i byggnaderna. I bostäder brukar denna kallas hushållsel och den är speciellt viktig i ett passivhus eftersom de apparater som använder hushållselen avger tillräckligt med värme för att ge ett betydande bidrag till husets uppvärmning. En undersökning av hushållselen i passivhusvillorna för år 2013 gjordes i examensarbetet av Jimmefors och Östberg (2014). Hushållselens medelvärde 2013 var 4672 kWh/år (33.4 kWh/m²/år), vilket är avsevärt högre än det värde på 2760 kWh/år (19.7 kWh/m²/år) som antagits i designberäkningarna. En ny energiberäkning med den högre hushållselanvändningen ger ett minskat beräknat uppvärmningsbehov med 7.6 kWh/m²/år. Internvärmestillskottet på grund av den högre hushållselanvändningen skulle därmed kunna utgöra en viktig faktor i att det uppmätta uppvärmningsbehovet är lägre än i designberäkningarna. Med utgångspunkt från mätresultaten för 24 av de 26 passivhusvillorna går det däremot inte att se någon korrelation mellan uppmätt årligt uppvärmningsbehov och hushållselanvändningen.

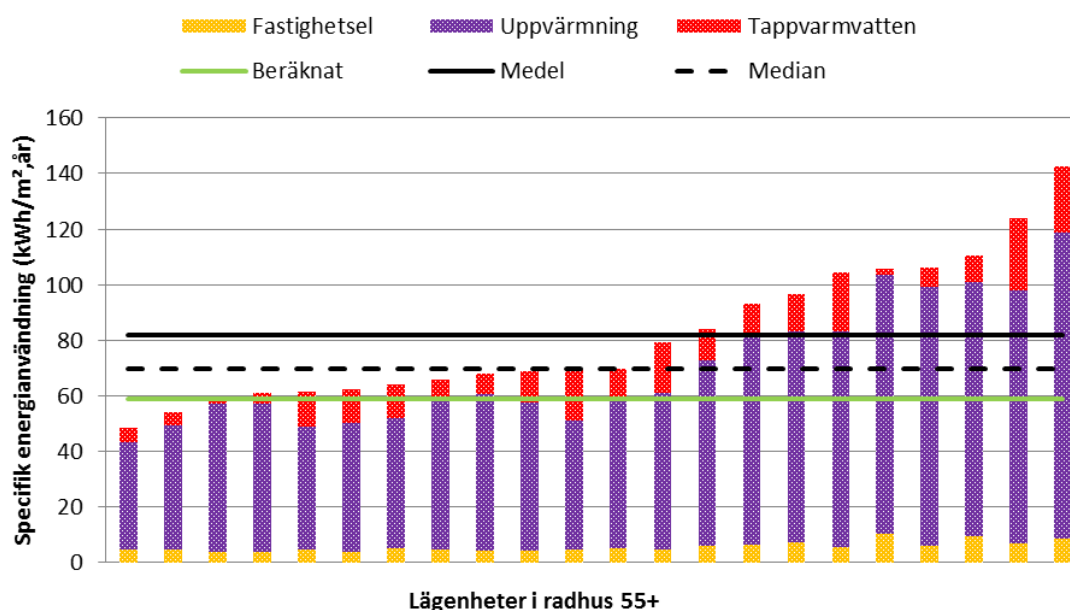
Det kan även konstateras att i samtliga tre passivhusvillor där detaljmätningar genomförts visas på en mycket god lufttäthet som ligger klart under det projekterade värdet på 0.25 l/s, m². Initialt var lufttätheten 0.06-0.08 l/s, m² i de tre husen. Lufttätheten är i stort sett oförändrad vid de uppföljande mätningarna efter ett år. Detaljerade resultat från lufttäthetsmätningarna redovisas i Bilaga 1. Hur lufttätheten förändras över en längre tid är svårt att förutse och ibland beror förändringen på brukarrelaterade ändringar så som tillbyggnader eller omfattande renoveringar. Några sådana är ej genomförda på så pass nya hus som i Vallda Heberg.

Detaljmätningarna av temperaturer i ventilationsaggregaten (FTX-aggregaten) i tre passivhusvillor under ett år visar också att aggregaten fungerar som förväntat men att de uppmätta årsmedelvärdena för temperaturverkningsgraden ligger något under 80 % som är den som använts vid energiprestandaberäkningarna för husen. Årsmedelverkningsgraderna för de tre aggregaten varierar mellan 73 % och 76 %. Tar man hänsyn till osäkerheter vid mättillfällena kan dock verkningsgraderna mycket väl ligga inom det teoretiska antagandet. Det kan givetvis även slå åt andra hållet vilket skulle innebära att verkningsgraden ligger en bra bit under det teoretiska antagandet. För mer detaljerade resultat, se Bilaga 1.

Sammanfattningsvis är det flera faktorer som kan utgöra förklaringen till att passivhusvillorna lever upp till förväntad prestanda, vilka innefattar energieffektivt brukarbeteende (inomhustemperatur och vädring) såväl som god lufttäthet och hög effektivitet i värmeåtervinningen.

3.1.2 Radhus 55+

Mätdata för radhusens energianvändning finns tillgänglig från och med september 2013. Som framgår av resultaten som presenteras i Figur 11 är det uppmätta medelvärdet av den specifika energianvändningen högre än det beräknade på grund av en avsevärt högre uppmätt användning av värme till uppvärmning jämfört med den beräknade. Både driftel och värme till varmvatten är mindre i de uppmätta medelvärdena jämfört med de beräknade/antagna värdena. Den uppmätta specifika energianvändningen för respektive lägenhet i radhusen kan ses i Figur 13, där den också jämförs med projekterings beräknade värde. Figuren visar att värmen till varmvatten och uppvärmning visar stora variationer mellan lägenheterna.



Figur 13 Specifik energianvändning i radhusens 22 lägenheter från september 2013 till och med augusti 2014.

Värmen till uppvärmning i radhusen mäts inte för individuella lägenheter, utan för varje huskropp. I de resultat som presenteras här är denna värme jämnt fördelad över uppvärmd golvyta, vilket betyder att det i själva verket kan vara andra variationer mellan lägenheter än de som presenteras här. Analysen av varför dessa byggnader ser ut att använda mycket mer värme än beräknat har gjorts genom att se på värmesystemets uppbyggnad och hur placeringen av värmemätare påverkar vad som egentligen mäts.

Under analysen upptäcktes att det även under sommarmånaderna tycks användas värme som registreras av värmemätare. Detta var fallet i alla radhusbyggnader och misstankarna riktades mot utformningen av systemet, där en del värme kommer att avges även under sommarmånaderna på grund av golvvärmen som sitter på VVC-ledningen. Medelvärdet av värmeenergin som registreras av värmemätare i alla radhuskroppar under maj till augusti 2014 är 844 kWh/månad/huskropp. Detta motsvarar en medeleffekt på 1144 W/huskropp, vilket är mycket högre än den effekt på ungefär 100 W/lägenhet som golvvärmen designats för.

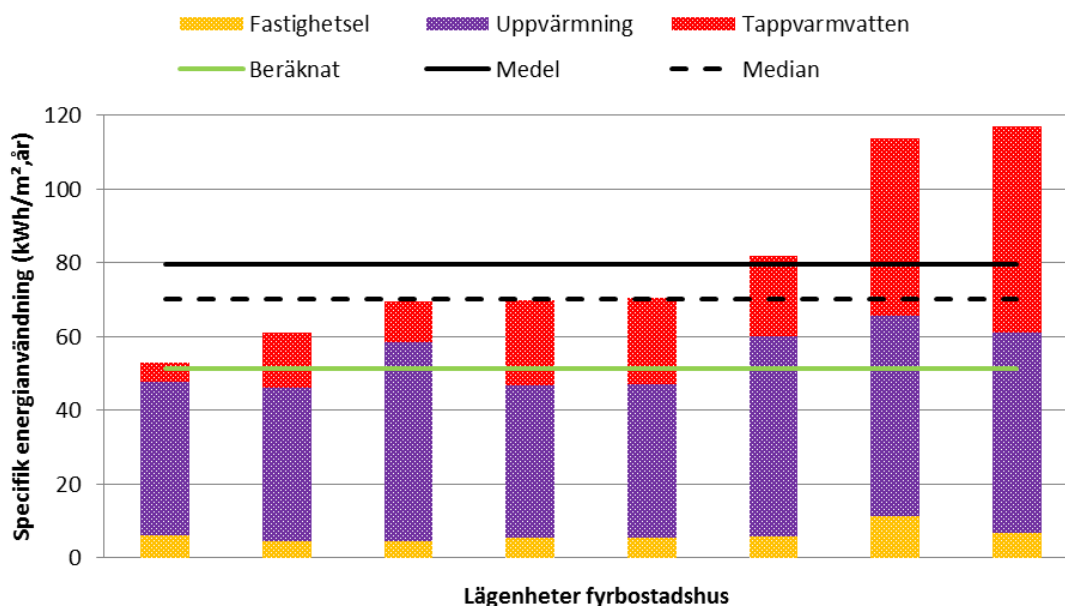
Kontroll av värmebatteriet visar att detta i regel inte varit igång några längre perioder under sommaren. Det ger en indikation på att det sannolikt är VVC-ledningen som avger en ansevärd andel av denna värme. Värmemätaren är placerad så att värmeavgivning från en stor del VVC-ledning som löper i husets grund kommer med i mätningen. Medeltemperatur under uppvärmningssäsong i radhusen har legat nära värdet som använts i beräkning. Inga övertemperaturer finns därför som kan förklara den höga energianvändningen. Däremot kan brukarbeteenden avseende främst vädring göra att det kan bli en högre energianvändning. Som framgår av enkätsvaren för villorna, fyrbostadshusen och radhusen vädrar de boende i radhusen allra mest, se avsnitt 3.3.3.

3.1.3 Fyrbostadshus

Inflyttning i fyrbostadshusen skedde under september-november 2013, vilket betyder att pålitliga mätdata för dessa byggnader kan fås först för december samma år. Två av fyrbostadshusen har haft problem med mätningar av varmvatten och fastighetsel, så presentationen här ges enbart för de resterande två husen med sammanlagt åtta lägenheter. Figur 14 visar en prognos för specifik energianvändning i dessa lägenheter med utgångspunkt i mätdata från och med december 2013 till och med augusti 2014. Prognosen har gjorts genom att jämföra tillgängliga månaders mätdata med månadsvärden från energiberäkning. De resterande månaderna har antagits ha samma förhållande till beräknade värden som de månader som uppmäts. På så sätt har den årliga energianvändningen uppskattats.

I fyrbostadshusen gäller samma som i radhusen för mätningen av värme till uppvärmning, det vill säga att mätningen utförs för varje huskropp och inte för varje enskild lägenhet. Samma reservation görs därför även här, att variationen mellan lägenheter ser annorlunda ut i verkligheten än i presenterade data.

Mätdata från fyrbostadshusen visar kraftigt varierande värmeanvändning till varmvatten och mer stabila värden för driftel och värme till uppvärmning. Medelvärde av värme till uppvärmning är mycket högre än beräknat värde, medan driftel och värme till varmvatten är mycket nära beräknade värden.



Figur 14 Specifik energianvändning 13 av flerbostadshusens lägenheter från december 2013 till februari 2014 (solvärmen från solfångarna på flerbostadshusens tak är ej inkluderad).

Precis som var fallet med radhusen syns för fyrbostadshusen en hög användning av värme till uppvärmning. Medelvärmens till uppvärmning för fyrbostadshusen uppgår under perioden maj-augusti 2014 till 944 kWh/månad. Detta motsvarar en medeleffekt på 1279 W/hus kropp, och i årlig specifik energianvändning ger det ett tillskott på ungefär 11 kWh/m²/år. Även här finns golvvärme, ungefär 400 W/hus kropp. Resterande värmeeffekt kommer troligen från VVC-ledningen. Denna förklaring är rimlig för sommarmånaderna, men även uppvärmningssäsongen visar högre värden än väntat. Mätningar av inomhustemperatur visar att medel under uppvärmningssäsong är 22.6 °C och inte 21 °C som användes i energiberäkningen. Ny beräkning i IDA Indoor Climate and Energy visar att denna högre inomhustemperatur kan öka specifik energianvändning med så mycket som 7 kWh/m²/år. Om förlusterna från golvvärme och VVC beaktas tillsammans med den högre inomhustemperaturen kan en stor del av skillnaden mellan beräkning och mätning förklaras.

Det har även observerats att boende i fyrbostadshusen ofta använder det vindfång som finns utanför ytterdörren som en extra hall genom att låta ytterdörren stå öppen. Uppenbarligen är vindfånget möjligt att använda på detta sätt, men det är inte alls designat för det i fråga om tjocklek på isolering. Effekten bör vara att värmebehovet för huset ökar, eftersom man i och med detta beteende ändrar en del av klimatskalet till något som är sämre. Då byggnaden dessutom är ett passivhus som ska ha lågt värmebehov bör denna effekt bli extra påtaglig.

3.1.4 Äldreboende

Energianvändningen i äldreboendet har analyserats sedan början av december 2013, då denna byggnad var inflyttad och alla mätningar var igång. I Figur 11 presenteras en prognos för den specifika energianvändningen i äldreboendet med utgångspunkt i mätdata från januari-juni 2014. Prognosen har gjorts genom att ta detta halvår multiplicerat med två, vilket är en mycket enklare prognosmetod än den som använts för fyrbostadshusen. Denna förenkling gjordes eftersom äldreboendets energiberäkning ansågs för komplex för att använda på samma sätt som för fyrbostadshusen.

Prognosen visar på en energiprestanda som ligger något över den beräknade. Byggnadens uppmätta specifika energianvändning är 58 kWh/m²/år. Detta orsakas till viss del av att elen från solceller som kan tillgodogöras som fastighetsel (på timbasis) är mindre än beräknat.

En detaljerad analys av äldreboendets anläggning för komfortkyla i kombination med solceller har genomförts och presenteras i Bilaga 5. Resultaten visar att det inte är någon tvekan om att målen om andelen solel i energianvändning är uppnådda det första året i drift. Mer än 100 % av elen till komfortkylan och 56 % av fastighetselen tillgodosågs med el från solcellerna på årsbasis. Om täckningsgraden beräknas timme för timme och med det timvisa överskottet borträknat, ges en betydligt lägre men fortfarande relativt hög årstäckningsgrad på 75 % av elen till komfortkylan och 35 % av fastighetselen som baseras på solel. Tack vare att en hög andel av solelen som generas kan användas till verksamheten i äldreboendet leverades endast 6 % av den producerade elen ut på nätet under det första året i drift.

Resultatet visar att komfortkylslösningen baserad på eldriven kyla inte har särskilt stor påverkan på andelen av total fastighetsel som täcks av solel. Däremot, eftersom det finns ett samband mellan kylbehov och generering av solel, bidrar en eldriven kylanläggning till en högre utnyttjandegrad av solelen.

3.1.5 Sammanfattning av passivhusens energiprestanda

Energianvändning för villorna och äldreboendet ser enligt senaste data ut att ligga i linje med vad som var beräknat. Hyreshusen (radhus 55+ och fyrbostadshus) ligger däremot avsevärt högre än beräknat när det kommer till uppvärmning. Detta bedöms bero på i huvudsak tre faktorer – förluster från varmvattencirkulationen (VVC) i byggnaderna sommartid, en högre inomhustemperatur vintertid än antaget (för fyrbostadshusen) samt på flitig vädring även vintertid, vilket inte bedömts som nödvändigt i välventilerade passivhus. Det har även observerats att boende i fyrbostadshusen ofta använder det vindfång som finns utanför ytterdörren som en extra hall genom att låta ytterdörren stå öppen, vilket sannolikt ökar energianvändningen.

En möjlig förklaring till VVC-förlusterna är golvvärme och långa VVC-ledningar som avger värme även under sommaren. Mätdata visar dock på att värmeanvändningen även är för stor under vintern då huset bör kunna tillgodogöra sig golvvärme- och VVC-förluster. Förklaringen kan vara att delar av VVC-ledningen är placerade där värmeförlusterna inte kan tillgodogöras byggnaden. Det kan även finnas stora osäkerheter i vissa värmemätningar på grund av små temperaturdifferenser.

Mätvärden för villorna och radhusen visar även att värmen till uppvärmning kan skilja sig mycket åt mellan olika hus. Den energipost som generellt sett varierar mest är användningen av tappvarmvatten, på grund av att den är helt och hållet brukarberoende. Den genomsnittliga tappvarmvattenanvändningen för respektive hustyp visar sig kunna både understiga och överstiga den antagna användningen. Värmeanvändningen till tappvarmvatten kan i vissa fall vara mycket stor i förhållande till total energianvändning, upp emot 50 % för en av lägenheterna i fyrbostadshusen. Den kan också vara i stort sett obefintlig i andra fall.

Observera att tvätt- och diskmaskinerna i passivhusen tar en del av sitt varmvattenbehov från tappvarmvattenslingan och att uppskattningsvis 3-4 kWh/m²/år skulle kunna räknas bort från den specifika energianvändningen (vilket inte gjorts i rapporten).

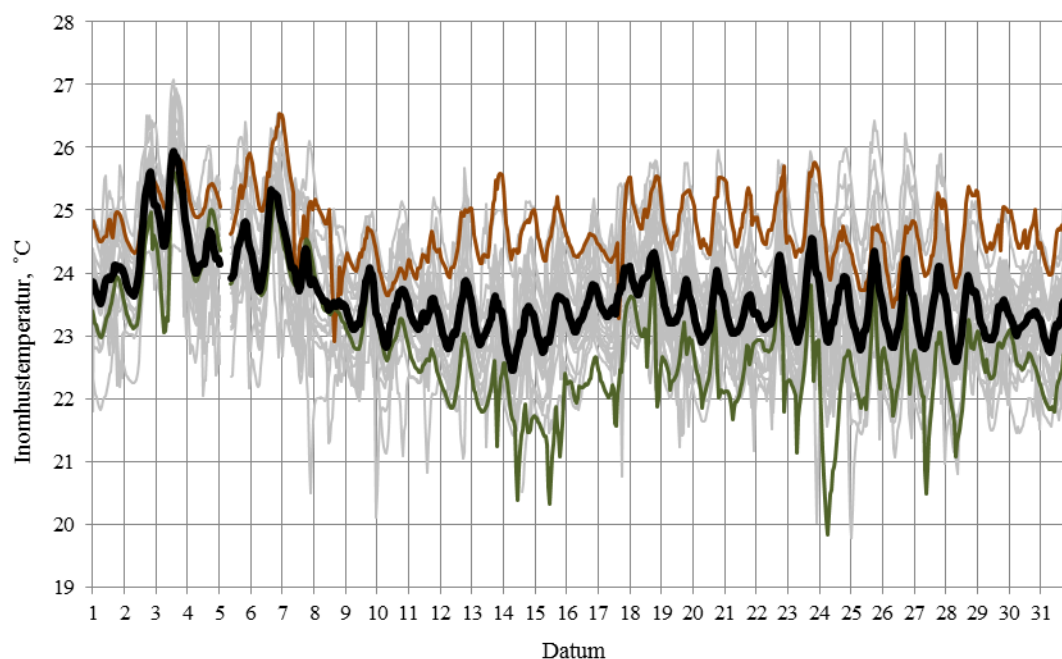
3.2 Passivhusens uppmätta inomhusklimat

Inomhusklimatet har undersökts genom mätningar av lufttemperatur och relativ luftfuktighet i samtliga passivhus. Presentationen av inomhusklimat kommer att, i de fall det är möjligt, ges för en vintermånad och en sommarmånad i varje typ av byggnad. I tre passivhusvillor har dessutom detaljmätningar genomförts av termiskt klimat och dagsljus.

3.2.1 Villor

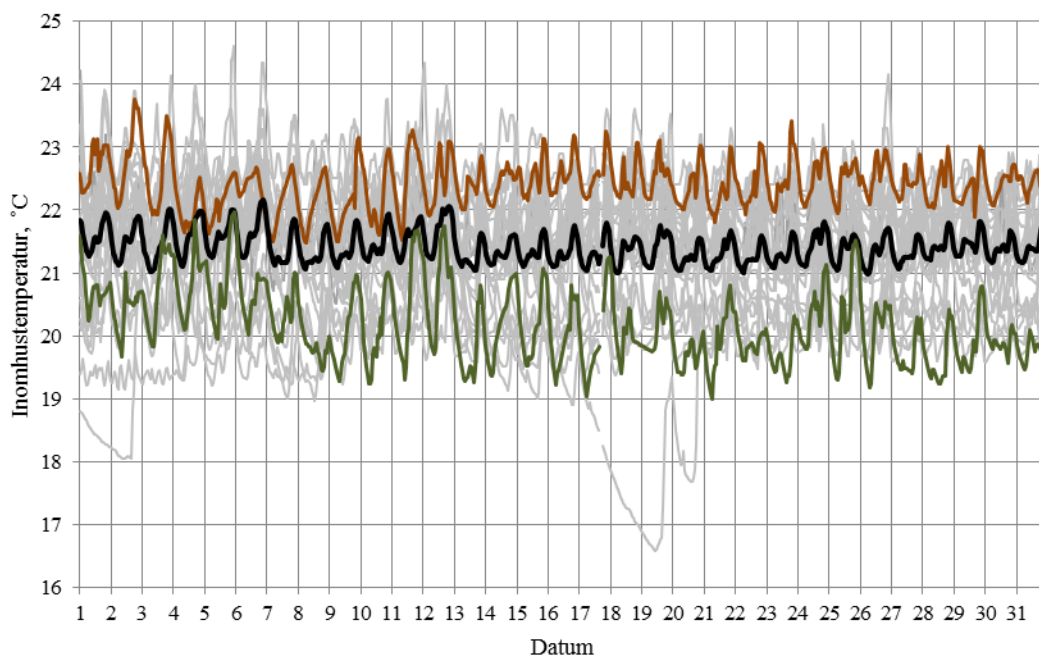
Inomhustemperaturen har loggats varje timme under 2013 och ger ett medel på 22°C (då mätvärden avrundas till närmaste 0.5°C) med en standardavvikelse på 2°C (Jimmefors och Östberg, 2014).

En mer detaljerad undersökning har gjorts för månaderna augusti 2013 och januari 2014. Medel för relativ luftfuktighet under dessa månader låg på 53.9 % (augusti) och 31.3 % (januari) i passivhusvillorna. Temperatur loggad varje timme i de 26 passivhusvillorna under augusti 2013 visas i Figur 15. Medeltemperaturen under den här månaden är 23.6°C och den högsta temperaturen ligger strax över 27°C. Höga temperaturer är dock ovanliga i passivhusvillorna, endast 0.2 % av loggade värden under hela året ligger över 26°C. Vanligast är temperaturer i intervallet 20°C till 24°C, vilket svarar för 86 % av alla värden.



Figur 15 Inomhustemperatur i 26 passivhusvillor under augusti 2013 (Östberg och Jimmefors, 2014). Medel för alla lägenheter visas som svart linje. Grön och röd linje representerar lägsta respektive högsta medelvärde för enskilda lägenheter.

Uppmätt inomhustemperatur i de 26 passivhusvillorna under januari 2014 presenteras i Figur 16. På grund av den lägre utomhustemperaturen under vintern kommer också inomhustemperaturen att vara lägre. Medeltemperatur för januari 2014 var 21.4°C och de högsta temperaturerna uppgår till mellan 24 och 25°C. Lägsta temperatur under vintermånaden ligger under 17°C, men så låga temperaturer är ovanliga. Av loggade temperaturer under 2013 ligger 5.9 % under 20°C. Majoriteten av dessa värden verkar dock ligga över 19°C, vilket visar att extremt låga temperaturer är ovanliga.



Figur 16 Inomhustemperatur i 26 passivhusvillor under januari 2014 (Östberg och Jimmefors, 2014). Medel för alla lägenheter visas som svart linje. Grön och röd linje representerar lägsta respektive högsta medelvärde för enskilda lägenheter.

Detaljmätningar av termiskt klimat i tre passivhusvillor

I tre passivhusvillor har detaljmätningar genomförts av termiskt klimat. Detaljerade mätresultat för lufttemperatur, golvtemperatur, relativ luftfuktighet och lufthastighet samt beräkning av index PMV (Predicted Mean Vote) och PPD (Predicted Percentage Dissatisfied) återfinns i Bilaga 1 för respektive hus. Generellt visar mätningarna att det är ett bra termiskt klimat på både vintern och sommaren. Det är mycket små skillnader mellan de olika husen vid samtliga mättillfällen både vinter som sommar. Luftrörelserna i samtliga hus är låga och det kan inte heller utläsas en för hög skillnad i lufttemperatur mellan 1.1 m och 0.1 m.

Beräkning av det så kallade PPD (Predicted Percentage Dissatisfied)-indexet, som är ett kvantitativt mått på upplevelsen av inomhusklimatet, har skett enligt standard ISO-standard. Andelen missnöjda kan med denna metod som lägst bli 5 %. För Guldvingevägen 9 ligger de beräknade PPD-indexen i vinterfallet på 5.6 % och 5.0 % vid mätningens slut. Motsvarande i sommarfallet är 6.3 %. För Guldvingevägen 16 ligger PPD-indexen i vinterfallet på 5.2 % och i sommarfallet på 7.3 %. Motsvarande resultat för Nätvingevägen 2 är 5.2 % i vinterfallet och 7.8 % i sommarfallet. Sammanfattningsvis visar mätningarna att det är ett bra termiskt klimat på både vintern och sommaren. Det något högre PPD-indexet på sommaren beror på en högre luft- och strålningstemperatur inomhus.

Det hade varit önskvärt med lite mer extrema temperaturer vid samtliga mättillfällen men pga. att mätningarna utförts i bostäder med boende i så har inte mät datumerna kunnat väljas fritt. För att få en mer komplett bild av hur det termiska klimatet upplevs så bör man se till enkätsvaren samt mätningen av lufttemperaturen inomhus vid extrema utomhustemperaturer.

Dagsljusmätningar i tre passivhusvillor

I samma tre passivhusvillor har även genomförts mätningar av dagsljuset för ett sommar- och ett vinterfall. Mätning av dagsljusfaktorn är svårt och det finns många osäkerheter om man ska jämföra med teoretiska beräkningar. Dels är husen inredda, dels har de en annan färgsättning, dels finns det skuggning av omgivande vegetation (endast egenskuggning² tas hänsyn till i beräkningarna) och dels ska man ha en jämngrå himmel med 12 000 lux (vilket är oerhört svårt att lyckas träffa in). Även om inte förutsättningarna inte stämmer exakt är mätningarna och resultaten ändå intressanta. Resultaten för respektive hus återfinns i Bilaga 1.

Resultaten visar att det finns en relativt god överensstämmelse mellan mätningar och beräkningar. Förutom eventuell skuggning av huset, från exempelvis ett skogsparti, kan möblemang och färgsättningen på väggarna påverka dagsljusfaktorn.

På Guldvingevägen 9 har dagsljuset uppmätts till 0.77 %, vilket kan jämföras med 0.90 % vid beräkningarna. Den uppmätta dagsljusfaktorn är lägre men i verkligheten finns det ett litet skogsparti nordost om vardagsrummet. Detta skuggar men det går inte att säga hur mycket. Vardagsrummet har också varit möblerat vilket även det påverkar. Färgsättningen på väggarna har varit ljus vilket stämmer med förutsättningarna vid beräkningen.

Ser man till de andra husen så är dagsljusfaktorn på Nätvingevägen 2 den lägsta, 0.58 % men här finns det en bit bort från vardagsrummet ett skogsparti som skuggar, även här har det varit möblerat och färgsättningen på väggarna något mörkare än i de andra två husen. Den högsta dagsljusfaktorn mättes på Guldvingevägen 16, 1.04 %. Detta trots att inga mätvärden kom över 12000 lux. Två faktorer inverkar dock positivt, den första är att det finns ett fönster som sitter

² Egenskuggning innebär att byggnaden skuggar sig själv, exempelvis av balkong eller takfot som sticker ut.

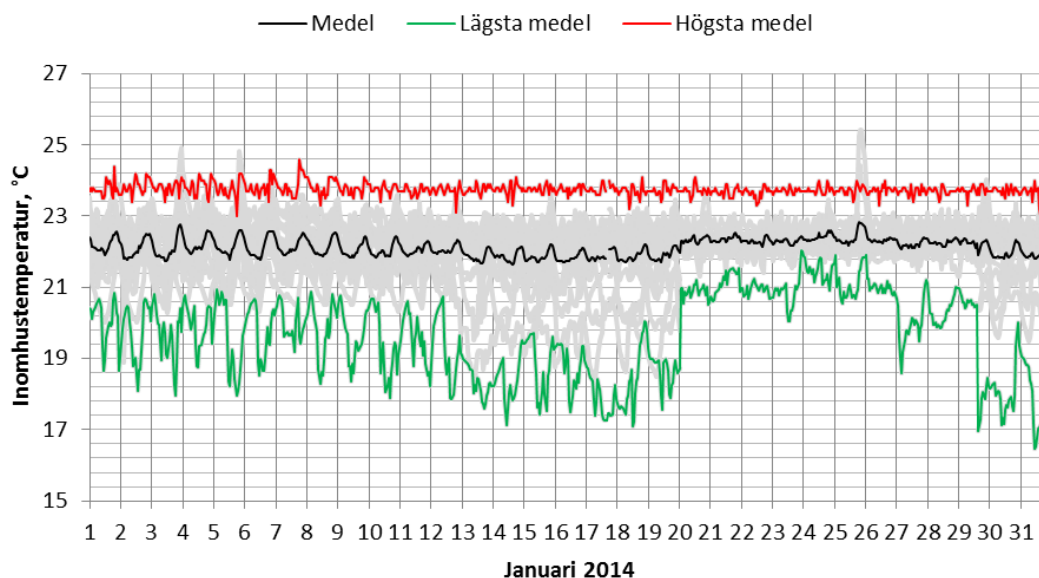
närmre mätpunkten än på Guldvingevägen 9 och den andra är att det inte finns någon skog på utsidan som kan skugga.

Det är viktigt att beakta att det kommer in tillräckligt med dagsljus för att skapa en god boendemiljö. Resultaten av mätningarna ska också utvärderas i kombination med enkätsvaren.

3.2.2 Radhus 55+

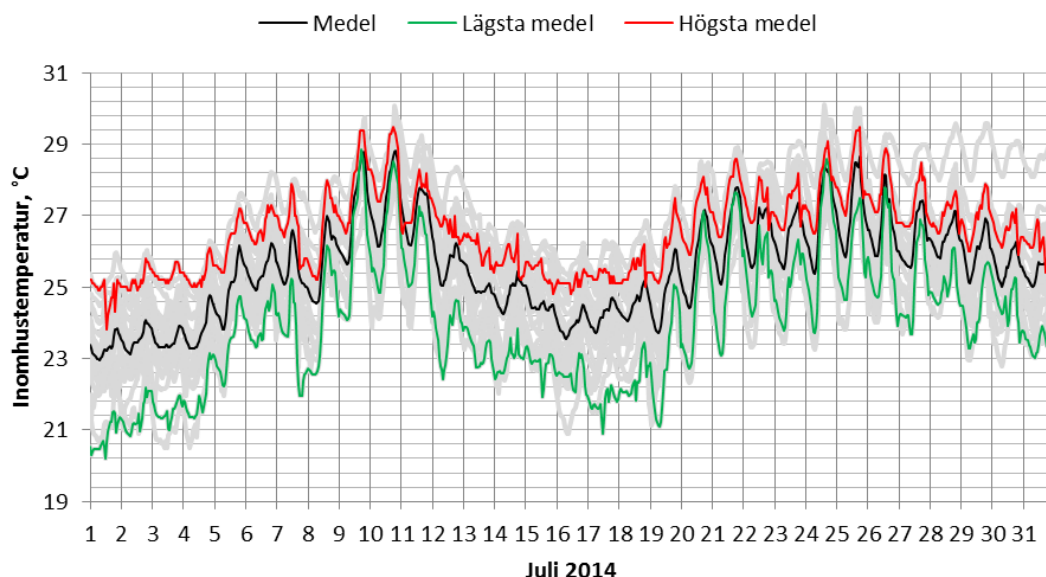
Inomhusklimatet i radhusen har undersökts genom mätningar av lufttemperatur och relativ luftfuktighet. De mätdata som presenteras här är uppmätta under januari 2014 och juli/augusti 2014, för att inkludera exempel på både vinter- och sommarfall.

Inomhustemperaturer i alla lägenheter för januari 2014 visas i Figur 17, med medelvärde för alla lägenheter samt lägsta och högsta medel för enskilda lägenheter. I de flesta fall ligger temperaturerna runt 22°C. En lägenhet (grön linje) ligger avsevärt lägre än de andra med en medeltemperatur på bara drygt 19°C. Lägenheten med högst medeltemperatur ligger på nästan 24°C. Andelen registrerade värden lägre än 19°C i radhusen är ungefär 0.5 % under året från oktober 2013 till september 2014. Medelvärdet av relativ luftfuktighet i radhusens lägenheter under januari 2014 är 27.5 %.



Figur 17 Inomhustemperatur i alla radhuslägenheter under januari 2014. Medel för alla lägenheter visas som svart linje. Grön och röd linje representerar enskilda lägenheter med lägsta respektive högsta medelvärde för månaden. Vissa mätvärden saknas mellan den 20:e och 30:e januari, varför den lägenhet med näst lägsta medelvärden, eller nästnäst lägsta, osv., presenteras (grön linje) för denna period.

Inomhustemperaturer loggade i radhusen under juli 2014 presenteras i Figur 18. Här syns en betydligt större variation mellan olika delar av månaden än vad som var fallet under januari. Under perioder med hög inomhustemperatur visar mätningarna att medeltemperatur för alla lägenheter ligger nära varandra, medan de skiljer sig mer vid lägre temperaturer. Analys av dessa data visar att 39 % av registrerade temperaturer under juli är över 26°C. Övertemperaturer är alltså vanliga under sommaren, vilket är väntat i ett välisolerat hus som saknar kylsystem. Sett över ett år från oktober 2013 till september 2014 uppgår andelen temperaturer över 26°C till 4.5 %. Högsta registrerade temperatur under året är 30.1°C.



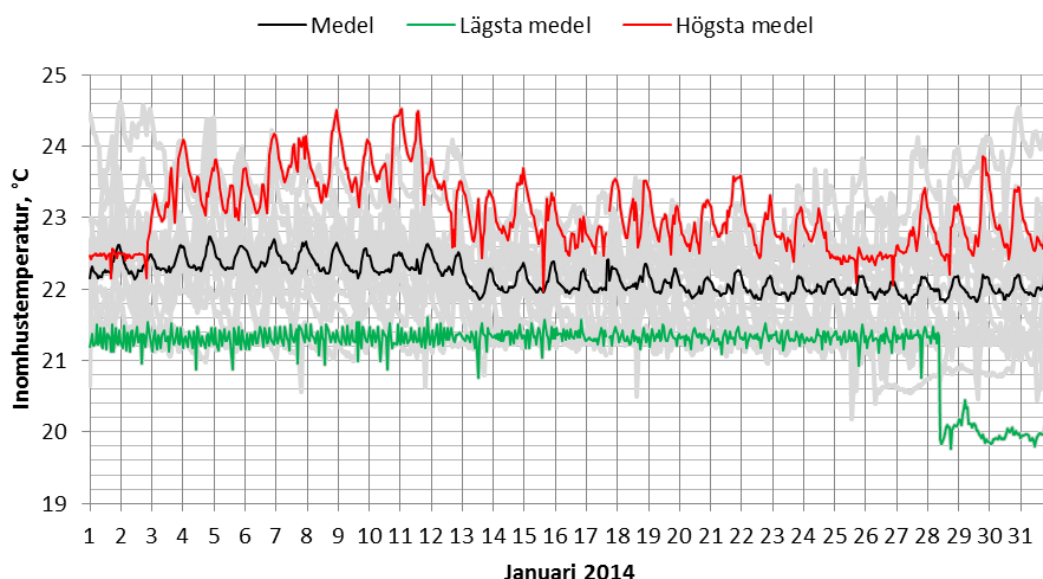
Figur 18 Inomhustemperatur i alla radhuslägenheter under juli 2014. Medel för alla lägenheter visas som svart linje. Grön och röd linje representerar lägsta respektive högsta medelvärde för enskilda lägenheter.

Mätningar av relativ luftfuktighet i radhusen saknas för stora delar av sommaren 2014. För att ändå få en sommarmånad att jämföra med har medelvärdet av relativluftfuktighet i augusti 2014 tagits fram vilket beräknats till 50.9 %. Medelvärde över ett år från oktober 2013 till september 2014 är 40.4 %. Observera att detta årsvärde kan vara missvisande eftersom stora delar av framför allt sommaren 2014 saknar registrerade värden.

3.2.3 Fyrbostadshus

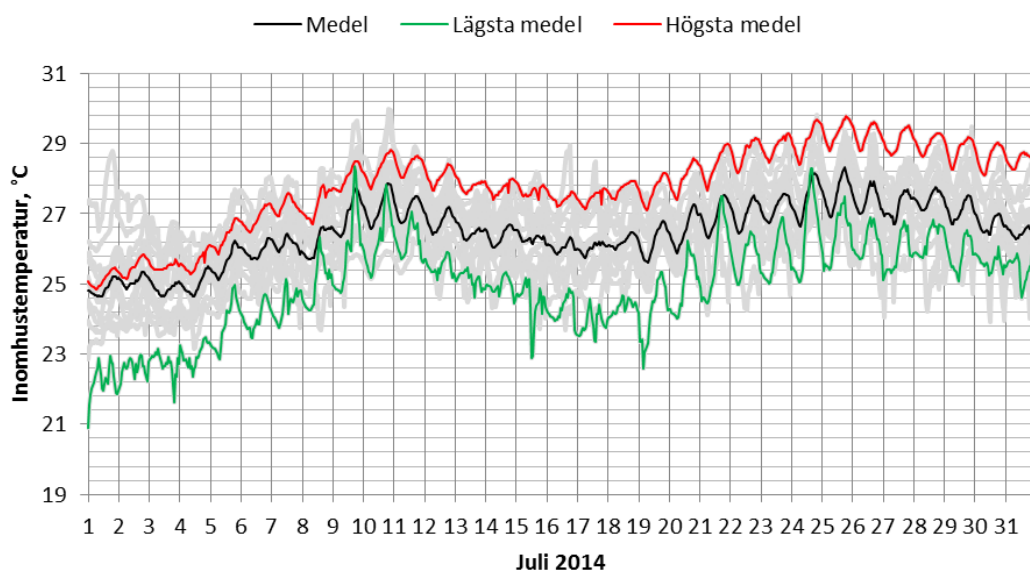
Inomhusklimatet i fyrbostadshusen har undersökts genom mätningar av lufttemperatur och relativ luftfuktighet. De mätdata som presenteras här är uppmätta under januari 2014 och juli/augusti 2014.

Inomhustemperaturer i fyrbostadshusens lägenheter under januari 2014 visas i Figur 19. Medeltemperaturen för samtliga lägenheter ligger kring eller strax över 22°C, vilket är något högre än den temperatur som använts i energiberäkningen. Det finns variationer mellan lägenheter i fyrbostadshusen under vintern. Den lägenhet som ligger lägst under januari har en medeltemperatur på 21°C och den som ligger högst har en medeltemperatur på 23°C. Temperaturerna håller sig i alla lägenheter under januari med god marginal över 19°C, med undantag för slutet av månaden i en av lägenheterna där temperaturen går skarpt nedåt. Anledningen till detta är okänd. Medelvärdet för den relativa luftfuktigheten i fyrbostadshusens lägenheter är i januari 27.1 %.



Figur 19 Inomhustemperatur i alla fyrbostadshusens lägenheter under januari 2014. Medel för alla lägenheter visas som svart linje. Grön och röd linje representerar lägsta respektive högsta medelvärde för enskilda lägenheter.

Medeltemperaturer inomhus i fyrbostadshusen under juli 2014 presenteras i Figur 20. Övertemperaturer är vanligt förekommande och hela 66 % av de registrerade värdena i juli ligger över 26°C. Över en period av ett år ligger 13 % av mätvärdena över 26°C. Under samma år ligger bara två av de registrerade värdena under 19°C, vilket bekräftar att övertemperaturer är mycket vanligare än undertemperaturer.



Figur 20 Inomhustemperatur i alla fyrbostadshusens lägenheter under juli 2014. Medel för alla lägenheter visas som svart linje. Grön och röd linje representerar lägsta respektive högsta medelvärde för enskilda lägenheter.

Mätning av relativ luftfuktighet saknas för juli och även för en stor del av de andra månaderna under våren och sommaren 2014. Därför har data för augusti undersökts och medelvärdet för relativ luftfuktighet under augusti är 46.7 %. Medelvärdet av den relativa luftfuktigheten under ett år är 36.5 %, men bör betraktas som osäkert på grund av den stora mängden saknad underlagsdata.

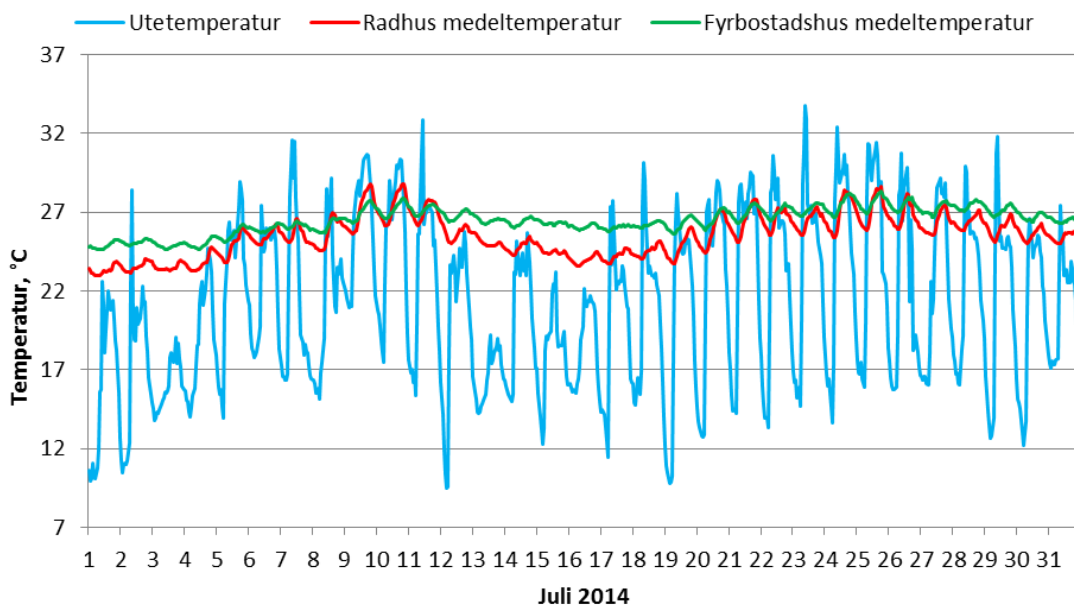
3.2.4 Äldreboende

Temperaturer som finns loggade för äldreboendet sträcker sig bara över kortare perioder i storleksordning några dagar åt gången. Detta underlag har ansetts för bristfälligt för att användas här och dra slutsatser ifrån. För en uppfattning om hur inomhusklimatet i äldreboendet upplevts, se avsnitt 3.3 där resultatet av enkätundersökningarna redovisas.

3.2.5 Jämförelse med utomhustemperatur

Hur inomhustemperaturen i radhus och fyrbostadshus ser ut i förhållande till varandra och till utomhustemperaturen har undersökts och presenteras för juli 2014 i Figur 21. Anledningen till att just radhus och fyrbostadshus inkluderats i denna jämförelse är att dessa byggnader ser ut att ha mest problem med övertemperaturer inomhus.

Generellt kan sägas att inomhustemperaturerna ökar under perioder av höga utomhustemperaturer. Sett över hela månaden ligger inomhustemperaturerna högt. Medeltemperaturen över månaden för radhusen är 25.5°C och för fyrbostadshusen 26.5°C. En förhållandevis hög och jämn inomhustemperatur finns under hela månaden. Husen är inte så känsliga för varken låga eller höga utomhustemperaturer under korta perioder, mycket på grund av den stora tröghet som kommer av husens väl tilltagna värmeisolering. Trögheten gör att höga temperaturer byggs upp inomhus då temperaturen utomhus håller sig högt under längre perioder. Andelen av registrerade temperaturer utomhus över 26°C under månaden är 22 %. Inomhustemperaturer över denna nivå är betydligt fler, men samtidigt är medeltemperaturerna för båda hus typerna under juli mycket nära 26°C, och till och med över för fyrbostadshusen.



Figur 21 Jämförelse av timvärden för medeltemperatur i radhus och fyrbostadshus tillsammans med utomhustemperatur.

3.2.6 Sammanfattning av passivhusens uppmätta inomhusklimat

Resultaten av det uppmätta inomhusklimatet avseende främst inomhustemperaturer visar på något högre temperaturer i radhus och fyrbostadshus än i villorna. Vad gäller övertemperaturer (>26°C) visar mätningar att andelen är betydligt högre i radhus (4.5 %) och fyrbostadshus (13 %) än i villorna (0.2 %). Det vore därför intressant att undersöka möjligheten att nyttja nattkylan via FTX-aggregaten på ett bättre sätt.

Undertemperaturer (<19°C) är betydligt ovanligare än övertemperaturer. Endast ett fåtal värden från mätdata ligger under denna nivå. Kopplingar kan göras mellan temperaturerna i vissa byggnader och andra resultat som presenteras i denna rapport och med förväntat beteende hos boende i olika boendeformer (eget hem och hyresrätt). Passivhusvillorna är ägda och har lägst genomsnittlig innetemperatur. De kan själva ställa in inomhustemperaturen. Boende i hyreslägenheterna (fyrbostadshusen och radhusen) som betalar för värmen indirekt via hyran har en högre genomsnittlig innetemperatur. Som boende i eget hus där man inte har någon hyra där det ingår värme kanske man blir mer medveten om att försöka hålla värmeanvändningen, och därmed inomhustemperaturer, på en lägre nivå. Kanske är man som köpare av ett passivhus även mer medveten om energianvändning än den genomsnittliga villaägaren. Denna medvetenhet kanske inte finns på samma sätt hos de boende i andra boendeformer.

Kopplingen mellan energianvändning och inomhustemperatur finns också och går att se främst i fyrbostadshusen, där den uppmätta inomhustemperaturen i genomsnitt ligger över den som användes i energiberäkningen. Skillnaden i temperatur kan inte ensam förklara den höga energianvändningen, men kopplingen finns. Även till enkäterna finns möjliga kopplingar i fråga om vädringsbeteenden, som kan påverka både temperaturen och energianvändningen.

3.3 Passivhusens upplevda inomhusklimat

I detta avsnitt presenteras resultaten från de genomförda enkätundersökningarna. Syftet med enkätundersökningarna var att samla in information om det upplevda inomhusklimatet i de olika boendeformerna. Överlag var svarsfrekvensen god. Den lägsta svarsfrekvens, 56 %, samlades in från fyrbostadshusen, där 9 av 16 hushåll svarade på vinterenkäten och 10 av 16 hushåll svarade på sommarenkäten. Den högsta svarsfrekvensen, 92 %, samlades in från radhusen 55+ där 20 av 22 hushåll valde att svara på vinterenkäten och 19 av 22 hushåll svarade på sommarenkäten. Svarsfrekvensen från villorna var 18 av 26 hushåll för sommarenkäten och 17 av 26 hushåll för vinterenkäten.

På äldreboendet var det 10 stycken av personalen som hade svarat på enkäten av totalt 40-50 personer i personalen inräknat vaktmästeri och kök. Här är det svårt att räkna på en svarsfrekvens eftersom det sker en viss omsättning av personal med tiden.

I detta avsnitt presenteras endast svar från utvalda frågor om upplevd inomhustemperatur, upplevt dagsljusinsläpp och vädringsvanor. Svaren på samtligt ställda frågor återfinns i Bilaga 2-4.

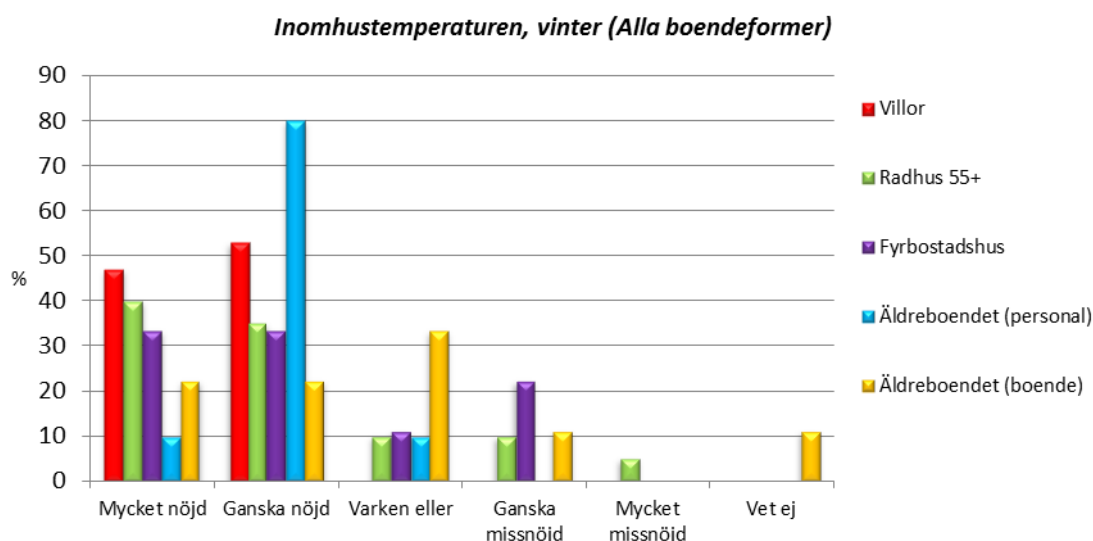
3.3.1 Inomhustemperaturen

Vinter

Inomhustemperaturen under vintern upplevdes som bra av de boende i alla hushåll (villor, radhus 55+ samt fyrbostadshus). På frågan "Hur nöjd var du med inomhustemperaturen i din bostad?" svarade 82 % att det var nöjda eller mycket nöjda, se Figur 22.

De boende i villorna var nöjdast och 100 % var ganska eller mycket nöjda, följt av boende i radhusen 55+ där 75 % var nöjda eller mycket nöjda. I fyrbostadshusen var 66 % nöjda eller mycket nöjda. Fyrbostadshusen hade störst andel missnöjda och 22 % var ganska missnöjda med inomhustemperaturen, men ingen av de boende var mycket missnöjd.

Även äldreboendet hade ett bra inomhusklimat på vintern. Av de anställda upplevde 90 % att de var ganska nöjda eller mycket nöjda med inomhustemperaturen, se Figur 22. För att ta reda på hur de boende upplevde inomhustemperaturen, fick de anställda svara på hur de uppfattar att de boende upplevde temperaturen inomhus på vintern. På denna fråga svarade 44 % av de anställda att de tror att de boende var nöjda eller mycket nöjda med inomhustemperaturen under samma årstid och 11 % svarade att de uppfattade att de boende var ganska missnöjda.

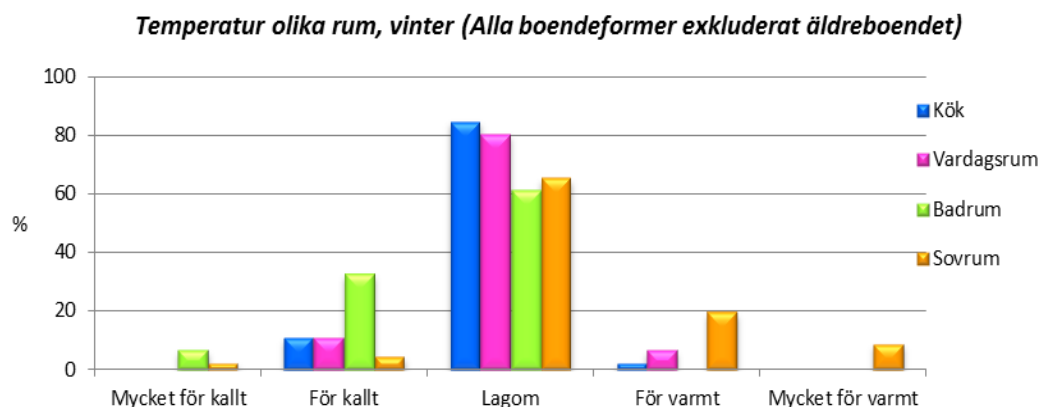


Figur 22 Upplevelsen av inomhusklimatet under vintern. Frågan som ställdes i enkäten var "Hur nöjd var du med inomhustemperaturen i din bostad?" I figuren är svaren uppdelade på de olika boendeformerna.

Temperatur i detalj – Vinter

För att identifiera delar av bostaden som eventuellt kan uppfattas som kalla alternativt varma ställdes frågan "Tyckte du att det var för varmt eller för kall i något rum i bostaden under vinterhalvåret?". Majoriteten upplevde att alla rum hade en lagom temperatur, men generellt fanns det en tendens som visade att sovrummen kunde upplevas som för varma och badrummen för kalla under vintern. Detta var tydligast i svaren från de boende i villorna och radhusen 55+, se Figur 23.

Eftersom äldreboendet inte var uppbyggd på samma sätt som resterande bostäder valdes att inte inkludera ngn fråga som berörde upplevelsen av inomhustemperaturen på rumsnivå.



Figur 23 Analys av hur temperaturen i olika rum upplevdes under vintern. Frågan som ställdes var "Tyckte du att det var för varmt eller för kall i något rum i bostaden under vinterhalvåret?".

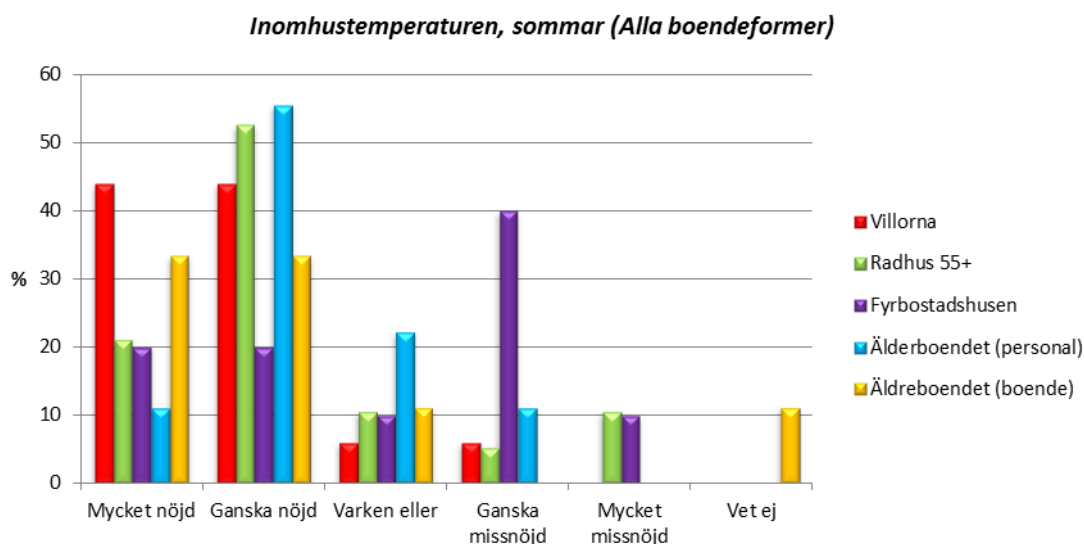
Sommar

Enkäterna som skickades ut för att undersöka hur de boende upplevde sitt inomhusklimat under sommaren skiljde sig åt. De första enkäterna skickades ut redan 2013 till villorna, eftersom de var färdigbyggda och de boende var fullt inflyttade. Därefter modifierades enkäten till efterföljande år.

I enkäten som skickades ut till villorna 2013 för att analysera hur de upplevde sitt inomhusklimat under sommaren var frågan om hur den generella upplevelsen av inomhustemperaturen ställd med fokus värmen i bostaden. Frågan som ställdes var " Hur bra tycker du generellt sätt att värmen fungerar i din bostad?" Svaren som kom in visade att de boende i villorna var nöjda med värmen i sin bostad och 88 % svarade att de var nöjda eller mycket nöjda.

När enkäten skulle skickas ut till resterande boendeformer (radhusen 55+, fyrbostadshusen samt äldreboendet) efterföljande sommar, sommaren 2014, hade enkäten omstrukturerats och frågorna omformulerats för att få vinter- och sommarenkäterna harmoniserade. På frågan "Hur nöjd var du med inomhustemperaturen i din bostad?" svarade 74 % i radhusen 55+ att de var nöjda eller mycket nöjda, se Figur 24. I fyrbostadshusen upplevdes inte inomhusklimatet lika positivt och mindre än hälften, 40 %, var nöjda eller mycket nöjda och hälften av de boende, 50 %, var ganska missnöjda eller mycket missnöjda. På äldreboendet var personalen generellt nöjd med sin inomhustemperatur även på sommaren och 67 % var nöjda eller mycket nöjda med inomhustemperaturen och bara 11 % var missnöjda.

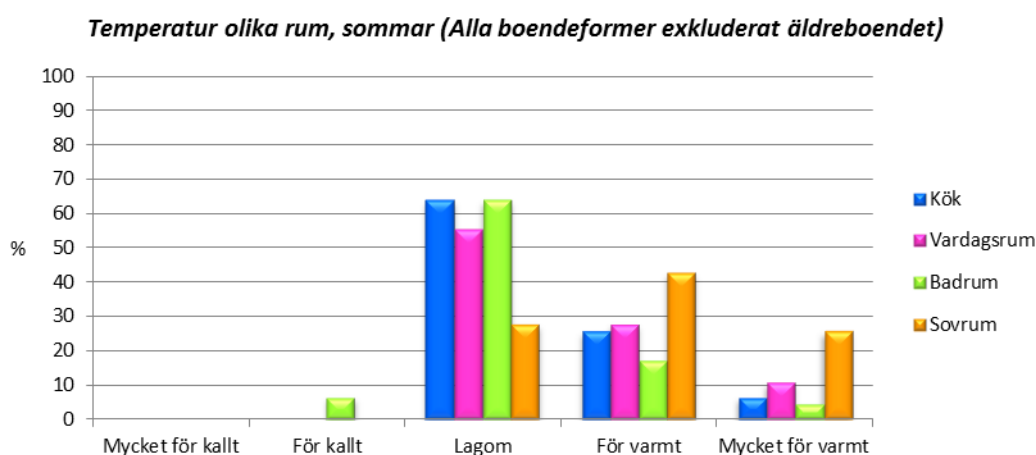
Eftersom sommaren 2014 var extremt varm inkluderades en extra fråga i enkäten som skickades ut för att studera inomhusklimatet under den sommaren. Frågan fokuserade på hur inomhusklimatet upplevdes under de varmaste dagarna på sommaren i relation till temperaturen utomhus. Syftet med frågan var att undersöka hur motståndskraftig bostaden var för temperaturhöjningen utomhus. I radhusen 55+ upplevde nästan hälften av de boende, 47 %, att det var svalare inomhus än utomhus och 27 % att det var varmare inomhus än utomhus. I fyrbostadshusen upplevdes det omvända förhållandet och majoriteten, 70 %, upplevde att det var varmare inomhus än utomhus. Motsvarande fråga ställdes även till personalen på äldreboendet, där 44 % upplevde att det var svalare inomhus och 33 % upplevde att det var varmare inomhus.



Figur 24 Upplevelsen av inomhusklimatet i bostaden under sommaren, uppdelad på olika tidsperioder (villorna (sommaren 2013) och resterade boendeformer (sommaren 2014)). Svaren baseras på enkätfrågorna "Hur bra tycker du generellt sätt att värmen fungerar i din bostad?" (villorna) och "Hur nöjd var du med inomhustemperaturen i din bostad?" (radhus 55+ samt fyrbostadshusen) samt frågan "Hur nöjd var du generellt med inomhustemperaturen på din arbetsplats?" (äldreboendet).

Temperatur i detalj – Sommar

För att få en uppfattning om upplevelsen av inomhustemperaturen på rumsnivå under sommaren, ställdes samma fråga som i vinterenkäten, där de boende skulle svara på om något rum uppfattades för varmt eller för kallt. Svaret var entydigt. Alla hushåll upplevde att temperaturen i alla rum var lagom eller för varm förutom 17 % i villorna som upplevde att badrummen var för kalla, se Figur 25. Det rum som de flesta upplevde var för varmt eller mycket för varmt var sovrummen.



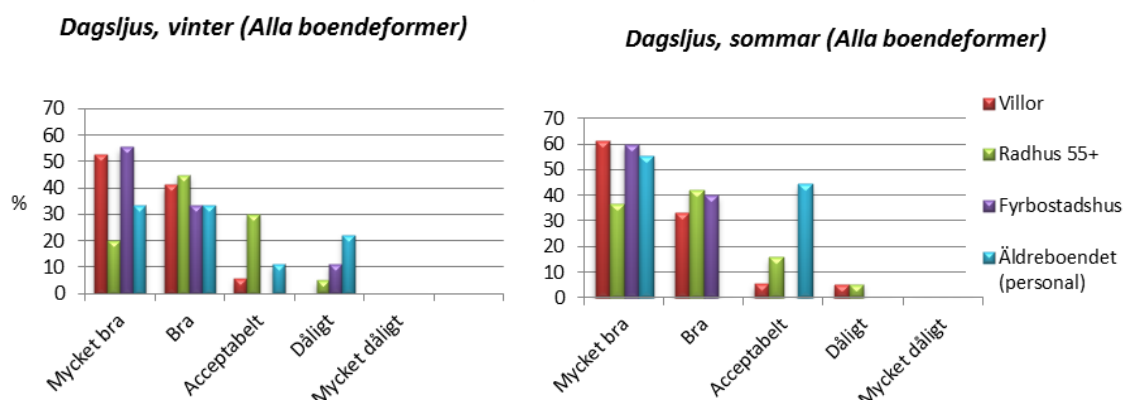
Figur 25 Analys av hur temperaturen i olika rum upplevdes (under sommaren 2013 (villorna) och sommaren 2014 (radhus 55+ och fyrbostadshus)). Frågan som ställdes var "Tyckte du att det var för varmt eller för kallt i något rum i bostaden under sommaren?".

3.3.2 Dagsljus

Upplevelsen av ljuset i bostaden undersöktes med två frågor. Den första frågan fokuserade på upplevelsen av dagsljuset och den andra frågan behandlade solljuset.

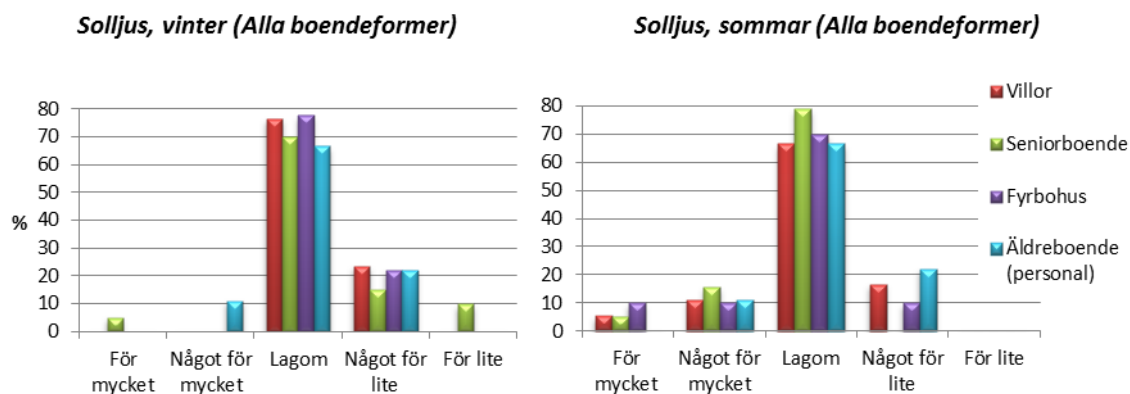
I fråga om dagsljuset så var alla boende, inberäknat personalen på äldreboendet, generellt nöjda med dagsljuset även under vinterhalvåret och 78 % upplevde att dagsljuset var bra eller mycket bra. Under sommaren ökade andelen som var nöjda med dagsljuset till 84 %, se Figur 26.

Äldreboendets personal var den bostadstypen som hade flest missnöjda med dagsljuset och 22 % upplevde att det var dåligt med dagsljus under vintern. Detta kan jämföras med radhusen 55+ där 5 % upplevde att dagsljuset var dåligt och fyrbostadshusen där 11 % upplevde att dagsljuset var dåligt under samma årstid. Ingen svarade att de tyckte att dagsljuset var mycket dåligt. Boende i villorna var mest nöjda med dagsljuset och 94 % tyckte att dagsljuset var bra eller mycket bra även under vintern.



Figur 26 Enkät svar på frågan "Hur tycker du att dagsljuset var i din bostad?" (vinter och sommar).

Den andra frågan som berörde ljuset i bostaden var formulerad "Tyckte du att du fick för lite eller för mycket direkt solljus i bostaden?". En analys av alla enkät svar för vinterhalvåret visar att 73 % upplevde att de fick lagom med solljus i sin bostad/arbetsplats och 24 % upplevde att de fick något för lite eller för lite solljus, se Figur 27. Motsvarande siffra för sommaren är 71 % som upplevde att de fick lagom med solljus och 11 % upplevde att de fick något för lite solljus. Under sommaren var det 18 % som upplevde att de fick något för mycket eller för mycket solljus.



Figur 27 Enkät svar på frågan "Tyckte du att du fick för lite eller för mycket direkt solljus i bostaden?" (vinter och sommar).

3.3.3 Vädringsvanor

Vädringsvanorna undersöktes i de olika boendena under vinterhalvåret i två frågor där den ena fokuserade på vädringsfrekvensen och den andra frågan handlade om vädringslängden. Vädringsfrekvensen skiljer sig mycket åt mellan de olika boendeformerna. Detta avspeglar sig i det aggregerade resultatet där 33 % av alla svarande vädrade nästan varje dag eller varje dag och nästan samma antal, 38 % svarade att de aldrig eller nästa aldrig vädrar.

Tittar man på de specifika boendena så är det personalen på äldreboendet som vädrar oftast, 67 % vädrar dagligen eller nästa dagligen, följt av radhusen 55+. Ungefär hälften av de boende i radhusen 55+ vädrar varje dag eller nästan varje dag, jämfört med 11 % i fyrbostadshusen och sex procent i villorna. Nästan hälften av de svarande från villorna (47 %) uppger att de vädrar sällan eller aldrig under vintern, vilket kan jämföras med 25 % i radhusen 55+ och 11 % i fyrbostadshusen och äldreboendet.

När det gäller vädringslängden skiljer sig i inte de olika boendena åt så mycket och majoriteten, 80 %, vädrade under en kortare stund, alternativt korsdrag.

3.3.4 Sammanfattning av passivhusens upplevda inomhusklimat

Eftersom det är ett så litet enkätunderlag är det svårt att dra några exakta slutsatser men man kan se vissa tendenser i de olika boendeformerna. Sammanfattningsvis kan man dra den slutsatsen att det är svårt att tillfredsställa alla och att upplevelsen av inomhusklimatet är högst individuell.

Inomhustemperaturen vinter

Generellt är de boende nöjda med sin inomhustemperatur på vintern. Även personalen på äldreboendet var nöjda med temperaturen på sin arbetsplats och deras uppfattning av de boende på äldreboendet var att det var få som var missnöjda.

Inomhustemperaturen sommar

Under sommaren skiljer sig uppfattning om inomhustemperaturen mer än under vintern. Personalen på äldreboendet och boende i villorna och radhusen 55+ är nöjda med inomhustemperaturen, medan de boende i fyrbostadshusen är mindre nöjda. Detta kan även avskiljas i detaljfrågan som fokuserade på de varmaste dagarna under sommaren. De boende i radhusen 55+ upplevde till mycket högre grad att det var svalare inomhus än utomhus, medan en klar majoritet i fyrbostadshusen upplevde att inomhustemperaturen, de varmaste dagarna, var högre än utomhustemperaturen. Anmärkningsvärt är att inte större andel av personalen på äldreboendet upplevde att inomhustemperaturen var svalare än utomhustemperaturen även om det fortfarande var en större andel som upplevde att det var svalare inomhus än utomhus jämfört med det som upplevde det motsatta. Samtidigt var personalen på äldreboendet generellt nöjd med inomhustemperaturen under sommaren och bara runt 10 % var missnöjda.

Temperaturupplevelse på rumsnivå

I detaljstudien av inomhustemperaturen i olika rum under vintern kan man i svaren från radhusen 55+ samt villorna se en tendens att de boende upplever att sovrummen var för varma och badrummen för kalla. I enkätsvaren från villorna var det tydligt att det var främst badrummen på övervåningen som upplevdes som kalla. Detta kan delvis förklaras med att det saknas golvvärme i badrummen på övervåningen i villorna.

Dagsljuset

Majoriteten av de boende samt personalen på äldreboendet är nöjda med dagsljuset även på vintern och de upplever även att de får lagom med solljus under vintern och sommaren.

Vädringsvanorna

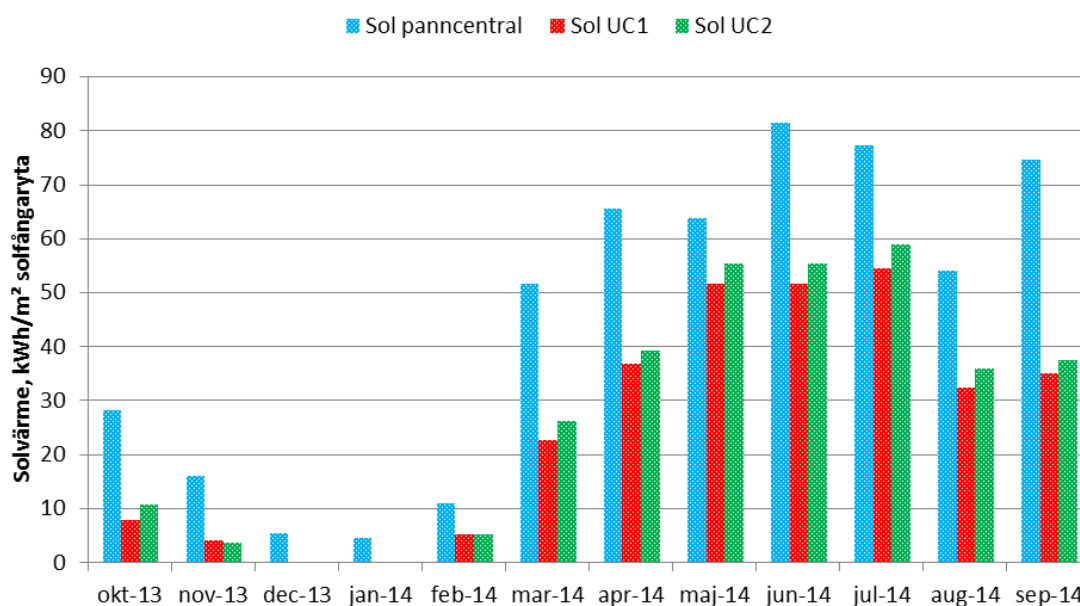
Svarsresultaten visar på väldigt varierande vädringsvanor under vintern mellan de olika boendena när det gäller hur ofta man vädrar. Personalen på äldreboendet vädrar oftast, följt av radhusen 55+. Boende i villorna vädrar mest sällan. När det gäller längden på vädringen är beteendet mer homogent och de allra flesta vädrar en kort stund alternativt har tvärdrag.

3.4 Uppföljning av energisystemet

Uppföljningen av energisystemet, med fokus på uppvärmningen av bostadsområdet, redovisas i det här avsnittet. Resultat är hämtade från examensarbetet skrivet av Olsson och Rosander (2014) samt från senare uthämtningar av mätdata. Det är viktigt att observera att det finns osäkerheter i mätningar av värme. Delar av systemet där mätningar görs med små temperaturdifferenser och höga flöden är speciellt osäkra, men det går ändå att få en indikation på hur systemet presterar som helhet.

3.4.1 Solvärme i Vallda Heberg

I Figur 28 presenteras solvärmeproduktionen i de plana solfångarna på UC1 (inkl. solvärme från fyrbostadshusen) och UC2 samt i vakuumrörsolfångarna på panncentralen för varje månad under ett år – från oktober 2013 till september 2014.



Figur 28 Utbyte för solfångare på UC1, UC2 och panncentralen i Vallda Heberg under ett år från oktober 2013 till september 2014.

Utbytet över hela året ligger inom rimliga värden för plana solfångare (300-400 kWh/m²/år) men i nedersta delen av intervallet för båda dessa system. Årligt utbyte för UC1 är 301 kWh/m² och för UC2 är det 328 kWh/m². En möjlig förklaring till det lägre utbytet hos UC1 är att en stor del av dessa solfångare sitter på fyrbostadshusen och värmen transporteras i en kulvert till undercentralen, vilket ger förluster.

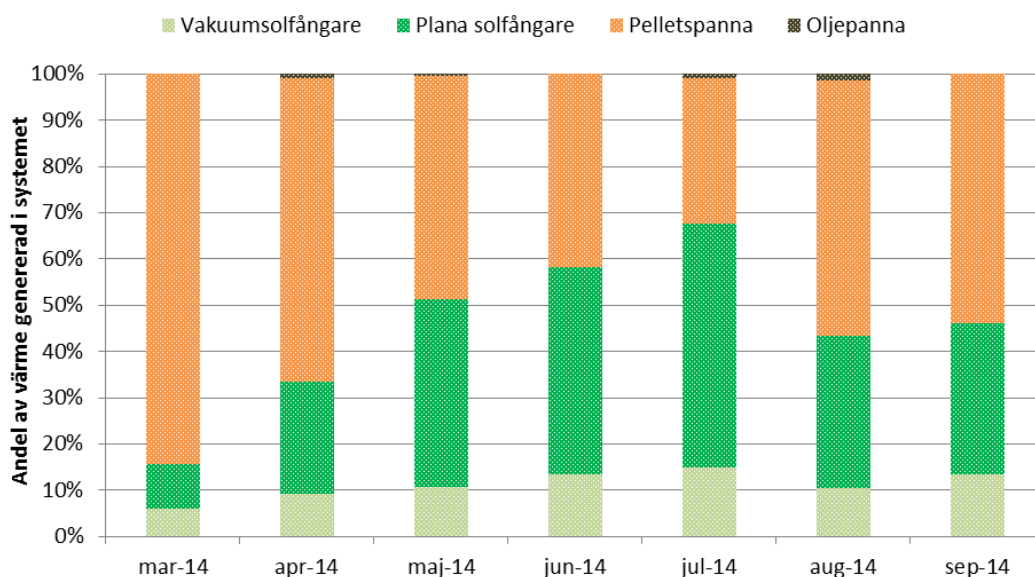
Vakuumrörsolfångarna som sitter på panncentralen har haft ett årligt utbyte på 533 kWh/m². Att detta ligger högre än de plana solfångarna på undercentraler är väntat, och som framgår av figuren har vakuumrörsolfångarna ett mycket bättre utbyte än den plana typen, framför allt på vintern, men även på sommaren finns en skillnad. Eftersom vakuumrören sitter monterade i en mycket hög vinkel (70° från horisontalplan) för att maximera produktionen under vår och höst, samt att undvika överproduktion på sommaren, kommer de dock inte nå sin fulla potential, utan ha ett utbyte som är något lägre än vad som egentligen är möjligt.

Fördelningen över året i utbyte från solfångarna ser ut ungefär som väntat, med lågt utbyte på vintern och högt på sommaren. Något som sticker ut är dock att genereringen av värme ser ut att ha varit högre under september än under augusti. Detta gäller för båda typerna av solfångare, men är mest tydligt för vakuumrören som har ett utbyte under september som är i

paritet med prestandan under juni och juli. Anledningen är troligen mer solinstrålning under september. Att vakuumrören ökar mer än de plana solfångarna beror antagligen på att de inte är så temperaturkänsliga, vilket gör att det inte spelar så stor roll om det varit något kallare under september än under augusti. En högre solinstrålning ger stort utslag. I tillägg till detta har september varit ovanligt varmt.

Resultat för sju månader för hela Vallda Heberg

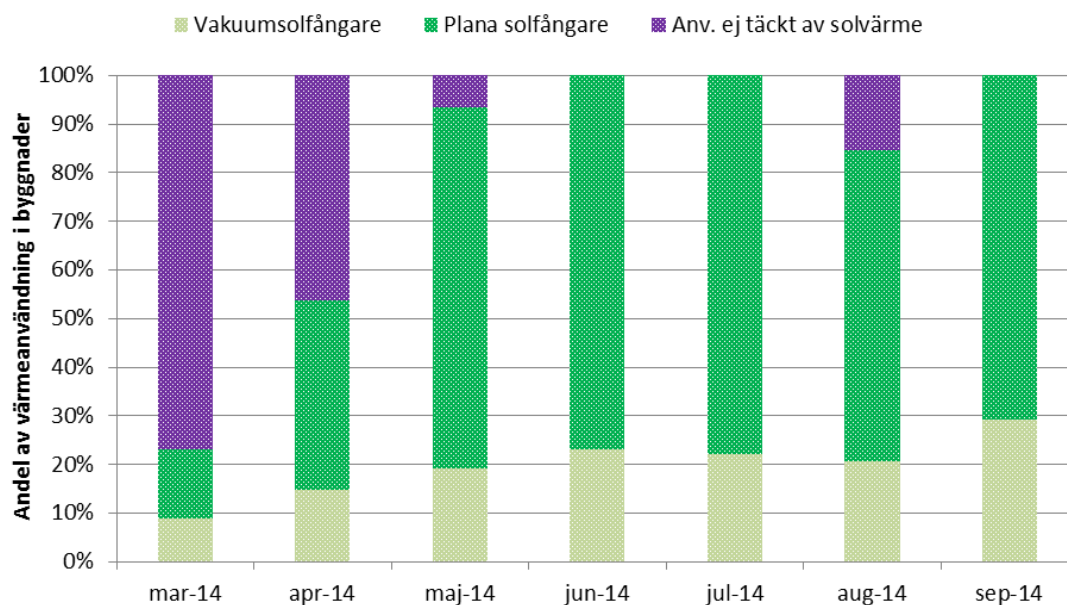
Då hela systemet varit i drift från och med mars 2014 kan en period om sju månader undersökas med avseende på hur stora andelar värme som genererats från de olika typerna av solfångare och från pellets- och oljepanna. Andelarna visas i Figur 29 från mars till september 2014. Figuren visar att solfångarnas andel (båda typer) av genereringen är som lägst ungefär 15 % i mars och som högst upp emot 70 % i juli. Över hela denna period av sju månader är andelen solvärme 43 % av total generering.



Figur 29 Andelar av värme i hela Vallda Heberg från vakuum- och plana solfångare samt från pellets- och oljepanna.

Mängden värme genererad av solfångare har även jämförts med total användning av värme i byggnaderna. När solvärmens som genererats jämförs rakt av med värmeanvändningen i husen blir detta likvärdigt med en situation där inga värmeförluster finns i systemet. I verkligheten kommer förlusterna vara stora, men jämförelsen är ändå intressant för att sätta storleken på värme från solfångare och värmeanvändningen i husen i förhållande till varandra.

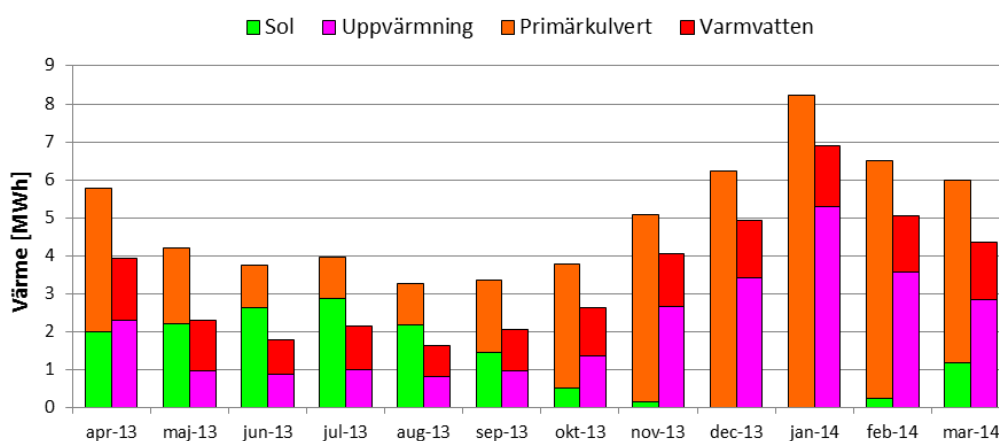
Målet för systemet på årsbasis vid denna jämförelse är att den genererade solvärmens ska uppgå till 40 % av värmen som används i husen. För de månader som inkluderas här kommer all solvärme som genereras upp till 79 % av användningen i husen. Om solvärme som inte kan utnyttjas på månadsbasis (övergenerering) tas bort blir siffran 70 %. Det ska dock betonas här att månaderna som ligger till underlag för siffrorna återfinns mestadels under den varma årstiden, vilket betyder att andelen solvärme på ett helt år kommer vara avsevärt lägre.



Figur 30 Solvärmens andel jämfört med värmeanvändning i byggnader.

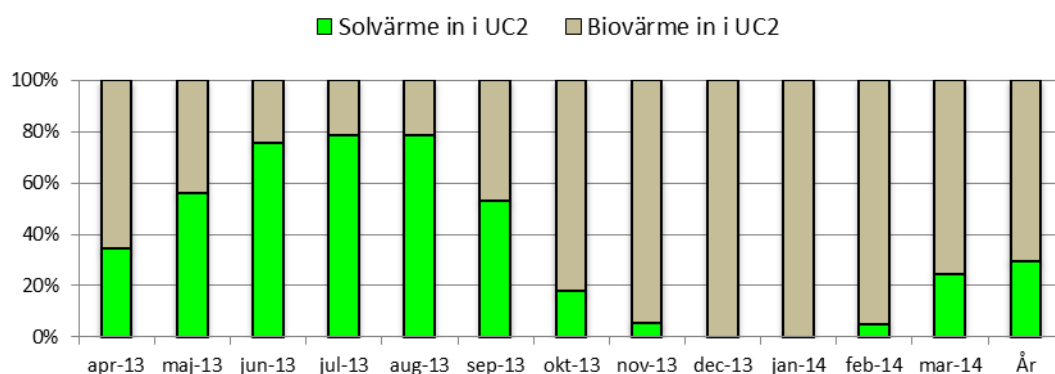
Resultat för ett helt år för en del av Vallda Heberg

Hur solvärmegenereringen ser ut i förhållande till värmeanvändningen i byggnaderna har undersökts för de passivhusvillor som är kopplade via det sekundära distributionssystemet till UC2. Anledningen till att detta delsystem använts är att det finns mätdata att tillgå för en lång period. Figur 31 visar värme tillförd UC2 och värme använd i husen. Solvärmen genererad från plana solfångare placerade på UC2 (grön) kan följas över året och det blir tydligt att denna når en topp under sommaren för att bli nära obefintlig på vintern. Detta innebär en kraftig mismatch med användningen, vilken precis som väntat har sin topp under vintern. Observera att det även levereras en liten del solvärme från panncentralen via primärkulverten. De värden som redovisas här för energianvändning i husen är inte normalårskorrigerade, utan bara till för att kunna jämföra med genererad värme och ta fram en energibalans. För bättre värden på energianvändning, se tidigare avsnitt om de olika byggnadstypernas energianvändning.



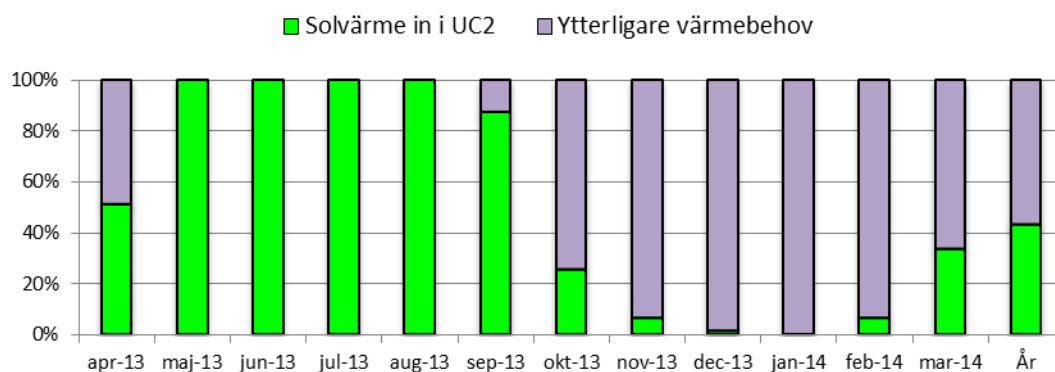
Figur 31 Tillförsel av värme till UC2 (vänster stapel varje månad) och användning av värme i passivhusvillorna kopplade till UC2 (höger stapel varje månad) via det sekundära distributionssystemet under perioden april 2013 till mars 2014. Observera att en del solvärme även tillförs via primärkulverten.

Mängden värme som genereras från solfångare i delsystemet kring UC2 och som levereras dit via primärkulverten från panncentralen kan sättas i relation till den totala värme som krävs för att värma husen. I Figur 32 ses hur solvärmetäckningen i UC2 ändrar sig över ett år. Andelen solvärme når som mest omkring 80 % under sommarmånaderna, medan den är mycket nära noll under vintern. Över hela året är andelen ungefär 30 % då denna jämförelse görs.



Figur 32 Solvärme tillförd UC2 som andel av total värme tillförd UC2. Solvärme in i UC2 inkluderar här både plana solfångare på UC2 och en del solvärme som tillförs från panncentralen via primärkulverten.

En annan möjlighet är att jämföra genererad solvärme direkt med den värme som används i byggnaderna till uppvärmning och varmvatten. Det innebär att förluster i det sekundära distributionssystemet inte beaktas och kan liknas vid en situation där solfångare sitter placerade på den byggnad där värmen används. En sådan jämförelse har också gjorts och presenteras i Figur 33. Under sommarmånaderna är genererad solvärme högre än den värme som används i husen och täckningsgraden för solvärmen enligt den här definitionen blir 100 %. Den årliga andelen blir över 40 %, vilket var målet för hela systemet vid den här typen av jämförelse. Resultaten som presenteras här är bara för en del av systemet, men ger ändå en indikation på att resterande delar presterar på liknande sätt eftersom samma metodik använts för att dimensionera solvärmesystemen.



Figur 33 Solvärme tillförd UC2 som andel av total värmeanvändning i husen. Solvärme in i UC2 inkluderar här både plana solfångare på UC2 och en del solvärme som tillförs från panncentralen via primärkulverten.

Anledningen till att vakuumrörsolfångare installerades på panncentralen var att öka andelen solenergi från de cirka 35 % som uppnått tidigare i andra system, upp till över 40 %. Resultaten från systemet kring UC2 tyder på att detta uppnått. Om bara plana solfångare beaktas i de två jämförelsefallen fås solvärmeandelar på 26 % respektive 37 %, vilket betyder att vakuumrören lyckas öka andelen med ungefär 5 procentenheter.

Prognos för ett år i hela Vallda Heberg

Ett viktigt mål med den uppföljning som gjorts i Vallda Heberg och som presenteras i denna rapport är att undersöka huruvida det mål som ställts upp för den årliga andelen solvärme i systemet kan uppfyllas. Detta har inte kunnat göras eftersom mätdata för ett helt år saknas för delar av systemet. Det finns dock en möjlighet att göra en prognos utifrån de data som faktiskt finns.

Mätvärden för solvärme som genererats i vakuumsolfångarna på panncentralen, samt för de plana solfångarna kopplade till UC1 och UC2 finns för ett helt år. Plana solfångare kopplade till UC3 och UC4 har också undersökts utifrån de månader där mätdata finns. Undersökningen visar att utbytet från UC3 ligger något högre än UC1 och UC2 under dessa månader och att utbytet för UC4 ligger något lägre än för UC1 och UC2. Anledningen till de högre värdena på UC3 är oklar, medan lägre uppmätta värden från UC4 kan bero på att dessa solfångare sitter på fyrbostadshusen och värmen transporteras till UC4 genom en kulvert vilket innebär en del förluster. Årligt utbyte hos UC1 och UC2 ligger i intervallet 300-400 kWh/m² solfångaryta, vilket är normalt om systemet fungerar som det ska. Ett antagande är att det årliga medelutbytet för plana solfångare kopplade till UC3 och UC4 i Vallda Heberg är 300 kWh/m².

Värme genererad från solfångare i Vallda Heberg med dessa förutsättningar och antaganden presenteras i Tabell 6. UC3 (aperturarea 67,6 m²) och UC4 (aperturarea 312 m²) har båda antagits ha årligt utbyte på 300 kWh/m².

Tabell 6 Mätningar och prognoser för årlig värme från solfångare

[Alla värden i kWh/år]	Panncentral-mätning	UC1-mätning	UC2-mätning	UC3-prognos	UC4-prognos	Total
Årlig värme	57 563	42 749	15 726	20 280	93 600	229 918

Vad gäller byggnader finns beräkningar och mätvärden eller prognoser gjorda med utgångspunkt i mätdata. Villor och radhus har mätningar för ett helt år, medan prognoser är gjorda för fyrbostadshus och äldreboende. Total energi till uppvärmning och tappvarmvatten i byggnaderna syns i Tabell 7, med utgångspunkt i både beräkningar och mätningar eller prognoser som gjorts utifrån mätdata.

Tabell 7 Värmeanvändning i alla byggnader i Vallda Heberg, enligt beräkningar och mätdata/prognoser

[Alla värden i kWh/år]	Villor	Radhus 55+	Fyrbostadshus	Äldreboende	Total
Beräkning	198 744	87 429	59 746	325 416	671 335
Mätning/Prognos	170 716	118 619	94 489	337 792	721 615

Med alla dessa värden på generering av solvärme och användning av värme kan ett prognosvärde beräknas för solvärmeandelen i Vallda Heberg. Med utgångspunkt i beräknade värden för byggnaderna blir andelen 34 % och då mätningar eller prognoser används blir andelen 32 %.

Att systemet inte riktigt når upp till solvärmetäckningen på 40 % kan ha många anledningar. En viktig del av förklaringen är att solfångarna inte haft det utbyte som de bör ha haft om de fungerade felfritt. Speciellt med mätdata från sommaren 2014, som var varm, bör utbytet för ett väl fungerande system ligga högre. Vad det låga utbytet beror på blir nästa fråga. En del kända problem har funnits och åtgärdats i UC2 och UC4 (UC4 har dock bara tagits med i beräkningen

som en schablon på 300 kWh/m²/år), vilket kan haft en del påverkan på resultatet. Men det låga utbytet finns även hos de andra solfångarna. En djupare analys av dessa problem kommer inte att presenteras här, men det går att konstatera att problem finns.

Det finns även en hel del osäkerheter som kommer av att området inte ännu är färdigbyggt. Det byggs verksamhetslokaler som inte inkluderats i den här presentationen, vilket kommer att öka områdets totala användning av energi. För att då kunna hålla en hög andel solvärme måste även ytan solfångare ökas. Alternativet är att få de existerande solfångarna att prestera bättre.

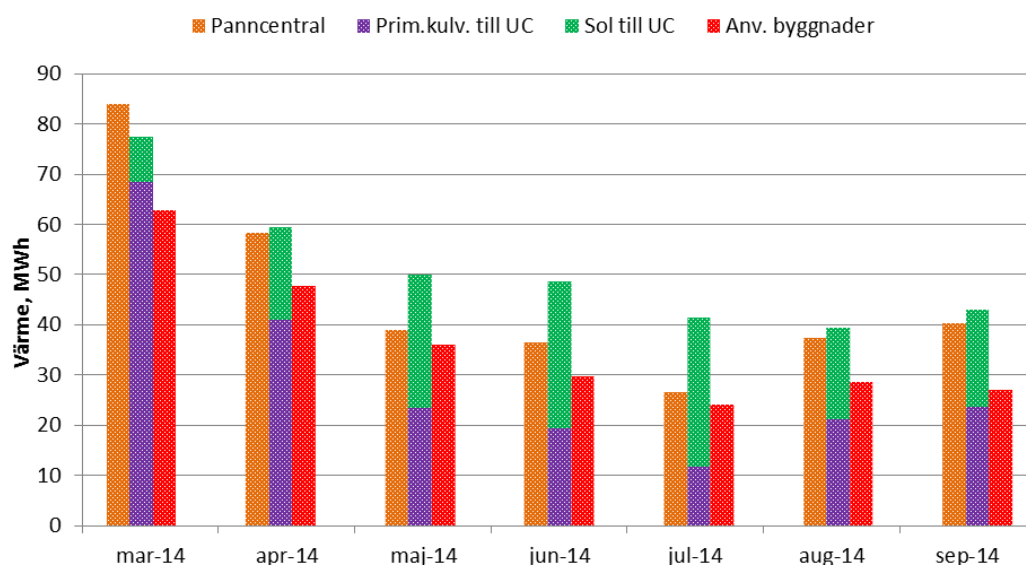
En analys av känsligheten i dessa resultat har gjorts för det fall att alla plana solfångare skulle få att prestera bättre, med ett utbyte på 350 kWh/m²/år. Den totala ytan plana solfångare i Vallda Heberg är 570 m², vilket ger en generering på 199 500 kWh/år med tidigare antagande. Om detta adderas till genereringen från vakuumrörsolfångare fås 257 063 kWh/år, vilket skulle ge solvärmetäckningar på 38 % och 36 % jämfört med beräknade respektive uppmätta värden/prognosvärden. Detta visar tydligt att solfångarnas utbyte är kritiskt för att uppnå en hög täckning.

3.4.2 Förluster i värmedistributionen

I distributionen av värme från panncentral till undercentraler i det primära systemet och från undercentraler till byggnader i det sekundära systemet kommer förluster av värme att förekomma. Detta avsnitt presenterar dessa förluster för olika delar av systemet utifrån de mätdata som funnits tillgängliga vid analysen. Värden för hela systemet som behövs för att göra en fullständig energibalans finns från och med mars 2014, vilket betyder att denna inte kan göras för ett helt år. Perioden från mars till september 2014 redovisas, tillsammans med längre perioder för delar av systemet.

Den kortare perioden visas i Figur 34, med mätningar i tre nivåer av systemet. Värme genererad i panncentralen visas i vänstra stapeln varje månad, värme till undercentraler i mitten och använd värme i byggnader till höger. Värmen som kommer till undercentraler är uppdelad på två, eftersom den består av en del värme från panncentralen och en del solvärme från plana solfångare ute i systemet.

I Figur 34 ges en bild av hur förlusterna varierar i de två systemdelarna – primärsidan och sekundärsidan. Generellt ökar förlusterna under sommaren, mycket på grund av en hög solvärmegenerering och låg användning i passivhusen. Som framgick i analysen av byggnaderna (presenterad tidigare i denna rapport) är sannolikt en del förluster i VVC-ledning inkluderade i byggnaderna energivärden, framför allt för fyrbostadshus och radhus. Dessa förluster hade, om de inte inkluderats i byggnadernas värmemätningar, visat sig här istället som förluster i sekundärsystemet.

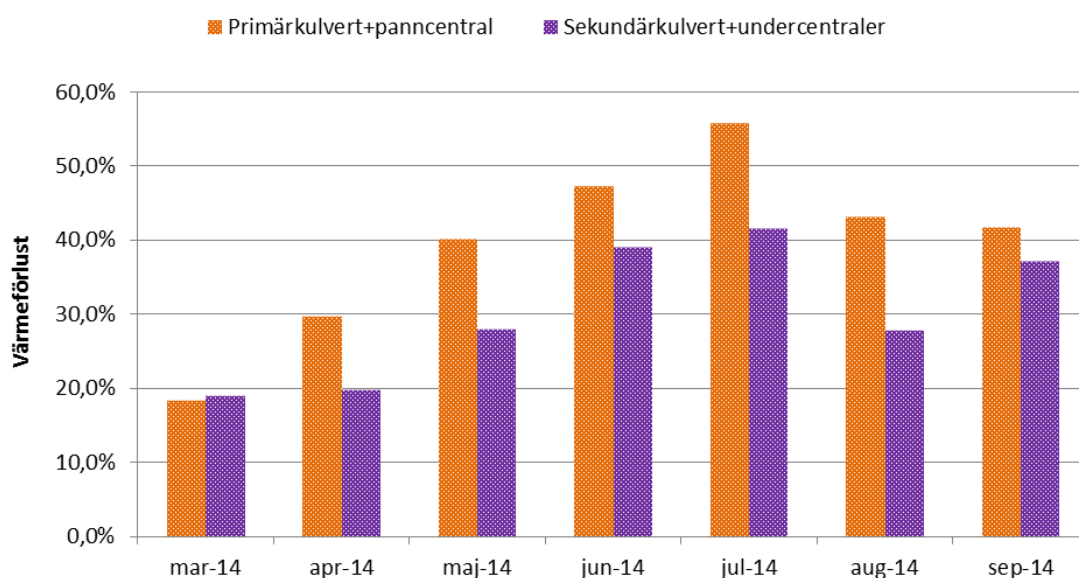


Figur 34 Värmemätningar från mars till september 2014 på tre nivåer i systemet; värme genererad i panncentralen, värme till UC och användning av värme och tappvarmvatten i byggnader.

En bild av hur stora förlusterna i systemet är i förhållande till tillförd värme visas i Figur 35. Tillförd värme betyder för panncentralen den värme som uppmätts från pelletspanna, oljepanna och vakuumrörsolfångare. För sekundärkulverten och undercentralerna är tillförd värme den värme som kommer från panncentralen via primärkulverten och solvärme som kommer från plana solfångare placerade på undercentraler och fyrbostadshus. Av figuren framgår att den procentuella förlusten i sekundärkulvert plus undercentraler är lägre än förlusten i primärkulvert plus panncentral för alla månader utom mars.

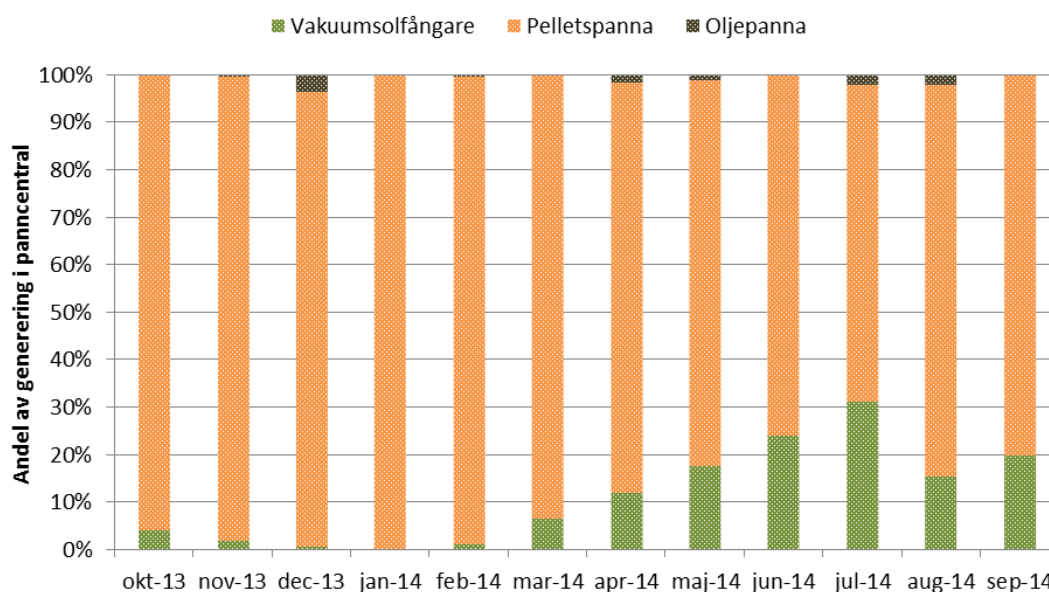
Solvärmen som adderas i undercentralerna komplicerar bilden av systemet, dels eftersom systemets totala värme blir svårare att följa från generering till användning än om det bara varit en central genereringspunkt (panncentral) och dels för att förlusterna kommer se stora ut då inte all solvärme kommer att kunna användas under sommaren.

I ett solvärmesystem som det i Vallda Heberg, vilket har dimensionerats för hög andel solvärme på årsbasis, kommer övergenereringen bli stor. Den förlorade solvärmen behandlas här som en förlust, men skulle också kunna behandlas på annat sätt eftersom den är "gratis" och därmed bara ses som ett tillskott som enbart kan komma systemet tillgodo. Med ett sådant antagande skulle förlusterna i sekundärsystemet bli mycket små. Men på grund av att systemet ser ut som det gör blir det också svårt att uppskatta de egentliga förlusterna i enbart sekundärkulverten.



Figur 35 Procentuella förluster i primärkulvert och panncentral respektive sekundärkulvert och (samtliga) undercentraler fördelade månadsvis från mars till september 2014.

Fördelningen av värme genererad i panncentralen och hur denna varierar månadsvis under ett år visas i Figur 36. Genom att jämföra detta med Figur 35 fås en uppfattning om hur stor del av förlusterna i primärkulvert och panncentral som täcks av solvärme. Under sommarmånaderna är de procentuella förlusterna som störst vilket beror på att det endast finns behov av värme till tappvarmvatten samtidigt som kulvertförlusterna är i stort sett lika stora som under vintern i absoluta tal.



Figur 36 Andelar av generering av värme i panncentralen från vakuumsolfångare, pelletspanna och oljepanna under ett år.

För att ge en möjlighet att uppskatta förluster i sekundärkulverten har mätare installerats för att mäta utgående värme från undercentral 1 och från undercentral 4. Förlusterna mellan UC och byggnader har analyserats, för UC1 men resultatet är mycket osäkert. För många månader går energibalansen inte ihop, det verkar användas mer värme i byggnaderna än vad som lämnar undercentralen i fallet med UC4. I UC1 är problemet att det verkar vara mer värme som lämnar

undercentralen än som tillförs. Detta är naturligtvis orimligt och det är sannolikt att det finns stora osäkerheter i de värmemätningar som görs. En tillförlitlig uppskattning av förluster i sekundärkulvert är därför mycket svår att göra med det underlag som finns.

Mer specifika förlustsiffror presenteras i Tabell 8 för primärkulvert plus panncentral och för sekundärkulvert utgående från UC1. Observera återigen att dessa siffror är mycket osäkra. Resultatet avseende primärkulverten är känslig för hur stor andel av förlusten som antas ligga i panncentralen. Då både förluster i panncentral och primärkulvert inkluderas fås en förlust på 20.7 W/m. Detta värde är dock inte representativt för kulverten. Om värmeförlusterna i panncentralen antas vara 5 % av genererad värme återstår en värmeförlust i primärkulverten motsvarande 15.1 W/m. På motsvarande sätt skulle primärkulvertens förluster givet detta antagande bli 14.1 %. Skulle panncentralens värmeförluster vara så hög som 10 % skulle värmeförlusterna i primärkulverten vara 9.4 % och motsvara 9.5 W/m.

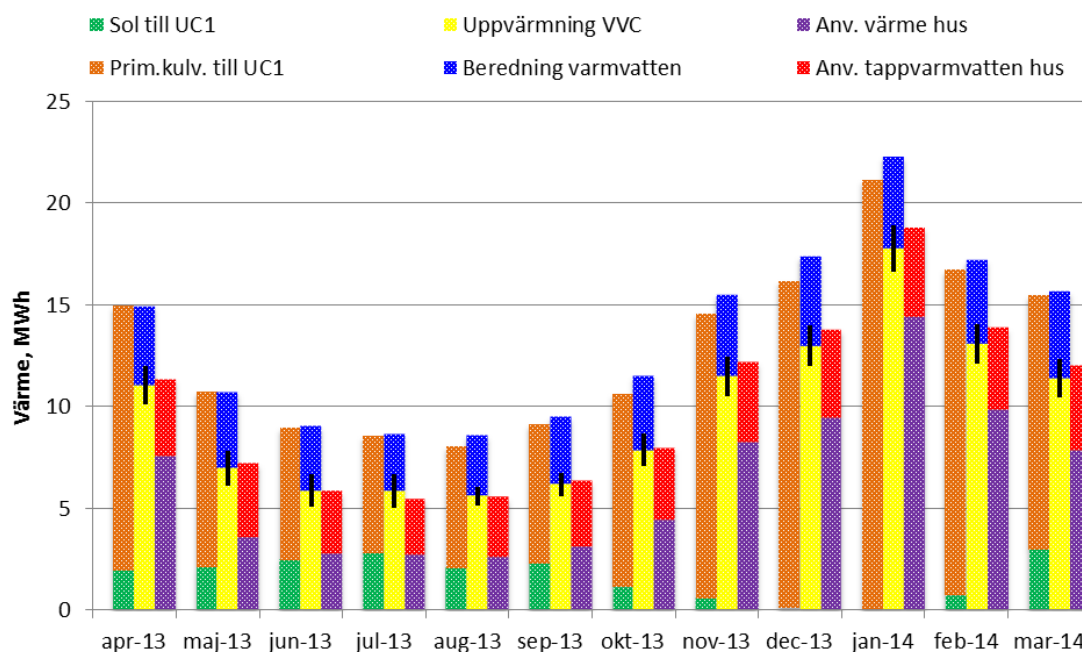
I sekundärsystemet för UC1, där mätvärden finns för ett helt år beräknas värmeförlusterna till 23.6 %. En faktor som påverkar dessa värmeförluster är att värmeanvändningen i passivhusvillorna som är kopplade till detta sekundärsystem har en lägre uppmätt energianvändning än projekterat. Givet att förlusterna är konstanta i absoluta tal, vilket visat sig kunna stämma relativt väl med variationer i värmeanvändning, skulle en energianvändning enligt beräknade värden ge en förlust på 20.8 % istället.

Tabell 8 Förluster i olika delar av värmedistributionen

	Förlust (kWh)	Förlust (%)	Förlust (W/m)
Primärkulvert+pannc. Mars 2014	15 483 (11 284/7 085*)	18.4 (14.1/9.4*)	20.7 (15.1/9.5*)
Sekundärkulvert+UC1 Helt år	36 340	23.6	8.8

*Enbart för primärkulverten givet antaget att panncentralen i sig har 5 % respektive 10 % i förluster under mars månad.

Värmebalansen som ställts upp över UC1 och de passivhusvillor som betjänas av denna illustreras i Figur 37. Inkluderat i diagrammet är även felstaplar som illustrerar möjliga mätfel på den värmemätare som mäter den energi som tillförs VVC i undercentralen. Här framgår att det möjliga mätfelet är stort. Figuren visar också månadsfördelningen av värme i de olika mätpunkterna, vilket gör att det går att se hur förluster varierar under året. Samma bild framgår här som för hela systemet, nämligen att relativa förluster ökar på sommaren på grund av ökad solvärmegenerering och minskat värmebehov i husen.



Figur 37 Värmemätningar kring UC1 och dess del av sekundärkulverten. Värme tillförd UC1 visas i vänstra stapeln varje månad, värme ut från UC1 i mitten och värme använd i de passivhusvillor som förses från UC1 visas i högra stapeln.

3.4.3 Sammanfattning av uppföljningen av energisystemet

Resultatet från uppföljningen av området visar att det är en bit kvar till att nå målet om 40 % solenergi i energianvändningen till uppvärmning och tappvarmvatten. Den främsta anledningen är att vissa av solfångarna inte presterat på den nivå som kan förväntas. Vissa initiala problem med solfångarna, vilka avspeglas i mätvärdena, har nu åtgärdats. Det behövs därför mätvärden under en längre period för att utvärdera måluppfyllelsen.

En annan faktor som påverkar andelen solenergi i energianvändningen är att området inte är fullt utbyggt ännu, vilket påverkar både den totala energianvändningen och hur väl solfångarna kan utnyttjas. Då fler byggnader tillkommer i området måste eventuella återstående problem med solfångarna beaktas för att kunna hålla en hög nivå på andelen solvärme. Det kan betyda att en större solfångaryta kommer att behövas eller, alternativt, att genomföra åtgärder som gör att prestandan på de existerande solfångarna höjs.

Förluster av värme i systemet ser ut att vara höga. Förluster i absoluta tal ligger ganska konstant över året, och de relativa förlusterna blir därmed högre under sommaren då användningen av värme är betydligt lägre. Givet att panncentralen har 5 % i värmeförluster skulle primärkulverten ha kring 14 % värmeförluster under mars månad 2014. Värmeförlusterna i primärkulverten väntas att minska när området är fullt utbyggt eftersom den totala värmeanvändningen kommer att vara högre. I en del av sekundärsystemet, där mätvärden finns för ett helt år beräknas värmeförlusterna till 24 %. En faktor som påverkar dessa värmeförluster är att värmeanvändningen i passivhusvillorna som är kopplade till just detta sekundärsystem har en lägre uppmätt energianvändning än projekterat.

Det är dock svårt att dra starka slutsatser om förlusterna i kulvertar på grund av osäkra mätningar och mätningar som görs på ställen där även förluster från andra delar (till exempel panncentral) inkluderas. Små justeringar av antagandena ger väldigt stora utslag på förlusterna.

4 Ekonomisk analys

Det är svårt att genomföra en beräkning av merkostnader för passivhusen och områdeslösningarna i Vallda Heberg eftersom det inte finns ett motsvarande bostadsområde byggt med konventionell teknik att jämföra med. Vallda Heberg har byggts utifrån ett helhetstänk. Därför är det inte rättvisande att bryta ut och genomföra en ekonomisk analys för enskilda passivhus. Att bygga husen som passivhus ger inte enbart en kostnadsbesparing för minskad energianvändning i husen, det ger även en kostnadsbesparing för hela området då energisystemet kan designas för ett lägre effektbehov, vilket innebär lägre kostnader för panna, primärkulvert, sekundärkulvert osv. Dessa kostnadsbesparingar syns inte i en separat ekonomisk analys för passivhusen.

En grov ekonomisk kalkyl och analys har ändå genomförts för passivhusvillorna för att få en uppfattning om merkostnader och livscykelkostnader att bygga mer energieffektivt än ett standardhus. Utgående från detta diskuteras även merkostnader och livscykelkostnader för övriga bostäder i Vallda Heberg. Observera att denna kalkyl endast inkluderar energieffektiviserande åtgärder på fastigheten och därmed ingen solvärme. En livscykelkostnadskalkyl är väldigt känslig för de värden som stoppas in, varför det är vanskligt att dra stora slutsatser från den grova kalkyl som presenteras här.

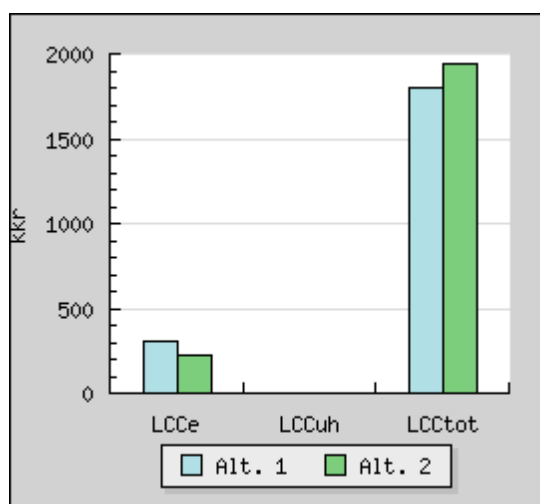
4.1 Beräkningsexempel för villorna

I detta avsnitt ges ett exempel för merkostnaderna och livscykelkostnaderna för villorna i Vallda Heberg. Det finns inga uppgifter om en dylik villa motsvarande dåvarande byggregler (BBR19) eftersom NCC inte har någon produkt med så hög energianvändning. Jämförelsen görs istället utgående ifrån NCC:s produkt KUBEN i standardutförande (75 kWh/m²/år enligt beräknade värden) och i passivhusutförande (52 kWh/m²/år enligt uppmätta värden). De energieffektiviserande åtgärder som inkluderades i denna redovisning är följande: specialfönster ($U = 0.7$ istället för $U = 0.9$), 10 cm extra isolering i väggar, botten och tak, dyrare kantbalkar för köldbryggor samt högt fokus på detaljanslutningar för att möta höga krav på lufttäteten.

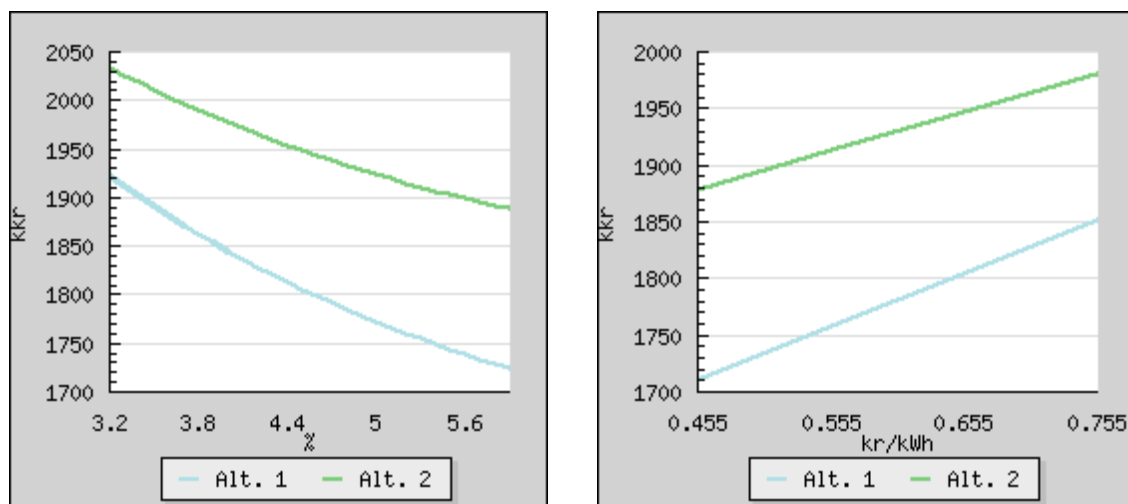
Den ekonomiska beräkningen är genomförd i BELOKs LCC-verktyg. Investeringskostnaden för passivhusvillan är 1724 tkr (exkl. moms), varav 13 % bedöms utgöra merkostnader för energieffektiviserande åtgärder jämfört med standardutförandet. Kalkylperioden har satts till 50 år och den reala kalkylräntan till 4.5 %. Ingen avkastning är inkluderad i beräkningen.

I BELOKs verktyg kan endast ett energipris anges. Därför anges energipriset för fjärrvärme, eftersom det är uppvärmningsbehovet som skiljer de två alternativen åt. Fjärrvärmepriset antas vara 0.65 kr per kWh (exkl. moms) med en realprisökning på 4 %. Varken årlig effektagift eller underhållskostnad är inkluderade i beräkningen.

Kalkylen visar att efter 50 år i drift är livscykelkostnaderna 8 % högre för passivhusutförandet givet antagandena, se Figur 38. En högre kalkylränta än antaget minskar livscykelkostnaderna (nuvärdet), och då framförallt för standardhusalternativet, se Figur 39 (vänstra figuren). Ett högre energipris än antaget ökar i stället livscykelkostnaderna, och mest ökar kostnaderna för standardhusalternativet, se Figur 39 (högra figuren).



Figur 38 Livscykelkostnader för en villa i standardutförande (Alt. 1) och i passivhusutförande (Alt. 2), beräknat med BELOK:s web-verktyg (BELOK, 2015).



Figur 39 Känslighetsanalys för livscykelkostnader med avseende på kalkylränta (vänstra figuren) och energipris (högra figuren) för en villa i standardutförande (Alt. 1) respektive passivhusutförande (Alt. 2), beräknat med BELOK:s web-verktyg (BELOK, 2015).

4.2 Ekonomisk analys och diskussion

Om man enbart ser till den enskilda passivhusvillan och de kostnadsposter som inkluderats i analysen visar resultaten att det krävs högre energipriser för att passivhusutförandet ska bli ett billigare alternativ ur ett livscykelperspektiv. Det har dock inte inkluderats att passivhusen har en lägre årlig effektavgift för fjärrvärmes, tack vare lägre effektoppar. En mer detaljerad utredning krävs för att kunna dra slutsatser kring specifika energieffektiviseringsåtgärder. Observera även att analysen av villorna baseras på en jämförelse mellan en passivhusbyggnad och en "standardbyggnad" där den mest lättvindiga energibesparingen redan gjorts (jämfört med en byggnad som nått och jämnt uppfyller dåvarande krav i Boverkets byggregler).

Merkostnader för motsvarande energieffektiviseringsåtgärder för övriga bostäder i Vallda Heberg antas ligga i samma storleksordning som för passivhusvillorna, dvs. kring 13 %. Merkostnaden för klimatskalet är troligtvis något lägre för äldreboendet och fyrbostadshusen än för radhusen och villorna på grund av en mindre omslutande area relativt bostadsytan. För

äldreboendet bedöms merkostnaderna uppgå till ca 14 % av den totala investeringskostnaden, vilket även inkluderar merkostnaderna för de takmonterade solcellerna (en investeringskostnad på 1 350 tkr och ett investeringsbidrag på 45 %). Solcellerna bidrar samtidigt till att kraftigt sänka elkostnaderna för äldreboendet. Även om inga beräkningar genomförts för övriga bostadstyper kommer resultaten vara liknande – att en högre kalkylränta än antaget minskar livscykelkostnaderna (nuvärdet) mest för standardhusalternativet och att ett högre energipris än antaget istället ökar livscykelkostnaderna mest för standardhusalternativet.

Som nämndes i inledning så är detta endast en analys av enskilda hus som ingår i en helhetslösning i Vallda Heberg. Lägre kostnader för energisystemet har inte tagits hänsyn till. Även om solfångarna inte ingår i livscykelkostnads-kalkylen har merkostnaderna ändå uppskattats. Med en investeringskostnad på 2 480 tkr och ett investeringsbidrag på 25 % ökar solvärmen de fasta kostnaderna för samtliga bostäder i området med 1 %.

5 Framgångsfaktorer och förbättringsområden

I Vallda Heberg är det kommunala bostadsbolaget Eksta Bostads AB byggherre, fastighetsägare, förvaltare och energileverantör. Exploateringen påbörjades 2011 och färdigställande skedde sommaren 2014. Hela projektet handlades upp i partneringsamverkan med NCC Construction och projektörerna Markgren Arkitektur AB, Mats Abrahamsson Arkitekter AB, NCC Teknik, Andersson & Hultmark och BA-Elteknik. Att bygga energieffektivt i så stor skala som i Vallda Heberg är unikt och helhetstänket som genomsyrat hela projektet är ovanligt. Därför är det extra intressant att diskutera – Vad har vi lärt oss? Vad skulle vi gjort annorlunda?

Vilka har varit de största framgångsfaktorerna i processen, organisationen och samarbetet?

- **Samverkan ger bättre resultat.** Erfarenheter från processen visar på att samarbetsformen partnering har varit särskilt gynnsam för projektet där den öppna dialogen bidragit till kontinuerligt kunskaps- och erfarenhetsutbyte vilket skapat förståelse och trygghet hos både beställare och byggherre. Samtliga involverade, byggherre, entreprenör, arkitekter och konsulter, har jobbat tillsammans för projektets bästa, mot gemensamma mål och med total transparens och öppenhet.

Fokus har legat på vad som är viktigt för projektet och på att gemensamt lösa en uppgift. Genom att dra nytta av varandras kompetenser har helhetslösningen blivit bättre. Under projektets gång har ambitionsnivån höjts, från att först ha projekterat enbart villorna som passivhus till att samtliga byggnader i området ska passivhuscertifieras. Ekstas och NCC:s stora engagemang har smittat av sig och satt formen för hela projektet. Uppstartaktiviteter har varit värdefulla för att forma laget.

- **Långsiktig aktör.** Att Eksta både har hand om förvaltningsskedet och är energileverantör innebär att de som beställare kan ta långsiktigt hållbara beslut, vilket har gynnat projektet. Stort fokus har legat på energifrågan från start i projektet vilket ökat medvetenhet hos alla aktörer som varit inblandade.
- **Resursfrågan – röd tråd genom hela processen.** Resursfrågan har löpt som en röd tråd genom hela processen från projekteringsfasen till driftoptimering av färdigbyggda bostäder. Byggprojektet har genomförts enligt NCC:s koncept grön etablering med fjärrvärmeuppvärmda energieffektiva byggbodar med specialisolering och solceller på taket. Ett ekonomiskt incitament infördes för att uppmuntra yrkesarbetarna till att förbruka så lite energi som möjligt under bygget.

Alla material som är inbyggda i byggnaderna finns registrerade i BASTA eller i byggvarudeklarationen och har dokumenterats av arbetsledarna som har fört loggbok på plats. Under byggskedet källsorterades avfallsfraktioner såsom stål, trä m.m. I området finns en återvinningsstation för källsortering för boende. Sorterat matavfall samlas in och används för kommunal biogasproduktion. I området har särskild hänsyn tagits till dagvattenhanteringen. Ytor med sedumtak minskar dagvattenvolymer och ett fördröjningsmagasin samlar upp och leder bort regnvattnet.

El används i så liten uträkning som möjligt. I hela området används LED-belysning. Vindkraftsandelar köptes in till byggproduktionen som senare överläts till villaköparna. Solceller finns installerade på äldreboendet och ska även installeras på verksamhetslokalerna. För transporter inom området under produktion köpte NCC in två elmopeder, som senare övertagits av Eksta. I gemensamhetshuset finns möjlighet att snabbbladda elbilar på 20 min.

Kollektivtrafik finns i områdets absoluta närhet. Ny gång- och cykelväg binder ihop Vallda med både Onsala och Kungsbacka centralort. Närheten till mataffär och idrottscenter gör att bilen inte behövs i samma utsträckning. Förhoppningsvis kommer området även att få en förskola inom tre år vilket skulle minska transporterna avsevärt. Förutom en minskad miljöbelastning, är detta mycket positivt för småhusfamiljerna i området.

- **Att mäta är att veta, och det möjliggör injustering och driftoptimering.** Tack vare detaljerad mätning har det varit möjligt att justera in systemet och åtgärdat fel i driften m.m. En tidig prognos för äldreboendet visade att energianvändningen låg högt över den beräknade. Sen dess har Eksta:s personal haft ett stort engagemang på injustering och optimering, vilket är en trolig anledning till att prognosen efter ett halvår i drift ser ut att landa i nivå med energiberäkningarna. Det är inte förrän man mäter och följer upp som man faktiskt vet hur driften behöver justeras in. Resultaten indikerar vikten av att justera in byggnaderna. Det finns troligen potential att justera in även hyreshusen (radhus 55+ och fyrbostadshusen).
- **Inte bara energi...** Vallda Heberg är så mycket mer än ett energieffektivt område. Eksta Bostads AB upplever att de boende i Vallda Heberg är väldigt nöjda med deras boende i Vallda Heberg. Beställarens fokus på långsiktig fastighetsförvaltning har bidragit till långsiktigt hållbara beslut gällande social och ekonomisk hållbarhet. Då projektet har resulterat i förhållandevis låga hyror är attraktiviteten hög. Området har en stor variation av bostäder och upplåtelseformer, vilket ger en bra social mix.

Att redan från start förse området med fysiska förutsättningar för gemensam aktivitet är viktigt för att skapa samhörighet i området. I området finns sociala mötesplatser, exempelvis lekplats, gemensamhetslokal och restaurang i äldreboendet. Gemensamhetslokalen ligger i en separat byggnad med ytor för olika aktiviteter, övernattningslägenhet och en mindre lokal. Restaurangen välkomna är en välbesökt mötesplats där både äldre och unga i bostadsområdet är. På äldreboendet finns även en mysig innergård och ett litet utomhusgym.

Exploateringen av Vallda Heberg präglas av återhållsamhet och tillvaratagande av områdets naturvärden. Länsstyrelsen i Halland skrev i sitt yttrande över detaljplanen 2009 "Länsstyrelsen ser med tillfredsställelse på de höga ambitioner som planförslaget innebär beträffande ekologi och estetik". Området är en före detta jordbruksfastighet där jordbruket lades ner långt före exploateringen. Gården som tillhört en lokal familj långt tillbaka hade en målsättning att när den såldes så skulle exploitören säkerställa både ett miljövänligt område men också ett område för Valldaborna där gamla inte skulle behöva flytta ifrån området när de lämnar sitt hus. Den ursprungliga gården är bevarad och kommer att rustas upp till att se ut som den gjorde i början av 1900-talet. Bevarandet av åkerholmar och grustäcker ger området ett trivsamt utseende och också en acceptans bland kringboende. Satsning på fjärilsbuskar till varje tomt ger ett extra trivsamt inslag. Tidigare var området en oas för promenader för kringboende och detta har bevarats och kommer även att utvecklas ihop med föreningslivet i Vallda. Bland annat kommer ytterligare promenadvägar att anläggas.

- **Dialog med boende.** Boendes behov har tagits hänsyn till genom att bostadområdet är anpassade för boenden i olika åldrar. Dialog med villaköparna var under projektets gång intensiva och medförde förändringar som resulterade i en bättre utemiljö. Äldreboendets design och utformning togs fram i ett intensivt arbete med

verksamheten och kommunen. Verksamhetslokalernas hyresgäster var med under hela projekteringen och påverkade utformningen. Eksta anordnar återkommande boendeträffar för de boende i området med syftet är att alla ska få komma till tals och få svar på frågor. Boende kan även vända sig till Ekstas driftpersonal med frågor om inomhusklimat och installationer. Eksta kommer inom kort att starta upp och driva en samfällighetsförening i området där representanter från alla hustyper bjuds in att medverka i styrelsen.

Vad skulle kunna förbättras i processen, organisationen och samarbetet till nästa projekt?

- **Ännu mer tid på i tidigt skede.** Ännu mer tid skulle kunna ha lagts i tidigt skede – både på detaljnivå och på helhetsnivå. Samtidigt har man inte alla bitar på plats då, vilket gör att det kan vara svårt att veta vad som är bäst. Mycket tid har lagts på energifrågorna i tidigt skede i Vallda Heberg, vilket starkt har bidragit till hur området ser ut idag. Detta kan jämföras med projekt där man börjar med en arkitekttävling, och energin kommer med långt senare i projektet. Trots att energifrågan fanns med redan i det skede då det bara fanns en åker, tycker vi ändå att skulle vara värdefullt att lägga ännu mer tid på dessa frågor i tidigt skede i kommande projekt, exempelvis på frågan om bästa utformning av VVC, som vi sett spelar en så stor roll för den totala energianvändningen.
- **Involvera installatörerna tidigare.** Ytterligare en förbättringspotential är att involvera installatörerna ännu tidigare i projektet. Fördelen är att det skapar engagemang och en större delaktighet i projektet. Samtidigt skulle det kunna innebära att det blir dyrare när installatörerna jobbar på löpande räkning. De behöver också ta höjd för risken, när risken delas i partneringsamverkan, vilket också gör att det kan bli dyrare. Men, för att våga ta nästa steg och leva upp till ännu tuffare ambitioner måste alla vara med. Det är centralt att välja rätt underentreprenörer och skapa engagemang hos dessa. Det blir lätt personberoende om det blir ett bra samarbete eller inte.
- **Mer riskanalys innan vore bra.** Processen i uppstarten av projektet skulle kunna förbättras genom att göra fler riskanalyser – ”spela-upp”-scenarier av olika potentiella risker i processen innan den drar igång. I stort och smått, vad kan tänkas hända? Vad kan ske inom partneringsamverkan? Om vi får på oss ett vite, vem ska betala det? Vad händer om en viss komponent inte lever upp till förväntad prestanda? I projekt där vissa delar är upphandlade inom partneringsamverkan och andra delar är vanligt upphandlade kan ansvaret kring garantifrågor falla mellan stolarna. Att genomföra ytterligare riskanalyser skulle kunna bidra till att potentiella problem i processen undviks eller minimeras.
- **Ökade informationsinsatser och involverande av boende.** Uppföljningen som presenteras i denna rapport visar tydligt att brukarbeteendet är avgörande för byggnadens prestanda. Därför föreslås ett ännu större fokus på informationsinsatser kring brukarbeteende, exempelvis i samband med Ekstas boendeträffar. En möjlighet att involvera boende ännu starkare skulle kunna vara att anordna energispartävlingar m.m.

6 Slutsatser

Att hitta totallösningar för hela stadsdelar kommer att vara en viktig del i att nå allt tuffare energiprestandakrav. Vallda Heberg-projektet visar att det går att bygga hela stadsdelar energieffektivt och samtidigt tjäna andra hållbarhetsmål.

Tack vare möjligheten att så detaljerat följa upp Vallda Heberg från komponent-, hushålls- och byggnadsnivå till hela områdets energisystem samt av de boendes upplevda komfort kan de goda erfarenheterna och lärdomarna från projektet spridas till fler aktörer i branschen. I det stora hela visar projektet på goda resultat redan efter en relativt kort tid i drift.

Bland framgångsfaktorerna kan nämnas att samverkan, engagemang och tidigt involverande av de partners som verkar i projektet ger ett bättre resultat. Det är viktigt att resursfrågan såväl som andra hållbarhetsfrågor finns med från start och löper som en röd tråd genom hela processen, samt att ha en kontinuerlig dialog med boende, för att resultatet ska bli bra och för att de boende ska vara nöjda.

7 Informationsinsatser

Resultaten från demonstrationsprojektet har spridits genom publikationer, exjobb, studiebesök, presentationer, via LÅGANs marknadsdatabas m.m.

Publikationer från demonstrationsprojektet

Spridning av resultaten har skett genom en konferensartikel som presenterats på Passivhus Norden-konferensen 2013, en artikel som skickats till tidskriften Rehva, en kortare intervju-baserad artikel i tidskriften Energi & Miljö, samt genom två exjobbssrapporter, se publikationslista nedan. I samband med studiebesöket fick Vallda Heberg även publicitet i olika branschtidningar, såsom Byggvärlden.

- Elsa Fahlén och Christer Kilersjö, 2013. "Vallda Heberg – Sveriges första passivhuscertifierade villaområde med egengenerering av förnybar energi". I proceedings: Passivhus Norden 16/10 2013.
- Elsa Fahlén, Henrik Olsson och Niklas Christensson, 2014. "Comfort cooling and solar power – a perfect match?". Publicerad i: REHVA Volume 51. Issue 6: Innovative HVAC system solutions in high performance buildings, November 2014.
- Marie Granmar, 2015. "För att nå nära noll gäller det att finslipa", artikel i tidskriften Energi & Miljö, nr 1-2, januari-februari 2015.
- Håkan Jimmefors och Julia Östberg, 2014. Energy performance and indoor climate investigations in the passive house residential area vallda heberg, Master's thesis, Chalmers University of Technology.
- Henrik Olsson och Axel Rosander, 2014. Evaluation of the Solar-Assisted Block Heating System in a Passive House Residential Area, Master's thesis, Chalmers University of Technology.

Studiebesök och presentationer

Den 8:e maj 2014 hölls ett mycket uppskattat studiebesök för branschfolk, fastighetsägare, m.fl. Totalt kom ca 90 deltagare inkl. arrangörerna. Förutom presentationer anordnades även fyra stationer på olika platser i området. Fokus var på uppföljningen – vad har varit bra, vad har vi lärt oss och vad skulle vi göra annorlunda nästa gång? Under studiebesöket spelades även in en film om Vallda Heberg: <http://www.youtube.com/watch?v=uOa2CpMeNNU>.

En enkätutvärdering genomfördes direkt efter studiebesöket. Totalt svarade 48 av besökarna. På frågan "Hur väl motsvarade studiebesöket dina förväntningar?" svarade 42 % 5, 50 % svarade 4 och resterande 8 % svarade 3, på skalan 1-5 där 1 betyder under förväntan och 5 betyder över förväntan. På frågan "Kommer du att ha nytta av erfarenheterna från Vallda Heberg-projektet i ditt arbete?" svarade 27 % 5, 50 % svarade 4 och resterande 23 % svarade 3, på skalan 1-5 där 1 betyder ingen nytta och 5 betyder stor nytta. På frågan "Är det något särskilt som du tar med dig från uppföljningsdagen i Vallda Heberg?" erhöles många olika svar – allt från samarbetet och projektformen, att alla involverade verkar nöjda, till tekniklösningar och helhetsgreppet och att våga prova något nytt.

Vallda Heberg var även ett utflyktmål under Passivhus Norden-konferensen 15 oktober 2013. LÅGAN och uppföljningen inom demonstrationsprojektet har dessutom presenterats vid ett flertal studiebesök med representanter från andra kommuner och även deltagare från Kina.

Informationsspridning har även skett genom tre referensgruppsmöten med byggföretag och fastighetsägare (3 september 2013, 26 februari 2014 samt 12 november 2014). En presentation hölls även på LÅGAN:s seminarium i Stockholm den 15 oktober 2014.

8 Referenser

Andersson och Hultmark. Skiss över energi- och distributionssystemet i Vallda Heberg.

BELOK, 2015. BELOK LCC generell kalkyl, se <http://www.belok.se/lcc/generell.php> (15-02-24).

Boverket, 2011. BFS 2011:6 - BBR 18 Boverkets byggregler (föreskrifter och allmänna råd).

Elmroth, Arne, 2009. Energihushållning och värmeisolering. Byggvägledning 8. En handbok i anslutning till Boverket byggregler. Utgåva 2. Utgiven av Svensk byggtjänst.

Jimmefors, Håkan och Östberg, Julia, 2014. Energy performance and indoor climate investigations in the passive house residential area Vallda Heberg, Master's thesis, Chalmers University of Technology.

Markgren Arkitektur AB. Skisser.

Mats Abrahamsson Arkitektkontor AB. Skisser.

Olsson, Henrik och Rosander, Axel, 2014. Evaluation of the Solar-Assisted Block Heating System in a Passive House Residential Area, Master's thesis, Chalmers University of Technology.

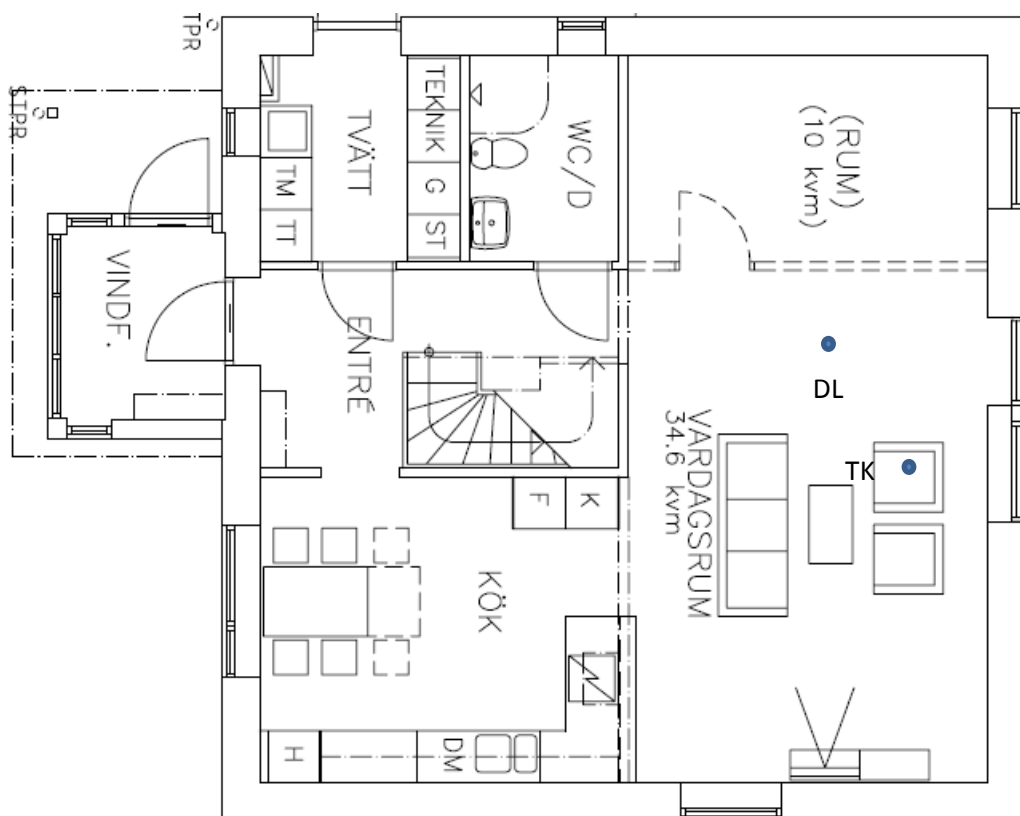
Österbring, Magnus och Heier, Magnus, 2012. Daylight and thermal comfort in residential passive house. Master's thesis, Chalmers University of Technology.

Bilaga 1: Detaljmätningar i tre passivhusvillor

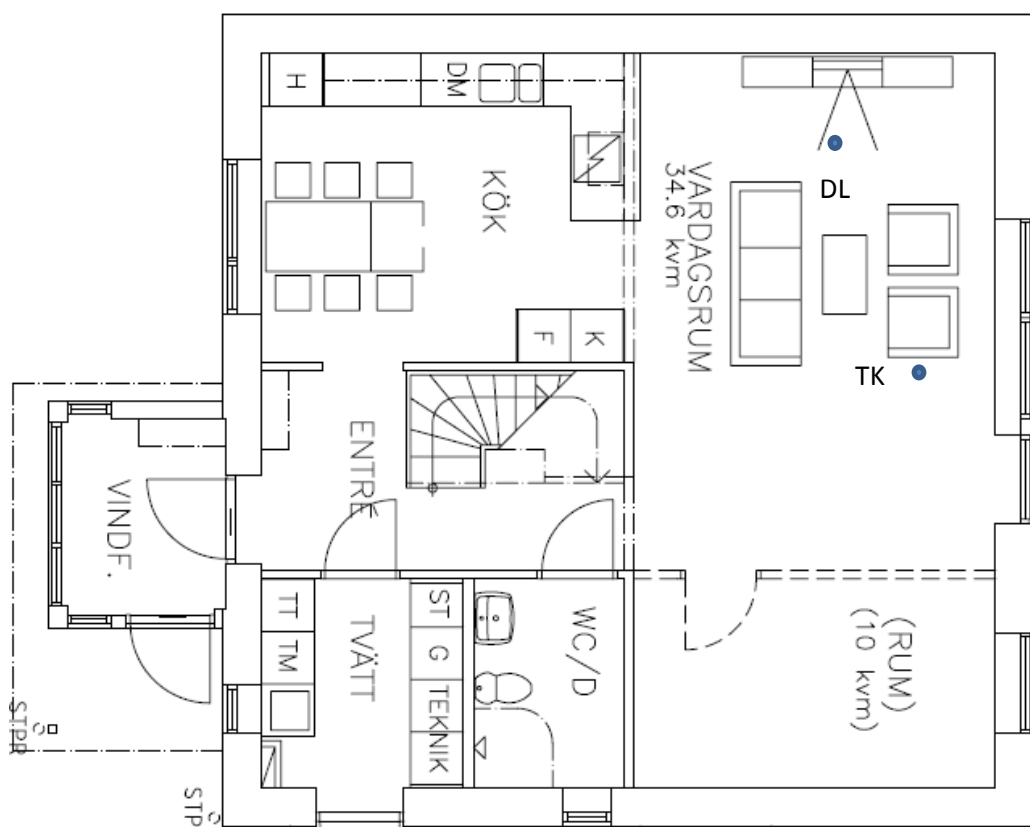
Beskrivning av metod och förutsättningar

Planlösningar och placering av mätpunkter

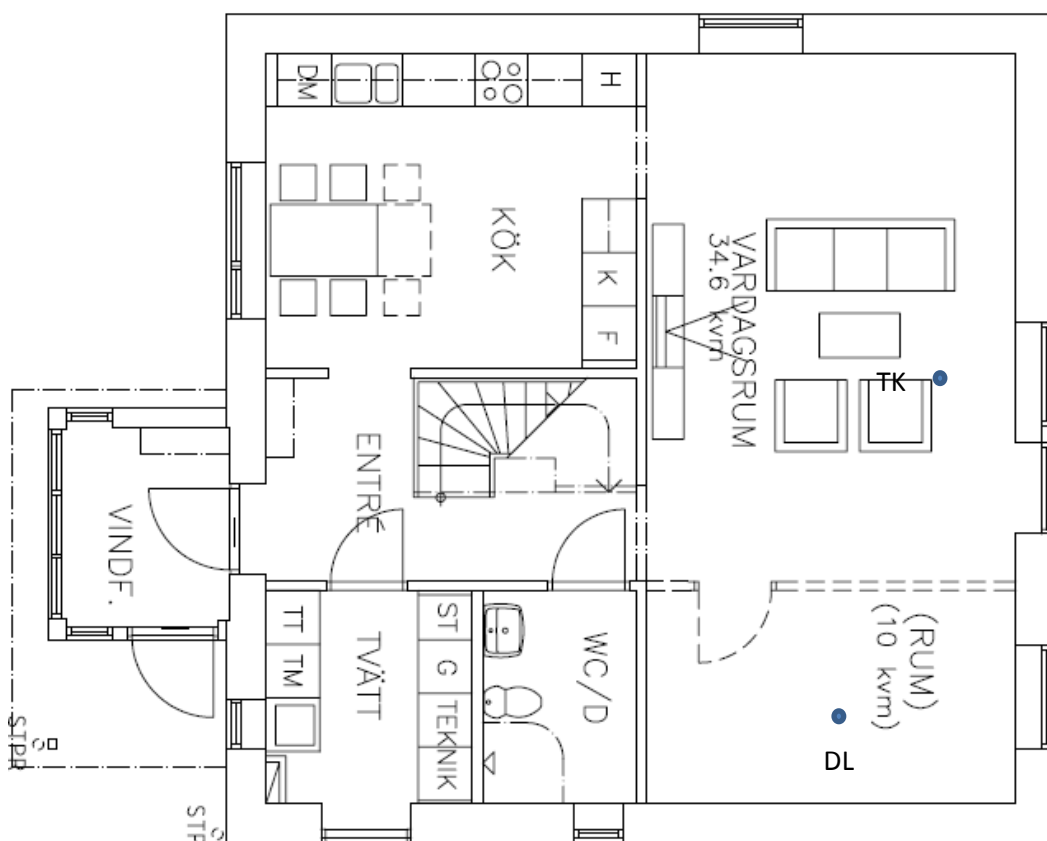
I Figur 1 till Figur 3 redovisas planlösningarna i respektive hus med placeringen av mätpunkter för termiskt klimat (TK) och dagsljus (DL). Placeringen av mätpunkten för termiskt klimat är inom vistelsezonen 1.0 m från fönster. Placeringen av mätpunkten för dagsljus är 1.0 m från mörkaste innervägg på halva rumsdjupet.



Figur 1 Planlösning Nätvingevägen 2 med mätpunkter för termiskt klimat och dagsljus markerade (ej skalenligt). Rum på 10 m² i vardagsrum är byggt. Källa: Mats Abrahamsson Arkitektkontor AB.



Figur 2 Planlösning Guldvingevägen 9 med mätpunkter för termiskt klimat och dagsljus markerade (ej skalenligt). Rum på 10 m² i vardagsrum ej byggt. Källa: Mats Abrahamsson Arkitektkontor AB.



Figur 3 Planlösning Guldvingevägen 16 med mätpunkter för termiskt klimat och dagsljus markerade (ej skalenligt). Rum på 10 m² i vardagsrum ej byggt. Källa: Mats Abrahamsson Arkitektkontor AB.

Beskrivning av mätningar

Lufttäthetsmätning

Lufttätheten är uppmätt enligt standard SS-EN 13829:2000, metod b och har genomförts genom att tryckprovsningsutrustningen placerats i tvättstugedörren på respektive hus. Mätningarna har skett med tryckprovsningsutrustning av typ "Minneapolis Blower Door", modell 4, med tillhörande manometer DG-700 för mätning av differenstryck över fläkt och över fasad. För bestämning av lufttemperatur, luftfuktighet, lufttryck samt detektering av otätheter i klimatskal med lufthastighetsgivare har Testo universalinstrument 435-4 använts. Mätresultat har registrerats via manometer och läckluftfaktor har beräknats med hjälp av programvara Tectite Express 3.6. Följande mätutrustning har använts:

Sr. nr. Manometer DG-700:	11498 107 700 E.E
Sr. nr. Universalinstrument 435-4:	01662083/903
Sr. nr. Givare för lufttemperatur, luftfuktighet och lufttryck:	10203489/911

Temperaturverkningsgrad

Temperaturgivare, termoelement av typ K, har placerats i tillufts-, avlufts-, frånlufts- och uteluftskanal. Givarna har varit kopplade till en logger och temperaturerna har lästs av och sparats var 15 minut under ett helt år. Med hjälp av temperaturerna har temperaturverkningsgraden beräknats. Följande mätinstrument har använts:

Nätvingevägen 2, Testo temperaturlogger 176T4, Sr. nr.: 40704588
Guldvingevägen 9, Testo temperaturlogger 176T4, Sr. nr.: 40704587
Guldvingevägen 16, Testo temperaturlogger 176T4, Sr. nr.: 40704671

Termiskt klimat

Mätning av termiskt klimat har genomförts både sommar och vinter med hjälp av ett multiinstrument som kan ha flera givare kopplade till sig samtidigt och lagra mätvärdena. Lagringsintervallet har varit 10 sekunder och mätutrustningen har som minst fått svänga in sig i minst 25 minuter. Mätningarna har i så stor utsträckning som det varit möjligt följt SS – EN ISO 7726:2001.

I Tabell 1 finns mätinstrument, givare och dess placering i höjddled. Mätningarna har skett inom klimatzonen i vardagsrummet på plan 1 i varje hus 1.0 m från fönstret och på halva försterglasets bredd. Placeringarna visas i Figur 1 till Figur 3 märkta TK.

Tabell 1 Mätinstrument, givare och dess placering i höjddled

	Instrument	Placering i höjddled:
Huvud mätenhet:	Testo Universalinstrument 435-4 Sr. Nr 01662083/903	-
Medelvärde strålningstemperatur	Testo Svart Glob Sr. Nr. 0602 0743/303	1.1 m
Lufthastighet (turbulensmätare)	Testo Turbulensmätare Sr. Nr. 0628 0109 2013/03	1.1 m
Luft temperatur/ Relativ fuktighet	Testo Trådlös Probe Sr. Nr. 34115021/212	1.1 m
Lufttemperatur	Testo trådlös givarenhet Sr. Nr. 34114812/211 Termoelement Typ K	0.1 m
Yttemperatur golv	Testo trådlös givarenhet Sr. Nr: 34114812/211 Termoelement Typ K	Golv

Beräkning av index PMV- (Predicted Mean Vote) och PPD (Predicted Percentage Dissatisfied) har skett enligt standard ISO 7730:2005. Klädselnivån är satt till 1.0 clo ($0.155 \text{ W/m}^2\text{K}$), metabolismen är satt till 1.2 met (70 W/m^2). Andelen mekaniskt arbete är satt till noll.

Dagsljusfaktor

För att beräkna dagsljusfaktorn har illuminansen mätts både inne och ute med hjälp av två luxmätare. Mätningarna har skett i alla tre husen och är ett försök till att kontrollera dagsljusfaktorn beräknad i examensarbete *"Daylight and thermal comfort in residential passive house, Österbring, Heier, Examensarbete Chalmers Tekniska Högskola 2012:74"*. Hus G9 har likadan planlösning som den vid beräkningarna i examensarbetet, varvid detta hus lämpar sig bäst för jämförelser mellan beräkningar och mätningar av dagsljusfaktorn. Det skall dock

poängteras att husen är bebodda och är inredda med tapeter och möbler vilket påverkar resultaten vid mätningarna. Vi beräkning av dagsljusfaktorn antas att himlen är mulen och belysningsstyrkan är 12000 lux. Det här är väldigt svårt att få till vid mätningar och innebär ytterligare en osäkerhet. Det är dock intressant att se om det finns skillnader samt kopplingen till enkätsvaren. Mätpunkterna i respektive hus illustreras i Figur 1 till Figur 3. Mätpunkten är placerad på halva rumsdjupet 1.0 m från vägg och 0.8 m över golvet. Lagringsintervallet har varit 10 sekunder. Följande mätinstrument har använts:

Luxmätare inne, Testo 545, Sr. Nr.:

02585663

Luxmätare ute, Testo 545, Sr. Nr.:

02585646

Detaljerade resultat för lufttätheten

Resultatet från lufttäthetsmätningarna redovisas i Tabell 2. Den första mätningen utfördes 2013-05-24 i samtliga tre hus och den andra mätningen 2014-09-17 på Guldvingevägen 16 och 2014-09-18 på Nätvingevägen 2 och Guldvingevägen 9.

Tabell 2 Sammanställning av lufttätheten i tre villor

	Lufttäthet vid första mättillfället ($q_{50} = \text{l/s, m}^2$)	Lufttäthet vid andra mättillfället ($q_{50} = \text{l/s, m}^2$)	Skillnad
Mätdatum	2013-05-24	2014-09-18	
Nätvingevägen 2	0.08	0.09	+0.01
Guldvingevägen 9	0.06	0.05	-0.01
Guldvingevägen 16	0.08	0.08*	0.00

*Mätning utförd 2014-09-17

Alla tre hus uppvisar initialt en god lufttäthet som ligger klart under det projekterade värdet på 0.25 l/s, m^2 . Det andra mättillfället är genomfört drygt ett år efter det första och lufttätheten har inte förändrats i någon större utsträckning utan de skillnader som kan utläsas ligger inom rimliga gränser. Hur lufttätheten förändras över en längre tid är svårt att förutse och ibland beror förändringen på brukarrelaterade ändringar så som tillbyggnader eller omfattande renoveringar. Några sådana är ej genomförda på så pass nya hus som i Vallda Heberg. Plastfolien är placerad bakom ett 45 mm installationsskikt och därför bör inte heller mer normala uppfästningar i ytterväggarna påverka nämnvärt.

Detaljerat resultat för temperaturverkningsgraden

I varje hus har temperaturen i ute-, till-, från- och avluften mätts och därefter har temperaturverkningsgraden beräknats. Mätningarna har pågått under ett helt år och mätvärden har sparats var 15:e minut. Då mätningarna pågått under ett helt år och lagringsintervallet varit så pass glest så presenteras resultatet i 2 olika diagram för varje byggnad. I ett av diagrammen presenteras samtliga temperaturverkningsgrader för alla mätpunkter vid olika uteluftstemperaturer. Variationerna i temperaturverkningsgrad vid samma uteluftstemperatur beror på värmebehovet i huset vid just den tidpunkten, hur aggregatet har reglerat samt beräkningsfel pga små temperaturskillnader. Därför presenteras temperaturverkningsgraden i ytterligare ett diagram med dygnsmedelvärden under ett helt år. Detta ger en god uppfattning om medeltemperaturverkningsgraden under en längre period. Det går också utläsa när uppvärmningssäsongen är på ett ungefär och dessa värden kan sedan användas för att beräkna en sannolik medelverkningsgrad under uppvärmningssäsongen.

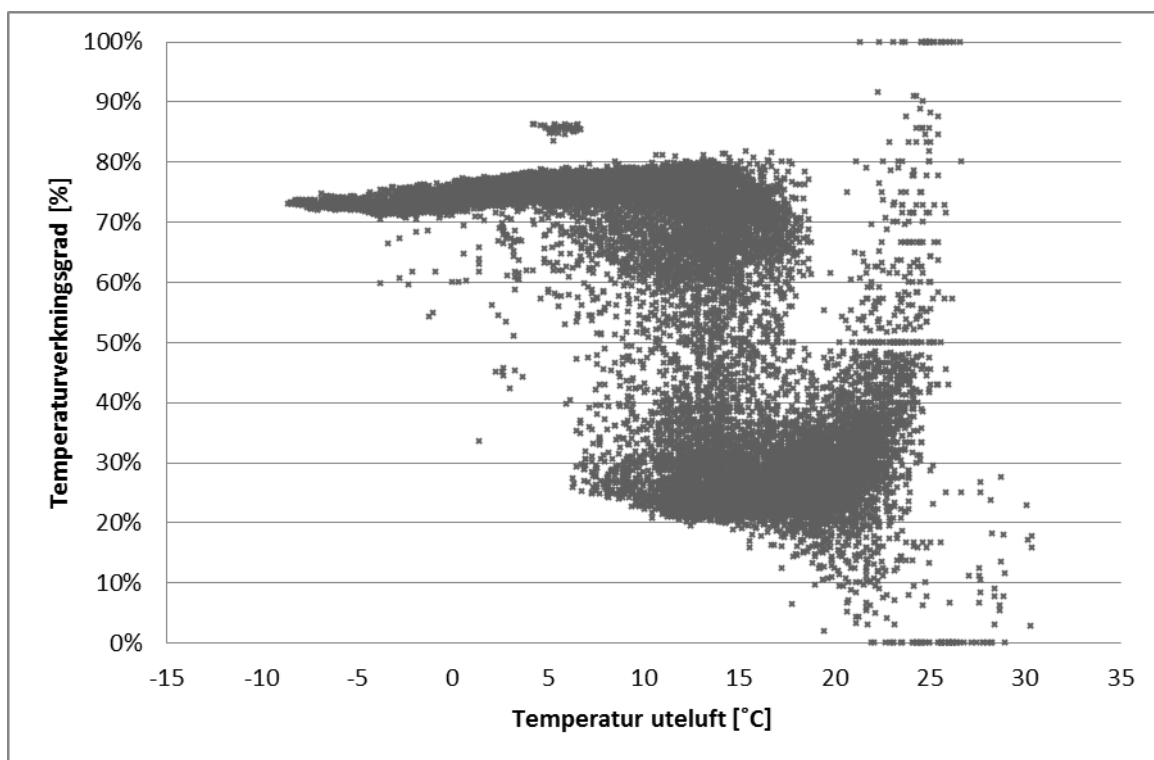
Villorna har under hela perioden varit bebodda med varierande brukarmönster och utomhustemperatur. Ventilationsaggregaten i villorna styrs via en temperaturgivare placerad i hallen under trappan. Den ger ett ärvärde till ventilationsaggregatet. I tvättstugan sitter en styrpanel där boende (bland annat) kan ställa in önskad lufttemperatur (börvärde). Det innebär att aggregatet försöker reglera så att önskat börvärde uppnås på rumsgivaren under trappan. Ligger ärvärdet under inställt börvärde så startar glykolpumpen i värmekretsen för att hjälpa till med tillskottsvärme. Samtidigt som pumpen startar öppnar också styrventilen på glykolsidan. Ligger ärvärdet nära börvärde öppnar ventilen lite försiktigt och ligger ärvärdet långt från börvärdet så öppnar ventilen till slut helt så att allt glykolvatten går genom värmebatteriet. Ventilens syfte är att det inte skall bli on/off effekt utan få en mjukare reglering. Överskrider inställt börvärde stängs först glykolkitset av och sedan börjar även den roterande värmeväxlaren reglera ner till att tillslut stå helt still. Då begränsar en minbegränsning på hur kall luft som får blåsas in i husen. Det skall därför beaktas att när man analyserar värdena på temperaturverkningsgraden för respektive hus att dessa i olika utsträckning kan vara påverkade av olika omständigheter. Ytterligare omständigheter som påverkar temperaturverkningsgraden är hur smutsiga luftfiltren är och när dessa byts. Även givarnas placering och när avläsning och lagring av data skett påverkar resultatet och grov bedömning är att temperaturverkningsgraden utifrån beräknade värden kan variera +/- 5 procentenheter.

Temperaturverkningsgrad Nätvingevägen 2

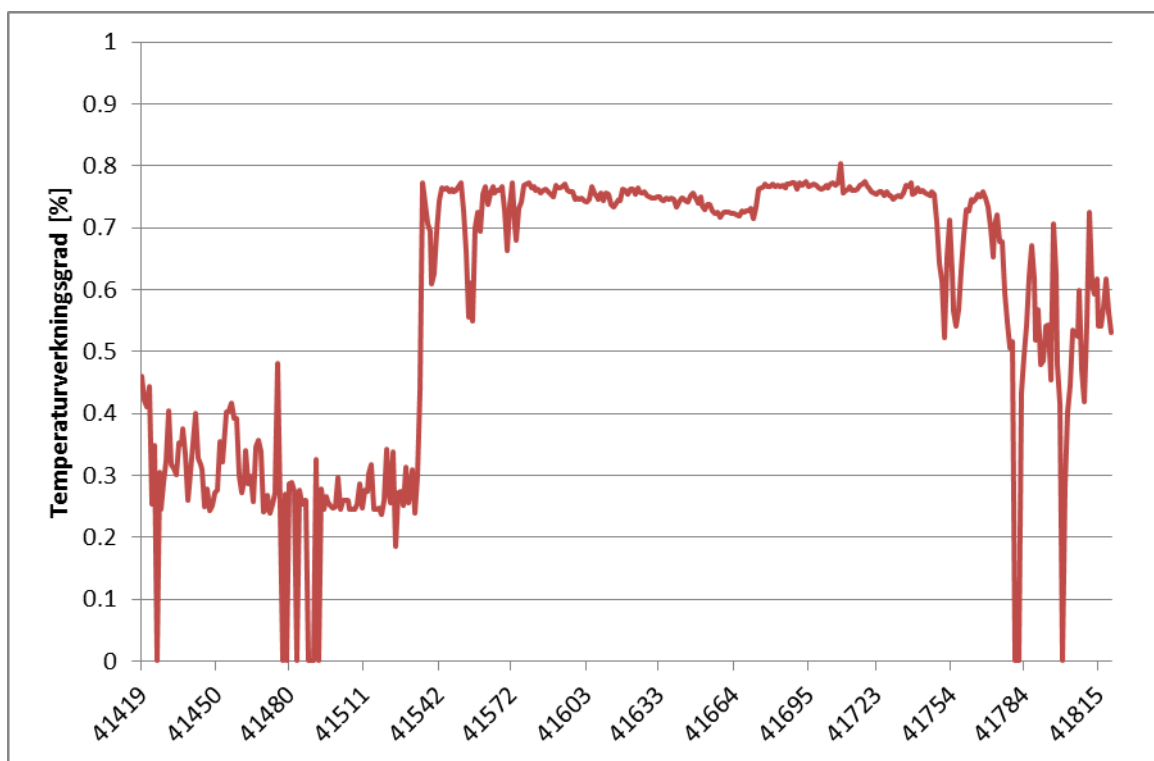
Mätningarna har pågått mellan 2013-05-24 till 2014-07-01 på Nätvingevägen 2. I Figur 4 är samtliga beräknade temperaturverkningsgrader redovisade. Temperaturverkningsgraden sjunker något vid lägre utelufttemperaturer och varierar mellan ca 73 % till 80 %. Ser man till dygnsmedelverkningsgraden under uppvärmningssäsongen i Figur 5 så ligger den relativt konstant med ett medel på 75 % under perioden 2013-12-01 till 2014-02-28. I Tabell 3 kan min-, max- och medelvärden utläsas för från-, till-, av- och uteluft utläsas för perioden 2013-12-01 till 2014-02-28. Utifrån dessa värden har årmedelverkningsgraden beräknats. Det som kan utläsas i värdena är att det finns perioder med utelufttemperaturer uppåt 9.8°C vilket innebär att aggregatet i några fall begränsats. Därför är den beräknade dygnsmedeltemperaturverkningsgraden på 75 %.

Tabell 3 Medel- min- och maxvärden vid beräkning av årmedelverkningsgrad, Nätvingevägen 2

	Frånluft [°C]	Tilluft [°C]	Avluft [°C]	Uteluft [°C]	Temperaturverkningsgrad [%]
Medel	22.3	17.4	7.4	3.1	75
Min	21.1	8.5	-2.0	-8.6	33
Max	24.1	19.6	17.3	9.8	80
	Mätperiod 2013-12-01 till 2014-02-28				



Figur 4. Temperaturverkningsgraden i samtliga mätpunkter (loggade var 15:e minut under ett år) vid olika utomhustemperaturer på Nätvingevägen 2.



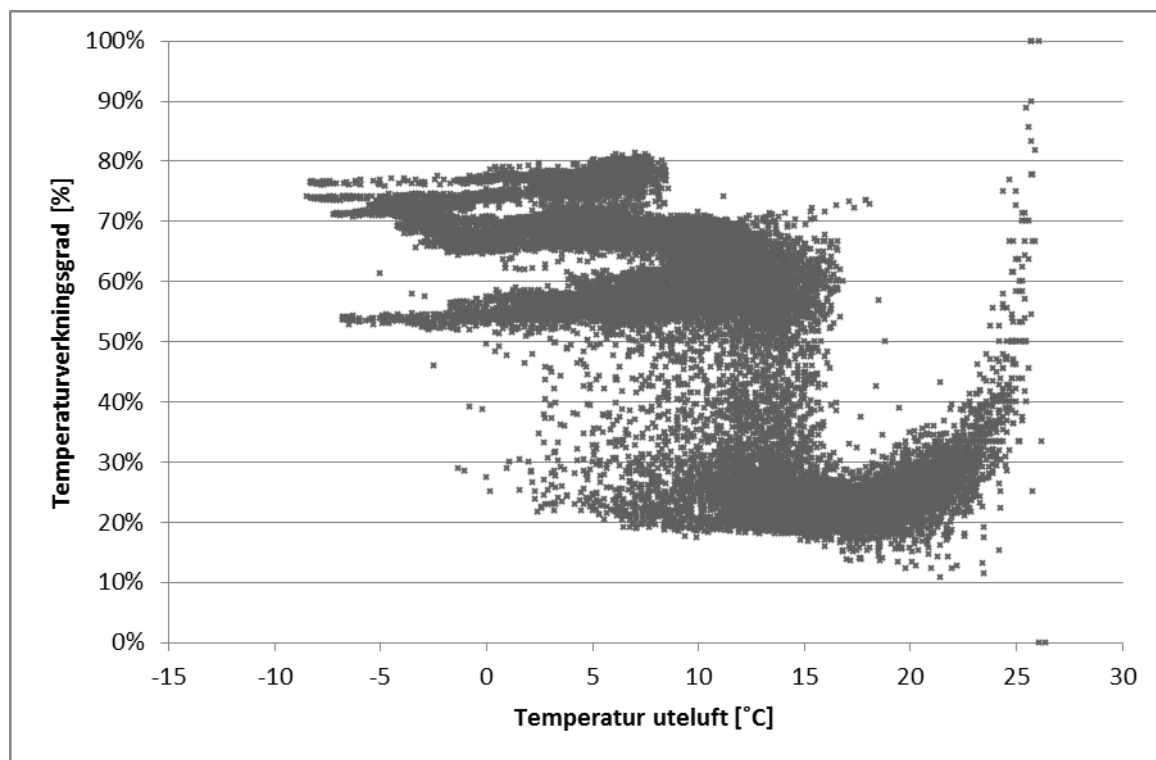
Figur 5. Dagnsmedelvärden för temperaturverkningsgraden under ett år på Nätvingevägen 2.

Temperaturverkningsgrad Guldvingevägen 9

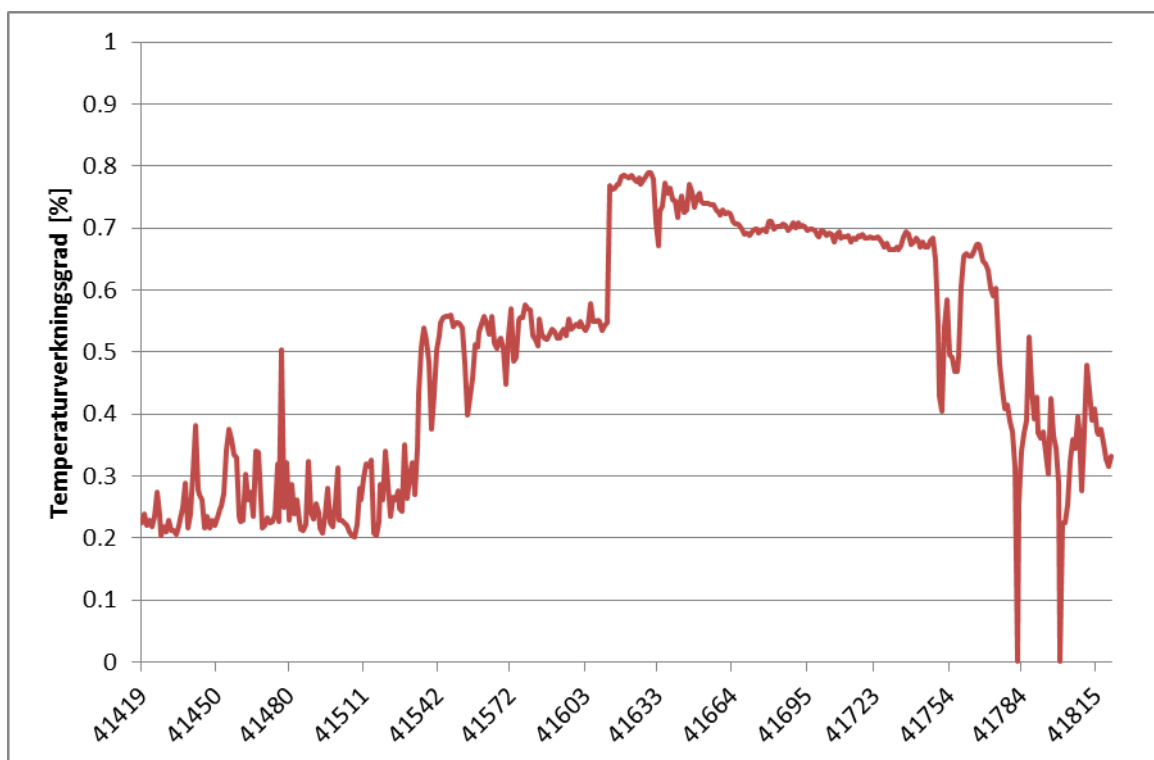
Mätningarna har pågått mellan 2013-05-24 till 2014-07-01 på Guldvingevägen 9. I Figur 6 är samtliga beräknade temperaturverkningsgrader redovisade. Temperaturverkningsgraden sjunker något vid lägre utelufttemperaturer och varierar ganska kraftigt. Orsaken är att aggregatet hade igensatta filter som byttes av husägaren 2013-12-04. I Figur 7 kan man se att temperaturverkningsgraden förändras kraftigt. Därför blir mätvärdena i Figur 6 väldigt utspridda med en stor variation. Ser man till dygnsmedelverkningsgraden under uppvärmningssäsongen i Figur 7 så ligger den ganska högt direkt efter filterbytet på uppåt 80 % för att sedan gå ner något. Varför detta sker kan inte förklaras. I slutet av januari 2014 lagades cirkulationspumpen till glykolkretsen. Det här bedöms dock inte vara orsaken. Ett alternativ kan vara att filtrena på en dryg månad satts igen av någon orsak som påverkat temperaturverkningsgraden. I Tabell 4 kan min-, max- och medelvärden utläsas för från-, till-, av- och uteluft utläsas för perioden 2013-12-06 till 2014-02-28 vilket är efter att filtrena bytts i aggregatet. Det som kan utläsas i värdena är att det finns perioder med uteluftstemperaturer uppåt 9.2 °C vilket innebär att aggregatet i några fall begränsats. Därför är den beräknade dygnsmedeltemperatur-verkningsgraden på 73 %.

Tabell 4 Medel- min- och maxvärden vid beräkning av årsmedelverkningsgrad, Guldvingevägen 9

	Frånluft [°C]	Tilluft [°C]	Avluft [°C]	Uteluft [°C]	Temperaturverkningsgrad [%]
Medel	22,3	17,0	7,6	2,9	73
Min	20,1	8,0	-1,3	-8,5	27
Max	25,0	20,7	20,0	9,2	81
Mätperiod 2013-12-06 till 2014-02-28					



Figur 6 Temperaturverkningsgraden i samtliga mätpunkter (loggade var 15:e minut under ett år) vid olika utomhustemperaturer på Guldvingevägen 9.



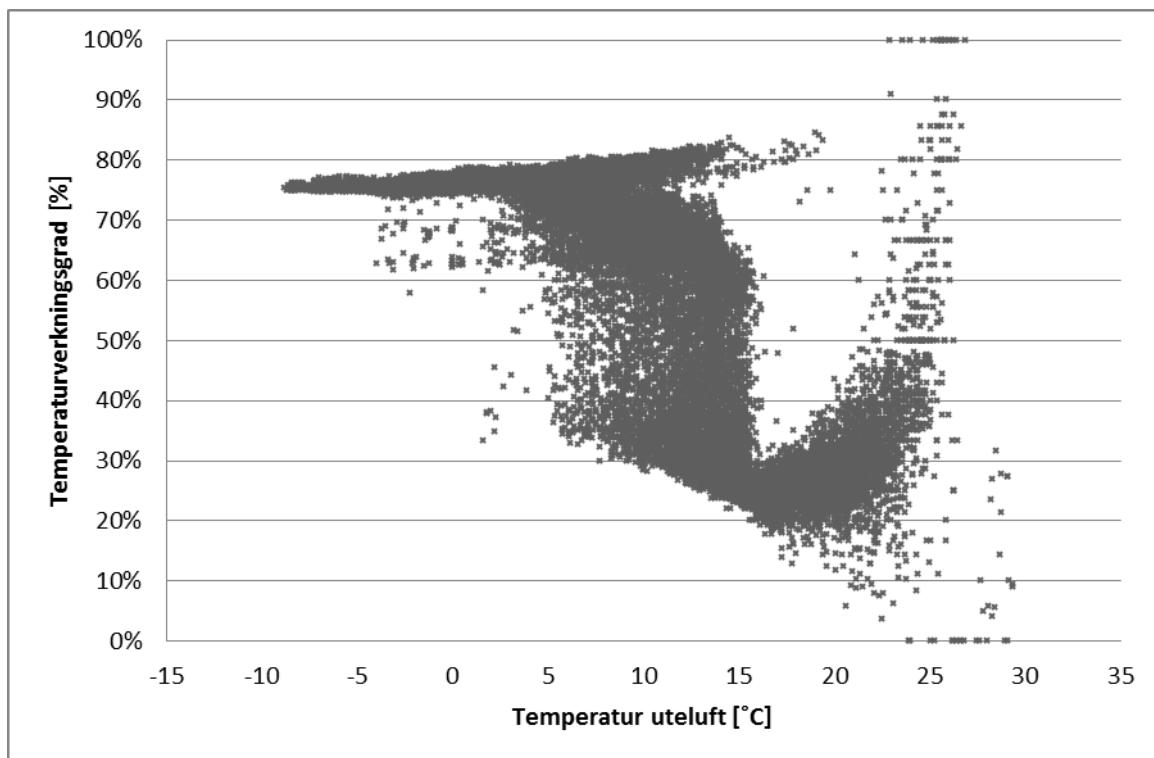
Figur 7 Dygnsmedelvärden för temperaturverkningsgraden under ett år på Guldvingevägen 9.

Temperaturverkningsgrad Guldvingevägen 16

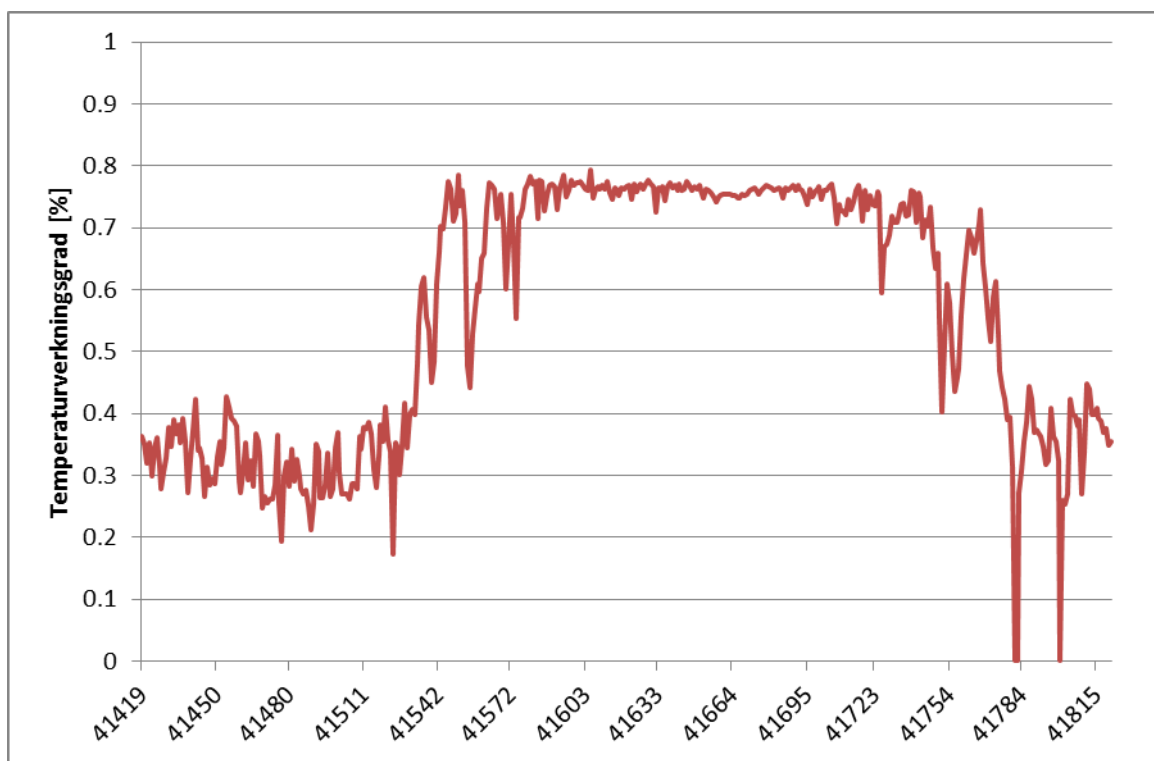
Mätningarna har pågått mellan 2013-05-24 till 2014-07-01 på Guldvingevägen 16. I Figur 8 är samtliga beräknade temperaturverkningsgrader redovisade. Temperaturverkningsgraden sjunker något vid lägre utelufttemperaturer och varierar mellan ca 75 % till 84 %. Ser man till dygnsmedelverkningsgraden under uppvärmningssäsongen i Figur 9 så ligger den relativt konstant med ett medel på 76 % under perioden 2013-12-01 till 2014-02-28. I Tabell 5 kan min-, max- och medelvärden utläsas för från-, till-, av- och uteluft utläsas för perioden 2013-12-01 till 2014-02-28. Utifrån dessa värden har årmedelverkningsgraden beräknats. Det som kan utläsas i värdena är att det finns perioder med uteluftstemperaturer uppåt 9,7 °C vilket innebär att aggregatet i några fall begränsats. Därför är den beräknade dygnsmedeltemperaturverkningsgraden på 76 %.

Tabell 5 Medel- min- och maxvärden vid beräkning av årmedelverkningsgrad, Guldvingevägen 16

	Frånluft [°C]	Tilluft [°C]	Avluft [°C]	Uteluft [°C]	Temperaturverkningsgrad [%]
Medel	22,7	17,9	7,8	2,9	76
Min	21,1	8,2	-1,1	-8,8	33
Max	24,6	20,5	20,7	9,7	80
Mätperiod 2013-12-01 till 2014-02-28					



Figur 8 Temperaturverkningsgraden i samtliga mätpunkter (loggade var 15:e minut under ett år) vid olika utomhustemperaturer på Guldvingevägen 16.



Figur 9 Dygnsmedelvärden för temperaturverkningsgraden under ett år på Guldvingevägen 16.

Sammanfattning av mätresultaten över temperaturverkningsgraden

Mätningarna av temperaturer i ventilationsaggregaten har pågått utan avbrott i drygt ett år. Upplösningen på mätningarna har inte varit så bra att man kan gå ner på detaljer utan de ger en övergripande bild. Ser man till årmedelverkningsgraderna för aggregaten så varierar dessa mellan 73 % och 76 %. Det skall dock tilläggas att det finns osäkerheter som påverkar de beräknade årmedelverkningsgraderna. Vid en energiprestandaberäkning så används oftast ett medel för aggregatet och överskattas denna har det relativt stor påverkan för den uppskattade energiprestandan vid beräkningen. Det kan också konstateras att rena filter är viktigt. Inte bara för själva temperaturverkningsgraden i sig men också effektiviteten på fläktar. Det här är dock inte unikt för FTX-aggregat eller den typen av aggregat som används i Vallda. Sammanfattningsvis kan man säga att aggregaten fungerar som förväntat men att de uppmätta årmedelverkningsgraderna ligger något under 80 % som är den som använts vid energiprestandaberäkningarna för husen. Tar man hänsyn till osäkerheter vid mätningarna kan dock verkningsgraderna mycket väl ligga inom det teoretiska antagandet.

Termiskt klimat

Mätningarna av termiskt klimat har utförts för ett vinterfall och ett sommarfall. Vid beräkning av PMV- och PPD-index används medelvärde för en stabil period om 30 minuter.

Termiskt klimat Nätvingevägen 2

Mätningen på vintern utfördes en molnig förmiddag 2014-02-24. En boende var hemma under hela mätningen och befann sig i sovrummet på nedervåningen. Efter att mätutrustningen svängt in sig låg mätvärdena stabilt i över en halvtimme för att sedan stiga, både temperaturer och relativ luftfuktighet. Vid en kontroll efteråt konstaterades att en altandörr på övervåningen blåst upp öppen. För att utvärdera hur den ökade inomhustemperaturen påverkat har en mätpunkt i slutet av förmiddagen tagits ut (vinter 2 i Tabell 6). Mätningen på sommaren utfördes en förmiddag med växlande molnighet 2014-07-01. Inga boende var hemma under mätningen.

Tabell 6 Termiskt klimat på Nätvingevägen 2

Årstid	Vinter 1	Vinter 2	Sommar
Datum	2014-02-25	2014-02-24	2014-07-01
Tidpunkt	08:45-09:15	12:35	10:20-10:50
Svart glob [°C]	20.1	21.7	23.4
Lufttemperatur, 1.1 m [°C]	20.4	22.0	23.6
Lufttemperatur, 0.1 m [°C]	19.1	20.6	22.5
Golvtemperatur [°C]	19.4*	20.2	22.3
Relativ luftfuktighet [%]	39	38	49
Lufthastighet [m/s]	0.04	0.05	0.04
Utomhustemperatur [°C]	5.1	6.6	17.1
PMV	-0.165	0.019	0.249
PPD	5.6 %	5.0 %	6.3 %

* Den högre golvtemperaturen beror på att givaren tappat kontakten med golvet.

Resultaten vid mätningarna av termiskt klimat för vinter och sommar visar på ett bra termiskt klimat. Vid beräkning av PPD-indexen ligger dessa i vinterfallet på 5.6 % och 5.0 % vid mätningens slut. Motsvarande i sommarfallet är 6.3 %. Det högre PPD-indexet på sommaren beror på de högre strålnings- och lufttemperaturerna.

Termiskt klimat Guldvingevägen 9

Mätningen på vintern utfördes en solig förmiddag med lätta moln 2014-02-25. En boende var hemma under delar av mätningen men värdena presenterade i Tabell 7 är registrerade när ingen boende är närvarande.

Mätningen på sommaren utfördes en förmiddag med växlande molnighet 2014-07-02. En boende var hemma under hela mätningen och var på övervakningen.

Tabell 7 Termiskt klimat på Guldvingevägen 9

Årstid	Vinter	Sommar
Datum	2014-02-25	2014-07-02
Tidpunkt	09:20-09:50	09:30-10:00
Svart glob [°C]	20.9	24.1
Lufttemperatur, 1.1 m [°C]	21.1	24.3
Lufttemperatur, 0.1 m [°C]	20.5	23.6
Golvtemperatur [°C]	20.3	23.1
Relativ luftfuktighet [%]	33	48
Lufthastighet [m/s]	0.04	0.05
Utomhustemperatur [°C]	4.0	17.6
PMV	-0.096	0.329
PPD	5.2 %	7.3 %

Resultaten vid mätningarna av termiskt klimat för på vinter och sommar visar på ett bra termiskt klimat. Vid beräkning av PPD-indexen ligger dessa i vinterfallet på 5.2 % och i sommarfallet på 7.3 %. Det högre PPD-indexet på sommaren beror på de högre strålnings- och lufttemperaturerna.

Termiskt klimat Guldvingevägen 16

Mätningen på vintern utfördes en molnig förmiddag 2014-03-18. De boende var hemma under delar av mätningen men lämnade byggnaden under 95 minuter. Redovisade värden är när de boende hade lämnat byggnaden. Resultaten presenteras i Tabell 8.

Mätningen på sommaren utfördes en molnig eftermiddag med spridda skurar 2014-07-03. De boende var hemma under hela mätningen.

Tabell 8 Termiskt klimat på Guldvingevägen 16

Årstad	Vinter	Sommar
Datum	2014-03-18	2014-07-03
Tidpunkt	09:10-09:40	13:50-14:20
Svart glob [°C]	20.9	24.2
Lufttemperatur, 1.1 m [°C]	21.0	24.5
Lufttemperatur, 0.1 m [°C]	20.6	23.7
Golvtemperatur [°C]	20.9*	23.5
Relativ luftfuktighet [%]	38	54
Lufthastighet [m/s]	0.04	0.04
Utomhustemperatur [°C]	6.6	16.9
PMV	-0.088	0.37
PPD	5.2 %	7.8 %

* Den högre golvtemperaturen beror på att givaren tappat kontakten med golvet.

Resultaten vid mätningarna av termiskt klimat för på vinter och sommar visar på ett bra termiskt klimat. Vid beräkning av PPD-indexen ligger dessa i vinterfallet på 5.2 % och i sommarfallet på 7.8 %. Det högre PPD-indexet på sommaren beror på de högre strålnings- och lufttemperaturerna.

Dagljusfaktor

Mätningarna av illuminans har utförts vid tre olika mättillfällen, ett för respektive hus. Förutsättningarna vid mätningarna har varit lite olika. Vid en jämförelse av beräknad dagsljusfaktor och uppmätt är det Guldvingevägen 9 som stämmer bäst överens med planlösningen i examensarbete, *"Daylight an thermal comfort in residential passive house, Österbring, Heier, Examensarbete Chalmers Tekniska Högskola 2012:74"*. I examensarbetet beräknades dagsljusfaktorn i motsvarande mätpunkt till 0,9 %. Eftersom illuminansen förändras har en mätperiod för varje hus valt där illuminansen tillåts variera inom vissa gränser. Dagsljusfaktorn har beräknats för varje mätpunkt. I Tabell 9 till 11 redovisas varje mätperiod med sitt min-, max- och medelvärde. Den presenterade dagsljusfaktorn är medelvärdet i mätperioden.

Dagsljusfaktor Nätvingevägen 2

Mätningen utfördes en molnig förmiddag 2014-02-24. Dagsljusfaktorn har beräknats som ett medelvärde av samtliga matpunkter mellan klockan 09:11 till 09:35. I Tabell 9 kan utläsas att Illuminansen utomhus varierade mellan 8502 och 13079 lux medan dagsljusfaktorn varierade mellan 0.52 % till 0.69 %. Medelvärdet på dagsljusfaktorn var 0.58 %. Det finns inga teoretiska beräkningar att jämföra den uppmätta dagsljusfaktorn med.

Tabell 9 Illuminans och dagsljusfaktor på Nätvingevägen 2

	Illuminans inomhus	Illuminans utomhus	Dagsljusfaktor
	Lux	Lux	%
Medel	64	10890	0,58
Min	45	8502	0,52
Max	90	13079	0,69

Dagsljusfaktor Guldvingevägen 9

Mätningen utfördes en solig förmiddag med lätta moln 2014-02-25. Därmed har inte förutsättningarna vid mätningen varit optimala. Dagsljusfaktorn har dock beräknats som ett medelvärde av samtliga matpunkter mellan klockan 09:01 till 09:50. I Tabell 10 kan utläsas att Illuminansen utomhus varierade mellan 8000 och 13020 lux medan dagsljusfaktorn varierade mellan 0.71 % till 0.81 %. Medelvärdet på dagsljusfaktorn var 0.77 %. Detta värde ska jämföras med det teoretiskt beräknade på 0.90 %. I sammanfattningen nedan redogörs för troliga orsaker till varför det skiljer.

Tabell 10 Illuminans och dagsljusfaktor på Guldvingevägen 9

	Illuminans inomhus	Illuminans utomhus	Dagsljusfaktor
	Lux	Lux	%
Medel	74	9605	0,77
Min	64	8000	0,71
Max	93	13020	0,81

Dagsljusfaktor Guldvingevägen 16

Mätningen på vintern utfördes en molnig förmiddag 2014-03-18. Dagsljusfaktorn har beräknats som ett medelvärde av samtliga matpunkter mellan klockan 09:51 till 10:43. I Tabell 11 kan utläsas att Illuminansen utomhus varierade mellan 4056 och 11544 lux medan dagsljusfaktorn varierade mellan 0.91 % till 1.21 %. Medelvärdet på dagsljusfaktorn var 1.04 %. Det finns inga teoretiska beräkningar att jämföra den uppmätta dagsljusfaktorn med.

Tabell 11 Illuminans och dagsljusfaktor på Guldvingevägen 16

	Illuminans inomhus	Illuminans utomhus	Dagsljusfaktor
	Lux	Lux	%
Medel	74	6948	1,04
Min	43	4056	0,95
Max	137	11544	1,21

Sammanfattning av dagsljusmätningarna

Mätning av dagsljusfaktorn är svårt och det finns många osäkerheter om man ska jämföra med teoretiska beräkningar. Dels är husen inredda, dels har de en annan färgsättning, dels finns det skuggning av omgivande vegetation och dels ska man ha en jämngrå himmel med 12000 lux. Det kan tyckas omöjligt att få till allt men även om inte allt stämmer exakt är mätningarna och resultaten ändå intressanta.

Vid utvärderingen har ett vidare intervall använts och dagsljusfaktorn har beräknats för varje mätpunkt. Det man kan utläsa är att dagsljusfaktorn är relativt konstant. På Guldvingevägen 9 är den 0.77 % och det ska jämföras med 0.90 % vid beräkningarna. Den uppmätta dagsljusfaktorn är lägre men i verkligheten finns det ett litet skogsparti nordost om vardagsrummet. Detta skuggar men det går inte att säga hur mycket. Vardagsrummet har också varit möblerat vilket även det påverkar. Färgsättningen på väggarna har varit ljus vilket stämmer med förutsättningarna vid beräkningen. Ser man till de andra husen så är dagsljusfaktorn på Nätvingevägen 2 den lägsta, 0.58 % men här finns det en bit bort från vardagsrummet ett skogsparti som skuggar, även här har det varit möblerat och färgsättningen på väggarna något mörkare än i de andra två husen. Den högsta dagsljusfaktorn mättes på Guldvingevägen 16, 1.04 %. Detta trots att inga mätvärden kom över 12000 lux. Två faktorer inverkar dock positivt, den första är att det finns ett fönster som sitter närmre mätpunkten än på Guldvingevägen 9 och den andra är att det inte finns någon skog på utsidan som kan skugga. Den sistnämnda förutsättningen är också en förutsättning vid beräkningarna.

Sammanfattningsvis kan man säga att det finns en relativt god överensstämmelse mellan mätningar och beräkningar. Det är viktigt att beakta att det kommer in tillräckligt med dagsljus för att skapa en god boendemiljö. Resultaten av mätningarna ska också utvärderas i kombination med enkätsvaren.

Bilaga 2: Sammanställning av svar på vinterenkäten från boende i villorna, radhusen och fyrbostadshusen

1. Hur nöjd var du med inomhustemperaturen i din bostad?

	Alla hushåll [%]	Villor [%]	Radhus 55+ [%]	Fyrbostadshus [%]
Mycket nöjd	41	47	40	33
Ganska nöjd	41	53	35	33
Varken eller	7	0	10	11
Ganska missnöjd	9	0	10	22
Mycket missnöjd	2	0	5	0
Vet ej	0	0	0	0

2. Tyckte du att det var för kallt eller för varmt i något rum i bostaden under vinterhalvåret?

Alla hushåll	Kök [%]	Vardagsrum [%]	Badrum [%]	Sovrum [%]
Mycket för kallt	0	0	7	2
För kallt	11	11	33	4
Lagom	85	80	61	65
För varmt	2	7	0	20
Mycket för varmt	0	0	0	9

Villor	Kök [%]	Vardagsrum [%]	Badrum [%]	Sovrum [%]
Mycket för kallt	0	0	18	0
För kallt	18	12	53	0
Lagom	82	88	29	71
För varmt	0	0	0	24
Mycket för varmt	0	0	0	6

<i>Radhus 55+</i>	Kök [%]	Vardagsrum [%]	Badrum [%]	Sovrum [%]
Mycket för kallt	0	0	0	5
För kallt	5	10	20	0
Lagom	90	85	80	65
För varmt	5	5	0	20
Mycket för varmt	0	0	0	10

<i>Fyrbostadshus</i>	Kök [%]	Vardagsrum [%]	Badrum [%]	Sovrum [%]
Mycket för kallt	0	0	0	0
För kallt	11	11	22	22
Lagom	78	56	78	56
För varmt	0	22	0	11
Mycket för varmt	0	0	0	11

3. Besvärades du av att temperaturen varierade i bostaden beroende på temperaturförändringar utomhus?

	Alla hushåll [%]	Villor [%]	Radhus 55+ [%]	Fyrbostadshus [%]
Ja, ofta	9	0	15	11
Ja, ibland	28	29	30	22
Nej, sällan eller aldrig	63	71	55	67

4. Hur upplevde du luftfuktigheten i din bostad?

	Alla hushåll [%]	Villor [%]	Radhus 55+ [%]	Fyrbostadshus [%]
Torr luft	39	24	60	22
Lagom fuktighet	43	65	25	44
Fuktig luft	2	0	0	11
Vet ej	15	12	15	22

5. Hur bra tyckte du att ventilationen fungerade i din bostad?

	Alla hushåll [%]	Villor [%]	Radhus 55+ [%]	Fyrbostadshus [%]
Mycket nöjd	39	47	35	33
Ganska nöjd	46	53	40	44
Varken eller	7	0	10	11
Ganska missnöjd	4	0	10	0
Mycket missnöjd	2	0	0	11
Vet ej	2	0	5	0

6. Upplevde du att din bostad hade....?

<i>Kalla golv</i>	Alla hushåll [%]	Villor [%]	Radhus 55+ [%]	Fyrbostadshus [%]
Ja	43	41	50	33
Nej	52	53	45	67
Vet ej	4	6	5	0

<i>Kalla väggar</i>	Alla hushåll [%]	Villor [%]	Radhus 55+ [%]	Fyrbostadshus [%]
Ja	11	6	5	33
Nej	67	71	70	56
Vet ej	20	24	25	0

7. Besvärades du av drag i din bostad? Ange i så fall i vilket rum

	Besvärades ej [%]	drag vid golv [%]	drag vid fönster [%]	drag vid dörr [%]	Vilka rum [%]
Alla hushåll	63	7	7	11	0
Villor	88	6	6	0	0
Radhus 55+	65	5	10	20	0
Fyrbostadshus	11	11	0	11	0

8. När du vädrade, vädrade du då oftast genom att...?

	Alla hushåll [%]	Villor [%]	Radhus 55+ [%]	Fyrbostadshus [%]
Öppet hela dagen	0	0	0	0
Öppet hela natten	11	6	20	0
Öppet några timmar	4	6	0	11
En kortare stund	57	47	60	67
Korsdrag några minuter	20	29	10	22
Vädrar aldrig	9	12	10	0

9. Använde du frånvarostyrningen för elektriciteten när du var borta från huset i...?

	Några timmar [%]		Några dagar [%]		Några veckor [%]		Använder aldrig [%]	
	Ja	Nej	Ja	nej	Ja	nej	ja	nej
Alla hushåll	22	35	26	35	17	35	72	13
Villor	18	41	18	41	12	41	82	0
Radhus 55+	15	30	15	35	5	35	75	0
Fyrbostadshus	44	33	67	22	56	22	44	67

10. Hur tycker du att dagsljuset var i din bostad?

	Alla hushåll [%]	Villor [%]	Radhus 55+ [%]	Fyrbostadshus [%]
Mycket bra	39	53	20	56
Bra	41	41	45	33
Acceptabelt	15	6	30	0
Dåligt	4	0	5	11
Mycket dåligt	0	0	0	0

11. Tyckte du att du fick för lite eller för mycket direkt solljus i bostaden?

	Alla hushåll [%]	Villor [%]	Radhus 55+ [%]	Fyrbostadshus [%]
För mycket	2	0	5	0
Något för mycket	0	0	0	0
Lagom	74	76	70	78
Något för lite	20	24	15	22
För lite	4	0	10	0

12. Hur brukade persiennerna i vardagsrum och kök vara ställda dagtid?

	Alla hushåll [%]	Villor [%]	Radhus 55+ [%]	Fyrbostadshus [%]
Nere/öppna	13	18	15	0
Nere/stängda	0	0	0	0
Uppe	78	80	80	78

13. Om dina persiennar var neddragna (öppna eller stängda), varför var de neddragna?

	Alla hushåll [%]	Villor [%]	Radhus 55+ [%]	Fyrbostadshus [%]
Skydda mot ljus	9	0	15	11
Skydda mot värme/kyla	4	0	10	0
Skydda mot insyn	24	24	25	22

14. Besvärades du av störande ljud i din bostad?

	Ljud från kranar, rör [%]			Ventilation [%]		
	Ja, ofta	Ja, ibland	Nej, sällan eller aldrig	Ja, ofta	Ja, ibland	Nej, sällan eller aldrig
Alla hushåll	0	4	87	4	20	67
Villor	0	12	88	0	41	59
Radhus 55+	0	0	90	0	10	75
Fyrbostadshus	0	0	78	22	0	67

	Grannar [%]			Utifrån [%]			Annat [%]		
	Ja, ofta	Ja, ibland	Nej, sällan eller aldrig	Ja, ofta	Ja, ibland	Nej, sällan eller aldrig	Ja, ofta	Ja, ibland	Nej, sällan eller aldrig
Alla hushåll	4	7	78	0	13	80	0	0	0
Villor	0	6	88	0	6	94	0	0	0
Radhus 55+	0	0	75	0	20	70	0	0	0
Fyrbostadshus	22	22	67	0	11	78	0	0	0

15. Har bostaden stått tom minst en vecka under vinterhalvåret?

	Alla hushåll [%]	Villor [%]	Radhus 55+ [%]	Fyrbostadshus [%]
Ja	41	47	35	44
Nej	59	53	65	56

16. Är det något annat i ditt inomhusklimat du har noterat? Finns det något som påverkar ditt boende som du skulle vilja få mer information om?

Eftersom svaren skall behandlas anonymt redovisas inte svar på denna fråga.

17. Hur många gånger använde ni tvättmaskinen i genomsnitt per vecka?

	Villor	Radhus 55+	Fyrbostadshus
Totalt [antal tvättar]	99	45	49
Medelvärde [tvätt/hushåll och vecka]	6	2	5

18. Hur många gånger använde ni torktumlaren i genomsnitt per vecka?

	Villor	Radhus 55+	Fyrbostadshus
Totalt [antal tvättar]	63	31	31
Medelvärde [tvätt/hushåll och vecka]	4	2	3

19. Hur många gånger använde ni diskmaskinen i genomsnitt per vecka?

	Villor	Radhus 55+	Fyrbostadshus
Totalt [antal tvättar]	103	49	31
Medelvärde [tvätt/hushåll och vecka]	6	2	3

20. Hur många bodde stadigvarande i din bostad under sommaren? Räkna även med dig själv.

	Villor		Radhus 55+		Fyrbostadshus	
	Totalt [antal personer]	Medelvärde [antal personer/hushåll]	Totalt [antal personer]	Medelvärde [antal personer/hushåll]	Totalt [antal personer]	Medelvärde [antal personer/hushåll]
Barn 0-12 år	28	1,6	0	0,0	11	1,2
Ungdomar 13-18 år	0	0,0	0	0,0	1	0,1
Vuxna 19-65 år	35	2,1	9	0,5	17	1,9
Vuxna över 65 år	0	0,0	25	1,3	1	0,1

21. Har bostaden stått tom minst en vecka under vinterhalvåret?

	Villor [%]	Radhus 55+ [%]	Fyrbostadshus [%]
Ja	47	35	44
Nej	53	65	56

22. Har alla i hushållet samma uppfattning om inomhusklimatet?

	Villor [%]	Radhus 55+ [%]	Fyrbostadshus [%]
Ja	100	100	100
Nej	0	0	0

Bilaga 3: Sammanställning av svar på sommarenkäten från boende i villorna, radhusen och fyrbostadshusen

1. Hur bra tyckte du generellt sätt att värmen fungerade i din bostad?

	Villor [%]
Mycket nöjd	44
Ganska nöjd	44
Varken eller	6
Ganska missnöjd	6
Mycket missnöjd	0
Vet ej	0

2. Hur nöjd var du med inomhustemperaturen i din bostad?

	Radhus 55+ [%]	Fyrbostadshus [%]
Mycket nöjd	21	20
Ganska nöjd	53	20
Varken eller	11	10
Ganska missnöjd	5	40
Mycket missnöjd	11	10
Vet ej	0	0

3. Tyckte du att det var kallt eller för varmt i något rum i bostaden under sommaren?

Alla hushåll	Kök [%]	Vardagsrum [%]	Badrum [%]	Sovrum [%]
Mycket för kallt	0	0	0	0
För kallt	0	0	6	0
Lagom	64	55	64	28
För varmt	26	28	17	43
Mycket för varmt	6	11	4	26

<i>Villor</i>	Kök [%]	Vardagsrum [%]	Badrum [%]	Sovrum [%]
Mycket för kallt	0	0	0	0
För kallt	0	0	17	0
Lagom	100	94	78	33
För varmt	0	6	6	61
Mycket för varmt	0	0	0	6

<i>Radhus 55+</i>	Kök [%]	Vardagsrum [%]	Badrum [%]	Sovrum [%]
Mycket för kallt	0	0	0	0
För kallt	0	0	0	0
Lagom	42	32	53	21
För varmt	37	42	21	37
Mycket för varmt	11	11	5	32

<i>Fyrbostadshus</i>	Kök [%]	Vardagsrum [%]	Badrum [%]	Sovrum [%]
Mycket för kallt	0	0	0	0
För kallt	0	0	0	0
Lagom	40	30	60	30
För varmt	50	40	30	20
Mycket för varmt	10	30	10	50

4. Besvärades du av att temperaturen varierade i bostaden beroende på temperaturförändringar utomhus?

	Alla hushåll [%]	Villor [%]	Radhus 55+ [%]	Fyrbostadshus [%]
Ja, ofta	9	0	11	20
Ja, ibland	30	28	32	30
Nej, sällan eller aldrig	62	72	58	50

5. Tycker du att uppvärmningssystemet i bostaden ger dig stora eller små möjligheter att själv påverka temperaturen?

	Villor [%]
Storamöjligheter	11
Vissa möjligheter	61
Inga möjligheter	28

6. Under de varmaste dagarna under sommaren upplevde du att det var varmare eller kallare inomhus än utomhus?

	Radhus 55+ [%]	Fyrbostadshus [%]
Mycket varmare inomhus	16	30
Något varmare inomhus	11	40
Lika varmt inomhus	21	10
Något svalare inomhus	42	10
Mycket svalare inomhus	5	10
Vet ej	5	0

7. Hur upplevde du luftfuktigheten i din bostad?

	Radhus 55+ [%]	Fyrbostadshus [%]
Torr luft	37	0
Lagom fuktighet	53	60
Fuktig luft	0	10
Vet ej	11	30

8. Hur bra tyckte du att ventilationen fungerade i din bostad?

	Alla hushåll [%]	Villor [%]	Radhus 55+ [%]	Fyrbostadshus [%]
Mycket nöjd	26	0	16	40
Ganska nöjd	51	0	53	30
Varken eller	9	11	11	0
Ganska missnöjd	4	0	5	10
Mycket missnöjd	9	0	11	20
Vet ej	2	0	5	0

9. Upplevde du att din bostad hade kalla golv?

	Alla hushåll [%]	Villor [%]	Radhus 55+ [%]	Fyrbostadshus [%]
Ja	19	44	5	0
Nej	79	56	89	100
Vet ej	2	0	5	0

10. Upplevde du att din bostad hade kalla väggar?

	Alla hushåll [%]	Villor [%]	Radhus 55+ [%]	Fyrbostadshus [%]
Ja	0	0	0	0
Nej	85	83	84	90
Vet ej	6	11	5	0

11. Besvärades du av drag i din bostad? Ange i så fall i vilket rum.

	Villor [%]	Radhus 55+ [%]	Fyrbostadshus [%]
Besvärades ej av drag	89	84	100
Besvärades av drag vid golv	6	0	0
Besvärades av drag vid fönster	0	0	0
Besvärades av drag vid dörr	0	0	0

12. Hur ofta vädrade du?

	Alla hushåll [%]	Villor [%]	Radhus 55+ [%]	Fyrbostadshus [%]
Dagligen/ungefär 3-5 gånger i veckan	94	94	100	80
Ungefär 1-2 gånger i veckan	4	6	0	10
Någon gång i månaden	0	0	0	0
Vädrade sällan eller aldrig	2	0	0	10

13. När du vädrade, vädrade du då oftast genom att...?

	Alla hushåll [%]	Villor [%]	Radhus 55+ [%]	Fyrbostadshus [%]
Fönster/dörr öppet hela dagen alt hela natten	85	61	105	90
Fönster/dörr öppet några timmar	17	39	5	0
Fönster/dörr öppet kortare stund	19	0	32	30
Vädrade aldrig	0	0	0	0

14. Om du vädrar, ställer du då in temperaturen på minimum i ditt tilluftsaggregat?

	Villor [%]
Ja	17
Nej	83

15. Hur tycker du att dagsljuset var i din bostad?

	Alla hushåll [%]	Villor [%]	Radhus 55+ [%]	Fyrbostadshus [%]
Mycket bra	51	61	37	60
Bra	38	33	42	40
Acceptabelt	9	6	16	0
Dåligt	2	5	5	0
Mycket dåligt	0	0	0	0

16. Tyckte du att du fick för lite eller för mycket direkt solljus i bostaden?

	Alla hushåll [%]	Villor [%]	Radhus 55+ [%]	Fyrbostadshus [%]
För mycket	6	6	5	10
Något för mycket	13	11	16	10
Lagom	72	67	79	70
Något för lite	9	17	0	10
För lite	0	0	0	0

17. Hur brukade persiennerna i vardagsrum och kök vara ställda dagtid?

	Alla hushåll [%]	Villor [%]	Radhus 55+ [%]	Fyrbostadshus [%]
Neddragna/öppna	11	0	26	0
Neddragna/stängda	23	11	42	10
Uppdragna	53	67	32	70

18. Om dina persienner var neddragna (öppna eller stängda), varför var de neddragna?

	Alla hushåll [%]	Villor [%]	Radhus 55+ [%]	Fyrbostadshus [%]
Skydda mot ljus	36	22	58	20
Skydda mot värme kyla	13	11	16	10
Skydd mot insyn	17	17	11	30

19. Besvärades du av störande ljud i din bostad?

	Radhus 55+ [%]			Fyrbostadshus [%]		
	Ja, ofta	Ja, ibland	Nej, sällan eller aldrig	Ja, ofta	Ja, ibland	Nej, sällan eller aldrig
Ljud från kranar, rör	5	5	84	0	0	70
Ljud från ventilation	0	11	68	20	0	60
Ljud från grannar	5	0	63	20	20	60
Ljud utifrån, t.ex. trafik, människor	16	16	58	0	10	70

Bilaga 4: Sammanställning av svar på vinter- och sommarenkäten från anställda i äldreboendet

1. Hur nöjd var du generellt med inomhustemperaturen på din arbetsplats?

	Vinter [%]	Sommar [%]
Mycket nöjd	10	11
Ganska nöjd	80	56
Neutral	10	22
Ganska missnöjd	0	11
Mycket missnöjd	0	0
Vet inte	0	0

2. Hur upplevde du inomhustemperaturen på din arbetsplats?

	Vinter [%]	Sommar [%]
Väldigt varmt	0	11
Ganska varmt	0	33
Lagom	78	56
Ganska kallt	11	0
Väldigt kallt	0	0
Vet ej	11	0

3. Besvärades du av att temperaturen varierade på arbetsplatsen beroende på tempepraturförändringar utomhus?

	Vinter [%]	Sommar [%]
Ja, ofta	11	13
Ja, ibland	0	13
Nej, sällan eller aldrig	89	75
Vet ej	0	0

4. Under de varmaste dagarna under sommaren upplevde du att det var varmare eller kallare inomhus än utomhus?

	Sommar [%]
Mycket varmare inomhus	0
Någor varmare inomhus	33
Lika varmt inomhus	0
Något svalare inomhus	44
Mycket svalare inomhus	0
Vet ej	22

5. Hur bra tyckte du generellt sett att ventilationen fungerade på din arbetsplats?

	Vinter [%]	Sommar [%]
Mycket nöjd	11	0
Ganska nöjd	44	44
Varken eller	33	33
Ganska missnöjd	11	11
Mycket missnöjd	0	11
Vet ej	0	0

6. Hur upplevde du luftfuktigheten på din arbetsplats?

	Vinter [%]	Sommar [%]
Torr luft	78	44
Lagom fuktighet	11	56
Fuktig luft	0	0
Vet ej	11	0

7. Finns det något utrymme som du anser haft sämre inomhusklimat än andra?

	Vinter [%]	Sommar [%]
Ja	29	29
Nej	71	71

8. Hur ofta vädrade ni?

	Vinter [%]	Sommar [%]
Dagligen	33	89
Ungefär 3-5 gånger i veckan	33	11
Ungefär 1-2 gånger i veckan	22	0
Någon gång i månaden	0	0
Vädrade sällan eller aldrig	11	0

9. När du vädrade, vädrade du då oftast genom att...?

	Vinter [%]	Sommar [%]
Öppet hela dagen	0	60
Öppet hela natten	0	30
Öppet några timmar	0	30
En kortare stund	100	0
Korsdrag några minuter	0	0
Vädrar aldrig	0	0

10. Hur tycker du generellt sett att dagsljuset inomhus var på din arbetsplats?

	Vinter [%]	Sommar [%]
Mycket bra	33	56
Bra	33	0
Acceptabelt	11	44
Dåligt	22	0
Mycket dåligt	0	0

11. Tyckte du att du fick för lite eller för mycket direkt solljus in i äldreboendets lokaler?

	Vinter [%]	Sommar [%]
För mycket	0	25
Något för mycket	11	13
Lagom	67	63
Något för lite	22	0
För lite	0	0

12. Hur nöjda tror du att de boende var med inomhustemperaturen?

	Vinter [%]	Sommar [%]
Mycket nöjda	22	33
Ganska nöjda	22	33
Varken eller	33	11
Ganska missnöjda	11	0
Mycket missnöjda	0	0
Vet ej	11	11

13. Hur nöjda tror du att de boende var med hur ventilationen fungerade?

	Vinter		Sommar	
	Dag	Natt	Dag	Natt
Mycket nöjda	11	11	11	11
Ganska nöjda	22	22	33	22
Varken eller	44	67	33	56
Ganska missnöjda	11	0	11	11
Mycket missnöjda	0	0	0	0
Vet ej	11	0	11	0

14. Vilket påstående nedan tror du stämmer bäst överens med de boendes egen uppfattning runt besvär med drag?

	Vinter [%]	Sommar [%]
Besvärades ej av drag	56	50
Besvärades av drag vid golv	0	0
Besvärades av drag vid fönster	33	13
Besvärades av drag vid dörr	11	13
Vet ej	0	25

15. Hur tror du att de boende upplever luftfuktigheten?

	Vinter [%]	Sommar [%]
Torr luft	50	38
Lagom fuktighet	38	50
Fuktig luft	0	0
Vet ej	13	13

Bilaga 5: Artikel om utvärdering av komfortkyla och solcellsanläggning

I denna bilaga presenteras artikeln "Comfort cooling and solar power – a perfect match?" som skickats in till REHVA för publikation i Issue 6 2014 "Innovative HVAC solutions for high performance buildings". Författare till artikeln är Elsa Fahlén, Henrik Olsson och Niklas Christensson.

Comfort cooling and solar power – a perfect match?



ELSA FAHLÉN
PhD. Energy systems

NCC Construction
Sweden AB
elsa.fahlen@ncc.se



HENRIK OLSSON
M.Sc. Eng.

NCC Construction
Sweden AB
henrik.t.olsson@ncc.se



NIKLAS CHRISTENSSON
Energy Controller

Eksta Bostads AB
niklas@eksta.se

In buildings where there is a demand for comfort cooling, electricity-driven compression chillers combined with photovoltaics may be an interesting solution to achieve net zero in energy use for cooling thanks to the potential simultaneity in demand and generation of electricity during summer. Using the first passive house-certified retirement home in Sweden as a case, this paper presents and evaluates how well the load demand and the solar power generation coincide hour by hour.

Key words: solar power, photovoltaic, comfort cooling, load matching, passive house, net zero energy building, low energy building, retirement home.

The EU Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings implies that in the next few years all new buildings or existing buildings that are subject to major renovation have to be so called net zero energy buildings (December 31 2018 for public buildings and December 31 2020 for other buildings) [1]. Apart from having a very low energy use, a high share of the energy used in these buildings should come from renewable energy sources, including renewable energy sources on site or nearby.

A lot of effort has been made to reduce the use of energy in Swedish buildings, especially the energy used for heating. However, when the heat demand is lowered due to improved insulation, the need for cooling increases. Apart from the cooling demand due to climatic conditions, growing population and higher living standards, increased numbers of technical appliances such as lighting, printers and computers also increase the need for cooling. In warmer countries, the peaks in the power demand are partly due to the use of electricity-driven cooling facilities [2]. Within the European countries, the growing number of cooling facilities increases the already strong daily variations in electricity demand and thereby also the need for peak load power generation [3] which is associated with high operating costs and CO₂ emissions.

During summer, power demand for comfort cooling and solar power generation coincide well since both are related to the solar radiation. Therefore, electricity-driven compression chillers coupled with photovoltaics (PVs) may be an interesting solution to achieve net zero in energy use for comfort cooling. However, even if the electricity used for cooling may easily be covered by solar power from a PV plant on a monthly basis, is there a perfect match also on an hourly basis?

Objective

This paper presents and evaluates how well the load demand and the solar power generation coincide hour by hour and how this affects the annual coverage rate and the amount of surplus power generated. The study is a case study of electricity-driven compression chillers and PVs located at the retirement home in the passive house area Vallda Heberg, see the upper left corner in **Figure 1**.



Figure 1: Passive house residential area Vallda Heberg during construction [4].

Vallda Heberg passive house residential area

In the residential area Vallda Heberg, in the municipality of Kungsbacka in Sweden, all buildings are designed, built and certified according to the Swedish passive house standard Feby [5]. The municipal housing company, Eksta Bostads AB, and the construction company, NCC Construction Sweden AB, have built the passive house area which consists of single family houses, apartment blocks, terrace houses, a retirement home and commercial buildings, see **Figure 1**.

These highly insulated buildings with heat recovery have a very small energy demand for space heating. The small amount of energy needed for space heating and domestic hot water is supplied by 100 % renewable energy generated on site and which is distributed in a local district-heating network. The goal is that as much as 40 % of the annual energy use for domestic hot water and for space heating will come from solar thermal collectors. The rest of the heat needed is supplied by a local wood pellet boiler.

The first retirement home certified as passive house in Sweden

The retirement home in Vallda Heberg is the first passive house certified retirement home in Sweden. It has a net floor area (A_{temp}) of 7280 m² and consists of 64 small apartments divided into six departments on three floors. The retirement home also has social areas and activity rooms for the residents, a kitchen and a restaurant and office for the employees.

Residents in retirement homes are more sensitive to higher temperatures during the summer season. In order to reduce problems with over-temperatures during summer in the retirement home in Vallda Heberg, solar shading has been mounted above the windows. Still there is a small demand for comfort cooling during the summer and, therefore, a cooling system has been installed.

In order to cover a part of the electricity used in the retirement home, 545 m² of photovoltaics have been installed on the roof, see **Figure 2**. The goal is that at least 40 % of the total building service electricity and 100 % of the electricity used for comfort cooling, will be met by solar power on an annual basis.



Figure 2: Photovoltaics installed on the roof of the retirement home in the passive house area Vallda Heberg [6].

Technical description of the heating, cooling and power system

The calculated annual specific energy use is 50 kWh/m² A_{temp} . This includes energy use for space heating and domestic hot water, electricity use for lighting, pumps, fans and elevators and solar power generated (as a negative energy use). In the simulation of the building energy performance, the temperature is allowed to vary between 22°C and 25°C.

The performance of the PVs and the compression chillers installed are described in **Table 1**.

Measurements and limitations

The solar power generation has been measured since August 2013. Measurements of electricity in the retirement home building started in the summer of 2013. The first tenants moved in October 2013 and the retirement home was not fully occupied before the beginning of 2014. Therefore, it is problematic to get a full year of representative data concerning the electricity use in the building. Detailed hourly measurements [kWh] for the building are listed below.

- Solar power generation from the PVs.
- Electricity use for comfort cooling.
- Electricity use for buildings services, including electricity use for comfort cooling and kitchen cooling and electricity for lighting (of common spaces), pumps, fans and elevators.
- Other activity-related electricity use in the building, including electricity to the retirement home activities such as the industrial kitchen, social areas, office areas.

Monthly surplus electricity delivered to the grid has been provided by the electricity retailer.

Note that no measured values have been statistically adjusted due to the outdoor temperature and solar radiation and their duration for a normal year. The summer of 2014 was warmer than a normal summer in Sweden, and can, in that sense, not be considered as representative for a normal year. This means that it is not straightforward to compare these values with design values.

Table 1: Technical performance of cooling and PV system

Photovoltaics	
Photovoltaics installed	Hanwha SolarOne HSL 60 Poly
Installed capacity	330 modules, 245 W/module, total PV area 545 m ² mounted at 6°
Estimated power generation	61 500 kWh, year 112.8 kWh/ m ² , year
Compression chillers	
Chillers installed	Two Mitsubishi PUHZ-P200YHA3 chillers and one Mitsubishi PUHZ-P250YHA3 chiller
Installed cooling capacity	60 kW (19*2 kW* 2 and 22 kW)
Energy efficiency ratio according to the manufacturer	2.6 for both chiller models
Energy efficiency ratio according to Eurovent (35°C outdoor temperature)	3 for both chillers (3.04 for PUHZ-P200YHA3 and 3.01 for PUHZ-P250YHA3) [7]

Results and analysis

Coverage rates on an annual and monthly basis

The first year of measurements (Sep 2013 to Aug 2014) show that 72.8 MWh (10.0 kWh/m²,year) solar power was generated in the PV plant, that 5.3 MWh (0.7 kWh/m²,year) electricity was used for cooling and that 130.9 MWh (18.0 kWh/m²,year) electricity was used for all building services (including comfort cooling). Thus, there is no doubt that the solar power generation at the retirement home reaches its targets of 100 % coverage rate of the power used for cooling and 40 % coverage rate of the power used for all buildings services on an annual basis. In fact, as much as 56 % of the power used for all building services was met by solar power using measurements for the first year. The solar power generation from the PV plant over the year was higher than estimated (134 instead of 113 kWh/m² PV).

Using monthly instead of annual measurements, still as much as 97 % of the solar power generated can be used for building services. In other words, the remaining power generated is very small compared to the use of building service electricity on a monthly basis. Calculated coverage rates based on total solar power generated and total electricity use for comfort cooling and building services each month are presented in **Table 2**. The coverage rates for comfort cooling are 100 % over the entire year, whereas the share of solar power used for building services varies from a few percentages up to a full coverage.

Coverage rates on an hourly basis

According to national energy requirements in Sweden, only the power generated that can be used within the building for building services can reduce the specific energy use of the building [8]. The measurements of the electricity used for building services and the solar power generated each month during the first year of operation are presented in **Figure 3**. In order to see how much electricity was used for comfort cooling each month, the electricity used for building services (the left column in **Figure 3**) is split into electricity used for cooling and electricity used for other building services. The measurement results show that electricity used for building services seems to be quite constant during the year, except for the summer months when the need for cooling increases.

The measurements of the power generated in the PV plant are presented in the right column in **Figure 3**. In order to see how much of this electricity that "instantly" (on an hourly basis) can be used

Table 2: Coverage rates of solar power used for comfort cooling (CC) and building services (BS incl. CC) based on monthly and hourly measurements. Note that there is a lack of measurements for June 2014, which has been assumed to have coverage rates equal to the ones found in May.

Month	Coverage rates on a monthly basis		Coverage rates on an hourly basis	
	CC	BS (incl. CC)	CC	BS (incl. CC)
Sep-13	100%	73%	49%	37%
Oct-13	100%	28%	51%	23%
Nov-13	100%	11%	49%	11%
Dec-13	100%	3%	31%	3%
Jan-14	100%	6%	28%	6%
Feb-14	100%	16%	34%	14%
Mar-14	100%	52%	26%	36%
Apr-14	100%	82%	58%	47%
May-14	100%	100%	85%	60%
Jun-14	100%	100%	85%	60%
Jul-14	100%	84%	88%	58%
Aug-14	100%	74%	87%	51%

within the building, the column is split into electricity delivered to different appliances and services. They are prioritised as follows: electricity to the comfort cooling plant, to other building services as well as to other services and appliances in the retirement home. The remaining power generated is delivered to the grid.

The monthly values of surplus electricity delivered to the grid show that only a very small percentage of the electricity generated (6 %) cannot be used within the building on an hourly basis. Evidently, the combination of building service electricity – for cooling and other purposes – and activity-related electricity seem to provide a very good match to the solar power generation in this particular case. However, a substantially smaller percentage of the total solar power generation can be used when only building services are accounted for (63 % compared to 94 %).

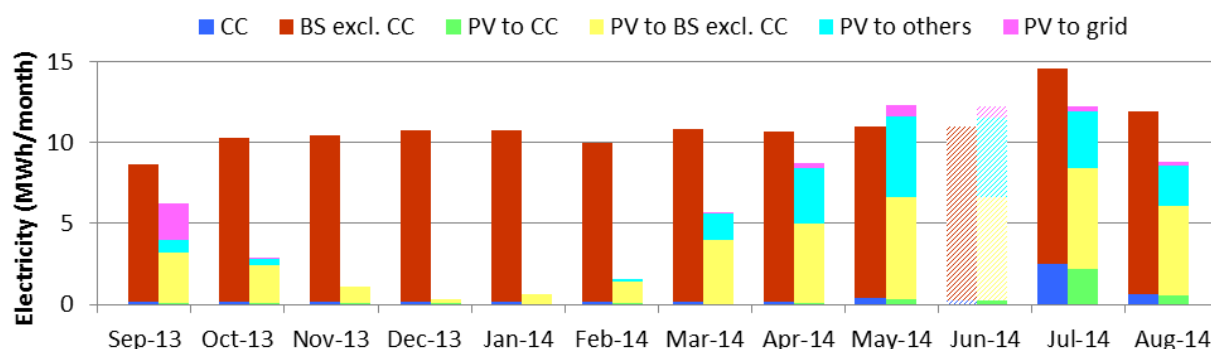


Figure 3: Monthly use of electricity (left columns) for comfort cooling (CC) and for other building services (BS excl. CC) as well as monthly generation of solar power in the PVs (right columns). The power generation is divided into four different destinations based on the hourly load match and the following prioritisation of usage categories: PV to comfort cooling (PV to CC), PV to other building services (PV to BS excl. CC), PV to others and PV to grid. Note that there is a lack of measurements for June 2014, which has been assumed to have PV generation and coverage equal to the ones found in May.

The coverage rate, the share of electricity for building services that comes from the PV plant, varies between 3 % and 60 % over the months when considering the hourly use of electricity, as shown in **Table 2**. When hourly load match of generation and use is taken into account, the coverage rate on an annual basis will be considerably lower than if basing the coverage rate on annual or monthly measurements. The annual coverage rate for building services based on hourly measurements is 35 %, which is still close to the 40 % target set on an annual basis.

Using hourly measurements, instead of monthly or annual measurements, when calculating the annual coverage rate of the power used for all comfort cooling, results in a coverage rate of 75 % instead of 100 %. Nevertheless, due to the intermittent nature of the solar power generation, it would be practically almost impossible to supply 100 % of any load over a short time without the possibility of storage. Only a short moment of mismatch means that the goal cannot be reached. Solar power coverage rates for the comfort cooling electricity based on hourly load match are presented in **Table 2**. Highest coverage rates during the summer reach almost 90%, while they are much lower during the winter months.

It should be noted here that the winter coverage might not be representative, since the cooling need is so small. The measurements registered for the comfort cooling are only in full kWh. During the winter it can take many hours for the electricity meter to count one full kWh. If the meter changes to next kWh during the night when no

solar power is generated, the last kWh will be counted as not covered even though most of it could actually have been supplied by solar power earlier in the day. This may lead to a probable underestimation of the yearly coverage on an hourly basis.

Detailed comparison of power demand and power generation

Figure 4 presents the measurements of solar power generation, electricity used for comfort cooling and all building services for a week in July 2014. **Figure 5** presents the calculated net electricity when comparing solar power generated and total building service electricity for the same week. At first glance, it is clear that the maximum power generated at midday by the solar PV is more than enough to cover the peak load of the cooling and other building services for all days of this week. There is also a correlation between the need for cooling and generation of solar power. There is a tendency for the comfort cooling to linger on late in the evenings when the solar power generation has decreased, which is one important reason for mismatch in this system.

Even though there is a correlation between them, the solar power generation and the need for cooling are not always present simultaneously. Different types of weather are sources of mismatches, e.g. warm, cloudy summer days when need for cooling might be present but solar power generation is low.

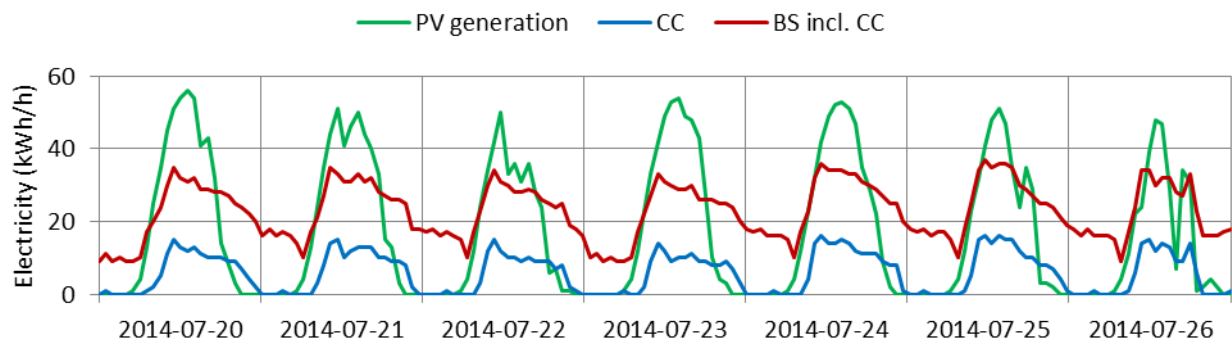


Figure 4: Hourly production of solar power and hourly use of electricity for cooling and of total building service electricity (including power used for cooling) one week in July 2014.

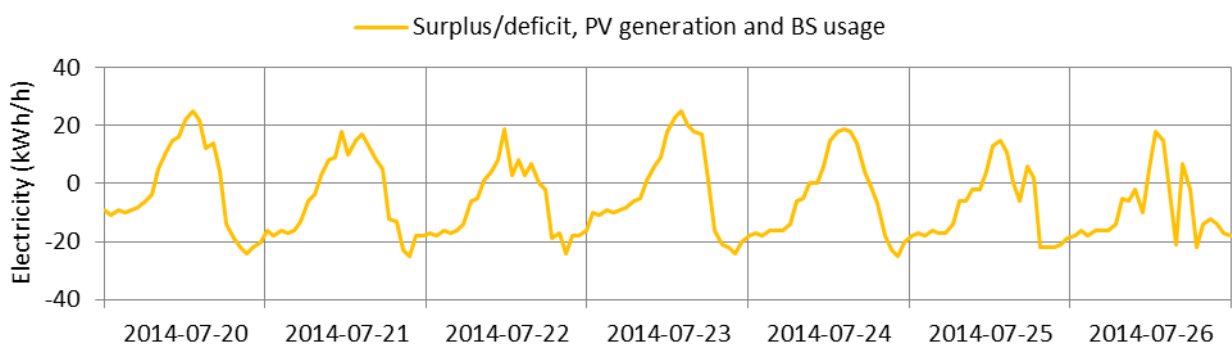


Figure 5: Hourly net production of solar power, defined as solar power production minus total building service electricity (including electricity for cooling) one week in July 2014. A positive result means overproduction and a negative result means there is need for additional electricity from the grid.

Conclusions

Solar power and comfort cooling – a perfect match?

This paper presents and evaluates how well the load demand and the solar power generation coincide hour by hour and how this affects the fulfilment of the coverage rate targets as well as how it affects the amount of surplus power generated in the PV plant at the retirement home in the passive house area Vallda Heberg, in Sweden.

According to the results presented in this paper, there is no doubt that the solar power generation at the retirement home reaches its targets the first year – 100 % of the power used for cooling and 56 % of the power used for all business services were met by solar power on an annual basis. If hourly measurements are instead used when calculating the coverage rates, they are considerably lower but are still as high as 35 % and 75 %, respectively. Since a large share of the rest of the electricity generated each hour can be used for other appliances and services in the retirement home, only 6 % of the solar power generated was delivered to the grid, according to measurements for the first year.

In this particular case, the presence of electricity-driven chillers does not have a large influence on the share of solar power in electricity used for building services on an annual basis. This is explained by the relatively small need for electricity for comfort cooling compared to the total building service electricity.

Is solar cooling in net zero energy buildings a good idea?

Of course, measures to reduce the need for comfort cooling are the first actions to be taken when designing a building. In cases where there is still a limited comfort cooling demand, there is a good potential of meeting this demand by solar power. Using the first passive house-certified retirement home in Sweden as a case, this paper illustrates that a comfort cooling plant combined with photovoltaics could be an interesting solution to achieve net zero or near zero in energy use for comfort cooling thanks to the high correlation in power generation and use of electricity.

As shown in this study, the answer if solar power used for comfort cooling could be a good solution for achieving net zero energy use for cooling depends on the definition – if it refers to net zero energy use on an annual basis or an hourly basis.

Acknowledgements

This study is part of a demonstration project of the entire passive house area in Vallda Heberg which is focused on the evaluation of energy performance, indoor climate and energy system solution. The authors want to acknowledge the financiers of this project: LÅGAN – a collaborative project between the Swedish Construction Federation, the Swedish Energy Agency, Region Västra Götaland, Formas and others; SBUF – the Swedish construction industry's organisation for research and development; NCC Construction Research and Development. Thanks to Stephen Burke, NCC Construction Sweden AB, for reviewing the paper.

References

- [1] DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast).
- [2] District cooling, balancing the production and demand in CHP, IEA District Heating and Cooling Annex V, Report 1999:T2, published by November <http://www.iea-dhc.org/scanned_brochures/8DHCT99-02LR.pdf> (25.01.12).
- [3] Ecoheatcool, Work packages, Brussels: Euroheat and Power, 2006, <<http://www.euroheat.org>> (16.10.14).
- [4] Photograph by Bergslagsbild AB.
- [5] FEBY - Forum för energieffektiva byggnader, Specification of requirements for passive houses (in Swedish), <<http://www.nollhus.se/rapporter>> (16.10.14).
- [6] Photograph by Anders Ljungberg.
- [7] Eurovent certified performance, <<http://www.eurovent-certification.com>> (16.10.14).
- [8] Swedish Building Regulations (Boverkets Byggregler Avsnitt 9 BFS 2011:6 ändrad t.o.m. BFS 2014:3, in Swedish), Boverket – the Swedish National Board of Housing, Building and Planning, <<http://www.boverket.se>> (21.10.14)



LÅGAN (program för byggnader med mycket LÅG energiANvändning) är ett samarbete mellan Energimyndigheten, Boverket, Sveriges Byggindustrier, Västra Götalandsregionen, Formas, byggherrar, entreprenörer och konsulter med syfte att öka byggtakten av lågenergibygnader.

www.laganbygg.se

