

Energieffektivt byggande i kallt klimat

Delresultat från pågående utvärdering

Ronny Östin, Erik Eklund, Christer Johansson
2012-05-10

Syftet med denna delrapport är att ge en översiktlig nulägesbeskrivning av mätresultaten i respektive hus. Projekterat energibehov och antagna indata som använts vid energiberäkningar jämförs med uppmätt energianvändningen i respektive hus.

Finansiering av detta utvärderingsprojekt består av medel från CERBOF, IQ Samhällsbyggnad, Umeå kommun, Umeå Energi, Länsstyrelsen i Västerbotten, Robertsfors kommun och genom samfinansiering i form av tid från de olika delprojekten för respektive hus.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

INLEDNING.....	5
HUSVIS BESKRIVNING OCH MÄTRESULTAT	6
1 Villa Falk.....	6
1.1 Allmän beskrivning	6
1.2 Värmesystem.....	6
1.3 Ventilationssystem	6
1.4 Isolering	7
1.5 Beräknad energianvändning.....	7
1.6 Produktionskostnad för huset	7
1.7 Mätresultat.....	7
1.7.1 Fukt.....	7
1.7.2 Prestanda och funktion hos värmetekniska installationer.....	11
1.7.3 Energi.....	15
2 Villa Pettersson.....	16
2.1 Allmän beskrivning	16
2.2 Värmesystem.....	16
2.3 Ventilationssystem	16
2.4 Isolering	16
2.5 Beräknad energianvändning.....	16
2.6 Produktionskostnad för huset	16
2.7 Mätresultat.....	17
2.7.1 Fukt.....	17
2.7.2 Prestanda och funktion hos värmetekniska installationer.....	20
2.7.3 Energi.....	21
3 Villa Carlstedt	22
3.1 Allmän beskrivning	22
3.2 Värmesystem.....	22
3.3 Ventilationssystem	22
3.4 Isolering	22
3.5 Beräknad energianvändning.....	22

3.6 Produktionskostnad för huset	22
3.7 Mätresultat.....	23
3.7.1 Fukt.....	23
3.7.2 Prestanda och funktion hos värmetekniska installationer	26
3.7.3 Energi.....	29
4 Villa Dario	30
4.1 Allmän beskrivning	30
4.2 Värmesystem.....	30
4.3 Ventilationssystem	30
4.4 Isolering	30
4.5 Projekterad energianvändning	30
4.6 Produktionskostnad för huset	30
4.7 Mätresultat.....	31
4.7.1 Fukt.....	31
4.7.1 Prestanda och funktion hos värmetekniska installationer	34
4.7.3 Energi.....	36
5 Gröngård.....	38
5.1 Allmän beskrivning	38
5.2 Värmesystem.....	38
5.3 Ventilationssystem	38
5.4 Isolering	38
5.5 Beräknad energianvändning.....	38
5.6 Produktionskostnad för huset	38
5.7 Mätresultat.....	39
5.7.1 Fukt.....	39
5.7.2 Prestanda och funktion hos värmetekniska installationer	41
5.7.3 Energi.....	43
6 Kullen.....	44
6.1 Allmän beskrivning	44
6.2 Värmesystem.....	44
6.3 Ventilationssystem	44
6.4 Isolering	44
6.5 Beräknad energianvändning.....	44
6.6 Produktionskostnad för huset.....	44

6.7 Mätresultat.....	45
6.7.1 Fukt.....	45
6.7.2 Prestanda och funktion hos värmetekniska installationer.....	48
6.7.3 Energi.....	50
7 Resultatsammanställning	51
7.1 Enfamiljshusen	51
7.2 Flerbostadshusen	53
7.3 Täthet och specifikt värmebehov	54
8 Preliminära slutsatser.....	55

INLEDNING

Bostadssektorn står idag för ca 40 % av Sveriges totala energianvändning. Det är därför viktigt att nya hus har låg energianvändning för att klara de uppsatta EU målen, 20 % energibesparing till 2020 och det långsiktiga målet 50 % till 2050. Kunskaperna om att bygga energieffektivt och vilka eventuella problem och risker detta medför i kalla klimat måste förankras och verifieras. Mot bakgrund av detta har projektet *Energieffektivt byggande i kallt klimat* startat som ett samarbete mellan Umeå kommun, Umeå universitet och marknadsaktörer i Umeåregionen. Projektet har ett utmärkt stöd för sitt genomförande från *Nätverket för hållbart byggande och förvaltande i kallt klimat* (www.hallbarahus.se) där det efterfrågas utvärderingsmaterial av energieffektiva byggnader och stöd från kommunen för pilotprojekt inom området.

I projektet har fyra enfamiljshus samt två flerbostadshus uppförts, alla i syfte av att vara lågenergihus. I två av husen har utbildning med hantverkare och arbetsledning genomförts inom projektets regi med fokus på fukt och andra viktiga nyckelfaktorer. I byggnaderna pågår ett omfattande mätprogram för utvärdering av fuktnivå på olika djup i klimatskärmen, energianvändning för värme, tappvarmvatten och verksamhetsenergi. Dessa kontinuerliga mätningar ger också möjlighet att utvärdera prestanda hos energitekniska installationer som värmeväxlare, värmepump och solvärme. Mätningarna påbörjades allteftersom husen blev inflyttningsbara, vilket de första blev under hösten 2010 och de sista under sommaren 2011. Utöver dessa mätningar har husen också täthetsprovats, termograferats och nyligen har de fläktstyrda till- och frånluftflödena uppmätts.

Intentionen med detta utvärderingsprojekt är förutom att verifiera funktioner och energiprestanda även att främja en kvalitetssäkring av byggprocessen vid uppförandet av energieffektiva hus samt fungera som riktningsgivare och inspiration för framtida satsningar på energieffektivt byggande i kallt klimat.

Utvärderingen av byggnadernas normalårsbehov av värmeenergi är gjord med hjälp av uppmätt energisignatur och temperaturdifferens mellan inne- och utetemperatur i respektive hus. Energisignaturen är i denna delrapport baserad på dygnsvis total värmeanvändning (inkl. drivenergi till pumpar och fläktar), dvs energi för uppvärmning via golvvärme, radiatorer och energi för eftervärmning av tilluft. Energianvändning för tappvarmvatten och verksamhetsenergi (vitvaror, belysning och andra elektriska apparater) har mätts separat.

Syftet med denna delrapport är att ge en översiktlig nulägesbeskrivning av mätresultaten i respektive hus. Projekterat energibehov och antagna indata som använts vid energiberäkningar jämförs med den uppmätta energianvändningen i respektive hus.

Finansiering av detta utvärderingsprojekt består av medel från CERBOF, IQ Samhällsbyggnad, Umeå kommun, Umeå Energi, Länsstyrelsen i Västerbotten, Robertsfors kommun och genom samfinansiering i form av tid från de olika delprojekten för respektive hus.

HUSVIS BESKRIVNING OCH MÄTRESULTAT

1 Villa Falk

1.1 Allmän beskrivning

Villa Falk är en enfamiljsvilla med en uppvärmd bostadsyta på 175 m² fördelat på bottenvåning och loft. Villan har invändigt ryggåstak och utvändigt sadeltak i plåt samt fasad av lockpanel i trä. Tomten är belägen i Må-Bra-Byn i Sikeå och är skänkt av Robertsfors kommun. Under hittillsvarande mätperiod har huset bebotts av två vuxna.



Figur 1.1 Villa Falk

I stället för konventionell WC-lösning är bostaden utrustad med Separett toalett. Fekalierna tas omhand och komposteras för att återföras till naturen. Urin separeras till en betongtank på 2,6 m³. BDT¹-vatten renas genom infiltration i ett kompaktfiler.

1.2 Värmesystem

Huset har en vattenmantlad pelletskamin för uppvärmningen och beredning av tappvarmvatten. På taket finns även 7 m² solfångare som installerats i sydlig riktning. Pelletsaminen och solfångarna är anslutna till en ackumulatortank vars volym är 0,75 m³. Distributionen av värme sker via vattenburen golvvärme som är ansluten till ackumulatortanken.

1.3 Ventilationssystem

Tilluften in i bostaden förvärmis i ett 36 m långt rör, varav 24 m med diametern 0,2 m är markförlagt på 1,5 m djup och 12 m med diametern 0,16 m är markförlagd under husets grund. Värmen i frånluften återvinns via en värmeväxlare som värmer den inkommande tilluften. Kombinationen av dessa lösningar förväntas minimera behovet av att på annat sätt värma den inkommande tilluften. Om ytterligare värmning av tilluften ändå blir nödvändig är ventilationssystemet utrustat med en elektrisk resistansvärmare.

Den inkommande luften tas in i vardagsrum och sovrum via ventiler i taket och frånluften tas via öppna avlopp i badrum, tvättstuga, toa och avlopp under diskmaskin i köket. Vattenlås är placerat utanför huset.

¹ Bad-, Disk-, Tvättvatten

1.4 Isolering

Isoleringen i grunden består av 306 mm foamglas samt en markberedning av ca 400 mm järnsand och 400 mm fyllnadssand. Väggarna har 357 mm foamglas medan taket har 408 mm foamglas direkt under yttertaket. Hela byggnaden har ett beräknat Um-värde på 0,14 W/m²°C.

1.5 Beräknad energianvändning

Det projekterade energibehovet för värme och tappvarmvatten beräknades till 11 400 kWh/år. I energiberäkningen avsågs en total uppvärmd yta på 213,5 m², dvs inklusive förrådsytor, vilket per ytenhet motsvarar ett energibehov på 53,4 [kWh/m²år]. Ytterligare indata var fläktstyrt luftflöde på 62,3 liter/s, vilket motsvarar en styrd luftomsättning på 0,45 omsättningar per timme. Luftläckage 0,22 [liter/s omslutande area] vid 50 Pa (q50-värde), samt att verkningsgraden i från-/ tillluftvärmeväxlaren beräknades vara 80 %. Den beräknade transmissionsfaktorn för huset angavs till 64,5 W/°C.

1.6 Produktionskostnad för huset

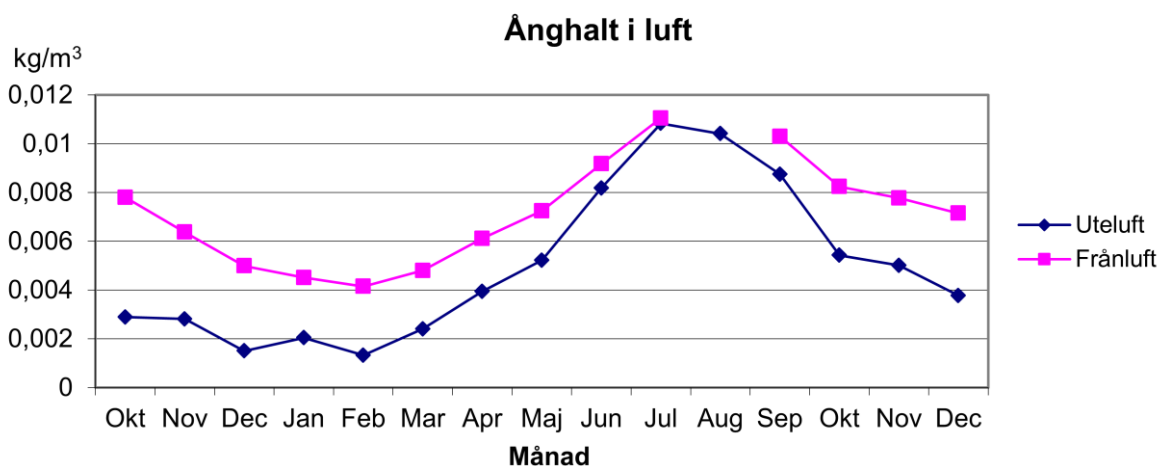
Huset 2,8 Mkr, grunden 0,25 Mkr och avlopp 0,1 Mkr, dvs totalt 3,15 Mkr.

1.7 Mätresultat

Provtryckning av huset visade ett q50-värde på 0,15 liter/s omslutande area. I nuvarande klassning anges ett q50-värden inom intervallet 0,1 till 0,3 liter/s omslutande area att motsvara en mycket lufttät byggnad. Nyligen genomförda flödesmätningar av den fläktstyrda ventilationen visade att tilluftflödet är 25 liter/s och att frånluftflödet är 27 liter/s. Detta är mer än en halvering av luftflödet som användes vid beräkning av husets energibehov.

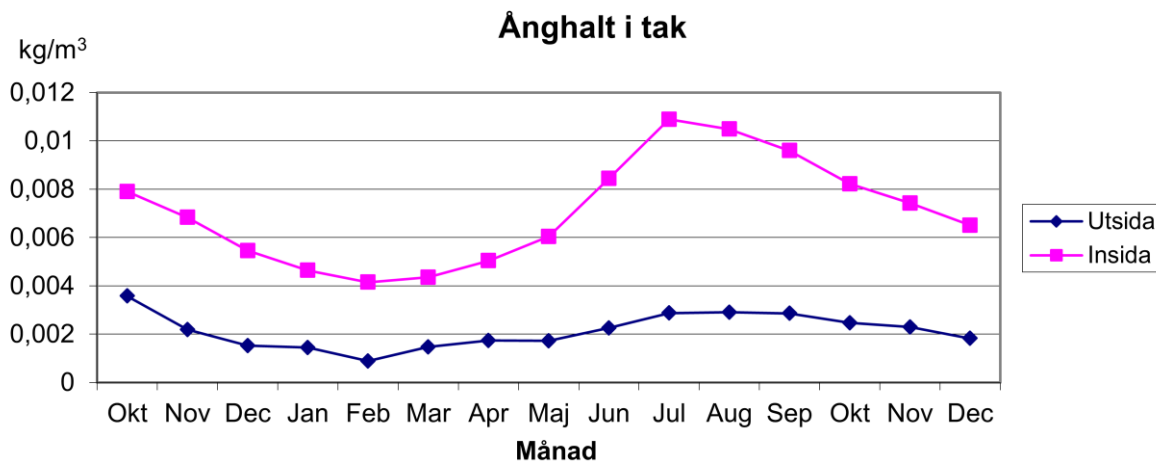
1.7.1 Fukt

Sensorer för mätning av temperatur och relativ fuktighet installerades i isolermaterial i tak, väggar och golv (under betongplattan) i samband med byggnationen av huset. Baserat på dessa mätningar har ånghalter beräknats och redovisas nedan i form av månadsmedelvärden. Figur 1.2 visar ånghalter i utomhus- och frånluften. Skillnaden i ånghalt mellan från- och uteluften är ett mått på fukttillskottet från människor och diverse andra aktiviteter till inomhusluften. Ånghalten i uteluften har en naturlig variation över året och är som lägst under kalla vintermånader och som högst under sommarperioden. Ånghalten i frånluften följer naturligt variationen i uteluften och under året 2011 är fukttillskottet i genomsnitt 2,1 g/m³.



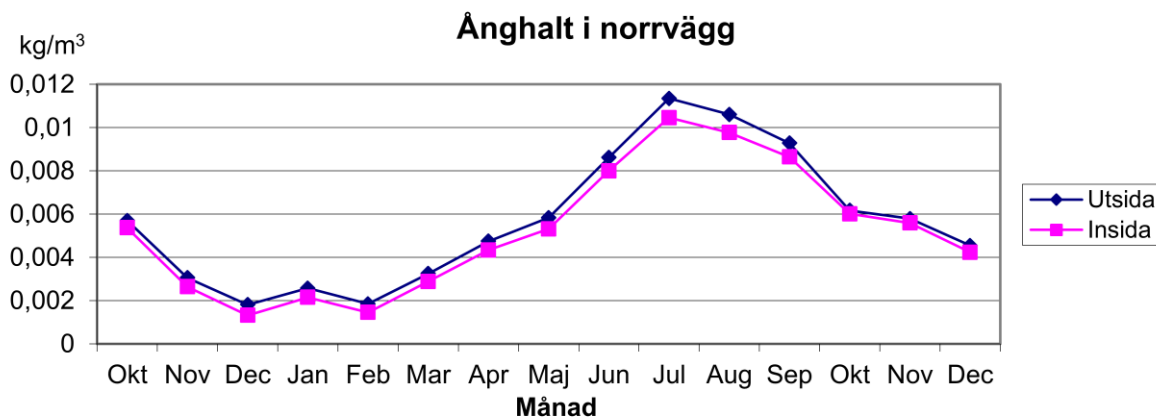
Figur 1.2 - Ånghalt i utomhus- och i frånluft, oktober – december 2010 och 2011. Mätdata av fukt i frånluften saknas för augusti 2011.

Ånghaltens variation på in- och utsidan av ångbromsen i taket framgår av figur 1.3. På insidan ses att ånghalten följer motsvarande variation som i frånluften. Ånghalten på utsidan av ångbromsen är som väntat betydligt lägre, i genomsnitt (året 2011) en skillnad på 5 g/m^3 . På utsidan av ångbromsen kan en viss samvariation, om än kraftigt dämpad, ses med ånghalten i uteluften, se figur 1.2.



Figur 1.3 – Ånghalt i takisolering på in- respektive utsida om ångspärren.

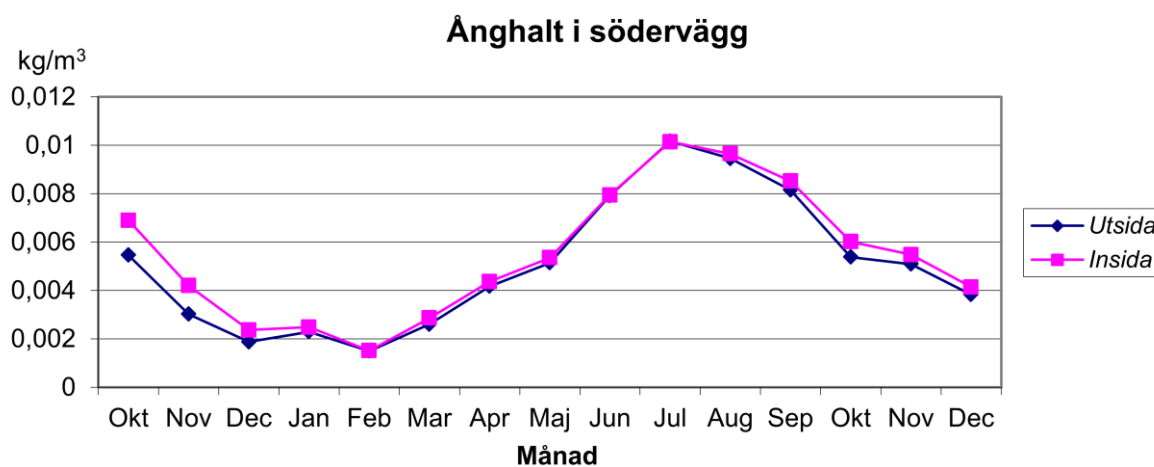
Ånghaltens variation i yttervägg mot norr och i yttervägg mot söder är sammanställda i figur 1.4 och figur 1.5.



Figur 1.4 – Ånghalt på olika djup i foamglasisoleringen, yttervägg mot norr. Utsida avser mätning i den yttre foamglasskivan (100 mm), Insida avser mätning i den inre foamglasskivan (50 mm).

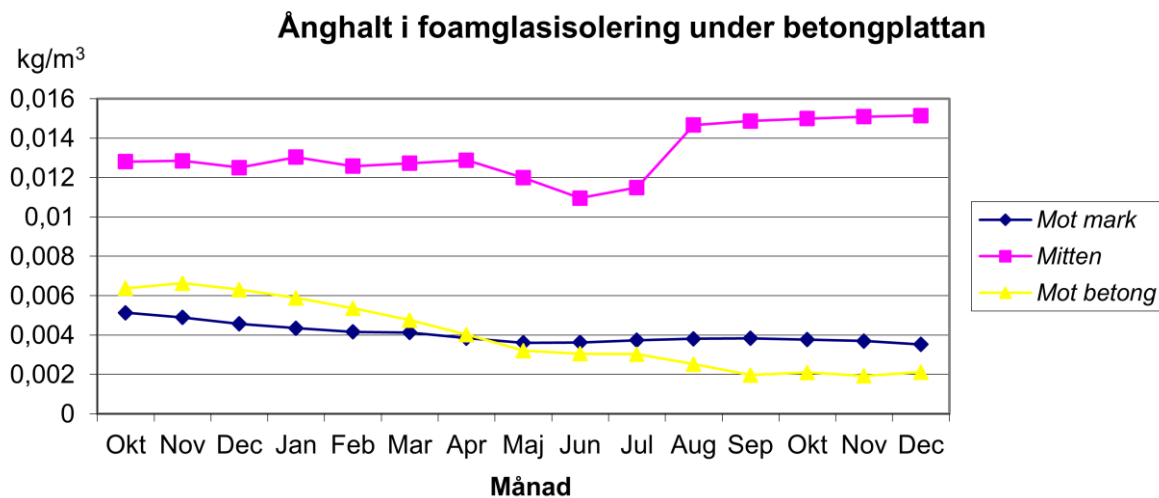
Generellt ses av figur 1.4 och 1.5 att ånghalterna följer ånghaltens variation i uteluften. I norrväggen har placeringen Utsida genomgående högre ånghalt, medan i södervägg tycks ånghalten i såväl placering Utsida som Insida närmast identisk förutom för oktober – december då Insidan uppvisar högre ånghalt. Skillnaden i ånghalt mellan In- och Utsida är på årsbasis ca $0,5 \text{ g/m}^3$, dvs avsevärt mindre än ånghaltsskillnaden i taket.

I norrväggen varierar den relativa fuktigheten i placering Utsida mellan 29 % (februari) till 69 % (september). För placering Insida varierar relativa fuktigheten mellan 13 (februari) till 56 % (september). I söderväggen har placering Insida den lägsta relativa fuktigheten 14 % (februari) och högst i placering Utsida med 59 % (september).



Figur 1.5 – Ånghalt på olika djup i foamglasisoleringen, yttervägg mot söder. *Utsida* avser mätning i den yttre foamglasskivan (100 mm), *Insida* avser mätning i den inre foamglasskivan (50 mm).

De uppmätta årsmedel-temperaturerna i foamglasisoleringen under betongplattan är $13,2^\circ\text{C}$ (*Mot mark*), $17,4^\circ\text{C}$ (*Mitten*) och $19,4^\circ\text{C}$ (*Mot betong*). Den relativa fuktigheten varierar mellan januari till december från 37 till 29 % (*Mot mark*), från 90 till 100 % (*Mitten*) och från 36 till 13 % (*Mot betong*). Mätensorn för relativ fuktighet i placering *Mitten* har avgett oväntade värden från och med augusti och som framgår av figur 1.6 ökade ånghalten från 11 till 15 g/m^3 , vilket motsvarar en ökning i relativ fuktighet från 70 till 100 %.

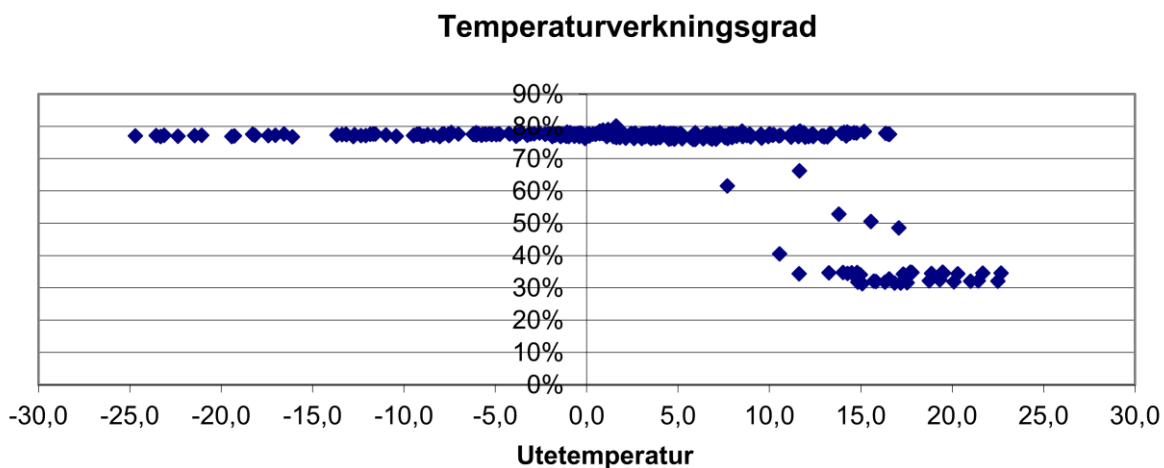


Figur 1.6 – Ånghalt på olika djup i foamglasisoleringen under betongplattan. *Mot mark* avser mätning i den mot marken placerade foamglasskivan (50 mm), *Mitten* avser mätning i nästa foamglasskiva (50 mm) sett från marken, *Mot betong* avser mätning i koljern-grundelementet (207 mm) på vilken betongplattan är gjuten .

Man brukar ange att risken för rötangrepp är obefintlig vid relativa fuktigheter under 75 % och för mögelangrepp är risken obefintlig under 70 %. Röt- och mögel- angrepp beror inte enbart av nivå hos den relativa fuktigheten utan påverkas även av temperatur, lufthastighet, ljus och varaktighet, dvs exponeringstid.

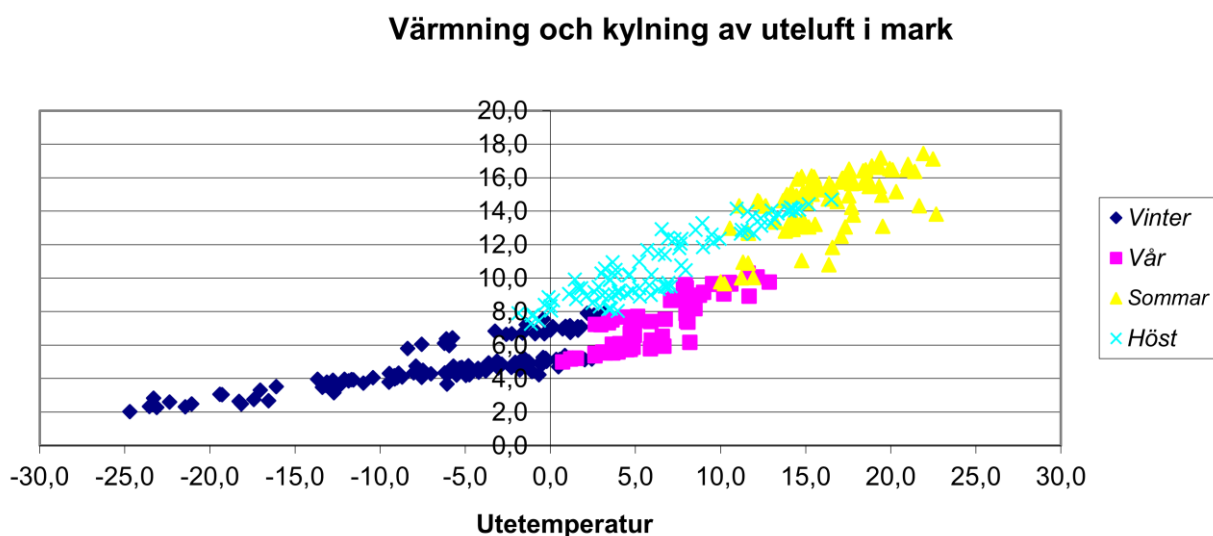
1.7.2 Prestanda och funktion hos värmetekniska installationer

Baserat på mätningar av frånluft-, tilluft- och utelufttemperatur efter den markförlagda tilluftkanalen beräknas värmeväxlarens temperaturverkningsgrad. Figur 1.6 visar dygnsmedelvärden av temperaturverkningsgraden vid olika utetemperaturer. Temperaturverkningsgraden är precis som önskvärt konstant över hela utetemperaturintervallet. Den lägre verkningsgraden (bypass drift) vid utetemperaturen ca 15°C och däröver bidrar till att övertemperaturer sommartid kan undvikas.



Figur 1.6 – Temperaturverkningsgrad luft-luft värmeväxlare baserad på mätta dygnsmedeltemperaturer (året 2011) vid olika utetemperaturer.

Förklaringen till den konstanta temperaturverkningsgraden är förvärmningen av uteluften via passagen i den markförlagda tilluftkanalen, se figur 1.7 som visar dygnsmedelvärden av temperaturen. Vid utetemperaturer ned till -25°C är inkommande uteluft till värmeväxlaren 2°C, dvs en temperaturökning med hela 27°C. Vid den lägsta utetemperaturen -29,5°C (tim-medelvärde) motsvarar detta med uppmätt tilluftflöde en värmeeffekt på 0,9 kW.

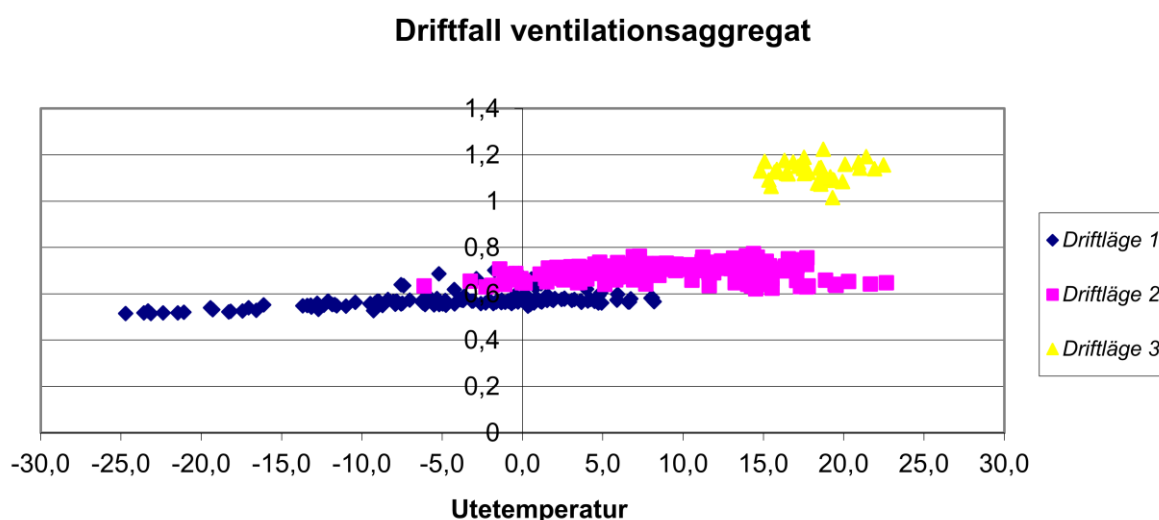


Figur 1.7 – Uteluftens temperatur efter passagen av markförlagd tilluftkanal. Symboler: *Vinter* avser dec tom mars, *Vår* avser apr tom maj, *Sommar* avser juni tom aug och *Höst* avser sep tom nov.

Uteluftens temperatur efter värmning och avkylning i den markförlagda kanalen vid olika utetemperaturer är sammanställd för olika tidsperioder i figur 1.7.

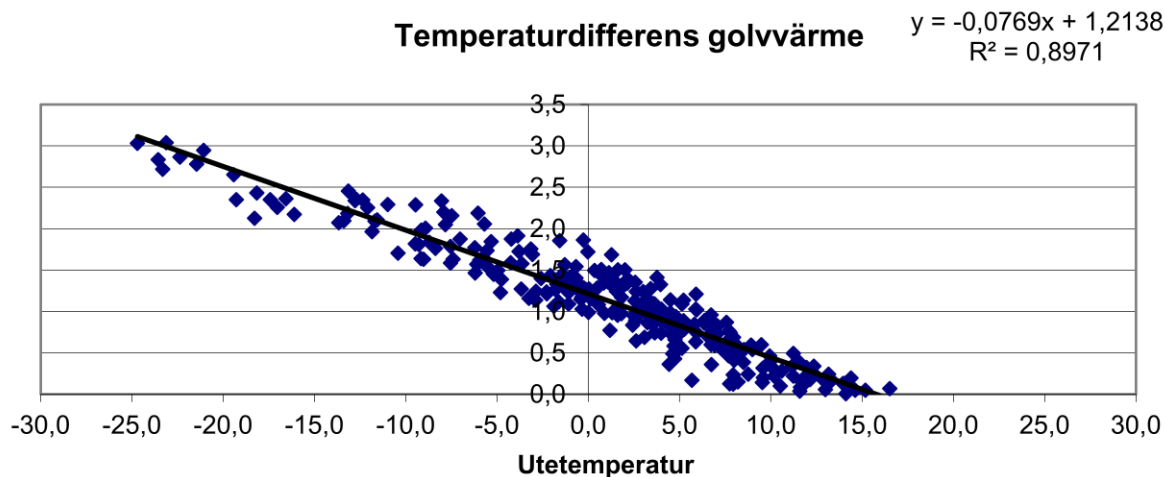
Vintertid framgår av figur 1.7 att temperaturen varierar mellan 2 till ca 7°C och sommartid blir uppmätt temperatur aldrig högre än 18°C, dvs en avkylning för utetemperaturer vid ca 20°C och däröver. Spridningen i temperaturen är påtaglig, förutom vid utetemperaturer lägre än ca -10°C, och beror bland annat på att ventilationen manuellt körs i olika driftlägen. Mätningar av ventilationsaggregatet (el till fläktar och eftervärmning) visar på tre olika driftlägen, figur 1.8, med genomsnittligt dygnsenergi-användning enligt följande; driftläge 1: 0,573 kWh/dygn, driftläge 2: 0,696 kWh/dygn och driftläge 3: 1,128 kWh/dygn. Ingen elektrisk eftervärmning av tilluften har uppmätts under 2011. För att reducera höga inomhustemperaturer sommartid ändras driften manuellt till driftläge 3 (bypass drift). Driftläge 1, som innebär det lägsta luftflödet, körs vintertid varmed uppehållstiden för inkommande uteluft i den markförlagda tilluftkanalen blir längre.

En jämförelse av vår och höst, figur 1.7, visar tydligt att hösten genomgående ger en bättre markförvärmning som resulterar i högre lufttemperaturer. Driftläge 1 och 2, enligt figur 1.8, förekommer båda inom utetemperaturintervallet -3 till 8°C, men skillnaden i den markförvärmda uteluften är trots det 3 till 4°C högre under hösten. Detta är en naturlig konsekvens av att markvärmelagret, som omger tilluftkanalen, laddas under sommaren och dräneras på energi under vintern.



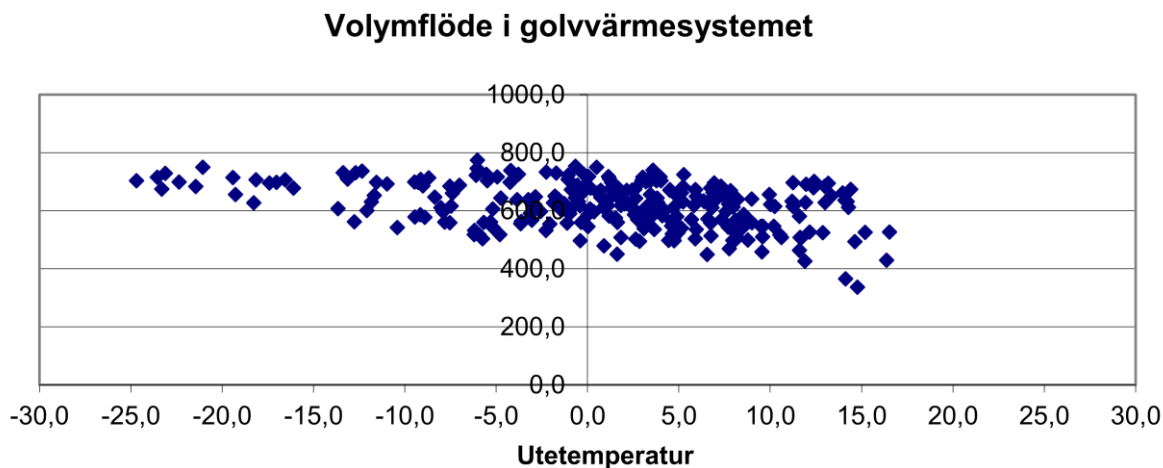
Figur 1.8 – Olika driftfall av ventilationsaggregat. Uppmätt medeleffekt för de olika fallen är: 24 W Driftläge 1, 29 W Driftläge 2 och 47 W Driftläge 3.

Skillnaden i framlednings- och returledningstemperatur hos golvvärmesystemet är sammanställt vid olika utetemperaturer i figur 1.9. Den linjära regressionen i figuren visar att temperaturskillnaden är 0°C vid utetemperaturen 15,7°C, dvs den sk balanstemperaturen över vilken värmebehovet tillgodoses av solen, värmeavgivning från interna aktiviteter och elektriska apparater.



Figur 1.9 – Temperaturdifferens (°C), fram- returledningstemperatur i golvvärmesystemet vid olika utetemperaturer.

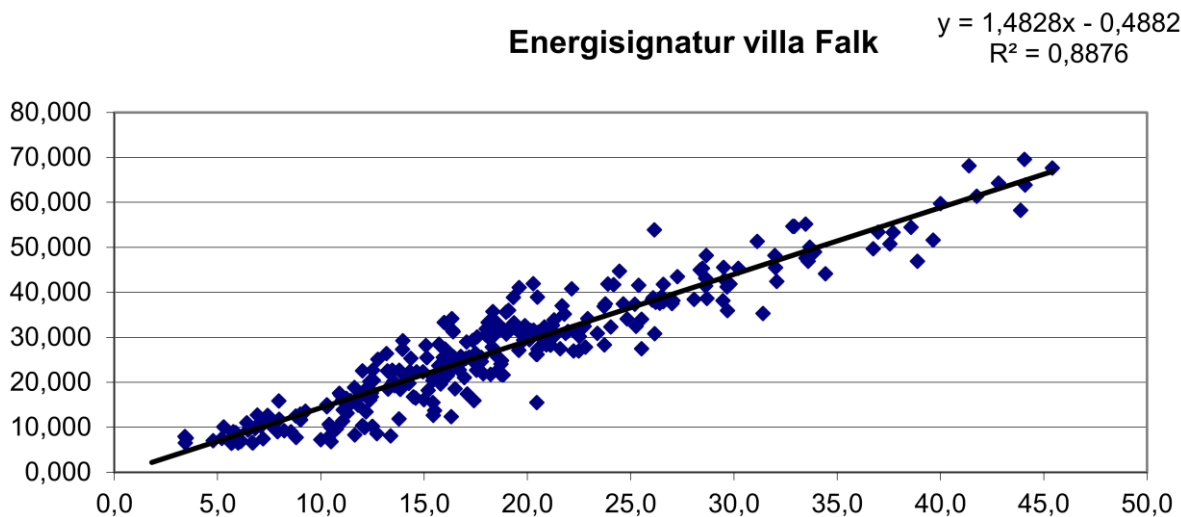
Värmebärarflödet vid olika utetemperaturer redovisas i figur 1.10.



Figur 1.10 – Cirkulation av vatten (liter/tim) i golvvärmesystemet vid olika utetemperaturer.

Temperaturskillnaden i figur 1.9 och volymflödet enligt figur 1.10 utgör grunden för effektbehovet och energianvändningen i golvvärmesystemet. Klimatparametrar som inte mäts kontinuerligt i detta projekt, dvs solinstrålning, vindens hastighet och riktning har inverkan på regleringen av värmeeffekten till värmesystemet och bidrar till spridning i mätdata. Det kan i både figur 1.9 och 1.10 ses att spridningen i mätdata är större för utetemperaturer högre än -10°C jämfört med därunder då tex solinstrålningen har mindre inverkan. Hur stor del av spridningen i mätdata som orsakas av nämnda parametrar och vilken inverkan tryckförluster medför då termostatventiler öppnar ytterligare rörslingsor i värmesystemet är inte klarlagt i nuläget. Konsekvensen av spridningen i dessa mätdata återverkar i husets energisignatur, som framgår av figur 1.11.

Den linjära regressionen har följande uttryck: $1,483(T_i - T_u) - 0,49$ [kWh/dygn], där T_i är innetemperatur och T_u är utetemperatur. Koefficienten 1,483 har enheten [kWh/dygn $^{\circ}\text{C}$] och utgör ett mått på det sammantagna värmebehovet med hänsyn tagen till transmissionsförluster, fläktstyrda ventilationsförluster och luftläckage via otätheter. Värdet på koefficienten kan omräknas till värmeeffekt genom att dividera med tiden för ett dygn och den nya faktorn kallas här fortsättningsvis, husets förlustfaktor, vilken i villa Falk blir $62 \text{ W}/^{\circ}\text{C}$.



Figur 1.11 – Energisignatur, [kWh/dygn], av total värmeanvändning som funktion av skillnaden i inne- utetemperatur [$^{\circ}\text{C}$].

Med hjälp av mätningar av husets otäthet, ventilerat från- och tilluftflöde samt temperaturverkningsgraden hos luft-luft värmeväxlaren kan husets U_m -värde fastställas med utgångspunkt från förlustfaktorn. I detta hus blir U_m -värdet baserat på mätningar $0,16 \text{ W}/\text{m}^2\text{C}$, vilket kan jämföras med beräknat U_m -värde $0,14 \text{ W}/\text{m}^2\text{C}$ enligt projekterad energibehovsberäkning.

1.7.3 Energi

Husets normalårskorrigerade värmeanvändning vid uppmätt inomhustemperatur (20,3°C) blir enligt energisignaturen 9673 kWh (inkl. el till fläktar och pumpar). Energianvändningen för tappvarmvatten är 1192 kWh/år, dvs den specifika energianvändningen blir 62,1 [kWh/m², år]. Den totala energianvändningen, inklusive hushåll 3256 kWh, uppgår under 2011 således till 14 121 kWh.

I tabell 1.1 redovisas uppmätt energi från solvärme, pelletskamin, beräknad värmemängd från markförvärmning av uteluften och mer som kuriosas motsvarande energi för avkylning av inkommande uteluft. Avvikelsen mellan ovan angiven värmeenergi och summan av solvärme samt pelletskamin, enligt tabell 1.1, beror på att tabell 1.1 visar uppmätt och inte normalårskorrigerad värmeenergi.

Tabell 1.1 – Uppmätt energi under 2011 från solvärmeanläggningen, vattenmantlad pelletskamin och beräknad energi från markförvärmning och kylning av inkommande uteluft.

Månad	Solvärme	Pellets-kamin	Markvärmning	Markkylning
	kWh	kWh	kWh	kWh
Jan	4	1649	283	0
Feb	107	1173	328	0
Mar	446	503	156	0
Apr	509	166	53	20
Maj	407	109	41	26
Jun	469	0	13	68
Jul	493	0	10	65
Aug	303	0	26	24
Sep	201	69	43	7
Okt	205	481	125	0
Nov	29	196	123	0
Dec	0	937	183	0
S:a	3172	5283	1386	211

Under 2011 ses i tabell 1.1 att solvärmesystemet har levererat totalt 3 172 kWh och under juni tom augusti behöver inte pelletskaminen användas för att tillgodose energibehovet av värme och tappvarmvatten.

Markförvärmning av uteluft utgör energimässigt ett komplement till solvärme, dvs när energiuttaget från solvärme är minimalt (november tom februari) är energiuttaget från markförvärmning som störst. För 2011 är som framgår av tabell 1.1 den totala värmemängden från markvärme 1 386 kWh, vilket motsvarar 43 % av levererad energi från solvärmesystemet.

2 Villa Pettersson

2.1 Allmän beskrivning

Villa Pettersson är en enfamiljsvilla med boarea på 139 m². Huset är delvis byggt i två plan och har en terras på den låga delen mot sydväst. Byggnaden har liggande träfasspont och spröjsade fönster. Yttertakets är belagt med torv med takrännor av trä. Entrén är placerad i väster och från öst finns en ingång till husets tvättstuga. Grundplatta är i betong och stommen är uppförd som dubbel regelstomme i trä.



Figur 2.1 villa Pettersson

Byggföretaget anser att vindtätningen på utsidan av huset bildar en "termos-liknande" lösning med ångbromsen på insidan vilket innebär att huset anses säkrat mot fuktlagring.

2.2 Värmesystem

Villan har elektrisk vattenburen golvvärme i badrum och hall med en effekt på 0,7 kW samt eftervärmning av tilluft i luftvärmväxlaren. Den sammantagna värmeeffekten för golvvärme och eftervärmning av tilluft uppges i bygghandlingarna vara 1,7 till 2,5 kW.

2.3 Ventilationssystem

Ventilationssystemet är ett till- och frånluftssystem med värmväxlare och eftervärmare. Intag av uteluft görs genom ett 10 m långt rör med diameters 0,1 m och som är markförlagt på 0,7 m djup. Tilluftsflödet sker i sov- samt vardagsrum och frånluften tas från köket och badrum.

2.4 Isolering

I grunden ligger ett 300 mm tjock lager av cellplast och väggarna har ett skikt av 300 mm mineralull. Isoleringen i taket består av 500 mm mineralull. U-värdet för fönster och dörrar uppges till 0,7 respektive 1,2 W/°C m².

2.5 Beräknad energianvändning

Ingen beräkning av energibehovet finns redovisad.

2.6 Produktionskostnad för huset

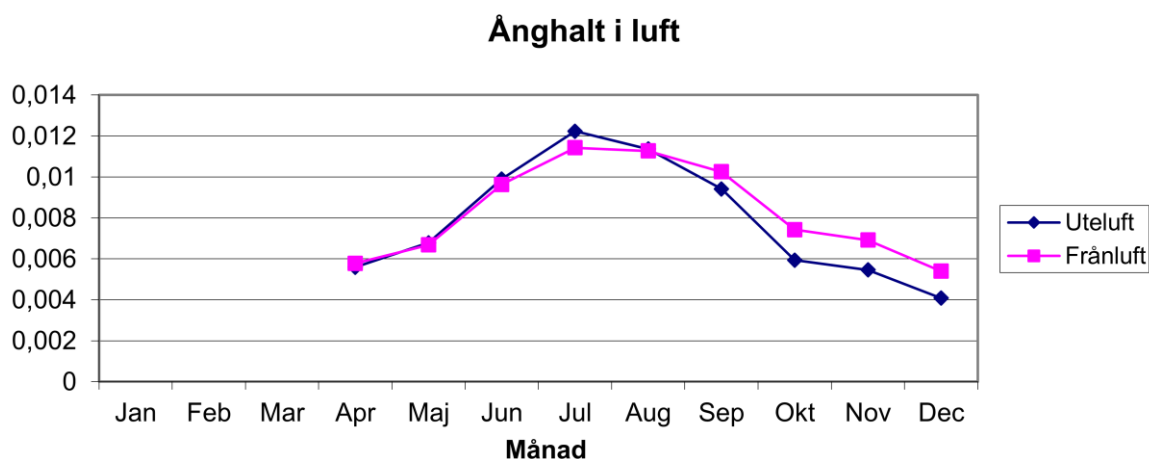
Totalt uppgår produktionskostnaden till 2 Mkr.

2.7 Mätresultat

Provtryckning av huset visade ett q50-värde på 0,34 [liter/s omslutande area]. Enligt nuvarande klassning anges ett q50-värden inom intervallet 0,3 till 0,45 [liter/s omslutande area] motsvara en lufttät byggnad. Nyligen genomförda flödesmätningar av den fläktstyrda ventilationen visade att tilluftflödet är 34 liter/s och att frånluftflödet är 34,5 liter/s.

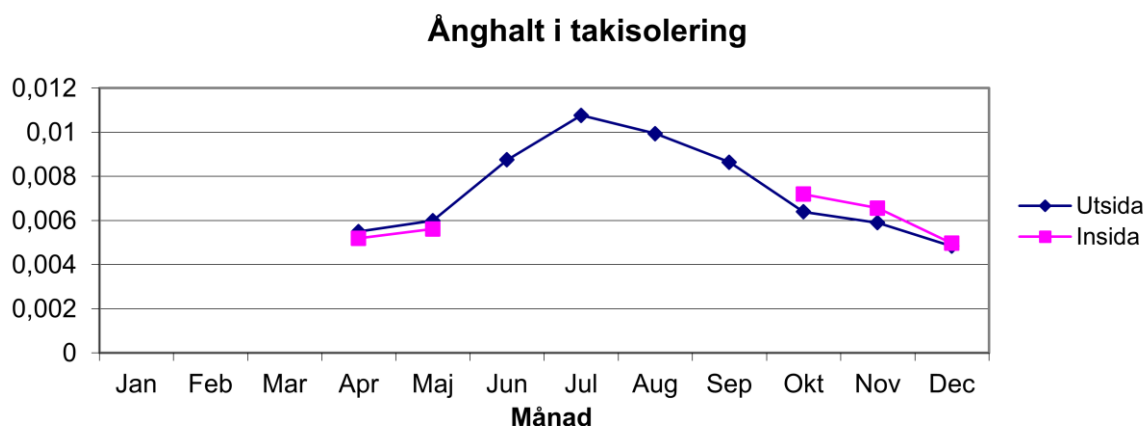
2.7.1 Fukt

Sensorer för mätning av temperatur och relativ fuktighet installerades i isolermaterial i tak, väggar och golv (under betongplattan) i samband med byggnationen av huset. Baserat på dessa mätdata har ånghalter beräknats och dessa redovisas nedan i form av månadsmedelvärden. Figur 2.2 visar ånghalter i utomhus- och frånluften. Skillnaden i ånghalt mellan från- och uteluften är ett mått på fukttillskottet från människor och diverse andra aktiviteter till inomhusluften. Ånghalten i uteluften har en naturlig variation över året och är som lägst under de kalla vintermånaderna och som högst under sommarmånaderna. Ånghalten i frånluften följer som framgår i figur 2.2 naturligt variationen i uteluften och under perioden september till och med december är fukttillskottet i genomsnitt 1,3 g/m³. Resultatet av fuktmätningen i frånluften indikerar att huset började bebos hösten 2011.



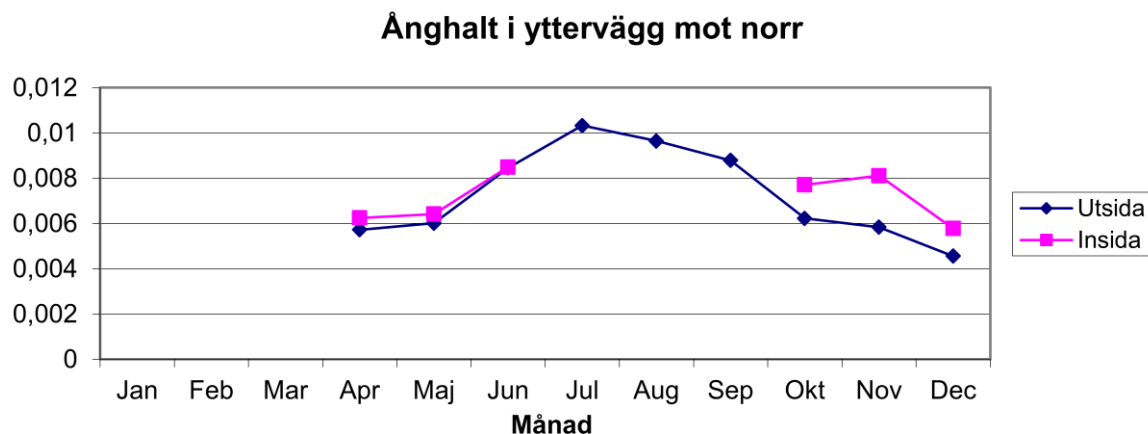
Figur 2.2 – Ånghalt (kg/m³) i ute- och frånluft under 2011, mätningar startade i april 2011.

Ånghaltens variation i takisoleringen, figur 2.3, har tyvärr ett längre mätbortfall på insidan av ångbromsen. Fortsatta mätningar är nödvändiga.

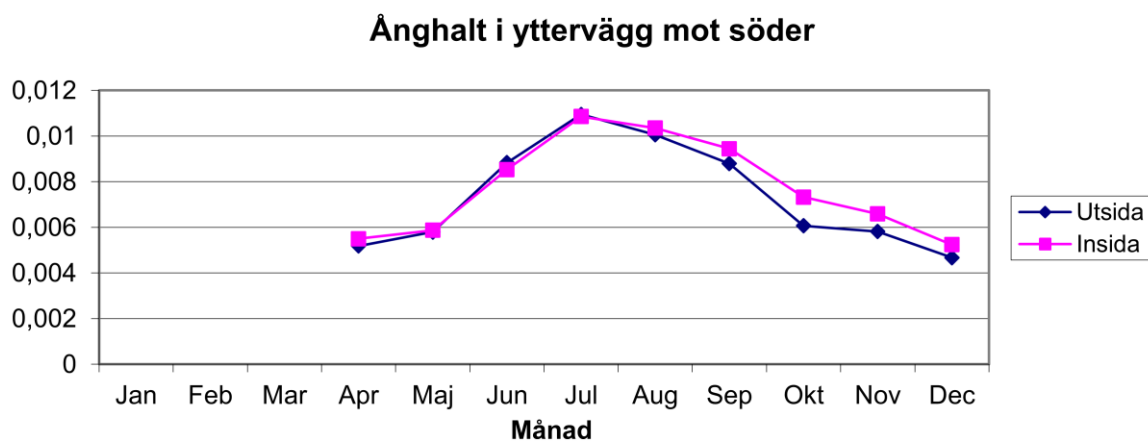


Figur 2.3 – Ånghalt (kg/m³) i tak på in- respektive utsida om ångbromsen. Mätningar av insida saknas juni tom september.

Ånghalten i yttervägg mot norr och söder, figur 2.4 och 2.5, indikerar också att huset började bebos under hösten 2011 eftersom ånghalten är högre på insidan än utsidan.

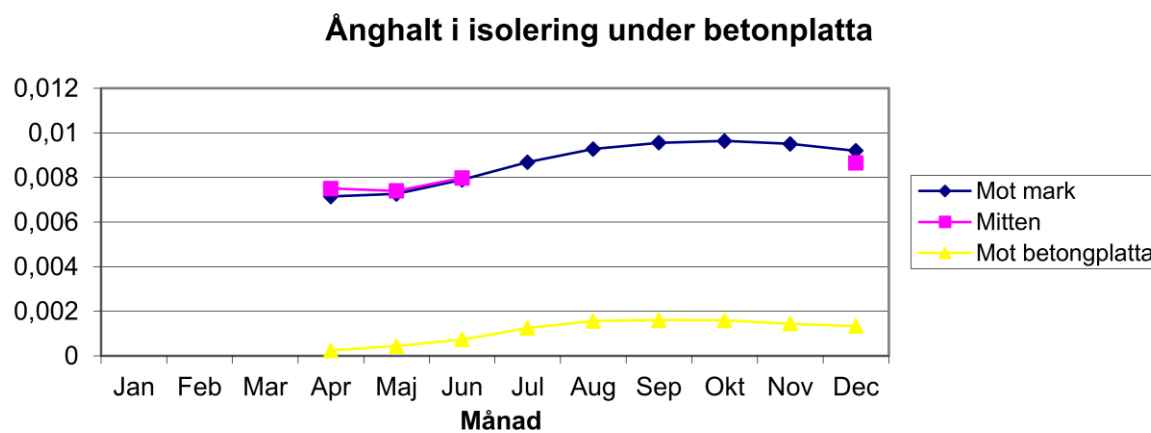


Figur 2.4 – Ånghalt (kg/m^3) i yttervägg mot norr. Mätningar av insida saknas juli tom september.



Figur 2.5 – Ånghalt (kg/m^3) i yttervägg mot söder.

Mätningar av relativa fuktigheten i isoleringen under betongplattan visar att närmast marken är den 100 %. Motsvarande ånghalt ändras med temperaturen och eftersom temperaturen stiger mot sommaren så ökar även ånghalten enligt figur 2.6 (Mot mark). Mätdata saknas för Mitten-positionen under större delen av mätperioden. Som väntat visar mätningen den lägsta ånghalten närmast betongplattan. Medeltemperaturen är där 17°C och den relativa fuktigheten i genomsnitt 8 %.

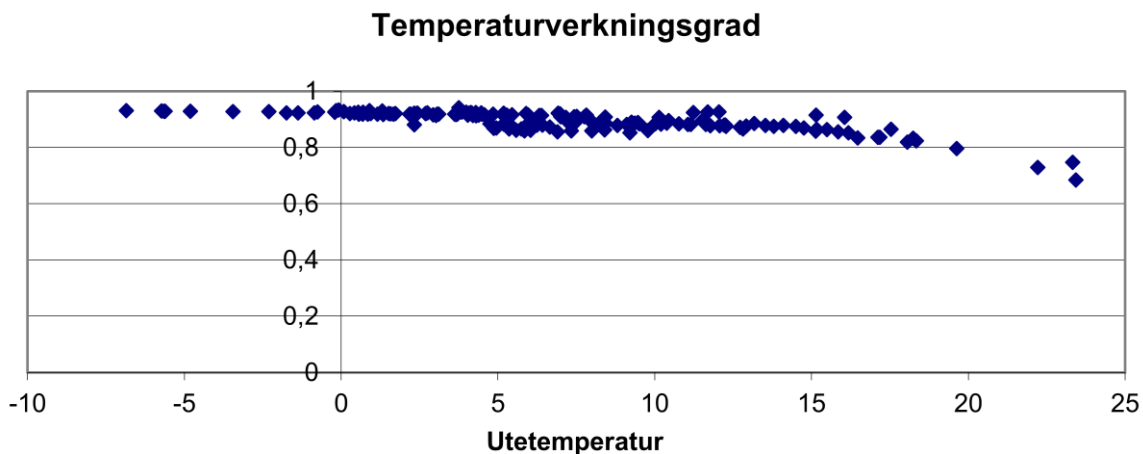


Figur 2.5 – Ånghalt (kg/m^3) i isolering under betongplatta. Mätdata saknas för Mitten juli tom november.

Man brukar ange att risken för rötangrepp är obefintlig vid relativa fuktigheter under 75 % och för mögelangrepp är risken obefintlig under 70 %. Röt- och mögel- angrepp beror inte enbart av nivån hos den relativa fuktigheten utan påverkas även av temperatur, lufthastighet, ljus och varaktighet, dvs exponeringstid.

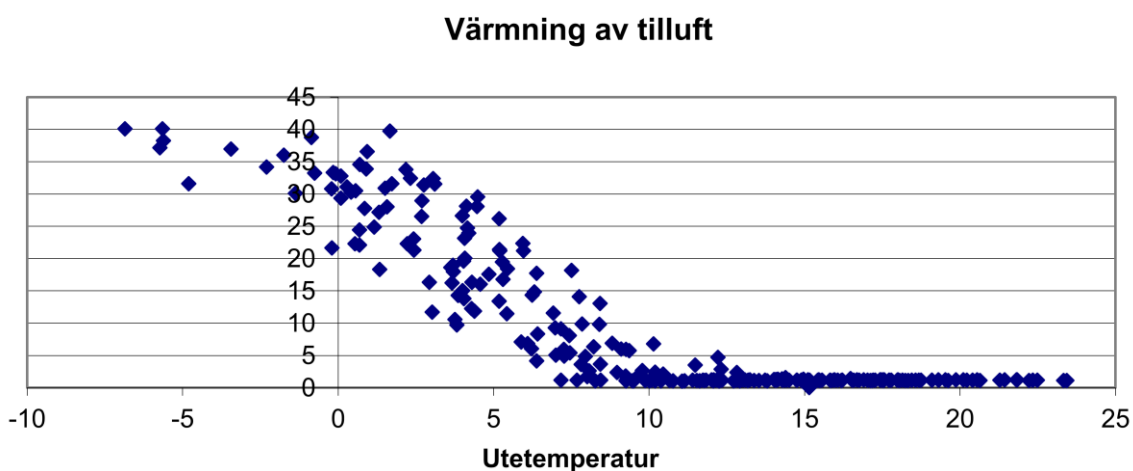
2.7.2 Prestanda och funktion hos värmetekniska installationer

Mätningar av temperaturverkningsgraden visar att värmeväxlaren har en konstant hög verkningsgrad på i genomsnitt 92 % vid lägre utetemperaturer och avtagande ned till 80 % vid högre utetemperaturer.



Figur 2.6 – Temperaturverkningsgrad luft-luft värmeväxlare vid olika utetemperaturer.

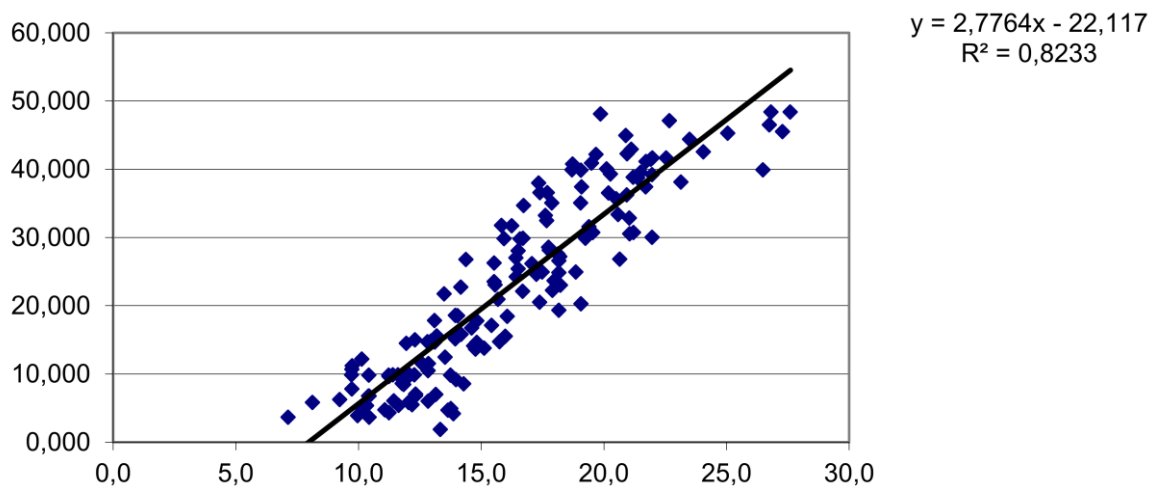
Energianvändningen (dygnsmedelvärden) i ventilationssystemet visar, figur 2.7, att vid utetemperaturer mellan 10 till 15°C tillkommer förutom drift av fläktarna även elenergi till eftervärmning av tilluften.



Figur 2.7 – Eftervärmning (el) av tilluft vid olika utetemperaturer.

Uppskattad balanstemperatur genom linjär regression av data i figur 2.7 visar på 11,7°C.

Husets energisignatur framgår av figur 2.8 där den linjära regressionen har följande uttryck: $2,776(T_i - T_u) - 22,12$ [kWh/dygn], där T_i är innetemperatur och T_u är utetemperatur. Koefficienten 2,776 har enheten [kWh/dygn°C] och utgör ett mått på det sammantagna värmebehovet med hänsyn tagen till transmissionsförluster, fläktstyrda ventilationsförluster och luftläckage via otätheter. Värdet på husets förlustfaktor blir i villa Pettersson 115,6 W/°C.



Figur 2.8 – Energisignatur [kWh/dygn] av total värmeanvändning i villa Pettersson, dygnsmedelvärden.

Med hjälp av mätningar av husets otäthet, ventilerat från- och tilluftflöde samt temperaturverkningsgraden hos ventilations-värmeväxlaren kan husets genomsnittliga värmegenomgångskoefficient fastställas med utgångspunkt från förlustfaktorn. I detta hus blir U_m -värdet baserat på mätningar 0,26 W/m²°C.

2.7.3 Energi

Husets normalårskorrigerade värmebehov vid uppmätt inomhustemperatur (21,7°C) blir enligt energisignaturen 11 276 kWh (inkl. el till fläktar). Energianvändningen för tappvarmvatten är 1 959 kWh/år, dvs den specifika energianvändningen blir 95,2 kWh/m², år. Den totala energianvändningen, inklusive hushåll 3 257 kWh, uppgår under 2011 således till 16 492 kWh.

3 Villa Carlstedt

3.1 Allmän beskrivning

Villa Carlstedt är en enfamiljsvilla med en uppvärmd boarea på 217 m². Huset är delvis uppfört i två våningsplan. Byggnaden har liggande träpanel som fasadmateriäl och relativt stora fönster mot söder. Yttertak \ddot{e} t är belagt med takpannor i betong. Entrén är mot söder och i öst finns en ingång till husets tvättstuga. Grundkonstruktionen utgörs av betongplatta på mark och stommen är en regelstomme i trä. I dagsläget är huset bebott av två vuxna och två barn.



Figur 3.1 villa Carlstedt

3.2 Värmesystem

En bergvärmepump förser villan med tappvarmvatten och värme via vattenburen golvvärme på bottenvåningen och vattenradiatorer på övervåningen. Bergvärmepumpen som har maximal värmeeffekt på 10 kW är placerad i garaget och anslutningen till huset sker via en värmekulvert. Värmefaktorn (COP-värdet) anges i energibehovsberäkningen till 5 för värme och 3 för varmvatten.

3.3 Ventilationssystem

Ventilationssystemet är ett till- och frånluftssystem med roterande värmeväxlare. Värmeväxlarens temperaturverkningsgrad uppges vara 85 % vid utetemperaturen 2°C och 75 % vid -15°C.

3.4 Isolering

Under betongplattan ligger 300 mm cellplastisolering mot mark och ytterväggarna utgörs av konventionella regelväggar med 285 mm mineralullsisolering. I taket finns ett 600 mm tjockt lager lösull. Huset har ett beräknat Um-värde på 0,25 W/m²K.

3.5 Beräknad energianvändning

Behovet av köpt energi (bergvärmepump) är beräknat till 34 kWh/m²,år för uppvärmning och tappvarmvatten. Husets beräknade energibehov med avseende på transmissions-, ventilationsförluster och tappvarmvatten är uppskattat till 123 kWh/m²,år.

3.6 Produktionskostnad för huset

Totalt uppgår produktionskostnaden till 3,2 Mkr.

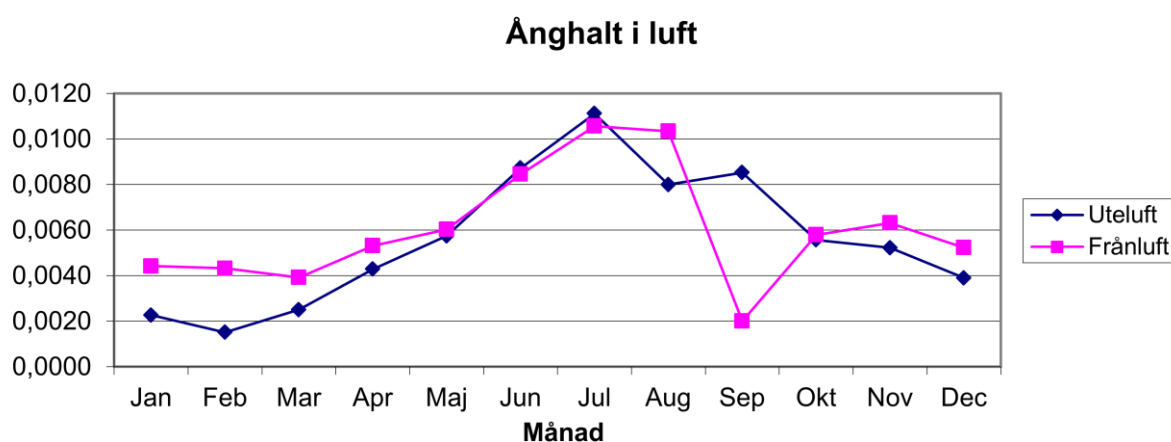
3.7 Mätresultat

Provtryckning av huset visade ett q50-värde på 0,37 [liter/s omslutande area]. I nuvarande klassning anges ett q50-värden inom intervallet 0,3 till 0,45 [liter/s omslutande area] att motsvara en lufttät byggnad. Nyligen genomförda flödesmätningar av den fläktstyrda ventilationen visade att tilluftflödet är 73 liter/s och att frånluftflödet är 76 liter/s. Detta motsvarar en fläktstyrd luftomsättning på 0,52 omsättningar per timme.

3.7.1 Fukt

Man brukar ange att risken för rötangrepp är obefintlig vid relativa fuktigheter under 75 % och för mögelangrepp är risken obefintlig under 70 %. Röt- och mögel- angrepp beror inte enbart av nivån hos den relativa fuktigheten utan påverkas även av temperatur, lufthastighet, ljus och varaktighet, dvs exponeringstid.

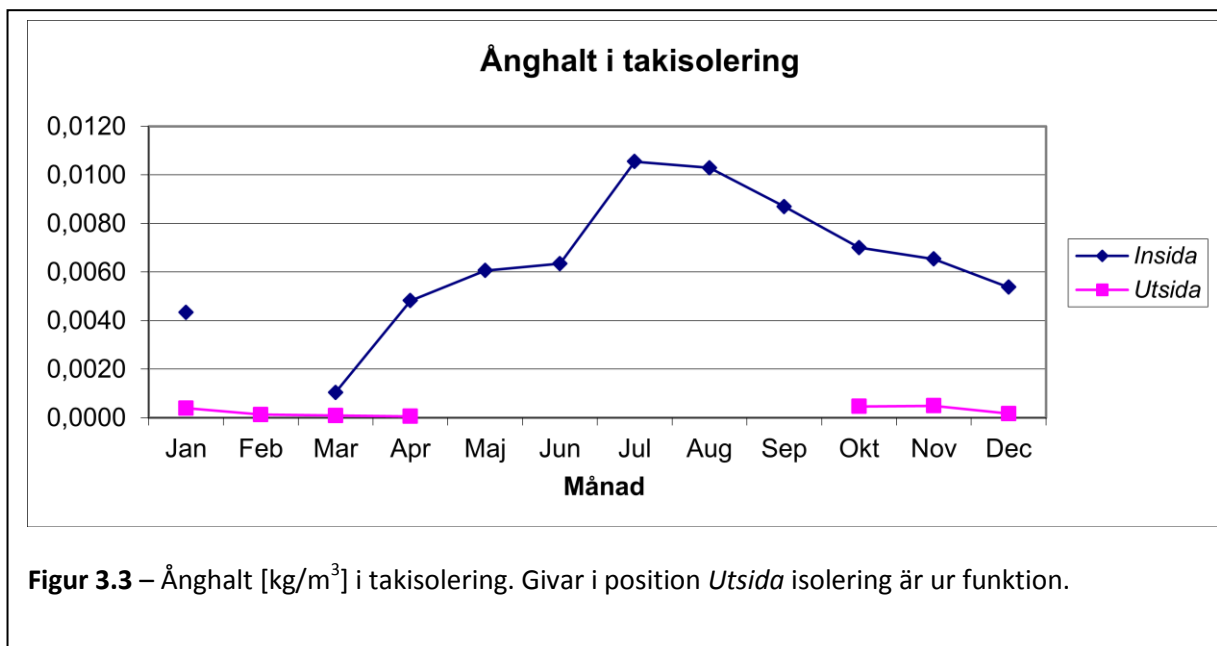
Sensorer för mätning av temperatur och relativ fuktighet installerades i isolermaterial i tak, väggar och golv (under betongplattan) i samband med byggnationen av huset. Baserat på dessa mätningar har ånghalter beräknats och redovisas nedan i form av månadsmedelvärden. Figur 3.2 visar ånghalter i utomhus- och frånluften. Skillnaden i ånghalt mellan från- och uteluften är ett mått på fukttillskottet från människor och andra fuktavgivande aktiviteter till inomhusluften.



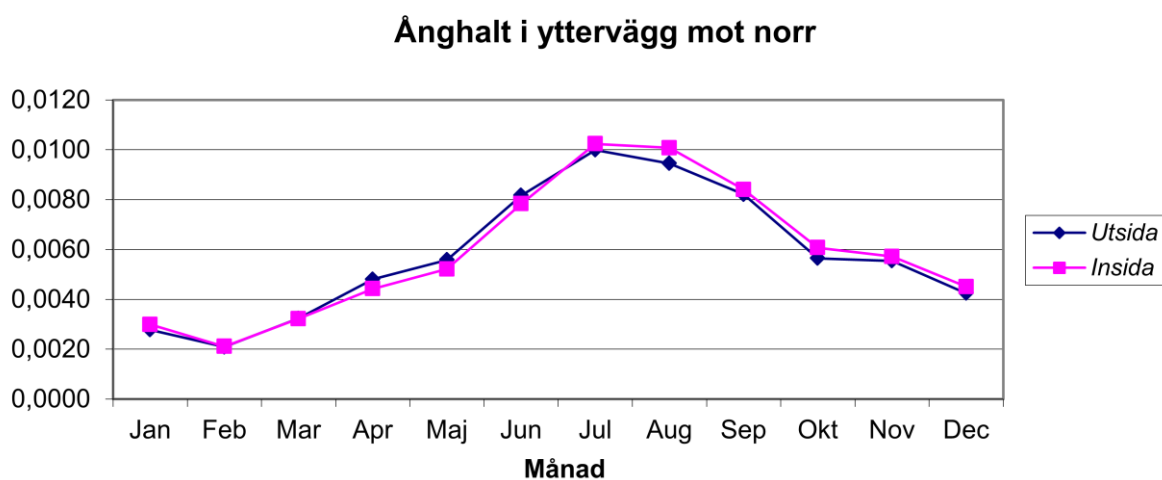
Figur 3.2 – Ånghalt [kg/m^3] i ute- och i frånluft under 2011. Fel i frånluftgivaren i september.

Ånghalten i uteluften har en naturlig variation över året och är som lägst under kalla vintermånader och som högst under sommar-perioden.

Ånghalten i takisoleringen på utsidan om fuktspärren är tyvärr ur funktion, den visade fuktnivån för *Utsida* är orimligt låg.

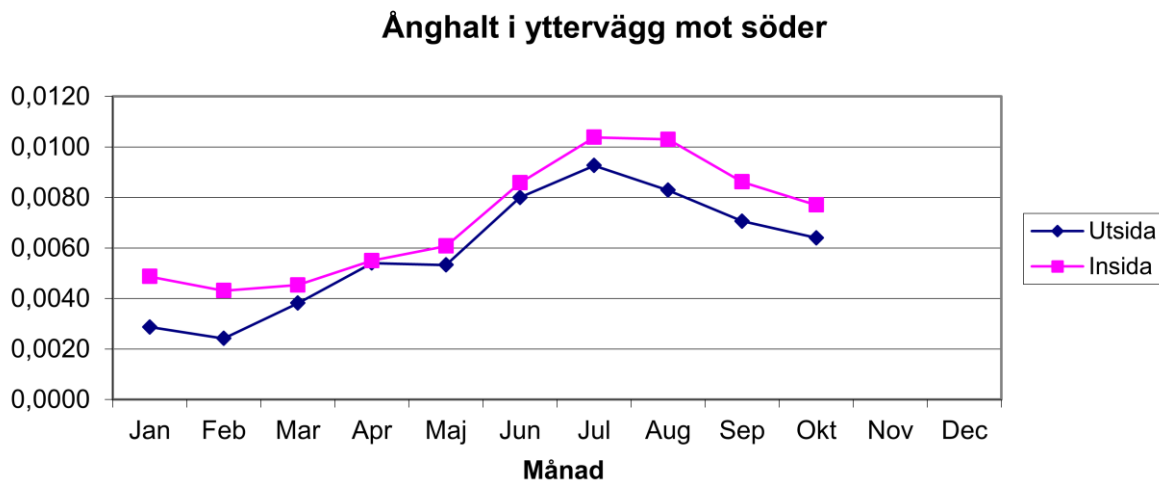


Ånghalten på respektive sida om fuktspärren i ytterväggen mot norr följer väl variationerna i uteluften och resultatet i figur 3.4 visar att skillnaden i ånghalt är försumbart liten. Månadsmedelvärdet av den relativa fuktigheten varierar mellan 62,1 % (*Utsida* augusti) till 22,8 % (*Insida* januari) och temperaturen är motsvarande 17,6°C till 14,9°C.



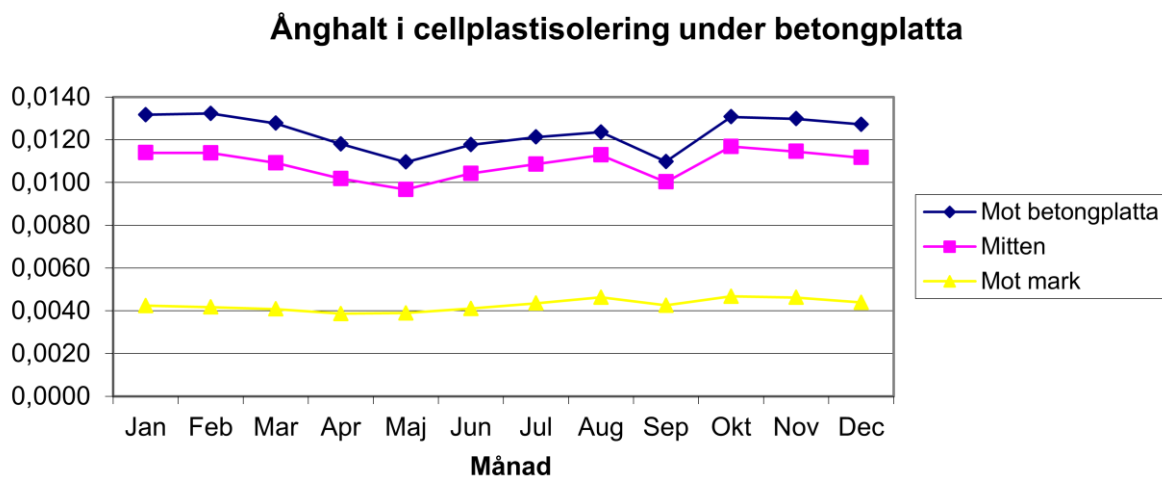
Figur 3.4 – Ånghalt [kg/m³] i yttervägg mot norr, villa Carlstedt.

I figur 3.5 ses genomgående att ånghalten är högre på insidan om fuktspärren. Månadsmedelvärdet av den relativa fuktigheten varierar mellan 60,3 % (*Utsida* oktober) till 30,5 % (*Insida* mars) och temperaturen är motsvarande 11,5°C till 17,2°C.



Figur 3.5 – Ånghalt [kg/m³] i yttervägg mot söder.

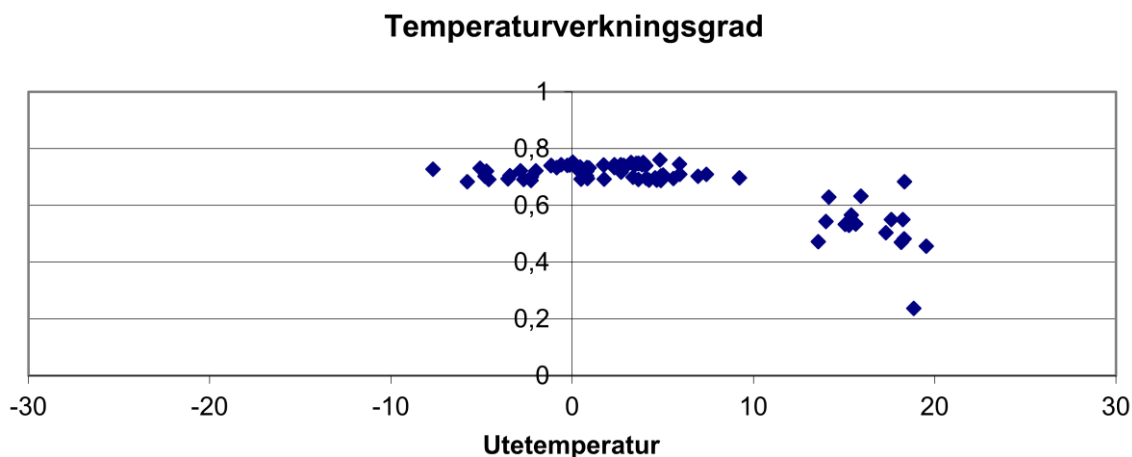
Ånghalten i isoleringen under betongplattan varierar enligt figur 3.6. Att ånghalten är högst närmast den uppvärmda betongplattan och lägst i isoleringen närmast marken är inte förväntad. En trolig orsak till detta är att fukt har trängt ned till omgivningen runt sensorn som därför visar högre fuktnivå i position *Mot betongplatta* och i *Mitten* jämfört med *Mot mark*.



Figur 3.6 – Ånghalt [kg/m³] i isolering under betongplatta.

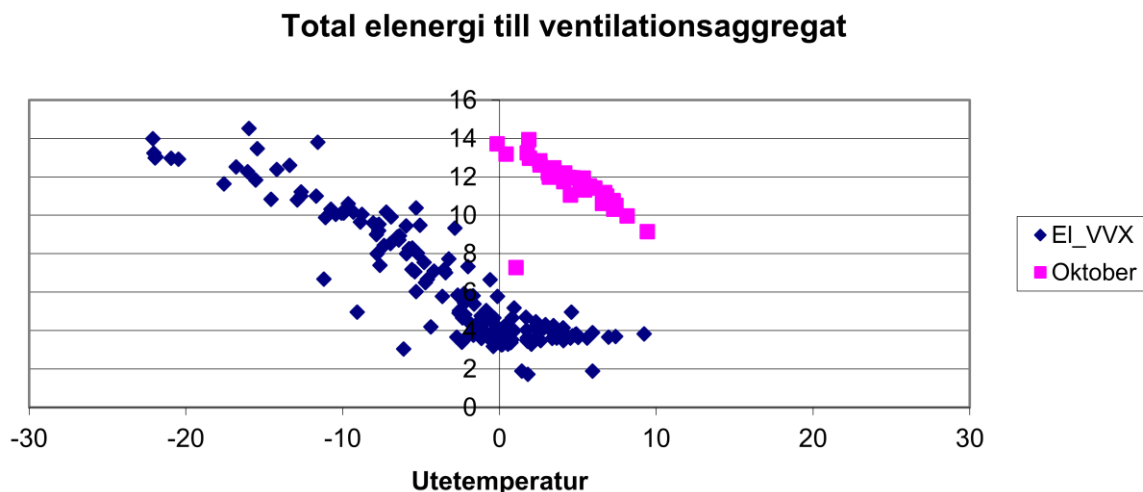
3.7.2 Prestanda och funktion hos värmetekniska installationer

Mätningar av temperaturverkningsgraden visar att värmeväxlaren har en verkningsgrad på i genomsnitt 70 % inom utetemperaturintervallet -10 till 10°C. Vid högre utetemperaturer avtar som väntat verkningsgraden och därmed undviks oönskat höga tillufttemperaturer.

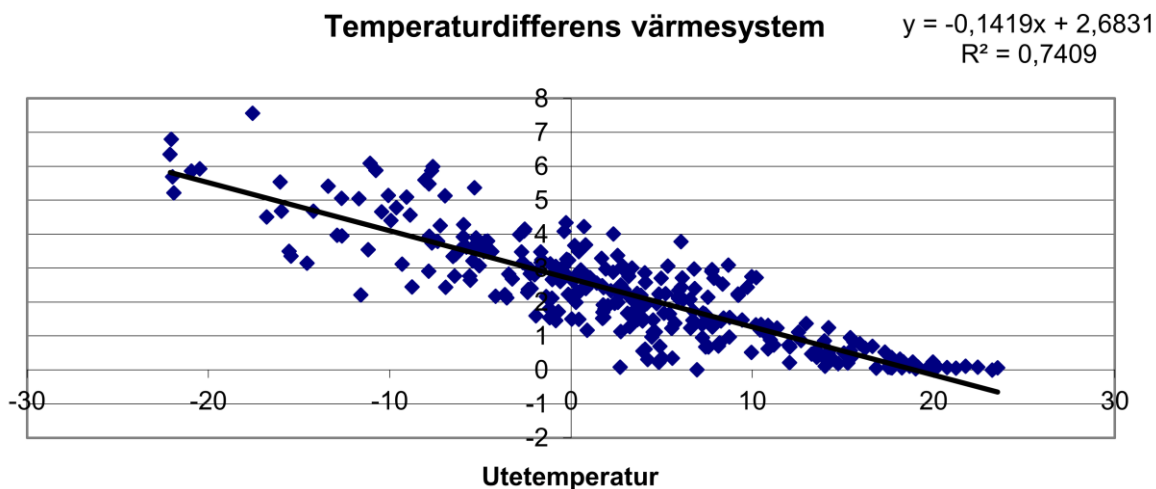


Figur 3.7 – Temperaturverkningsgrad i den roterande luft-luft värmeväxlaren vid olika utetemperatur.

Figur 3.8 visar total elenergianvändning till ventilationsaggregatet inklusive eftervärmning av tilluften. Driftpunkterna markerade med oktober är också total elenergianvändning, men det verkar som att eftervärmningen av någon anledning i dessa dygn är inkopplad vid högre utetemperaturer.

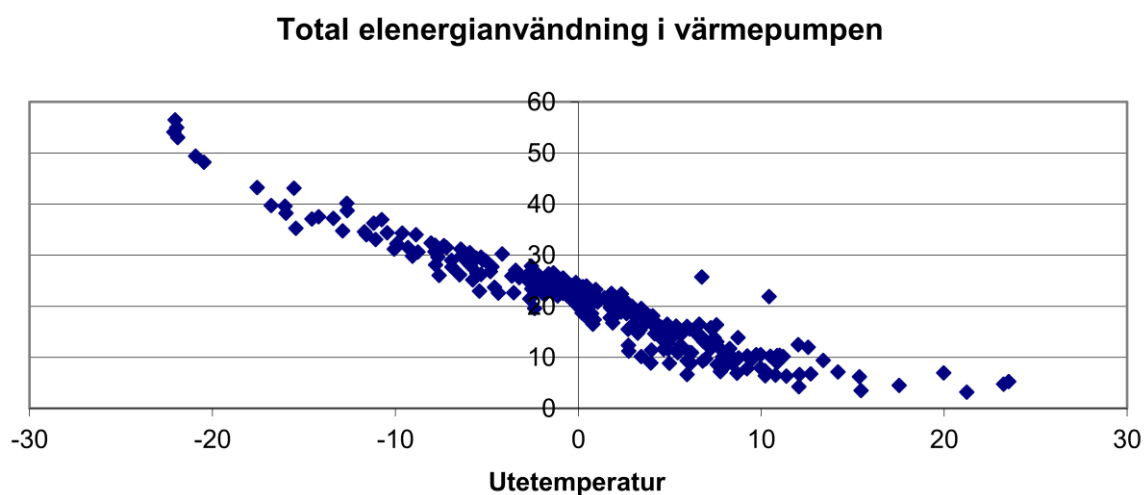


Figur 3.8 – Total elenergianvändning i ventilationsvärmväxlaren.



Figur 3.9 – Temperaturdifferens (fram- returtemperatur) värmesystem vid olika utetemperaturer.

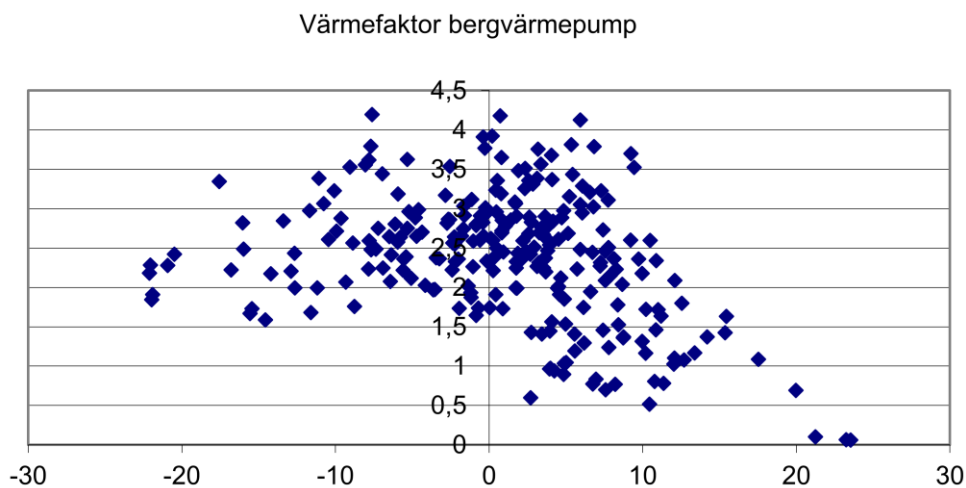
Såväl framledningstemperaturen som vattenflödet varierar i värmesystemet. Detta ger som redan har påtalats tidigare upphov till spridning i data för värmeeffekt. Regressionen av mätdata i figur 3.9, visar att temperaturskillnaden i värmesystemet är 0°C vid utetemperaturen 18,9°C, dvs husets balanstemperatur.



Figur 3.10 – Total elenergianvändning (dygnsmedelvärden) i värmepumpen vid olika

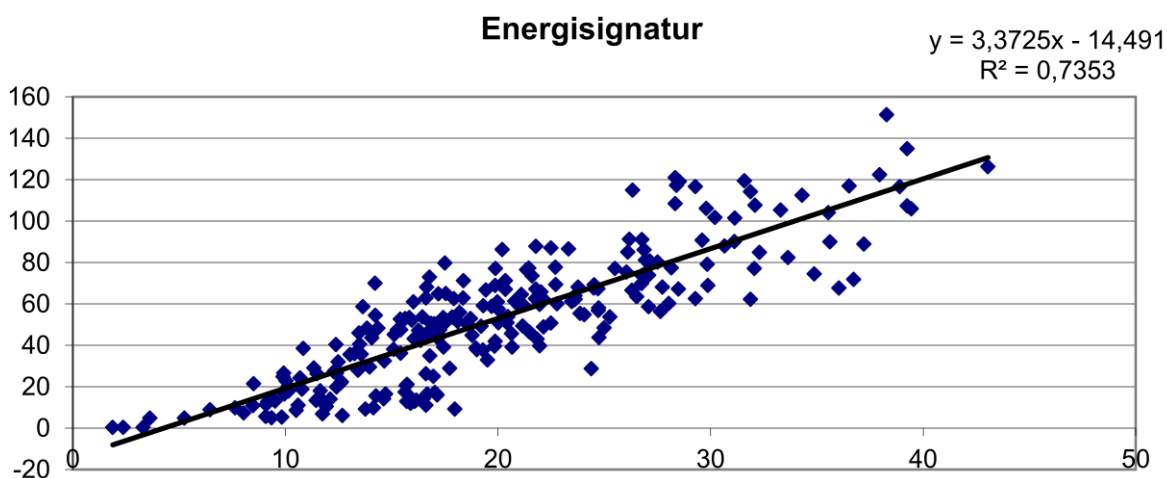
Eftersom husets värmebehov ökar när utetemperaturen minskar, så ökar tillförd elenergi till berörmepumpen enligt figur 3.10.

Summan av energianvändning för tappvarmvatten och värme i golv- och radiatorsystemet i relation till tillförd elenergi till värmepumpen utgör värmefaktorn som redovisas i figur 3.11 vid olika utetemperaturer. Den stora spridning i data beror som redan påtalats av variationer i värmeuttaget men även av variationer i tappvarmvattenanvändningen. Inom utetemperaturintervallet -10 till 10°C är värmefaktorn i genomsnitt 2,5.



Figur 3.11 – Värmefaktor (dygnsmedelvärden) hos värmepumpen vid olika utetemperaturer.

Husets energisignatur framgår av figur 3.12 där den linjära regressionen har följande uttryck: $3,372(T_i - T_u) - 14,49$ [kWh/dygn], där T_i är innetemperatur och T_u är utetemperatur.



Figur 3.12 – Energisignatur (dygnsmedelvärden) för villa Carlstedt.

Koefficienten 3,372 har enheten [kWh/dygn°C] och utgör ett mått på det sammantagna värmebehovet med hänsyn tagen till transmissionsförluster, fläktstyrda ventilationsförluster och luftläckage via otätheter. Värdet på husets förlustfaktor blir i villa Carlstedt 140,5 W/°C.

Med hjälp av mätningar av husets otäthet, fläktstyrt från- och tilluftflöde samt temperaturverkningsgraden hos ventilations-värmeväxlaren kan husets genomsnittliga värmegenomgångskoefficient beräknas med utgångspunkt från förlustfaktorn. I villa Carlstedt blir detta U-värde 0,19 W/m²°C, vilket är 24 % lägre än i energibehovsberäkningen angivet Um-värde.

3.7.3 Energi

Husets normalårskorrigerade värmebehov vid uppmätt inomhustemperatur (20,9°C) blir enligt energisignaturen 17 094 kWh (inkl. el till fläktar och pumpar). Energianvändningen för tappvarmvatten är 3 117 kWh/år, dvs den specifika energianvändningen blir 93,1 kWh/m², år. Den totala energianvändningen, inklusive hushåll 6 083 kWh, uppgår under 2011 således till 26 294 kWh.

4 Villa Dario

4.1 Allmän beskrivning

Villa Dario är en tvåvåningsvilla som är uppförd i en V-formation som vetter mot söder, vilket även de flesta fönster gör för att i största mån nyttja solens värme. Den totala uppvärmda golvarean är 270 m². Taket är byggt som ett sadeltak med en beklädnad av betongpannor. Ytterväggarna har en beklädnad av träpanel och grunden är av typen platta (tjocklek 0,1 m) på mark.



Figur 4.1 Villa Dario

4.2 Värmesystem

Fjärrvärmenätet förser huset med både tappvarmvatten och värme. I husets nedervåning är ett golvvärmesystem integrerat i betongplattan och på övervåningen sker uppvärmningen via vattenburna radiatorer.

4.3 Ventilationssystem

Ventilationssystemet är utrustat med en värmeväxlare samt en eftervärmare kopplad till fjärrvärmesystemet för att säkerställa önskad temperatur på tilluften. Med hjälp av mätning av inomhusluftens temperatur, tillufttemperaturer och via eftervärmaren avgiven värmeeffekt har frånluftflödet i huset uppskattats till 81 liter/sekund. Mätningar av till- och frånluftflöde kommer att genomföras.

4.4 Isolering

I grunden ligger ett 400 mm tjockt lager av cellplast och väggarna har ett skikt av 370 mm lösullsisolering som utgörs av träfiber från tall vilket skall ha en låg genomsläpplighet för luft och ha hög värmelagringsförmåga. I taket finns ett 500 mm tjockt lager av tall-träfibrer av lös karaktär för att bättre täppa till de luftfickor som kan uppstå mellan tvärlåar i takkonstruktionen.

4.5 Projekterad energianvändning

Projekterad energianvändning för Villa Dario är 108 kWh/m²,år inklusive hushållsel. Denna beräkning innefattar bostad, garage och vindfång med en sammanlagd yta på 309 m² uppvärmd yta. Total energianvändning för uppvärmning, tappvarmvatten och fastighetsenergi är beräknat till 23 435 kWh/år vilket blir utslaget per ytenhet 76 kWh/m², år. U_m-värde för byggnaden är beräknat till 0,16 [W/m², °C] exklusive köldbryggor.

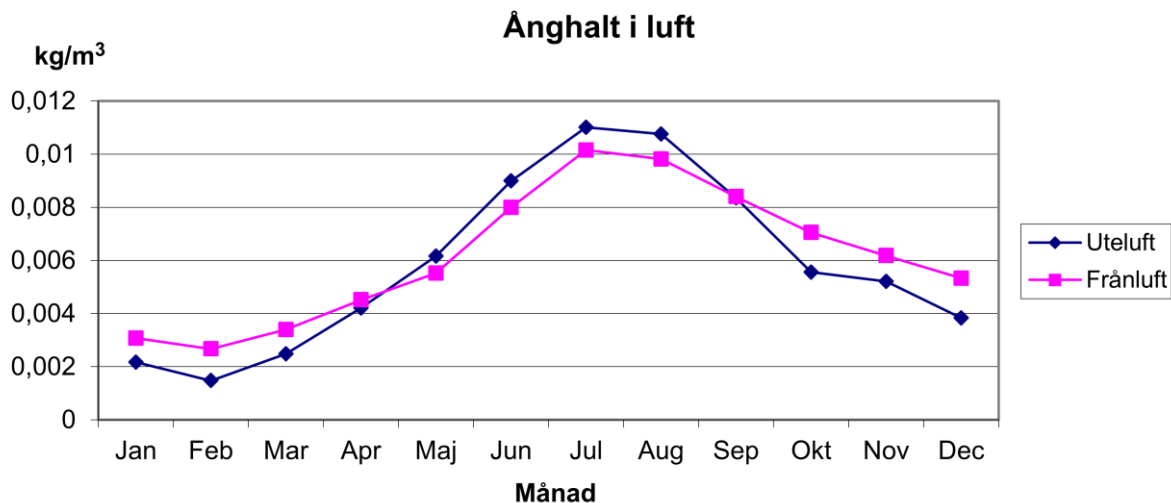
4.6 Produktionskostnad för huset

Drygt 5 Mkr. Ingen exakt siffra för kostnaden finns i nuläget för bygget.

4.7 Mätresultat

4.7.1 Fukt

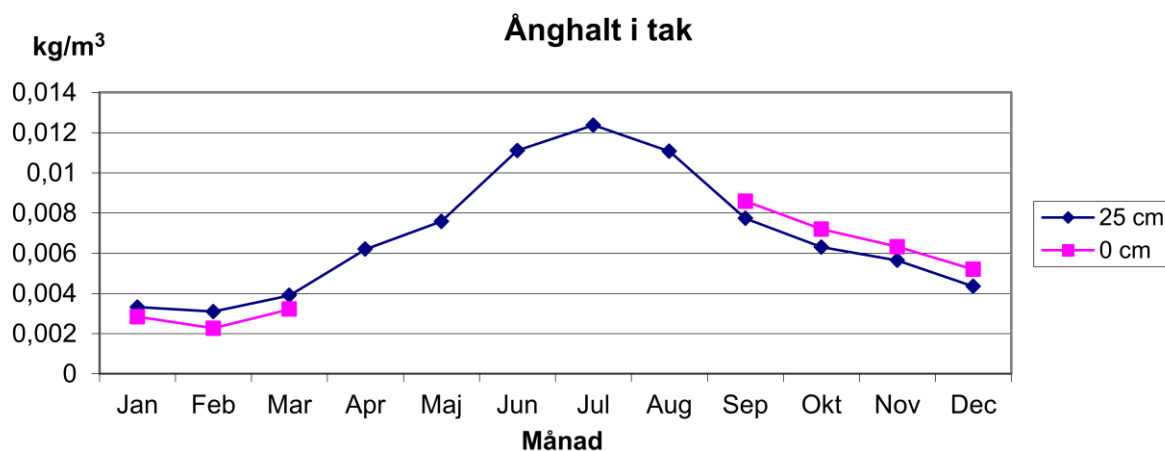
Sensorer för mätning av temperatur och relativ fuktighet installerades på olika djup i isolermaterial i tak, väggar och golv (under betongplattan) i samband med byggnationen av huset. Baserat på dessa mätningar har ånghalten i de olika positionerna beräknas. Figur 4.2 visar resultat i form av månadsmedelvärden av ånghalten i utomhus- och frånluften. Skillnaden i ånghalt mellan dessa är ett mått på fukttillskottet till inomhusluften.



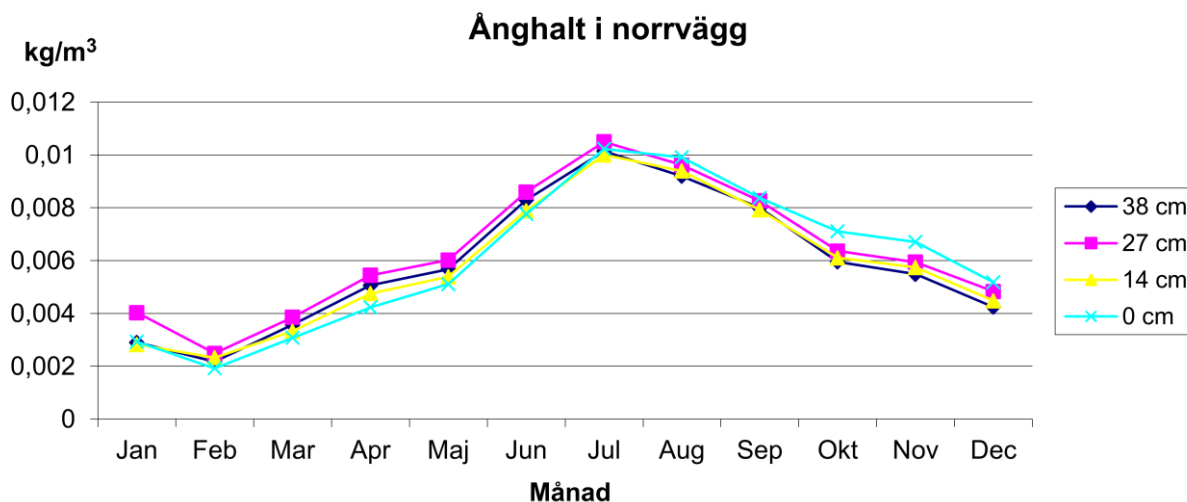
Figur 4.2 - Ånghalt utomhus- och i frånluften, 2011.

Ånghalten i frånluften är högre än i utomhusluften under januari till maj och under oktober till och med december. Under dessa perioder innebär det att fukttillskottet i genomsnitt är 0,001 kg/m³.

Ånghalten på olika djup i takisoleringen framgår av figur 4.3, ånghalt i yttervägg orienterad i nordlig riktning i figur 4.4 och i yttervägg i sydlig riktning enligt figur 4.5.

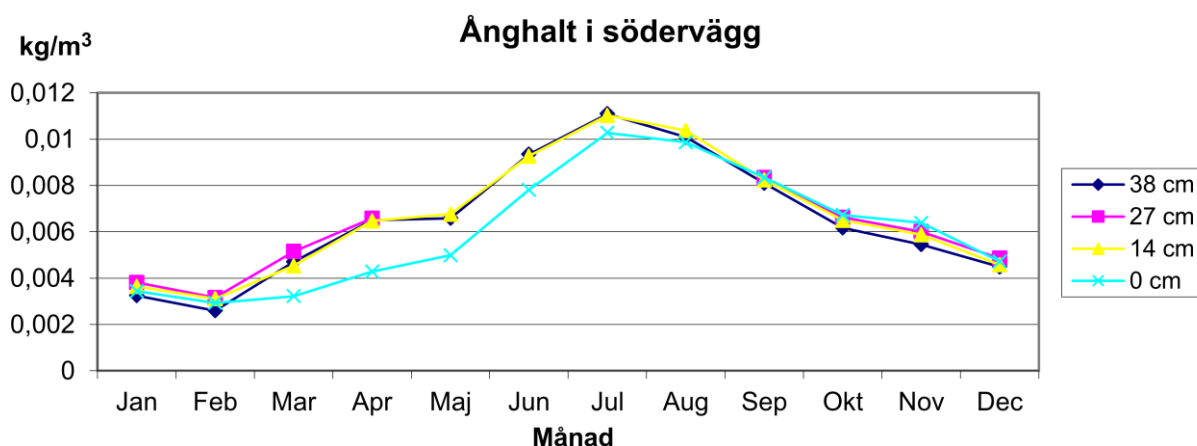


Figur 4.3 – Ånghalt i takisolering på olika djup sett från ångspärren. Mätdata för 0 cm saknas för april – augusti.



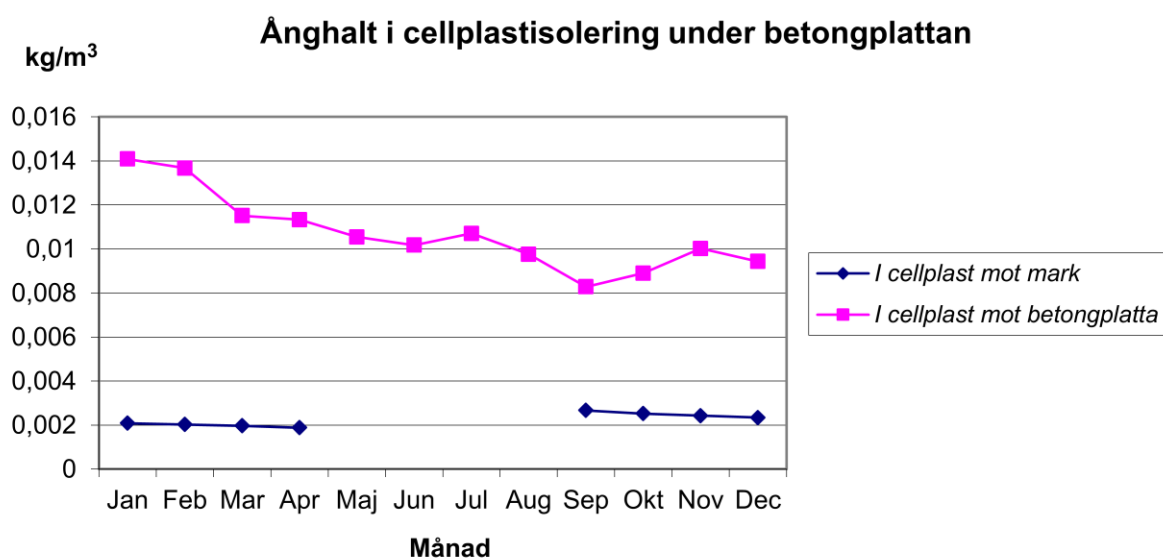
Figur 4.4 – Ånghalt på olika djup sett från ångbromsen i isolering, yttervägg mot norr.

Ånghalterna på de olika djupen i klimatskärmen följer den månadsvisa variationen av ånghalten i utomhusluften, jämför figurerna 4.3 – 4.5 med figur 4.2. Den högsta ånghalten i utomhusluften 0,011 kg/m³, som motsvarar 70,4% relativ fuktighet, uppmättes i juli månad vars genomsnittliga utomhustemperatur var 18,1°C. Generellt är skillnaden i ånghalt mellan de olika djupen i ytterväggarna små och den relativa fuktigheten varierar i genomsnitt mellan 32,6 – 58,7% i norrväggen och mellan 32,3 – 61,2 i söderväggen. De uppmätta fukt- och temperaturnivåerna utgör ingen risk för mögel eller röta, vilket förutsätter att den relativa fuktigheten bära vara över 70% och temperaturen över 15°C.



Figur 4.5 – Ånghalt på olika djup sett från ångbromsen i isolering, yttervägg mot söder.

Fuktmätningarna i isoleringen under betongplattan uppvisar ingen motsvarande samvariation, som i ytterväggar och tak, med utomhusluftens ånghalt. I cellplasten närmast betongplattan, se figur 4.6, avtar ånghalten liknande ett uttorkningsförlopp, medan djupare ned i isoleringen är ånghalten närmast konstant, ca $0,002 \text{ kg/m}^3$. Motsvarande relativ fuktighet och temperatur i denna position av cellplastisoleringen är i genomsnitt 20,6 % och $11,8^\circ\text{C}$. I cellplasten mot betongplattan är den relativa fuktigheten 60,4 % och temperaturen $25,8^\circ\text{C}$ i januari. I december är relativa fuktigheten 45 % och temperaturen $23,6^\circ\text{C}$.

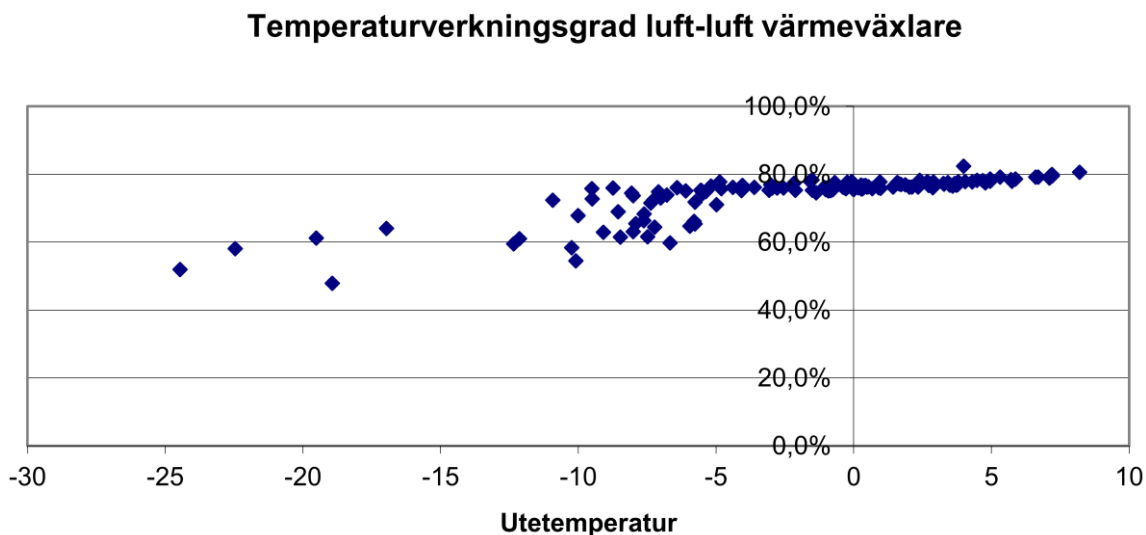


Figur 4.6 – Ånghalt på olika djup i markisolering under betongplattan. Mätdata i *cellplast mot mark* saknas för maj – augusti.

Man brukar ange att risken för rötangrepp är obefintlig vid relativa fuktigheter under 75 % och för mögelangrepp är risken obefintlig under 70 %. Röt- och mögel- angrepp beror inte enbart av nivån hos den relativa fuktigheten utan påverkas även av temperatur, lufthastighet, ljus och varaktighet, dvs exponeringstid.

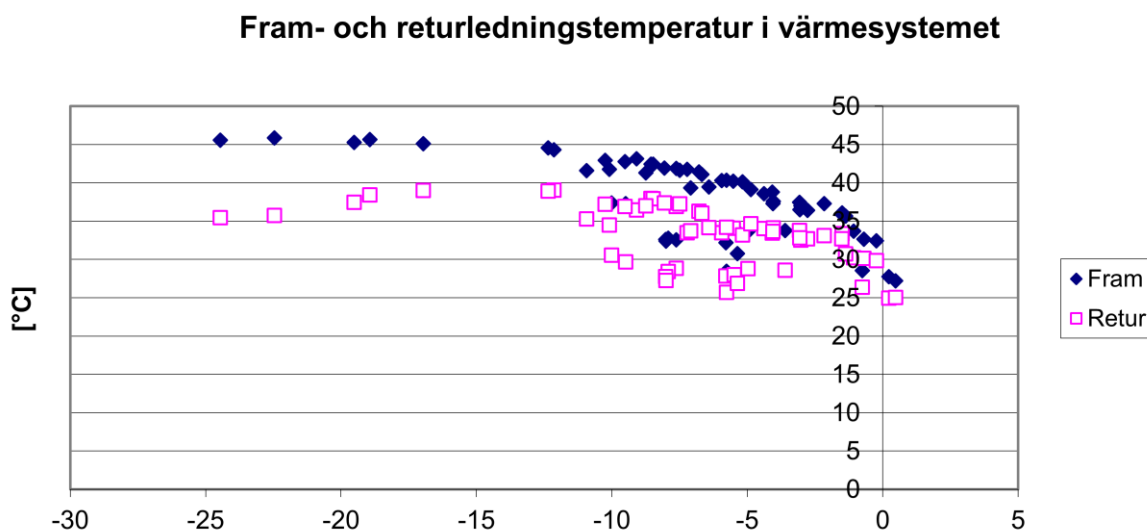
4.7.1 Prestanda och funktion hos värmetekniska installationer

Den uppmätta temperaturverkningsgraden (exklusive eftervärmning) i värmeväxlaren är sammanställd i figur 4.7. För utomhustemperatur i intervallet 10 till -5°C varierar verkningsgraden mellan 75 - 80%. I intervallet -5 till -25°C syns tydligt en ökad spridning i data (tillufttemperaturen) men även att verkningsgraden reduceras till 50-60% vid utetemperaturer ned mot -25°C på grund av sänkning av tillufttemperaturen med avtagande utetemperatur.



Figur 4.7 – Temperaturverkningsgrad baserad på uppmätta dygnsmedelvärden (oktober 2011 till och med februari 2012) vid olika utomhustemperatur.

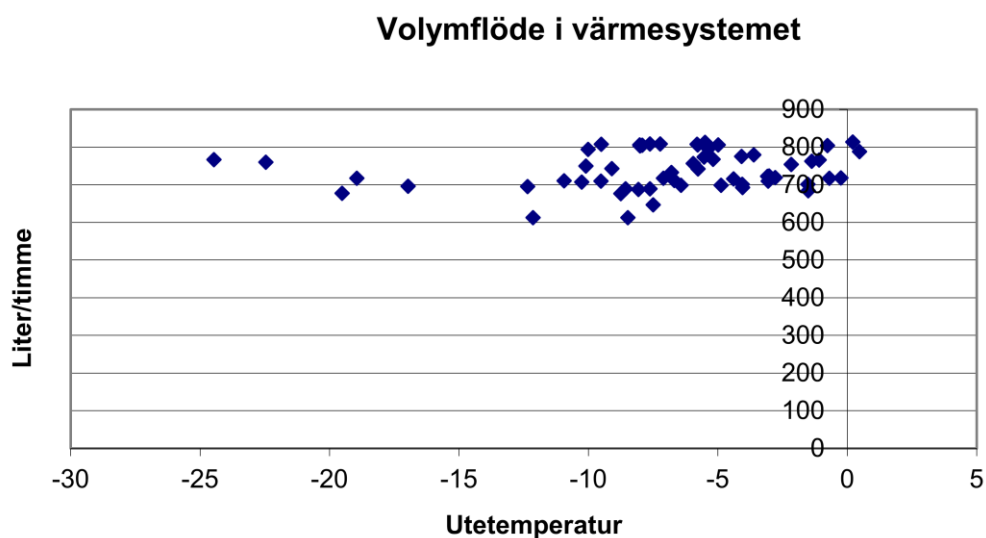
Fram- och returtemperatur i värmesystemet, golvvärme på bottenvåningen och radiatorer på övervåningen, framgår av figur 4.8 och volymflödet i värmesystemet är sammanställt i figur 4.9.



Figur 4.8 – Fram- och returtemperatur i värmesystemet (dygnsmedelvärden) vid olika utomhustemperatur.

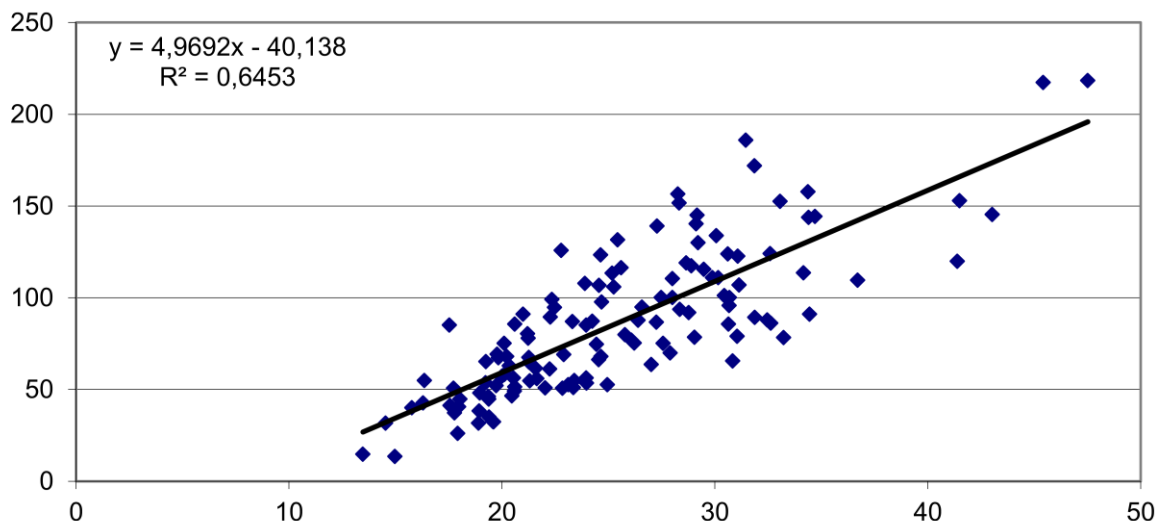
Framledningstemperaturen, enligt figur 4.8, ser ut att följa en icke-linjär styrkurva. I intervallet med utetemperaturer mellan -5 till -10°C visar mätningen på en ökad spridning i data. Returtemperaturen varierar mellan $25 - 37^{\circ}\text{C}$ och framledningstemperaturen varierar mellan $30 - 42^{\circ}\text{C}$.

Även spridningen i mätdata av volymflödet i värmesystemet är som störst i intervallet -5 till -10°C . Enligt figur 4.9 varierar flödet mellan 600 till 800 liter/timme. Att såväl fram- och returledningstemperaturen som volymflödet i värmesystemet varierar innebär i sin tur att den avgivna värmeeffekten uppvisar spridning vid en given utetemperatur. Energisignaturen med avseende på temperaturskillnaden, inom- och utomhustemperatur innehåller således spridning i data, vilket framgår av figur 4.10 som en direkt konsekvens av variationerna i figur 4.8 och 4.9.



Figur 4.9 – Volymflödet i värmesystemet (dygnsmedelvärden) vid olika utomhustemperatur.

En anpassning (polynom) av fram- och returledningstemperaturer visar att dessa blir identiska vid utetemperaturen $6,6^{\circ}\text{C}$. Vid denna balanstemperatur och högre utetemperaturer indikerar detta att husets värmesystem inte behövs för tillförsel av energi till uppvärmningen. Värmebehovet tillgodoses istället av diverse värmeförluster från interna värmekällor (personvärme, elektriska apparater) och solinstrålning.



Figur 4.10 – Energisignatur (dygnsmedelvärde) av total värmeanvändning i villa Dario. Mätdata är från november 2011 tom februari 2012.

Husets energisignatur framgår av figur 4.10 där den linjära regressionen har följande uttryck: $4,969(T_i - T_u) - 40,14$ [kWh/dygn], där T_i är innetemperatur och T_u är utetemperatur. Koefficienten 3,372 har enheten kWh/(dygn°C) och alltså utgör ett mått på det sammantagna värmebehovet med hänsyn tagen till transmissionsförluster, fläktstyrda ventilationsförluster och luftläckage via otätheter. Värdet på husets förlustfaktor blir för villa Dario 207 W/°C.

Med hjälp av mätningar av husets otäthet, fläktstyrt från- och tilluftflöde (uppskattade i nuläget) samt temperatur-verkningsgraden hos ventilations-värmeväxlaren kan husets genomsnittliga värmeomgångs-koefficient beräknas med utgångspunkt från förlustfaktorn. I detta hus blir detta U-värde 0,29 W/m²°C.

4.7.3 Energi

Under hösten 2011 flyttade nya boende in i huset. Mätningarna visar på en tydlig ökning i energianvändningen som för tappvarmvatten ökar från 8,7 till 17,8 kWh/dygn och hushållsel ökar från 14,1 till 23,4 kWh/dygn. Husets energisignatur och uppskattningar av årsenergi för tappvarmvatten och hushållsel är därför i denna delrapport baserad på mätperioden november 2011 till och med februari 2012.

Husets normalårsbehov av värme baserat på energisignaturen av uppmätt värmeuttag (golvvärme, radiatorer och eftervärmning av tilluft vid uppmätt temperaturdifferens i inom- och utomhusluften) är 17 465 kWh. Detta årsvärmebehov är beräknat med avseende på en konstant inomhustemperatur på 20°C, vilket i genomsnitt är 2,5°C lägre än uppmätt inomhustemperatur under november (2011) till och med februari (2012).

Energibehovet för tappvarmvatten är baserat på mätningar, beräknat till 6 490 kWh/år och för hushållsel 8 609 kWh/år. Den specifika energianvändningen i Villa Dario, dvs uppvärmning, tappvarmvatten och fastighetsenergi (elenergi för pumpar och fläktar), blir därmed 88,7 kWh per m² och år.

5 Gröngård

5.1 Allmän beskrivning

Huset Gröngård på Gimoborg är ett flerfamiljshus i två våningar med totalt 6 lägenheter. Den uppvärmda golvarean är 562 m². Husets stomme är byggd i betong med utfackningsväggar. Ytterväggarna har träpanel och grunden är av typ platta på mark.



Figur 5.1 Gröngård

5.2 Värmesystem

Huset är anslutet till fjärrvärme för tappvarmvatten och uppvärmning. Värme distribueras via radiatorer och golvvärme i badrum.

5.3 Ventilationssystem

Ventilationen i varje lägenhet utgörs av tilluft i vardagsrum, sovrum och hall och frånluft från kök och badrum. Ett gemensamt luftbehandlingsaggregat med roterande värmeväxlare återvinner värme i frånluften och eftervärmer ingående tilluft med fjärrvärme.

5.4 Isolering

I grunden under betongplattan som har tjockleken 120 mm ligger 200 mm markisolering. Randen runt grunden är isolerad med 150 mm kantelement. Ytterväggar är isolerade med 240 mm mineralull och 45 mm klimatskiva mot utsidan. Vindsbjälklaget är isolerat med 500 mm lössull.

5.5 Beräknad energianvändning

Projekterad specifik energianvändning angavs till 57 kWh/m², år. Vid beräkningarna antogs bland annat fläktstyrt luftflöde till 230 l/s och värmeväxlarens temperaturverkningsgrad till 80 %. Det beräknade U_m-värdet uppgavs vara 0,21 W/°Cm².

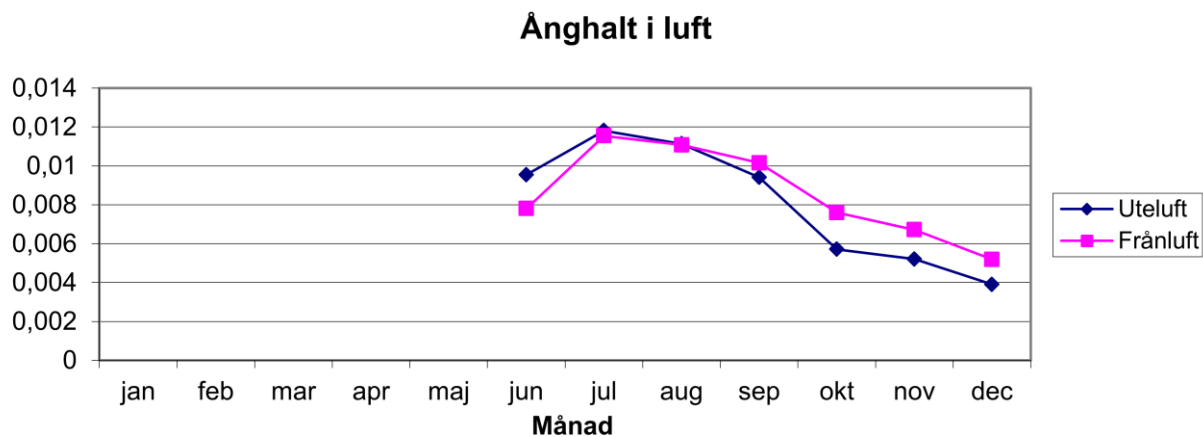
5.6 Produktionskostnad för huset

Totalentreprenadkostnaden uppgår till ca 6,5 Mkr exklusive moms.

5.7 Mätresultat

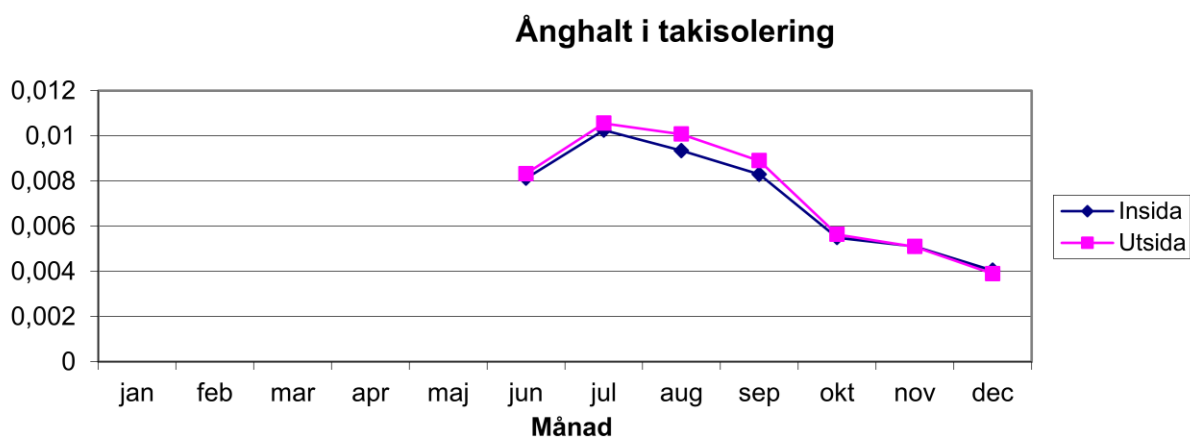
5.7.1 Fukt

Sensorer för mätning av temperatur och relativ fuktighet installerades på olika djup i isolermaterial i tak, väggar och under betongplattan i samband med byggnationen av huset. Baserat på dessa mätningar har ånghalten i luftutrymmet kring givarsensorn beräknas och resultaten är sammanställda som månadsmedelvärden i figurerna 5.2 – 5.5.



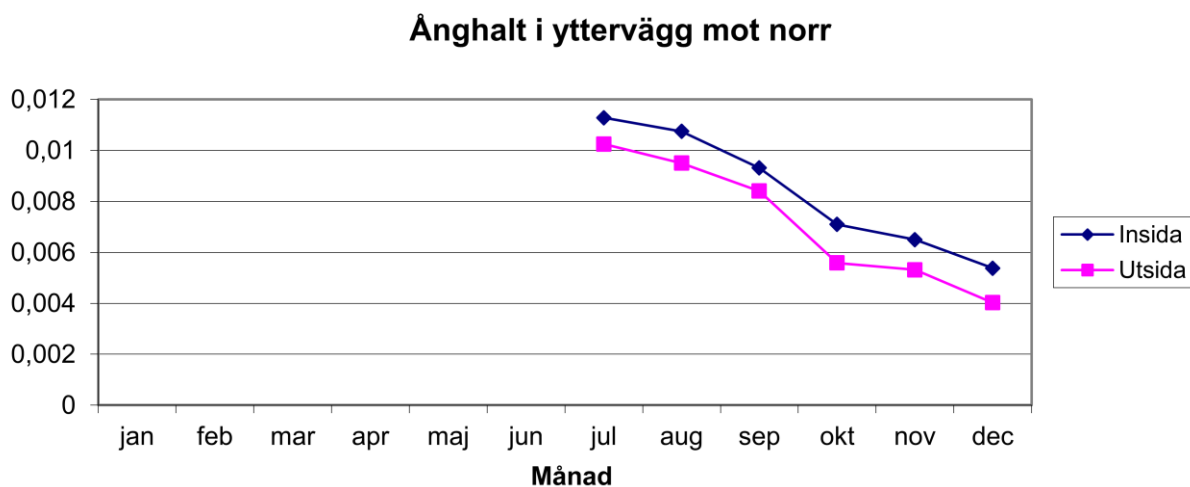
Figur 5.2 – Ånghalt [kg/m³] i utomhus- och i frånluft, 2011.

Ånghalten i frånluften enligt figur 5.2 antyder att huset började bebos i september – oktober, eftersom den är högre än ånghalten i uteluften. Fukttillskottet är i genomsnitt 1,6 g/m³ under perioden oktober – december.



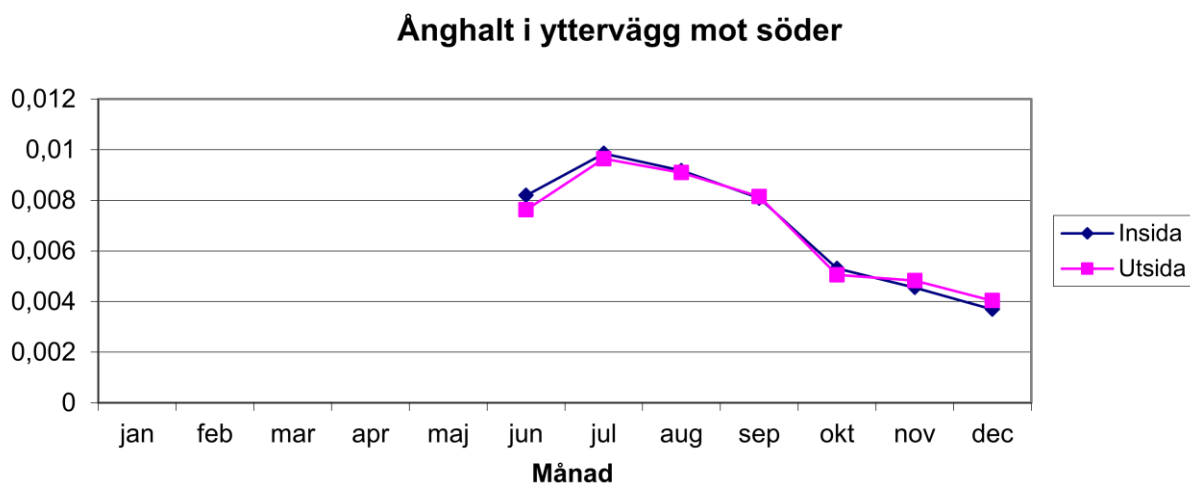
Figur 5.3 – Ånghalt [kg/m³] på olika djup i takisolering, 2011.

Det är ingen större skillnad i ånghalt i takisoleringen, vilket kan ses i figur 5.3. Den relativa fuktigheten och temperaturen varierar i genomsnitt; i juli från 49,0 % och 23,6°C (Insidan) till 48,6 % och 24,5°C (Utsidan). I december från 33,3 % och 13,5°C (Insidan) till 84,0 % och -0,9°C (Utsidan).



Figur 5.4 – Ånghalt [kg/m^3] på olika djup i isolering i yttervägg mot norr, 2011.

Ånghalten i ytterväggen mot norr är i genomsnitt $1,2 \text{ g/m}^3$ högre på insidan om fuktspärren, se figur 5.4,. Motsvarande för yttervägg mot söder, figur 5.5, visar däremot på en mycket liten skillnad i ånghalt.



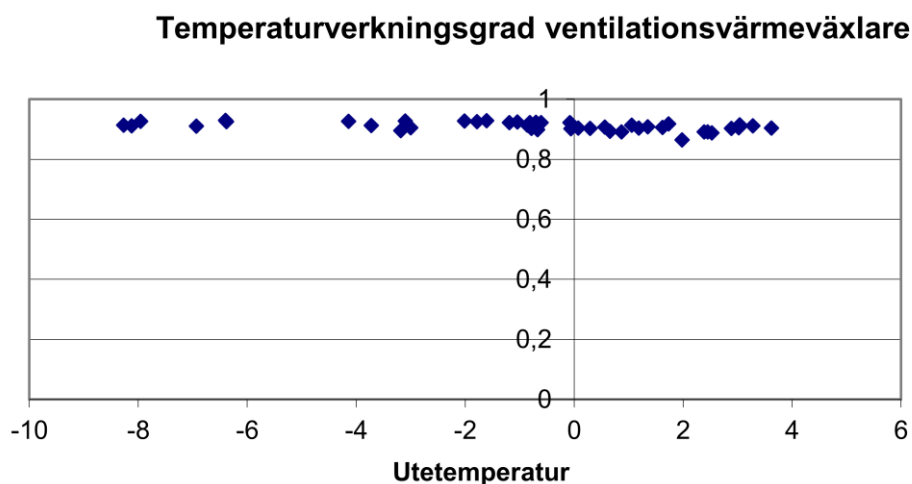
Figur 5.5 – Ånghalt [kg/m^3] på olika djup i isolering i yttervägg mot söder, 2011.

Ånhalten i isoleringen under betongplattan har mätts på fem olika positioner under samma tidsperiod som i figur 5.5. I genomsnitt över hela perioden varierar relativ fukthalt och temperatur enligt följande; position I 49,3 % och 19,4°C, position II givare ur funktion, position III 95,9 % och 14,9°C, position IV 31,3 % och 19,3°C och position V 49,1 % och 20,5°C.

Man brukar ange att risken för rötangrepp är obefintlig vid relativa fuktigheter under 75 % och för mögelangrepp är risken obefintlig under 70 %. Röt- och mögel- angrepp beror inte enbart av nivån hos den relativa fuktigheten utan påverkas även av temperatur, lufthastighet, ljus och varaktighet, dvs exponeringstid.

5.7.2 Prestanda och funktion hos värmetekniska installationer

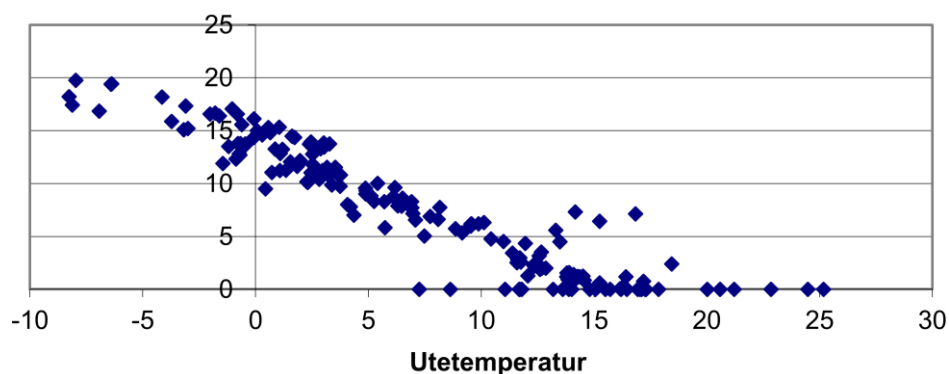
Den uppmätta temperaturverkningsgraden (exklusive eftervärmning) i luftvärmväxlaren är sammanställd i figur 5.6 vid olika utetemperaturer. För utomhustemperaturer i intervallet 4 till och med -8°C framgår att verkningsgraden ligger på en hög konstant nivå, som i genomsnitt är 91 %.



Figur 5.6 – Temperaturverkningsgrad (dygnsmedelvärden) hos den roterande från- och tilluftvärmväxlaren vid olika utetemperatur.

Temperaturskillnaden i värmesystemet inklusive eftervärmning av tilluft visas för olika utetemperaturer i figur 5.7. Resultatet har använts för att uppskatta byggnadens balanstemperatur som blev 17,8°C.

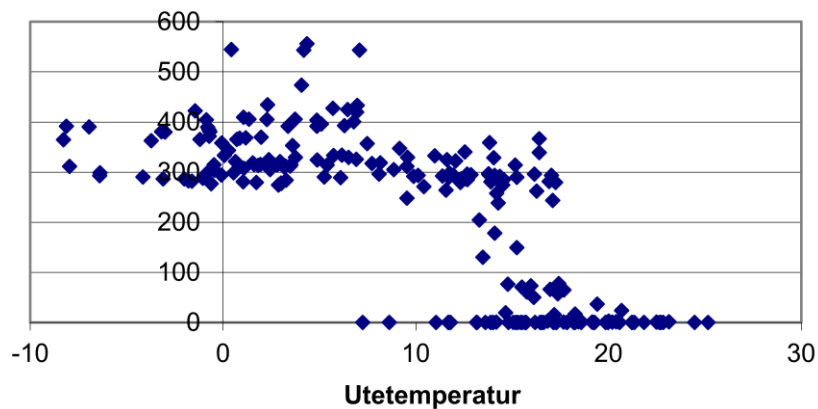
Temperaturskillnad fram- returledning värmesystem



Figur 5.7 – Temperaturskillnad fram- och returledning i värmesystem inklusive eftervärmning av tilluft.

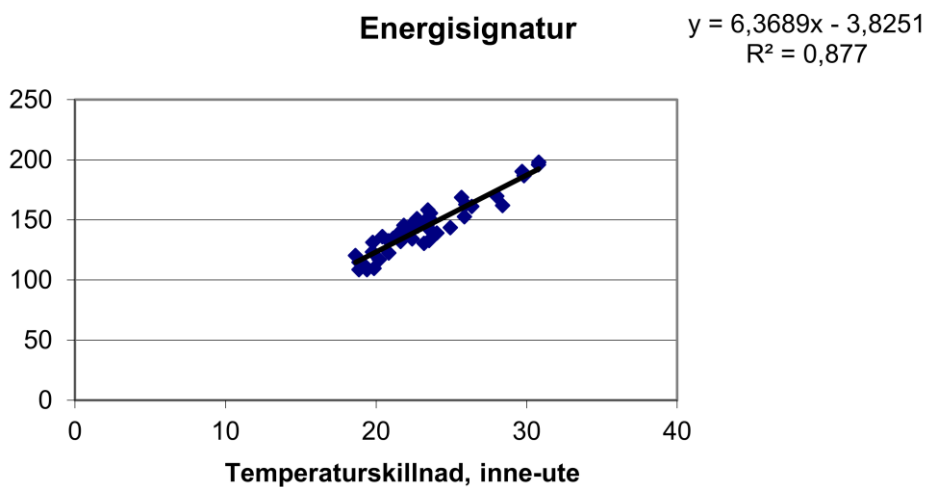
Vattenflödet i värmesystemet vid olika utetemperaturer är sammanställt i figur 5.8. Som framgår varierar flödet vid drift mellan ca 100 till 550 liter/timme.

Volymflöde i värmesystemet



Figur 5.8 – Volymflöde [liter/timme] i värmesystem inklusive eftervärmning av tilluft.

Husets energisignatur baserad på perioden november – december framgår i figur 5.9.



Figur 5.9 – Energisignatur (dygnsmedelvärde) av total värmeanvändning i Gröngård.

Den linjära regressionen har följande uttryck: $6,369(T_i - T_u) - 3,825$ [kWh/dygn], där T_i är innetemperatur och T_u är utetemperatur. Koefficienten 6,369 innebär att husets förlustfaktor blir 265 W/°C.

Med hjälp av mätningar av husets otäthet, fläktstyrt från- och tilluftflöde samt temperaturverkningsgraden hos ventilations-värmväxlaren har husets genomsnittliga värmegenomgångskoefficient beräknats med utgångspunkt från förlustfaktorn. I detta hus blir detta U_m -värde 0,26 W/m²°C, vilket är 24 % högre än det beräknade U_m -värdet

5.7.3 Energi

Husets normalårsbehov av värme baserat på energisignaturen av uppmätt värmeenergi (golvvärme, radiatorer och eftervärmning) vid inomhustemperaturen 20°C är 38 820 kWh. Energianvändningen för tappvarmvatten är 6 188 kWh/år, dvs den specifika energianvändningen blir 80,1 kWh/m², år. Den totala energianvändningen, inklusive hushåll 19 356 kWh, uppgår under 2011 således till 64 364 kWh.

6 Kullen

6.1 Allmän beskrivning

Huset Kullen i Nordmaling är ett lägenhetshus för äldreboende. Byggnaden har totalt 12 lägenheter fördelade på två våningar. Huset är byggt med Masonites flexibla byggsystem (MFB), vilket är anpassat för industriell produktion av träbaserade element, dvs bjälklags- och väggelement.



Figur 6.1 Flerbostadshuset Kullen

6.2 Värmesystem

Huset förses med fjärrvärme för tappvarmvatten och värme. Lägenheterna på markplan har golvvärme och i lägenheterna på övervåningen har radiatorer för uppvärmningen.

6.3 Ventilationssystem

Varje lägenhet har fläktstyrd till- och frånluft med roterande värmeväxlare och elektrisk eftervärmning av tilluft.

6.4 Isolering

I grunden under betongplattan ligger 300 mm markisolering. Ytterväggarna är isolerade med 345 mm mineralull. Vindsbjälklaget är isolerat med 500 mm lösull.

6.5 Beräknad energianvändning

Projekterad specifik energianvändning (värme och tappvarmvatten) angavs till 78 kWh/m^2 , år. Vid beräkningarna antogs bland annat fläktstyrt luftflöde till 335 l/s och värmeväxlarens temperaturverkningsgrad till 80 %. Det beräknade U_m -värdet uppgavs vara $0,28 \text{ W/}^\circ\text{Cm}^2$.

6.6 Produktionskostnad för huset

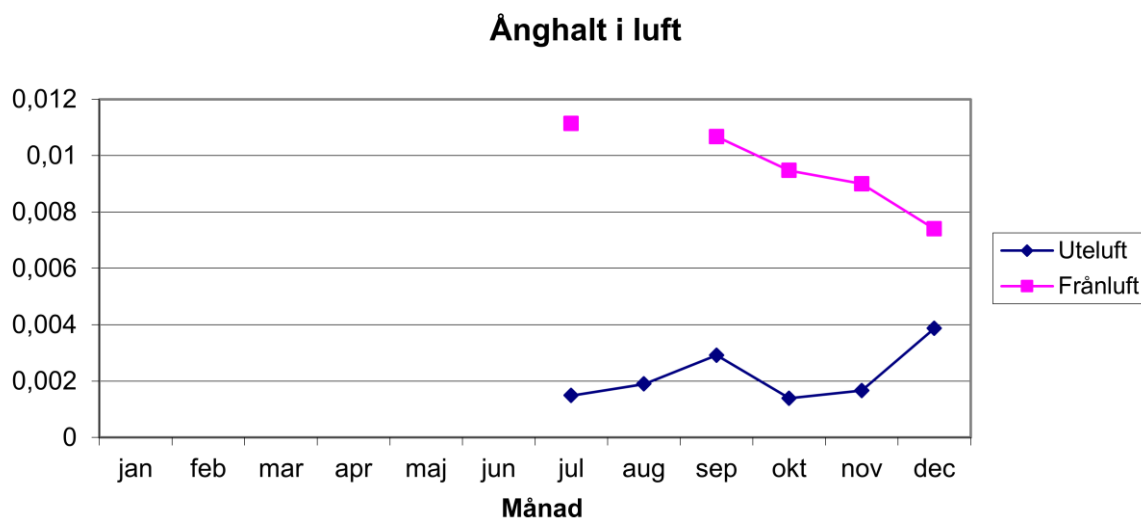
Total byggkostnad anges till 14 Mkr exklusive moms.

6.7 Mätresultat

6.7.1 Fukt

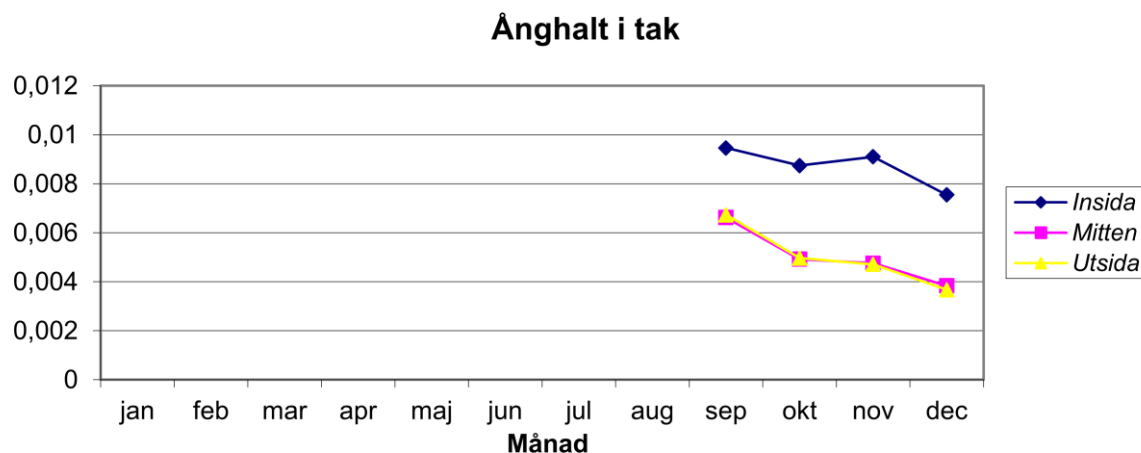
Sensorer för mätning av temperatur och relativ fuktighet installerades på olika djup i isolermaterial i tak, väggar och under betongplattan i samband med byggnationen av huset. Baserat på dessa mätningar har ånghalten i luftutrymmet kring givarsensorn beräknats och resultaten är sammanställda som månadsmedelvärden i figurerna 6.2 – 6.7.

Givaren för mätning av relativ fuktighet i uteluften är inte i fungerande skick under mätperioden.



Figur 6.2 – Ånghalt [kg/m^3] i utomhus- och i frånluft, kullen 2011. Bortfall av mätdata för frånluft i augusti. Sensor för relativ fuktighet i uteluft är ur funktion.

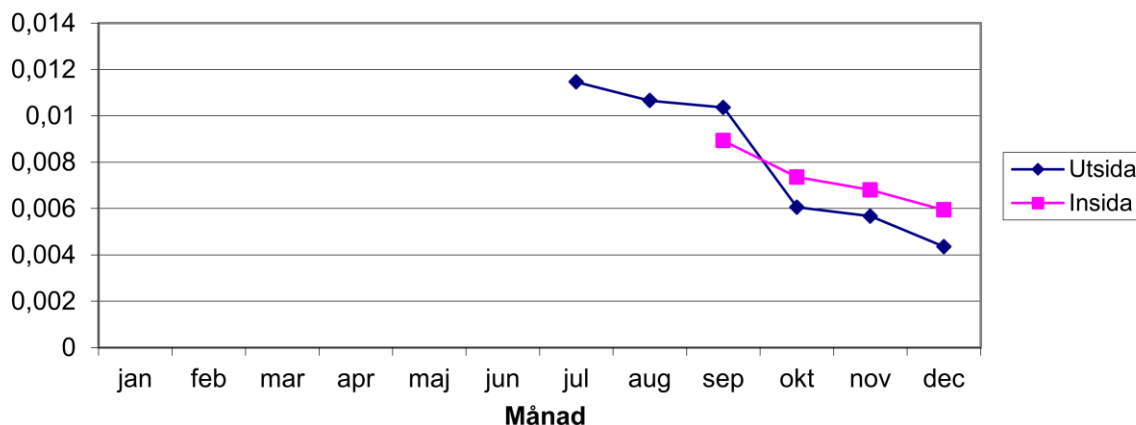
Ånghalten i takisoleringen är som väntat, se figur 6.3, högst på insidan av fuktspärren.



Figur 6.3 – Ånghalt [kg/m^3] på olika djup i takisoleringen sett från fuktspärr, kullen 2011. Mitten är placerad mitt i takisoleringen utanför fuktspärr.

Det är närmast ingen skillnad i ånghalt mellan de övriga två mätpositionerna i takisoleringen. Variationerna i relativ fuktighet och temperatur är enligt följande; insida fuktspärr som lägst 43,2 % och 20°C och som högst 50,3 % och 21,8°C. För position *Mitten* som lägst 45,1 % och 7,1°C och som högst 48,0 % och 16,0°C. För position Utsida som lägst 61,1 % och -1,5°C och som högst 82,8 % och 12°C.

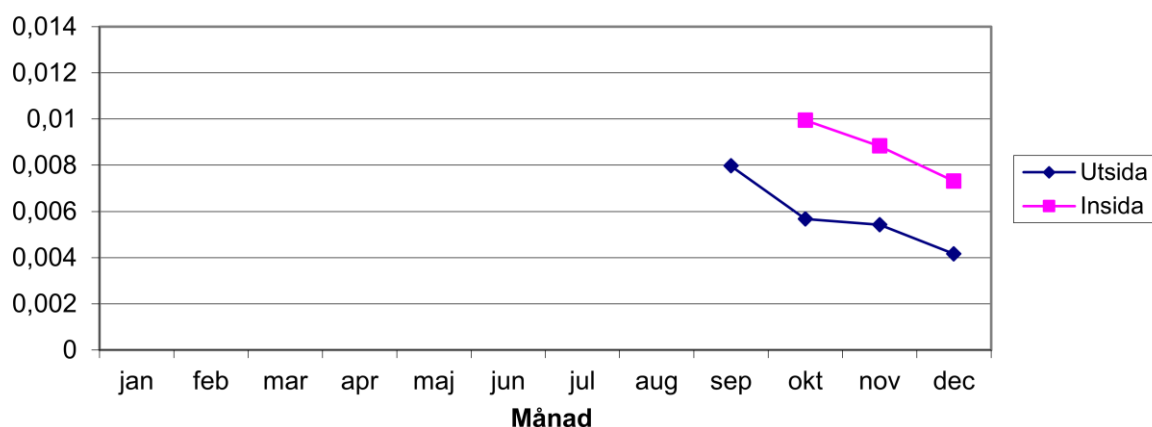
Ånghalt i yttervägg mot norr



Figur 6.4 – Ånghalt [kg/m³] på olika djup i isoleringen i yttervägg mot norr, kullen 2011.

I ytterväggar är som framgår av figur 6.4 och 6.5, ånghalten högre på in- än på utsidan om fuktspärren. Skillnaden under oktober – december är också större i yttervägg mot söder.

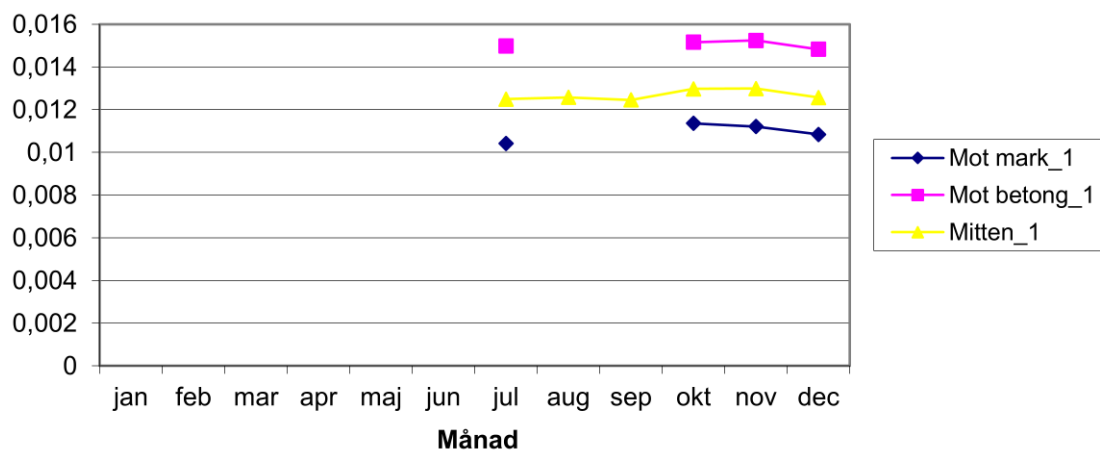
Ånghalt i yttervägg mot söder



Figur 6.5 – Ånghalt [kg/m³] på olika djup i isoleringen i yttervägg mot söder, kullen 2011.

Ånghalterna i isoleringen under betongplattan, figur 6.6 och 6.7, uppvisar oväntat att ånghalten är lägst i isoleringen närmast marken. Den enkla förklaringen till detta är att i såväl position *Mot betong_1* och *Mitten_1* som *Mot betong_2* och *Mitten_2* har fukt från gjutning av betongplattan trängt ned till omgivningen av fuktsensorn. Den högsta genomsnittliga relativa fuktigheten och tillhörande medeltemperatur uppmättes under perioden för position *Mot mark_1* med 83,0 % och 15,1°C. Den lägsta relativa fuktigheten uppmättes i position *Mitten_1* med 68,8 % och temperaturen 21,2°C.

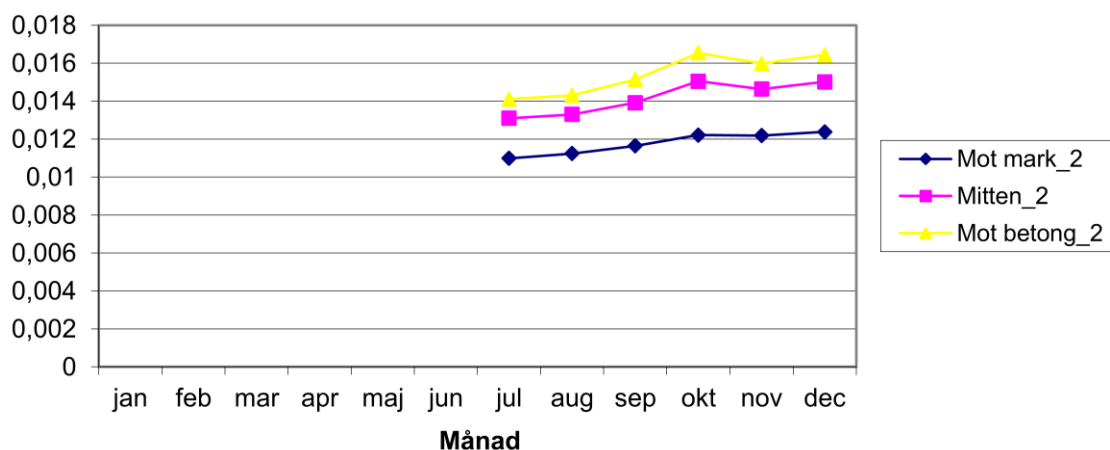
Ånghalt i isolering under betongplatta



Figur 6.6 – Ånghalt [kg/m^3] i markisoleringen under betongplattan mätställe 1, kullen 2011.

Ånghalterna enligt figur 6.7 visar på en uppgående trend, dvs fortsatta mätningar behövs för att klargöra fuktförloppen.

Ånghalt i isolering under betongplatta

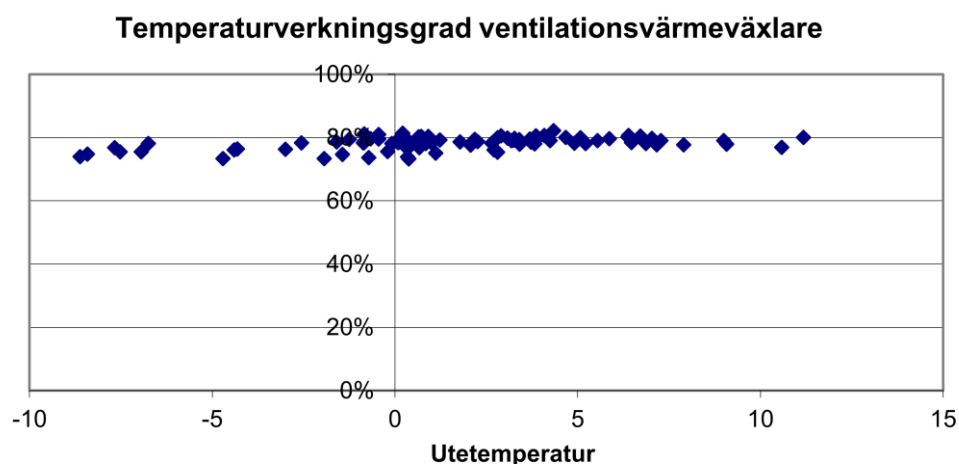


Figur 6.7 – Ånghalt [kg/m^3] i markisoleringen under betongplattan mätställe 2, kullen 2011.

Man brukar ange att risken för rötangrepp är obefintlig vid relativa fuktigheter under 75 % och för mögelangrepp är risken obefintlig under 70 %. Röt- och mögel- angrepp beror inte enbart av nivån hos den relativa fuktigheten utan påverkas även av temperatur, lufthastighet, ljus och varaktighet, dvs exponeringstid.

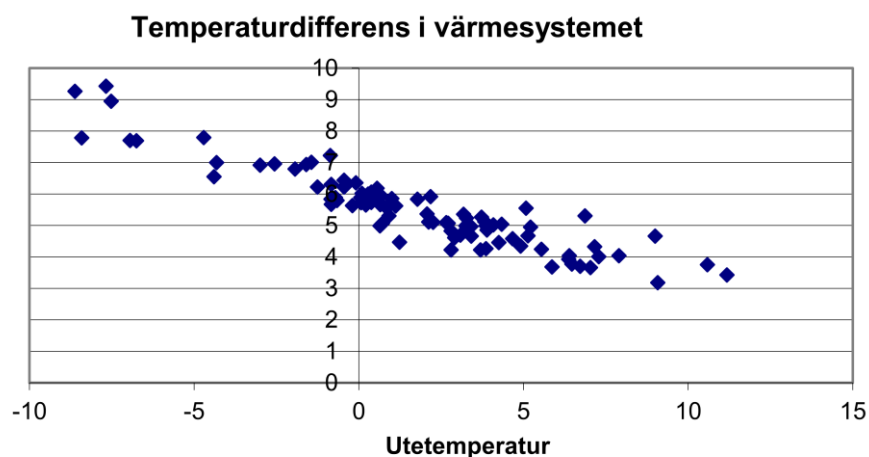
6.7.2 Prestanda och funktion hos värmetekniska installationer

Varje lägenhet har separat värmeåtervinning av frånluft via roterande värmeväxlare. Den genomsnittliga temperaturverkningsgradens variation med utetemperaturen i sex av de totalt 12 värmeväxlarna visas i figur 6.8. Den genomsnittliga spridningen i verkningsgrad varierar mellan 73 till 90 %.



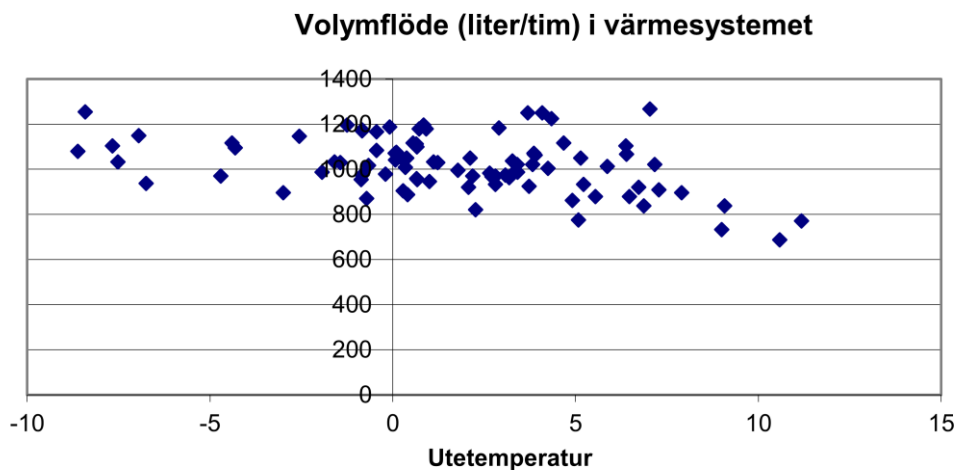
Figur 6.8 – Temperaturverkningsgrad roterande värmeväxlare, kullen 2011.

Temperaturskillnaden i värmesystemet vid olika utetemperatur framgår av figur 6.9. Linjär regression av mätdata visar att balanstemperaturen kan uppskattas till 17,6°C.



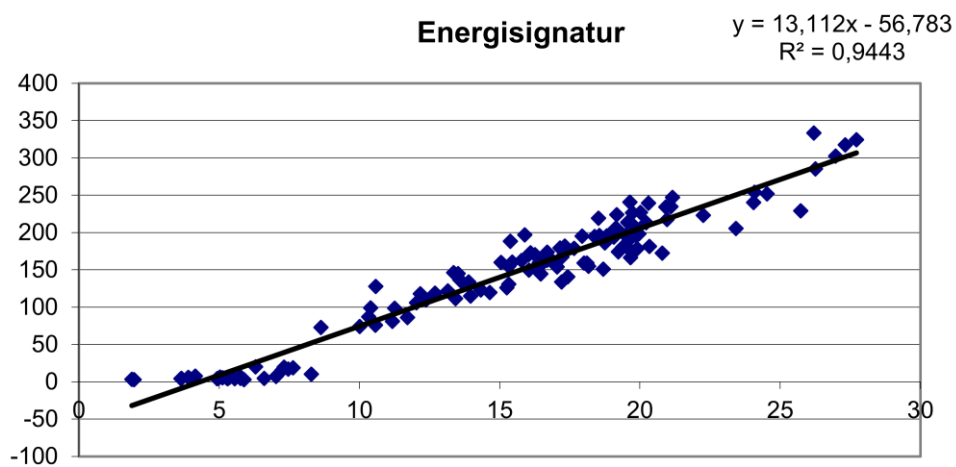
Figur 6.9 – Tempdifferens fram- returledning värmesystem, kullen 2011.

Vattenflödet i värmesystemet vid olika utetemperaturer framgår av figur 6.8 och som kan ses varierar flödet mellan ca 500 till drygt 1200 liter/timme.



Figur 6.8 – Volymflöde i värmesystemet, golvvärme och radiatorer, kullen 2011.

Husets energisignatur framgår av figur 6.9 där den linjära regressionen har uttrycket: $13,112(T_i - T_u) - 56,783$ [kWh/dygn], där T_i är innetemperatur och T_u är utetemperatur. Koefficienten 13,112 innebär att husets förlustfaktor blir 546 W/°C.



Figur 6.9 – Energisignatur, kullen 2011.

Med hjälp av mätningar av husets otäthet, fläktstyrt från- och tilluftflöde samt temperaturverkningsgraden hos ventilations-värmexlarna har husets genomsnittliga värmegenomgångskoefficient uppskattats med utgångspunkt från förlustfaktorn. I detta hus blir detta U_m -värde 0,30 W/m²°C, vilket är 8 % högre än det beräknade U_m -värdet.

6.7.3 Energi

Husets normalårsbehov av värme baserat på energisignaturen av uppmätt värmeenergi (golvvärme, radiatorer och eftervärmning) vid inomhustemperaturen 20°C är 64 941 kWh. Energianvändningen för tappvarmvatten är 12 520 kWh/år, dvs den specifika energianvändningen blir 80,8 kWh/m², år. Den totala energianvändningen, inklusive hushåll 23 508 kWh, uppgår under 2011 således till 100 970 kWh.

7 Resultatsammanställning

7.1 Enfamiljshusen

I tabell 7.1 är energi för uppvärmning ($Q_{\text{värme}}$) normalårskorrigerad med hjälp av uppmätt energisignatur. Inomhustemperaturen är satt till 20°C i samtliga hus för att göra en jämförelse mer meningsfull. Den angivna värmemängden är således i vissa fall lägre än vad som tidigare redovisats i ovan respektive husavsnitt, som avser energi för uppvärmning vid uppmätt inomhustemperatur.

Den specifika energianvändningen i enfamiljshus utgörs enligt Boverkets definition av under ett normalår tillförd energi för uppvärmning, energi för tappvarmvatten och fastighetsenergi, dvs elenergi till fläktar och pumpar. Enligt föreslagna kravnivåer från 1 oktober 2011 gäller för klimatzon 1 att den övre gränsen för specifik energianvändning är 130 [kWh/m² Atemp och år] samt att genomsnittligt U_m -värde får högst uppgå till 0,40 W/°C m². Med Atemp menas uppvärmda golvyta där lufttemperaturen är högre än 10°C. För hus med elvärme är övre gränsen för specifik energianvändning är 95 [kWh/m² Atemp och år], U_m -värde på högst 0,40 W/°C m² samt en begränsning i installerad eleffekt för uppvärmning till 5,5 kW.

Den specifika energianvändningen i [kWh/m² Atemp och år] för respektive hus, dvs summan, $Q_{\text{värme}}$ och Q_{tvv} inklusive fastighetsenergi, är sammanställd i tabell 7.1 och blir enligt följande: Villa Falk 61,1, Villa Pettersson 84,9, Villa Carlstedt 88,1 och Villa Dario 88,7. Samtliga enfamiljshus har en nivå som med god marginal är lägre än Boverkets krav. Husens genomsnittliga värmegenomgångskoefficient (U_m -esig) som är baserad på mätning av energisignatur, luftläckage, luftflöden och temperaturverkningsgrad är genomgående lägre än kravet.

B-värdet i tabell 7.1 är husets förlustfaktor och är ett sammantaget mått på husets temperaturberoende (inne- utetemperatur) värmeförluster. Förlustfaktorn påverkas även av husets mottaglighet för solinstrålning och utsatthet för vindbelastning och de boendes vädringsvanor.

Tabell 7.1 – Sammanställning av uppmätta och beräknade parametrar i enfamiljshusen. $Q_{\text{värme}}$ är normalårskorrigerad med energisignaturen och innetemperaturen är satt till 20°C i samtliga hus.

Hus	$Q_{\text{värme}}$ kWh/m ² år (kWh/år)	Q_{tvv} kWh/m ² år (kWh/år)	Q_{Hel} kWh/m ² år (kWh/år)	B W/°C (kWh/m ² år)	q_{50} l/sm ²	q_T/q_F l/s	U_m -esig W/m ² °C	U_m -ber W/m ² °C	T_{bal} °C
Villa F	54,3 (9 511)	6,8 (1 192)	18,6 (3 256)	62 (61,1)	0,15	25/27	0,16	0,14	15,7
Villa P	70,8 (9 846)	14,1 (1 959)	23,4 (3 257)	116 (84,9)	0,34	34/34,5	0,26	Ej angivet	11,7
Villa C	73,7 (15 987)	14,4 (3 117)	28 (6 083)	140 (88,1)	0,37	73/76	0,19	0,25	18,9
Villa D	64,7 (17 465)	24 (6 490)	31,9 (8 609)	207 (88,7)					

Förklaringar av förkortningar i tabell 7.1: $Q_{\text{värme}}$ är total värme (golvvärme, radiatorer, eftervärme tilluft), Q_{tvv} är tappvarmvatten, Q_{Hsl} är verksamhetsenergi (hushållsel), B är husets värmeförlustfaktor, q_{50} är uppmätt läckflöde enligt täthetsprovning, qT/qF är uppmätt till- respektive frånluftflöde, U_m -esig är beräknad förlustfaktor baserat på energisignatur, mätningar av q_{50} och qT/qF . U_m -ber är uppgett U_m -värde enligt projekterad energibehovsberäkning, och slutligen T_{bal} är enligt mätningar fastställd balanstemperatur.

Även om förlustfaktorn påverkas av olika faktorer så kan den sägas utgöra ett "fingeravtryck" av husets energiprestanda som inte är alltför influerad av större beteenderelaterade energiposter, som energianvändning för tappvarmvatten.

Den lägsta specifika energianvändningen och likaså den lägsta förlustfaktorn enligt tabell 7.1 återfinns i villa Falk. Om man jämför den specifika energianvändningen (värden inom parentes i B-kolumnen) och förlustfaktorn ser man en tydligare skillnad för villa Petterson, Carlstedt och Dario med förlustfaktorn. Angiven balanstemperatur, T_{bal} i tabell 7.1, är fastställd genom analys av uppmätt värmeanvändning (golvvärme, radiatorer, eftervärmning av tilluft) och utomhustemperatur. Balanstemperaturen är dock inget entydigt mått på energieffektivitet. Byggnader med låg balanstemperatur indikerar låga transmissions- och ventilationsförluster, men kan även bero på stort värmebidrag pga omfattande användning av hushållsenergi. Husets nyttiggörande av solinstrålning och människors olika vädringsbeteende är exempel på andra faktorer som påverkar balanstemperaturen.

Den jämförelsevis väldigt låga förlustfaktorn i villa Falk beror på låga transmissionsförluster (lägst U_m -esig enligt tabell 7.1) och en effektiv ventilationslösning utan energibehov för eftervärmning av tilluft, se avsnitt 1.7. Luftläckaget är det lägsta uppmätta i enfamiljshusen och dessutom är det fläktstyrda luftflödena också lägst. Omräknat i termer av luftomsättning (frånluft) framgår av tabell 7.2 att villa Falk har den lägsta fläktstyrda luftomsättningen av enfamiljshusen.

Tabell 7.2 – Sammanställning av ytor och ventilerad luftomsättning i respektive hus.

Hus	Atemp m ²	Aom m ²	Vent volym m ³	luftoms oms/h
Villa F	175	325,2	498,2	0,20
Villa P	139	429	333,6 ¹	0,37
Villa C	217	616	520,8 ¹	0,52
Villa D	270	647	675	

¹Uppskattat med takhöjd 2,4 m.

Förkortningar i tabell 7.2: Atemp är uppvärmd golvyta där lufttemperaturen är högre än 10°C, Aom är summan av omslutande ytor mot uteluft, Vent volym är ventilerad luftvolym och luftoms är antal luftomsättningar baserat på uppmätt frånluftflöde.

7.2 Flerbostadshusen

En sammanställning av uppmätt och beräknade parametrar för flerfamiljshusen redovisas i tabell 7.3. Eftersom energimätningarna i dessa hus inte har pågått en hel uppvärmningssäsong har innetemperaturen satts till 20°C vid normalårskorrigerig av värmebehovet, dvs årsenergi-användningen angivna inom parentes i tabell 7.3 är identiska med energianvändningen som redovisats i tidigare respektive avsnitt, 5.7 och 6.7.

Tabell 7.3 – Sammanställning av uppmätta och beräknade parametrar i flerfamiljshusen under 2011. $Q_{\text{värme}}$ är normalårskorrigerat med energisignatur för innetemperaturen 20°C.

Hus	$Q_{\text{värme}}$ kWh/m ² år (kWh/år)	Q_{tvv} kWh/m ² år (kWh/år)	Q_{Hel} kWh/m ² år (kWh/år)	B W/°C (kWh/m ² år)	q_{50} l/sm ²	q_T/q_F l/s	$U_{m\text{-esig}}$ W/m ² °C	$U_{m\text{-ber}}$ W/m ² °C	T_{bal} °C
Grön- gård	69,1 (38 820)	11,0 (6 188)	34,4 (19 356)	265 (80,1)	0,05	217/214	0,26	0,21	17,8
Kullen	67,7 (64 659)	13,1 (12 520)	24,5 (23 508)	546 (80,8)	0,64	298/292	0,30	0,28	17,6

Det specifika energibehovet för värme och tappvarmvatten är tämligen likvärdigt för Gröngård (80,1) och Kullen (80,8). Gröngård som har individuell mätning av tappvarmvatten har aningen lägre specifik tappvarmvattenanvändning än Kullen. Här krävs dock fortsatta mätningar för att säkerställa eventuella skillnader.

I Gröngård har den lägsta otätheten, 0,05 l/sm², uppmätts av samtliga hus i detta projekt. En sammanställning av använda ytor och uppmätt luftomsättning i flerbostadshusen framgår i tabell 7.4.

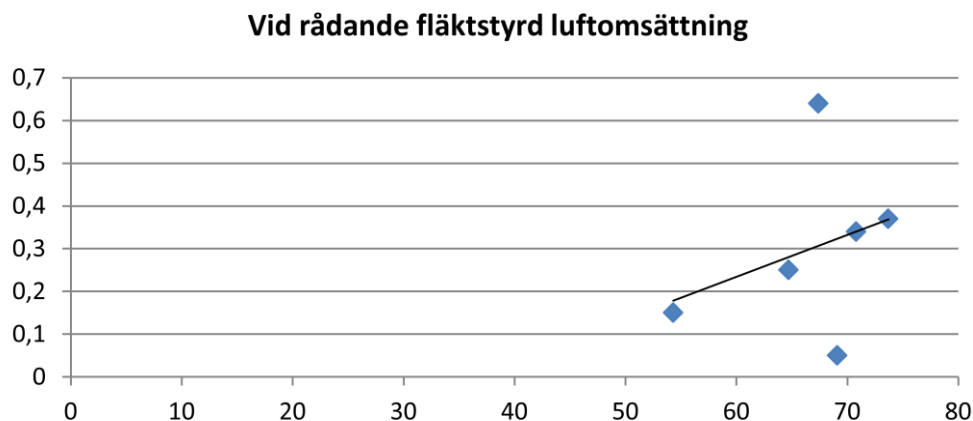
Tabell 7.4 – Sammanställning av ytor och ventilerad luftomsättning i flerbostadshusen.

Hus	A_{temp} m ²	A_{om} m ²	Vent volym m ³	luftoms oms/h
Gröngård	562	915,5	1 375	0,56
Kullen	958,8	1 552	2 301	0,46

Förkortningar i tabell 7.4: A_{temp} är uppvärmd golvyta där lufttemperaturen är högre än 10°C, A_{om} är summan av omslutande ytor mot uteluft, Vent volym är ventilerad luftvolym och luftoms är antal luftomsättningar per timme baserat på uppmätt frånluftflöde.

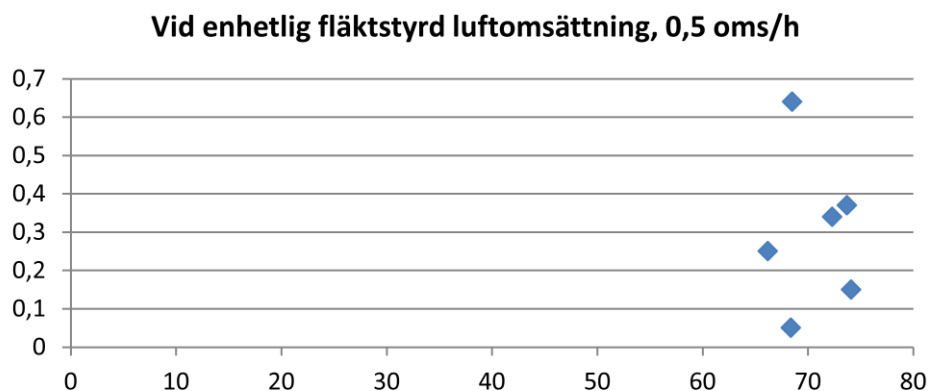
7.3 Täthet och specifikt värmebehov

I detta avsnitt jämförs mätresultat av husens täthet med den specifika värmeanvändningen dvs enbart uppvärmning per Atemp. Om otätheten och $Q_{\text{värme}}$ enligt tabell 7.1 och 7.3 plottas erhålls resultatet enligt figur 7.1. Linjen i figuren "sammanbinder" punkterna för enfamiljshusen, medan de två ytterlighetspunkterna avser flerfamiljshusen.



Figur 7.1 – Uppmätt täthet [l/sm^2] versus specifik värmeanvändning [$kWh/m^2,år$]. Innetemperaturen är enhetligt $20^\circ C$ i husen och ventilationen är den rådande vid uppmätta luftflöden.

Om den specifika värmeanvändningen omräknas för att avse samma luftomsättning i varje hus, dvs en korrigering av ventilationsförlusten i respektive hus, samt att värmemängden som markförvärmningen bidrar med i villa Falk även adderas till husets värmeanvändning erhålls resultatet för otäthet och specifik värmeanvändning enligt figur 7.2. Det är av denna analys inte entydigt vilken inverkan otätheten har på den specifika värmeanvändningen i husen.



Figur 7.2 – Uppmätt täthet [l/sm^2] versus specifikt värmebehov vid enhetlig innetemperatur ($20^\circ C$) och ventilation ($0,5 oms/h$) i varje hus.

8 Preliminära slutsatser

I detta pågående utvärderingsprojekt visar mätningar och hittills gjorda analyser följande:

I de positioner i husens klimatskärmar där kontinuerliga fuktmätningar görs finns det inte någon risk för röt- eller mögelangrepp. Fuktransport i material är en tidskrävande process och för att klargöra förloppen i de olika isolermaterialen behöver mätningarna pågå under betydligt längre tid än hittills.

Enfamiljshusen med enbart golvvärme eller kombinerat golv- och radiatorvärmesystem har jämförbara värmebärarflöden som i flerbostadshusen. Dock är temperaturdifferensen mellan fram- och returledning betydligt lägre i enfamiljshusen. Variation i värmebärarflöde och framlednings-temperatur för olika utetemperaturer är naturligt sett till ett värmesystems tryckfall och reglering av styrventil och termostater. Mätningarna visar att värmebärarflödet i vissa hus ökar och i andra hus minskar med sjunkande utetemperatur. Men framförallt är det genomgående stor spridning i flödet vid en given utetemperatur. Vilken potential detta utgör för ytterligare energieffektivisering genom intrimning av värmesystem bör närmare undersökas.

Markförvärmning av inkommande uteluft via tilluftkanal förlagd på 1,5 m djup är ett enkelt och effektivt sätt att åstadkomma höga lufttemperaturer (+2°C vid utetemperaturer ned till -25°C) hos inkommande uteluft till luftvärmväxlaren. Detta betyder i sin tur att ingen ytterligare eftervärmning av tilluften har behövts under hittillsvarande utvärderingsperiod. Den fläktstyrda ventilationsförlusten blir väldigt låg tack vare värmväxling mellan från- och tilluft samt lösningen med markförvärmning av inkommande uteluft.

Planlösningen i ett hus har inverkan på luftomsättningen. En öppen planlösning med högt i tak och därmed stor luftvolym ger förutsättningar för att lägre fläktstyrd luftomsättning, vilket har uppmätts i ett av enfamiljshusen (0,2 oms/timme under vinterperioden), ändå kan ge fullt godtagbar luftkvalitet.

Om husen görs termiskt likvärdiga, dvs har samma innetemperatur, luftomsättning och energianvändning för eftervärmning av tilluft så varierar den specifika värmeanvändningen (exkl. tappvarmvatten) inom 66 - 74 kWh/m², år. Detta snäva intervall är kanske inte förvånande eftersom husens klimatskärmar har likvärdig isolerstandard.

En jämförelse av uppmätt otäthet med husens specifika värmeanvändning visar för flerbostadshusen att otätheter på 0,05 och 0,64 l/sm² motsvaras av 68,4 och 68,5 kWh/m², år. I enfamiljshusen ger motsvarande jämförelse att otätheterna 0,15, 0,25, 0,34 och 0,37 l/sm² motsvaras av 74,1, 66,2, 72,3 och 73,7 kWh/m², år. Det statistiska underlaget är givetvis begränsat i detta projekt, men de uppmätta otätheterna förefaller inte ha motsvarande relevans för värmebehovet.

Behov av att fortsätta mätningarna påkallas framförallt av att åstadkomma säkrare analys av husens energiprestanda och för att säkerställa fuktförloppen i husens klimatskärm. De kontinuerliga mätningarna borde också kompletteras med mätning av luftkvalitet, tex CO₂-halt, för att undersöka inverkan av olika planlösning och luftomsättning. Mätning av husens otäthet bör upprepas liksom mätningar av de fläktstyrda till- och frånluftflödena.