



Prestanda- och beteendeuppföljning av byggnaders energianvändning

Etapp 1

Staffan Andersson, Umeå universitet

Jan-Ulric Sjögren, NCC AB

Ronny Östin, Umeå universitet

Thomas Olofsson, Umeå universitet



Förord

Detta projekt har kunnat genomföras tack vare finansiering från CERBOF, SBUF samt NCC AB. Utöver dessa vill vi också tacka för medverkan från Umeå energi, Ekerö energi samt Dalkia för deras hjälp med datainsamling, projektets referensgrupp bestående av Staffan Hintze NCC, Kjell-Åke Henriksson JM , Johanna Nordström Skanska, Lars Östberg Peab samt Jonny Kellner, Veidekke.
Sist och inte minst, ett speciellt stort tack till ägarna samt de boende i de fastigheter som studien genomförts i.

Staffan Andersson
Projektledare

Sammanfattning.

Det här redovisade arbetet utgör första etappen i arbetet med framtagandet av en alternativ och kompletterande metodik för att bedöma en byggnads energiprestanda. En metodik som inte baseras på olika nyckeltal för energianvändning per kvadratmeter och år utan fokuserar på själva byggnaden och dess tekniska system och därigenom inte avspeglar de boende och deras brukarbeteende.

Baserat på omfattande mätningar av en villa i Ekerö och två hyreshus i Umeå har potentialen till att från en analys som baseras på regression bestämma olika energiprestandamått som byggnadens förlustfaktor (totala värmeövergångstal), markförlust samt bidragen till uppvärmning från solen och elanvändningen undersökts.

Med tillgång till data från en 2-månaders period, förlagd i nära anslutning till midvintersolståndet har vi visat att för dessa byggnader erhålls robusta uppskattningar av förlustfaktorn. För villan erhöles en spridningen i uppskattningen av förlustfaktorn om 1%. För de två tunga husen var spridningen i bestämningen av förlustfaktorn som mest 4% med ett medelvärde på 2% mellan de olika analyserade perioderna.

Nyttjandegraden av elanvändningen för uppvärmning kunde inte entydigt extraheras och därför kunde endast intervall för markförlusten uppskattas. För de två husen som utgör hyresfastigheten i Umeå erhöles en mycket god överensstämmelse med de beräknade förlusterna enligt EN-ISO-13370 för hyresfastighetens två hus. För villan erhöles en något lägre markförlust än motsvarande beräkningar gav vid handen.

Den uppskattade nyttiggjorda solinstrålning för uppvärmning för hyresfastigheten i Umeå visade en förväntade korrelation till den globala solinstrålningen, för vilken data fanns tillgängliga. För villan kunde ingen sådan jämförelse göras.

Hörnpelarna i den presenterade metodiken utgörs av

- i. Nyttja mätdata från perioder i anslutning till midvintersolståndet för att eliminera bidraget från solinstrålningen vid bestämningen av förlustfaktorn F . Analyserna bör baseras på perioder om cirka 2 månader.
- ii. Förbehandling av data, för att reducera inverkan från värmelagring. Detta kan göras genom den traditionella metoden genom medelvärdesbildning över en tidsperiod som är längre än byggnadens tidskonstant. För tunga byggnader har en alternativ metod introducerats, som benämns parning av data. Denna

metod baseras på en uppskattning av temperaturförändringen hos byggnadens termiska massa. En ny datapunkt skapas sedan genom att ta medelvärde av två dagar som har en jämförbar temperaturförändring, men i olika riktningar.

Innehåll

1. Inledning.....	6
1.1 Övergripande målsättning.....	6
1.2 Syfte och avgränsningar med projektetapp 1.....	7
2. Beskrivning av de undersökta byggnaderna.....	8
2.1 Översiktliga data	8
2.2 Energianvändning i byggnaderna - En jämförelse	9
2.2.1 Fjärrvärme.....	9
2.2.2 Elanvändning	12
2.3 Sammanfattning	14
3. Analysmetod och tillvägagångssätt	15
3.1 Temperaturer, T_i och T_u	16
3.2 Personvärme, P_p	17
3.3 Tappvarmvatten, P_{vv}	17
3.4 Tillförd värme genom radiatorsystemet, P_v	18
3.5 Nyttiggjord solinstrålning, P_{sol}	18
3.6 Markförlusten, M	19
3.7 Värmelagring, P_{dyn}	20
3.8 Elanvändning, P_{el}	22
3.9 Förlustfaktorn, F	22
4. Resultat och diskussion	24
4.1 Inverkan från sol, värmelagring och mätperiodens längd samt variationen i utomhustemperatur	24
4.1.1 Hyresfastigheten.....	27
4.1.2 Villan	34
4.1.3 Sammanställning av resultat samt sammanfattande diskussion.....	38
4.2 Val av representativ inomhustemperatur	44
4.3 Uppskattning av nyttiggjord solinstrålning, markförlust samt nyttjandegrad av elanvändning för uppvärmning.....	45
4.3.1 Hyresfastigheten.....	45
4.3.2 Villan	54
4.3.3 Sammanfattande diskussion.....	58
5. Slutsatser	60
6. Fortsatta studier	61
7. Referenser.....	63
8. Bilagor.....	65

1. Inledning

Med dagens tydliga fokus på en minskad energianvändning inom bebyggelse ökar kraven på både konsulter och entreprenörer att den levererade produkten verkligen uppfyller utlovade prestanda, både om produkten är en nybyggnation eller en energieffektiviseringsåtgärd.

I dag anges en byggnads energiprestanda oftast enligt Boverkets definition, som energianvändningen för uppvärmning, tappvarmvatten och fastighetsel per kvadratmeter uppvärmd yta, A_{Temp} .

Problematiken med detta prestandamått är flerfaldigt:

1. Man betraktar endast delar av den tillförda energin.
2. Bidraget från brukarberoende faktorer som hushållsel, inomhustemperaturer, personvärme beaktas inte.
3. Konsulter tvingas göra antaganden om dessa beteenderelaterade förbrukningar. Genom SVEBY projektet sker ett omfattande och systematiskt arbete med målsättningen att ta fram ett väl underbyggt underlag för så kallad normalförbrukning som bör användas som indata, men många byggnader kan antas avvika från normalbeteendet.
4. Vid eventuella tvister om avvikande energiprestanda kommer ett omfattande arbete att krävas för att kunna bevisa vad som är rätt.

Mot bakgrund av detta finns behov av att utveckla alternativa och/eller kompletterande metoder för att bedöma en byggnads energiprestanda. Ett alternativt sätt vore att fokusera på vad konsulten, respektive entreprenören kan och bör garantera, nämligen prestanda hos det nybyggda huset och dess tekniska system eller den prestandaförbättringen som åstadkommit genom en effektiviseringsåtgärd.

1.1 Övergripande målsättning

Den övergripande målsättningen med hela projektet, som är uppdelat i etapper, är att utveckla en metod baserad på mätningar, som kan separera brukarbeteendet från själva byggnaden och därmed kunna bestämma prestanda hos byggnadens och dess tekniska

system. De intressanta prestandaparametrarna är:

- i. byggnadens förlustfaktor
- ii. nyttiggjord solinstrålning
- iii. förlust till mark
- iv. nyttjandegraden av elanvändningen för uppvärmning

Genom detta erhålls också förbättrade möjligheter att validera olika beräkningsverktyg, då denna information finns tillgänglig som delsteg/delresultat i dessa programvarors beräkningsrutiner. Med kännedom om dessa prestandaparametrar erhålls också fundamenten till ett modellbyggande som möjliggör prediktion och uppföljning av förändrade brukarbeteenden.

1.2 Syfte och avgränsningar med projektetapp 1

I denna projektetapp är fokus inriktat mot kraven på mätinsats, robustheten hos resultaten och dess beroende av olika indata. För att erhålla en spridning avseende såväl klimatmässiga förutsättningar som typ av hus, utgörs byggnaderna av en friliggande villa i Ekerö, Stockholm samt en hyresfastighet i Umeå, bestående av två separata huskroppar. Gemensamt för dessa hus är avsaknad av värmeåtervinning.

2. Beskrivning av de undersökta byggnaderna

I detta kapitel ges en beskrivning av byggnaderna (dvs aggregerade data på månads- respektive årsbasis) enligt Boverkets normer per kvadratmeter A_{Temp} . I rapporten används Villan som benämning för villan på Ekerö och Hyresfastigheten för de två separata huskropparna (hus #1 och hus #2) som ligger i Umeå.

2.1 Översiktliga data

Villan

Villan ligger i småhusområdet Sanduddens på Ekerö och området uppfördes under några år omkring år 2000. Villan är ett friliggande sutteränghus i två plan på totalt ca 110 m². Familjen består av två vuxna och två barn, varav ett nedkommit under mätperioden och det andra bor i huset varannan vecka.

Några tekniska data:

- Mekanisk frånluftventilation.
- Fjärrvärmeuppvärmt.
- Elabonnemang via Ekerö Energi.
- Huset är i allt väsentligt i originalutförande.
- Kompletta ritningar finns.

Hyresfastigheten

Husen är byggda 1964 och ligger på Häradshövdingegatan i centrala Umeå. De två huskropparna har vardera tre plan med lägenheter samt ett källarplan.

Den uthyrda arean, dvs BOA, är sammanlagt 1995 m², fördelade på 21 lägenheter, där hus #1 har 12 lägenheter och hus #2 har 9 lägenheter. I de uppvärmda källarplanen finns 3 uthyrda lokaler med en total yta av 57 m² och används i övrigt som förråds- och serviceyta.

År 1992 genomfördes energieffektiviserande åtgärder då vindsbjälklaget tilläggsisolerades med 500 mm lösull och väggarna med 80 mm Serporock och 20 mm puts. De ursprungliga tvåglasfönstren i trapphusen försågs med en isolerruta.

Båda husen har var sin centrala frånluftsfläkt, med frånluft i kök och WC och med möjlighet till forcering i köket med ett spjäll. Den gemensamma fjärrvärmecentralen ligger i hus #2, där också den gemensamma tvättstugan ligger. Enligt

enkätundersökningen uppges att i endast 3 av de 21 lägenheterna har man installerat egen tvättmaskin och 8 hyresgäster uppger att de har en diskmaskin. Totalt finns det 19 bilplatser vid fastigheten varav ett antal har motorvärmare. Husen ägs och förvaltas av det allmännyttiga bolaget AB Bostaden. Energideklarationer är utförda för båda flerbostadshusen 2008.

Några tekniska data:

- Mekanisk frånluftventilation.
- Fjärrvärmeuppvärmt med lokalt nät.
- Elabonnemang via Umeå Energi.
- Energideklaration utförd 2008
- Kompletta ritningar finns.

2.2 Energianvändning i byggnaderna - En jämförelse

För att jämföra byggnadernas energiprestanda har officiell statistik och två rapporter från SCB och Energimyndigheten använts.

Ett generellt problem med jämförelser är att SCB:s officiella statistik är baserad på uthyrbar area BOA och LOA. Dessutom finns en hel del uppvärmda areor som inte är uthyrbara som fastighetsutrymmen, tvättstugor, källarkorridorer etc. som inte ingår i statistiken. I energideklarationerna ska A_{Temp} , som motsvaras av den area som är uppvärmd till mer än $+10^{\circ}\text{C}$, anges. Denna area finns uppmätt för flerbostadshusen i Umeå men motsvarande jämförelsematerial finns inte som officiell statistik. Alla areor i rapporten är baserade på LOA+BOA för flerbostadshusen om inte annat anges och för villan anges boarean vilken är identisk med A_{Temp} .

2.2.1 Fjärrvärme

Villan

Tidigare energidata för huset har erhållits från fjärrvärmeleverantören och dessa uppvisar en stabil nivå på ca 21 MWh (normalårskorrigerat) per år, vilket motsvarar 180 kWh/m²,år. Viss förändring i samband med ägarbyte 2007 kan noteras.

I tabell 1 visas flerårig statistik SCB statistik ES 2009: 07 [1] över

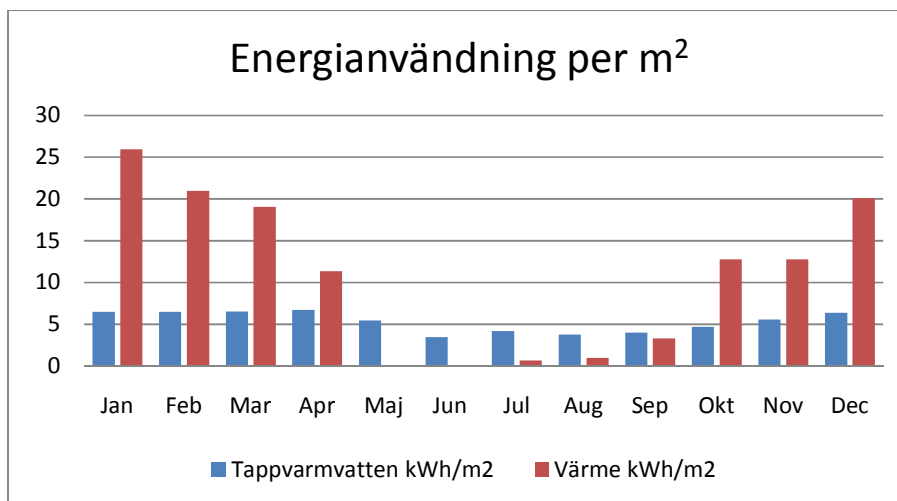
fjärrvärmeanvändningen , för småhus.

Tabell 1: Genomsnittlig fjärrvärmeanvändning per m² uppvärmd area (inkl. biarea) för småhus 2008, uppvärmda med enbart fjärrvärme, fördelad efter biarea och byggår, kWh

Biarea (m ²)	Byggår –1940	1941–1960	1961–1970	1971–1980	1981–1990	1991–2000	2001–
0	165 ± 22	209 ± 30	199 ± 27	126 ± 11	121 ± 16	100 ± 17	99 ± 13
1-60	149 ± 23	160 ± 21	134 ± 14	135 ± 10	92 * ..	118 *	
61-	120 ± 18	127 ± 16	111 ± 11	113 ± 18 ..	116 ± 8		
Samtliga	146 ± 15	169 ± 18	141 ± 14	125 ± 9	115 ± 13	101 ± 16	103 ± 11

Som framgår från tabell 1 är villans förbrukning om 180 kWh/m²,år högre än genomsnittet. Ingen officiell statistik finns för enbart uppvärmning varför en sådan jämförelse inte kan utföras.

Den månadsvisa fördelningen baserat på mätning av värme och tappvarmvatten är sammanställd i figur 1.



Figur 1. Fjärrvärme till tappvarmvatten och uppvärmning för villan.

Från figur 1 kan man notera viss förbrukning av värme även under vissa sommar månader. Även om mätdata saknas för maj och juni är det troligt att värme

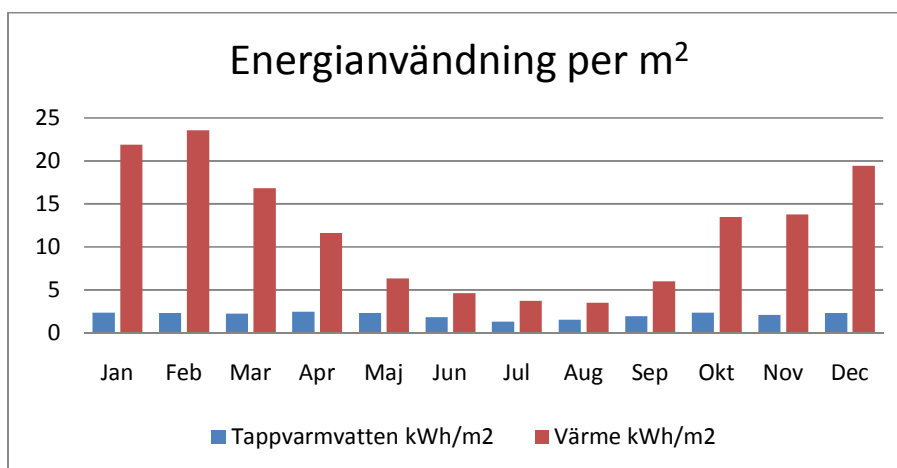
tillförts uppvärmningssystemet under alla sommarmånadernas dygn .

Tappvattenanvändningen kan uppskattas till ca 6200 kWh/år, motsvarande drygt 60 kWh/m²,år baseras på knappt 11 månaders mätningar. Tappvarmvattenanvändningen i villan är i jämförelse med energimyndighetens studie mycket hög [2]. Inget av småhusen (med motsvarande antal boende) i studien uppnår en lika hög tappvattenanvändning. Det kan noteras att i de branschgemensamma riktlinjer som tagits fram inom SVEBY projektet [3] ska energibehovsberäkningen baseras på 20 kWh/m²,år vilket är vad som ryms inom ramen för ”normalt brukarbeteende” enligt BBR.

Då tappvarmvattenförbrukning och kallvattenförbrukning normalt är korrelerad så har en jämförelse av kallvattenförbrukningen också gjorts, vilken också visar på en hög förbrukning. Under perioden, 2009-02-06 – 2010-03-19, uppgick kallvattenförbrukningen till 825 l/dygn. I denna period ingår dock sommarperioden med därtill trolig gräsbevattning. Under vinterperioden, 2008-11-27 – 2009-02-02, var den genomsnittliga kallvattenförbrukningen 648 l/dygn att jämföra med genomsnittet på 438 liter/dygn för 35 småhus i Energimyndighetens studie [2]. Studien omfattade inte sommarperioden. Detta betyder alltså att kallvattenanvändningen i villan är nästan 50% högre än genomsnittet.

Hyresfastigheten

I figur 2 nedan visa fjärrvärmeförbrukningen för hyresfastigheten (hus #1 och #2).



Figur 2. Fjärrvärme för tappvarmvatten och uppvärmning för hyresfastigheten.

Figur 2 visar att även för hyresfastigheten tillförs värme till radiatorsystemet under sommarmånaderna. Fjärrvärmeanvändningen uppgår till 170 kWh/m² (okorrigerat) baserat på perioden 2009-03-31 – 2010-03-31 vilket kan jämföras med SCB's årliga enkät [4] för energianvändningen (okorrigerad) i flerbostadshus, se tabell 2.

Tabell 2. Statistik över fjärrvärmeförbrukningen för flerbostadshus, SCB:s årliga enkät.

Län	Byggar								Uppgift saknas	Samtliga
	-1940	1941-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-			
Fjärrvärme [kWh/m ²]										
Stockholms län	155 ± 9	172 ± 10	150 ± 15	137 ± 13	136 ± 24	128 ± 20	130 ± 14	151 ± 13	150 ± 5,3	
Uppsala län	147 ± 18	157 ± 20	151 ± 11	164 ± 15	158 ± 31	125 *	..	136 *	152 ± 8,9	
Södermanlands län	138 ± 17	150 ± 11	164 ± 38	162 *	106 *	..	..	135 ± 46	145 ± 18,0	
Östergötlands län	151 ± 51	149 ± 18	149 ± 12	167 ± 18	127 ± 20	162 ± 61	..	149 ± 24	149 ± 9,1	
Jönköpings län	168 ± 31	160 ± 24	132 *	123 ± 32	87 *	179 *	..	107 ± 27	139 ± 17,1	
Kronobergs län	113 *	142 ± 22	128 ± 28	137 *	141 *	146 *	..	160 ± 42	140 ± 17,3	
Kalmar län	157 *	154 ± 25	153 ± 20	125 ± 15	135 *	..	..	135 *	144 ± 12,4	
Götlands län	..	193 *	111 *	152 *	..	..	..	124 *	123 ± 10,4	
Blekinge län	133 *	165 ± 47	123 ± 16	..	..	..	..	136 *	136 ± 18,9	
Skåne län	164 ± 11	164 ± 12	143 ± 9	138 ± 11	135 ± 11	109 ± 31	87 *	136 ± 12	148 ± 5,5	
Hallands län	156 ± 22	134 ± 31	158 *	..	120 *	119 ± 25	153 *	120 *	136 ± 17,6	
Västra Götalands län	148 ± 16	145 ± 6	137 ± 16	163 ± 13	147 ± 38	110 ± 16	98 ± 36	133 ± 14	141 ± 6,9	
Värmlands län	143 *	153 ± 22	125 ± 13	137 ± 21	117 *	..	..	127 *	134 ± 9,9	
Örebro län	178 ± 46	154 ± 25	188 ± 41	139 *	165 *	67 *	..	207 *	166 ± 21,0	
Västmanlands län	157 ± 27	147 ± 15	160 ± 14	111 *	..	..	..	..	148 ± 11,9	
Dalarnas län	..	163 ± 18	123 ± 20	152 *	165 ± 60	140 *	..	128 ± 24	141 ± 11,3	
Gävleborgs län	144 ± 32	183 ± 28	157 ± 16	158 ± 6	146 *	..	..	162 ± 9	162 ± 8,6	
Västernorrlands län	191 *	172 ± 36	161 ± 27	194 ± 80	146 *	132 *	..	155 ± 25	167 ± 17,1	
Jämtlands län	189 *	128 *	157 ± 41	156 *	160 *	123 *	..	..	150 ± 25,1	
Västerbottens län	127 *	170 ± 23	144 ± 44	196 ± 42	135 *	124 ± 17	..	128 ± 9	144 ± 10,8	
Norbottens län	142 *	179 ± 26	192 ± 33	180 ± 20	173 *	..	..	180 ± 20	179 ± 12,1	
HELA RIKET	155 ± 6	158 ± 4	146 ± 6	146 ± 7	137 ± 11	126 ± 11	122 ± 12	144 ± 6	148 ± 2,5	

Anm. Den redovisade skattningen +- tillhörande felmarginal utgör ett 95% konfidensintervall under antagande att undersökningsvariabeln är normalfördelad.

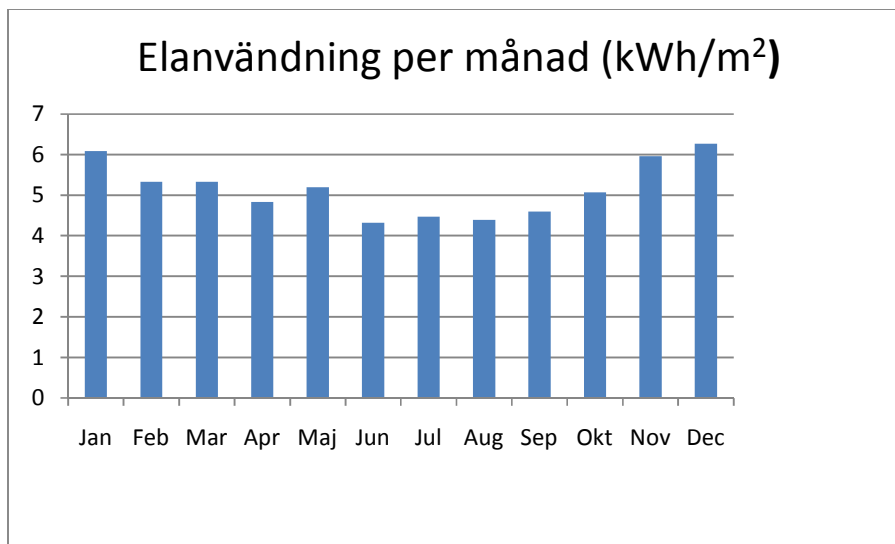
En jämförelse med tabellen visar att även fastigheten har en relativt hög energianvändning trots de vidtagna förbättringarna av klimatskalet.

Tappvarmvattenförbrukningen motsvarar 25 kWh/m² baserat på perioden 2009-03-31 – 2010-03-31.

2.2.2 Elanvändning

Villan

I figur 3 visas den totala elanvändningen i villan under ett år.

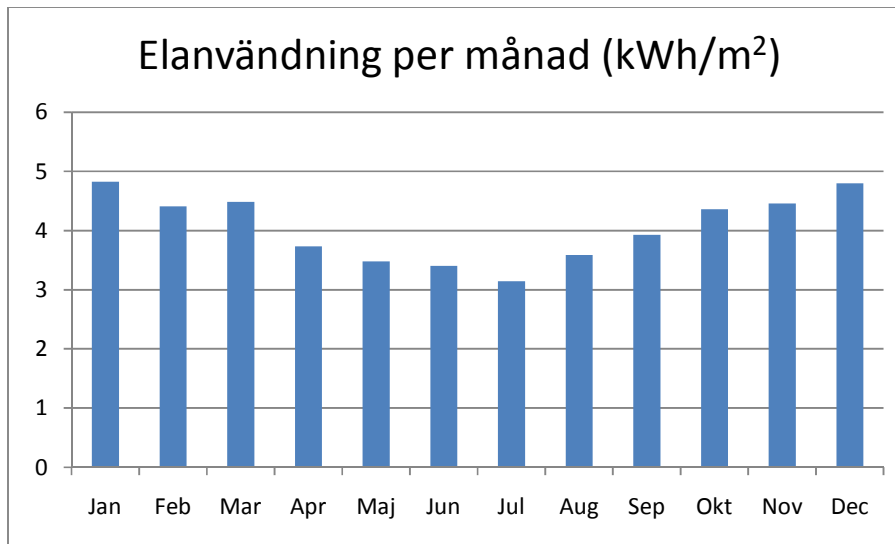


Figur 3. Elanvändningen för villan, per månad.

Den totala elanvändningen under året är ca 6250 kWh/år vilket motsvarande 57 kWh/m²,år att jämföra med SVEBY-projektet som anger 30 kWh/ m²,år som indata vid energibehovsberäkningar.

Hyresfastigheten.

I figur 4 redovisas elanvändningen för hyresfastigheten, där el till motorvärmarna är exkluderat.



Figur 4. Total elanvändning (exklusive motorvärmarel) för hyrsefastigheten.

På årsbasis innebär detta en total elanvändning på 48,6 kWh/m², varav 22.1 kWh/m²,år är fastighetsel och 26.5 kWh/m²,år är hushållsel.

2.3 Sammanfattning

Både hyrsefastigheten och villan har en högre energianvändningen än medelvärdet för sin kategori. Detta gäller speciellt villan, som har en tappvarmvatten- och elanvändning som kraftigt överstiger medelanvändningen för småhus.

3. Analysmetod och tillvägagångssätt

För att analysera energianvändningen har vi använt en förenklad effektbilans för en byggnad. Förenklingarna består i att inverkan från vind (riktning och styrka) ej beaktats och ej heller inverkan från luftfuktighet.

Baserat på dessa förenklingar kan effektbalansen för en byggnad beskrivas av

$$P_v + \alpha P_{el} + P_p + P_{sol} + P_{vv} = F(T_i - T_u) + M + P_{dyn} \quad (1)$$

$$\text{med } P_{dyn} = C \frac{dT}{dt}$$

där F är husets förlustfaktor, T_i och T_u är inne- respektive utomhustemperaturen, M är markförlusten, C är husets termiska massa och T dess temperatur, P_v är tillförd effekt via värmesystemet, P_{el} är byggnadens totala elanvändning, α anger nyttjandegraden och P_p , P_{sol} och P_{vv} betecknar nyttiggjord effekt från personvärme, solinstrålning samt varmvatten.

För att utvärdera en byggnads energiprestanda utgör förlustfaktorn en central parameter, eftersom den beskriver byggnadens transmissions- och ventilationsförluster. Att från en regressionsanalys av ekvation 1 bestämma olika ingående parametrar är ingen ny metod och i litteraturen finns många redovisade tillämpningar av detta angreppssätt, se tex [5-12]. I den metod som kallas för energisignaturen ingår uppskattning av F genom en linjär anpassning av den köpta energin mot utomhustemperaturen. Detta innebär att ekvation 1 då approximeras med, baserat på tillförd värme enligt

$$P_v = -FT_u + \text{konstant}_1 \quad (2a)$$

Alternativt

$$P_v = F(T_i - T_u) + \text{konstant}_2 \quad (2b)$$

Baseras analysen på totalt köpt energi fås

$$P_v + P_{el} = -FT_u + \text{konstant}_3 \quad (3a)$$

alternativt

$$P_v + P_{el} = F(T_i - T_u) + \text{konstant}_4 \quad (3b)$$

Dessa förenklingar baseras på antagandet att summan av de termer som saknas i ekvation 2 eller 3 jämfört med ekvation 1 är oberoende av $T_i - T_u$, (ekvation 2b och 3b) eller av T_u (ekvation 2a och 3a). Detta innebär i praktiken att villkoret skulle kunna uttryckas som att summan av de termer som saknas i ekvation 2 eller 3 jämfört med ekvation 1 är konstanta över tiden.

Dessa antaganden leder i de flesta fall till att värdet på F blir olika, eftersom framförallt solinstrålningen, elanvändningen och värmelagringen i byggnaden varierar över tiden. Ett sätt att reducera inverkan från denna variation i tiden kan åstadkommas genom att använda data som är medelvärdesbildade över en längre tidsperiod. Denna metod är mest verksam för termer som har en mer stokastisk beteende som t.ex. värmelagringen men hjälper ej för termer som har en tydlig trend i tiden, som solinstrålning och i de fall elanvändningen har en säsongvariation. Vad avser bidraget från personvärme och tappvarmvattenanvändningen så uppvisar även dessa ofta ett vecko- och säsongsmönster.

I detta arbete utgår vi från balansen enligt ekvation 1 och med hjälp av linjär regression och multivariat linjär regression, PLS (partial least squares projections on latent structures) har uppskattning gjorts av förlustfaktorn F , nyttjandegraden (α) av elanvändningen, den nyttiggjorda solinstrålningen samt markförlusternas storlek.

3.1 Temperaturer, T_i och T_u

Vid bestämning av en byggnads förlustfaktor genom en regressionsanalys så används ofta ekvation 2a eller 3a. Detta baseras då på ett antagande om att inomhustemperaturen är konstant under den analyserade perioden. I verkligheten är detta naturligtvis inte alltid en acceptabel approximation utan kunskap om inomhustemperaturen är önskvärd. Det problem som dock kvarstår är, hur bestäms/mäts en representativ inomhustemperatur och hur känslig är de erhållna resultaten till uppskattningen av denna.

Hyreshuset:

Utöver mätningar av utomhustemperaturen via två givare, har givare för mätning av inomhustemperaturen installerats i totalt 19 av 21 lägenheter samt i frånluftskanalen. Lägenhetsgivarna placerades så centralt som möjligt med målsättningen att ge en representativ uppskattning av lägenhetens medeltemperatur. Under mätperioden har tre lägenhetsgivare fallit bort av olika skäl. Utöver temperaturerna i lägenheterna har

temperaturer i källaren (två mätpunkter per hus), samt i trappuppgångar också mätts.

Villan:

Fem temperaturgivare användes för att mäta inomhus- och utomhustemperaturen. Två givare placerades i rum i undervåningen, två i övervåningen och en givare användes för att mäta utomhustemperaturen.

3.2 Personvärme, P_p

Bidraget från personvärme till uppvärmningen är beroende av antalet timmar personen är innanför klimatskalet, typ av aktivitet mm, vilket medför att endast uppskattningar av bidraget kan göras. För personvärmen har antagits en värmeavgivning om 71 W per person[13].

Hyreshuset:

För att uppskatta bidraget till uppvärmningen från personvärme genomfördes en enkätundersökning, där de boende har tillfrågats om deras genomsnittliga frånvaro från bostaden under vardagar, lördagar och söndagar samt eventuell sammanhängande frånvaro. Underlaget baseras således på de boendes uppskattningar med därtill hörande osäkerhet.

Villan: Motsvarande information baserat på samtal med de boende.

3.3 Tappvarmvatten, P_{vv}

Bidraget från tappvarmvatten, genom värmeförluster, till husets uppvärmning är en källa för många olika approximationer. Bidraget beror på sådana fysikaliska storheter som temperatur, isolering av varmvattenledningarna, ledningarnas längd, eventuell förekomst av varmvattencirkulation (VVC) mm. Utöver värmetillskott från tappvarmvatten så nyttjas också kallvatten som ofta värms upp i huset innan det lämnar huset genom avloppet.

Hyreshuset:

Energibehovet för tappvarmvattenberedningen bestämdes genom mätning av inkommande kallvattenflöde och temperatur för beredning samt från undercentralen utgående tappvarmvattentemperatur. Fram- och returflödet samt tillhörande temperaturer hos VVC-kretsen till hus #1 mättes också för att kunna bestämma förbrukningen i vardera husen samt förlusten i VVC-cirkulationen.

I detta arbete har vi satt bidraget från tappvarmvatten till uppvärmningen, P_{vv} , lika med förlusten i VVC-systemen. Den i övrigt avgivna värmen från varmvatten har antagits kompensera den värmeförlust som sker när kallt vatten värms i huset.

Villan:

För att mäta energianvändningen för varmvattenberedningen har en separat energimätare installerats och som avlästs av det lokala energibolaget. Bidraget från tappvarmvattnet till uppvärmningen har antagits kompensera värmeförlusten som sker när kallvatten värms i huset. Därmed har bidraget till uppvärmningen från varmvattenförbrukningen satts till 0.

3.4 Tillförd värme genom radiatorsystemet, P_v

Hyresfastigheterna:

De två husen delar en gemensam fjärrvärmecentral som är placerad i hus #2. Den till hus #1 genom radiatorsystemet tillförda värmen, P_v , bestämdes från mätningar av flöde samt framlednings- och returtemperaturen i det sekundärsystem som försörjde hus #1.

För hus #2 bestämdes P_v genom att från fjärrvärmeförbrukningen subtrahera hus #1 värmeförlust samt energiåtgången vid varmvattenberedningen.

Villan:

Huset är anslutet till fjärrvärme och P_v bestämdes genom att subtrahera energiåtgången för tappvarmvattenberedningen från den totala fjärrvärmeanvändningen.

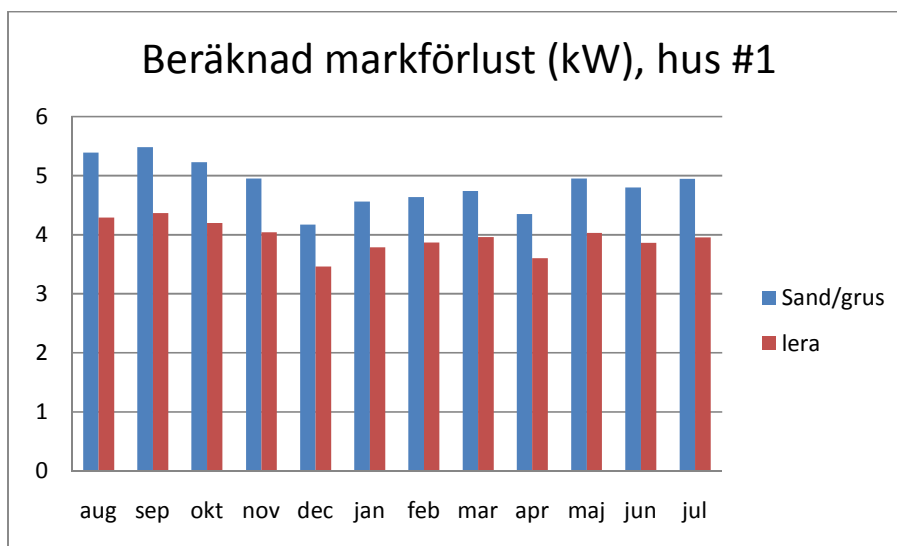
3.5 Nyttiggjord solinstrålning, P_{sol}

Solinstrålningens bidrag till en byggnads uppvärmning är i vår klimatzon framförallt betydelsefull under perioden mars-oktober. Storleken hos P_{sol} beror av ett antal faktorer som husets orientering, skuggning, solhöjd, klimatskalets sammansättning (fönster, material) men också av det momentana lokala klimatet avseende direkt och indirekt strålning.

Inga mätningar av den direkta eller indirekta solinstrålningen har gjorts lokalt vid hyresfastigheten eller vid villan. För hyresfastigheten fanns data tillgängliga över den globala (summan av direkt och indirekt) solinstrålningen, som är uppmätt vid väderstationen på Umeå universitets campus. De två husen befinner sig ca 1 km från väderstationen.

3.6 Markförlusten, M

För att uppskatta markförlustens storlek och variation över året har beräkningar genomförts enligt EN-ISO-13370 som ger en beräkning av månadsmedelvärdet för markförlusten. I figur 5, nedan visas resultaten för ett av hyresfastighetens två hus, hus #1 för olika markförhållanden.



Figur 5. Beräknad månatlig markförlust baserad på EN-ISO-13370, för olika markförhållanden.

Av figur 5 framgår att markförlusten är relativt konstant över året och i den genomförda analysen har därför M antagits vara konstant. Den jämna profilen över hela året kommer från det faktum att källartemperaturen varierar från 14 °C under januari och februari för att stiga till cirka 21 °C under sommarmånaderna och därmed har temperaturskillnaden mellan omgivande mark och källaren varit relativt konstant.

3.7 Värmelagring, P_{dyn}

För att genom en regressionsanalys erhålla en god uppskattning av förlustfaktorn, F , bör värmelagringstermen ($P_{dyn} = C \frac{dT}{dt}$, ekvation 1) vara försumbart låg eller alternativt vara oberoende av temperaturdifferensen ($T_i - T_u$), d.v.s. mer eller mindre vara konstant över tiden. Genom att medelvärdesbilda mätdata över en längre tidsperiod kan inverkan från variationer i värmelagringen i många fall reduceras. Beroende på medelvärdesbildningens längd i tiden, så sker detta till priset av att antalet datapunkter för den efterföljande analysen reduceras. Detta kan ge upphov till stora problem om endast korta mätperioder är tillgängliga.

Låt oss betrakta en ideal byggnad som har en konstant inomhustemperatur, utsätts för en försumbar solinstrålning och dessutom har ett yttre klimatskal som hinner inta termisk jämvikt med omgivningen på ett dygn. Ifall utomhustemperaturen skulle stiga med 5°C från en dag till en annan, så skulle då lika mycket värme lagras i klimatskalet som skulle frigöras om utomhustemperaturen i stället hade sjunkit med 5°C . Detta skulle innebära att man genom att para ihop dessa två dygn, så skulle effekten från värmelagring kunna elimineras genom att ta medelvärdet från dessa två dagar. En ytterligare fördel med detta förfarande är att det endast skulle medföra en halvering av antalet datapunkter. För perioder med mycket solinstrålning kompliceras dock förfarandet, då solinstrålningen bidrar till uppvärmningen av klimatskalet och därmed är värmelagringen inte längre enbart en fråga om variationer hos inom- och utomhustemperaturerna.

I en verklig byggnad så påverkas oftast även inomhustemperaturen av en varierande utomhustemperaturer, då regleringen av värmesystem inte alltid är ideal. Detta innebär att värmelagring i verkligheten sker i dels det yttre klimatskalet som i huvudsak är kopplat till variationen i utomhustemperaturen men också i den interna termiska massan (innerväggar, inredning m.m.) som påverkas av inomhustemperaturen.

Frågan uppstår då, hur beräkna den representativa förändringen i den termiska massans temperatur, ΔT_L , baserat på data för inomhus- och utomhustemperaturen? Hur, ΔT_L , skall beräknas är beroende av tidskonstanten, τ , hos både det yttre klimatskalet samt den interna termiska massan och avgör hur långt tillbaka i tiden dynamiken är kopplad.

Hur mycket av den tillgängliga värmekapaciteten i ett hus som i praktiken bidrar till värmelagringen p.g.a. omgivningens temperaturvariationer avgörs av det sk inträngningsdjupet. Detta är beroende av amplituden och periodtiden hos omgivande temperaturvariation, termiska egenskaper (värmeledningsförmåga, specifik

värmekapacitet) och densiteten hos ingående material i huskroppen. Att göra en stringent analys är således ingen trivial uppgift.

Hur stor del av den termiska massan som deltar i värmelagringen, respektive hur stor temperaturförändringen blir hos denna termiska massa är som sagt mycket komplext att beräkna. Med syftet att medelvärdesbilda över två dagar som har lagrat respektive frigjort jämförbara mängder energi, räcker det att hitta en temperaturdifferens som är korrelerad till ändringen av temperaturen i den termiska massa som deltar i utbytet.

I detta arbete har vi antagit att förändringarna i väggens medeltemperatur avspeglar ändringen av temperaturen i den del av klimatskalets termiska massa som deltar i utbytet samt att ändringar i inomhustemperaturen på motsvarande sätt avspeglar temperaturförändringen i den del av den interna termiska massa som deltar i utbytet.

För detta ändamål har följande tre olika alternativ för beräkning av ΔT_L använts,

P1: ΔT_L tar hänsyn till värmelagring i både klimatskalet samt den interna termiska massan. Både förändringen i klimatskalets medeltemperatur som inomhustemperaturen mellan två dagar ingår därför i beräkningen av ΔT_L som sätts till förändringen av $\frac{T_i + T_u}{2} + \omega T_i$ mellan två konsekutiva dagar. Viktningen, ω , mellan de två termerna bör ske i relation till den termiska massa de representerar.

P2: ΔT_L beräknas baserat på P1 från historiska temperaturdata där Newtons avsvlningslag har använts för att vikta inverkan från olika tidpunkter bakåt i tiden och där viktfaktorerna då ges av $e^{-t/\tau}$.

P3: För byggnader där den interna termiska massan är försumbar ($\omega=0$) behöver ΔT_L endast ta hänsyn till förändringen av klimatskalets medeltemperatur, dvs differensen mellan $\frac{T_i + T_u}{2}$ för två konsekutiva dagar.

Varje dygn tillskrivs på detta sätt ett beräknat värde på ΔT_L . Datamängden sorteras sedan baserat på ΔT_L och dygn med jämförbar ökning och minskning paras ihop varefter medelvärdet beräknas för dessa två dagar. För ytterligare information se bilaga 2 där metodiken exemplifieras.

Utöver ovan beskrivna metod har också förbehandling av data skett genom att medelvärdesbilda över ett antal på varandra följande dagar. I rapporten betecknas detta med t.ex. M5, där M anger medelvärdesbildning och 5 anger att det skett över fem konsekutiva dagar.

3.8 Elanvändning, P_{el}

Hyresfastigheten:

Elanvändningen består av mätt hushållsel, fastighetsel samt el för motorvärmare. Hushållselen har ej mätts i de enskilda lägenheterna utan för samtliga lägenheter i respektive hus. För detta ändamål installerades en separat totalmätare i varje hus, som mätte den till huset totalt levererade elenergin samt en separat elmätare för motorvärmarna. Motorvärmarnas elanvändning är exkluderade från alla data som redovisas i denna rapport. Alla avläsningar av elanvändningen administrerades av nätägaren. Av fastighetselen används huvuddelen inom klimatskalet med undantag av utomhusbelysning samt frånluftsfläktar (0.55 kW i hus #1 och 0.75 kW i hus #2).

Villan:

Mätdata har erhållits via nätägaren. Elanvändning sker i huvudsak innanför klimatskalet då ingen motorvärmare eller andra större laster används utanför klimatskalet förutom viss utomhusbelysning.

3.9 Förlustfaktorn, F

Förlustfaktorn F beskriver som sagts tidigare, summan av transmissions- och ventilationsförluster och kan beskrivas av

$$F = \sum UA + \dot{V} \rho c_p (1 - \eta) \quad (4)$$

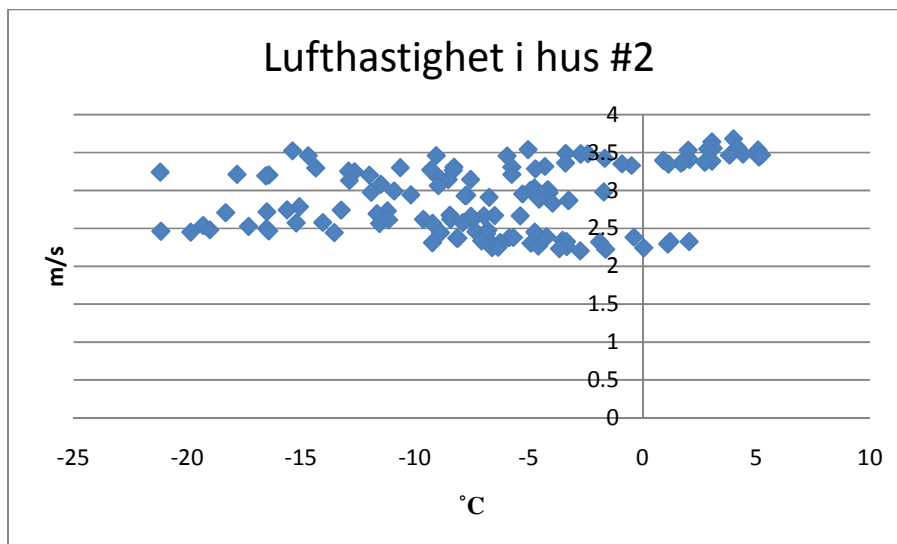
Där U och A anger en byggnadsdels värmegenomgångstal samt area, $\dot{V}$ anger ventilationens volymström, ρ luftens densitet, c_p luftens specifika värmekapacitet samt där η är temperaturverkningsgraden hos eventuell värmeåtervinning av frånluften.

För de här studerade byggnaderna finns ingen värmeåtervinning så η är lika med noll.

I bägge alla studerade husen finns en frånluftsfläkt som går med konstant varvtal året

runt. I hyresfastigheterna i Umeå installerades flödesmätare av typen varmtrådsanemometer, men mätningarna stördes då frånluften var väldigt smutsig och innehöll fett mm. Detta medförde att en sakta monoton drift i våra mätningar. Inga tecken finns som indikerade någon drastisk förändring av ventilationsflödet har förekommit under mätperioden och vid en analys mot utomhustemperaturen framgår ingen trend.

I figuren 6 nedan visas det avlästa flödet som funktion av utomhustemperaturen, för perioden november till mars.



Figur 6. Med anemometer mätt lufthastighet i frånluftskanalen i hus #2 under perioden november till mars, dygnsmedelvärden.

För den aktuella perioden är de mätpunkter som förekommer vid en utomhustemperatur högre än 0 °C från början av perioden (ca 3.5 m/s) samt i slutet av perioden (ca 2.4 m/s). Från figuren kan således inget tydligt beroende av utomhustemperaturen detekteras. Baserat på figur 6, det faktum och att den avlästa hastigheten uppvisar ett entydigt monotont avtagande med tiden samt att fläkten gått på ett konstant varvtal antar vi att det totala frånluftsflödet varit relativt konstant.

Förutom frånluftsfläkten så lämnar också uppvärmd luft byggnaden genom läckage. Hur stor andel av luftväxlingen som sker på detta sätt och fördelningen över året är svår att uppskatta, men baserat på ett konstant frånluftsflödet via fläkten bör förlustfaktorn F i stort sett vara konstant.

4. Resultat och diskussion

Syftet med detta arbete är att bestämma förlustfaktorn, nyttiggjord solinstrålning och elanvändning för uppvärmning och markförlust samt undersöka känsligheten hos dessa parametrar till valet av använda inomhustemperaturer, mätperiodens längd, tillgänglig variation i utomhustemperaturen mm. Analysen och diskussionen av resultaten sker i följande ordning.

- 4.1 Inverkan från sol, värmelagring och mätperiodens längd samt variation i utomhustemperatur
- 4.2 Valet av inomhustemperatur
- 4.3 Uppskattning av markförlust, nyttjandegraden av el för uppvärmning samt nyttiggjord solinstrålning

4.1 Inverkan från sol, värmelagring och mätperiodens längd samt variationen i utomhustemperatur

För att minimera inverkan från nyttiggjord solinstrålning har endast data använts från den del av året då solens inverkan, sk mörka perioder, är liten, d.v.s. tidsperioder kring vintersolståndet (21 december).

Med valet av den mörka perioden antas P_{sol} kunna försummas och ekvation 1 förenklas till

$$P_v + \alpha P_{el} + P_p + P_{vv} = F(T_i - T_u) + M + P_{dyn} \quad (4)$$

Med data på P_v , P_p och P_{vv} så kan ekvation 4 skrivas som

$$P = F(T_i - T_u) - \alpha P_{el} + M + P_{dyn} \quad (5)$$

där $P = P_v + P_p + P_{vv}$.

Med $P_t = P_{el} + P_{dyn}$ kan ekvation 5 skrivas som

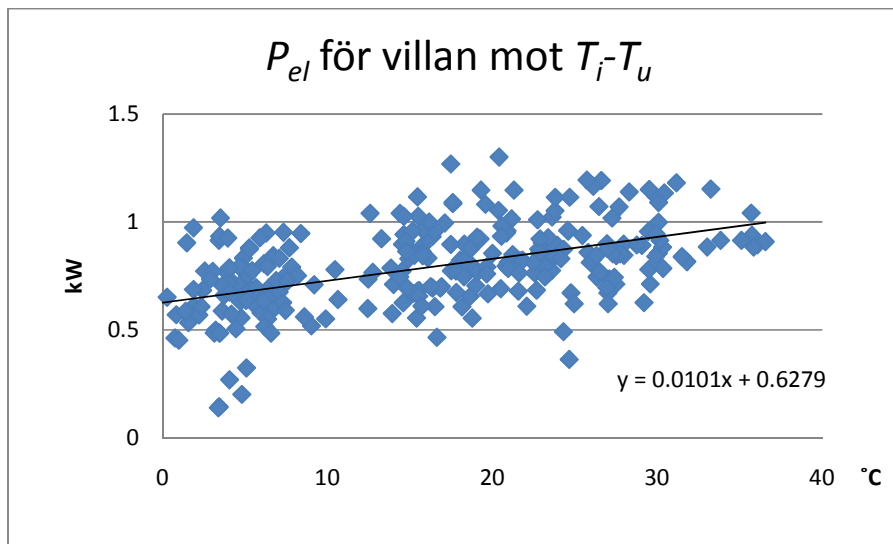
$$P_t = F(T_i - T_u) + (1 - \alpha)P_{el} + M + P_{dyn} \quad (6)$$

För att studera inverkan på det erhållna resultatet för förlustfaktorn F , har en linjärregressionsanalys genomförts baserat på ekvation 6, detta innebär att ekvationerna approximerats till

$$P_t = F_t(T_i - T_u) + \text{konstant}_6 \quad (7)$$

Med denna ansats kommer eventuellt $(T_i - T_u)$ -beroende, hos de övriga termerna om markförlusten, värmelagringen samt värmebidraget från elanvändningen att påverka det från regressionen erhållna värdet på F , därför har index t använts.

För elanvändningen i villan finns en samvariation med $(T_i - T_u)$ vilket framgår av figur 7. I figurerna är den dagligen använda medeleffekten P_{el} plottad mot $(T_i - T_u)$ samt resultatet av en linjär regression för villan och hyresfastigheten.



Figur 7. Elanvändningen i villan mot $T_i - T_u$

Av figur 7 framgår att elanvändningen uppvisar ett visst beroende av $(T_i - T_u)$ eller T_u då T_i är relativt konstant.

Om P_{el} har ett rent linjärt beroende av $(T_i - T_u)$ enligt

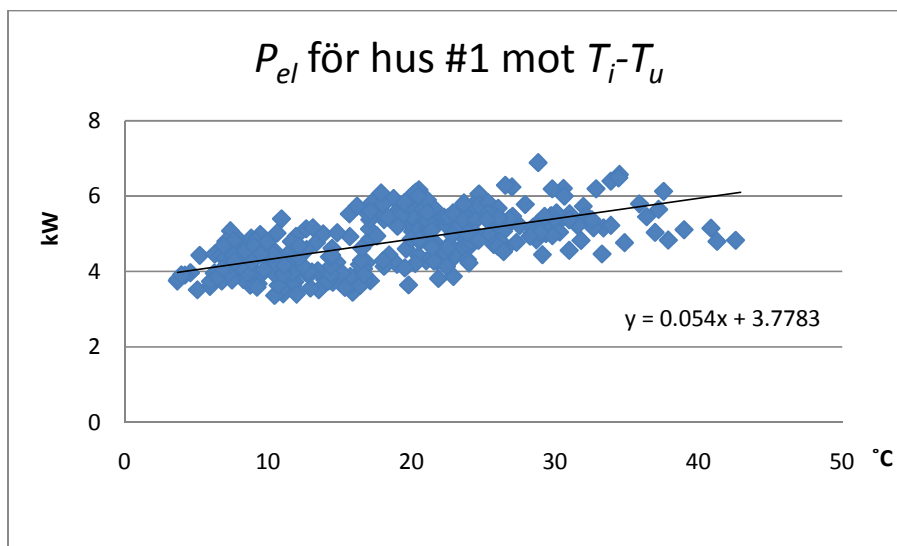
$$P_{el} = P_{el,0} + k(T_i - T_u)$$

så skulle följande samband gälla mellan F och F_t

$$F = F_t - (1 - \alpha)k \quad (8)$$

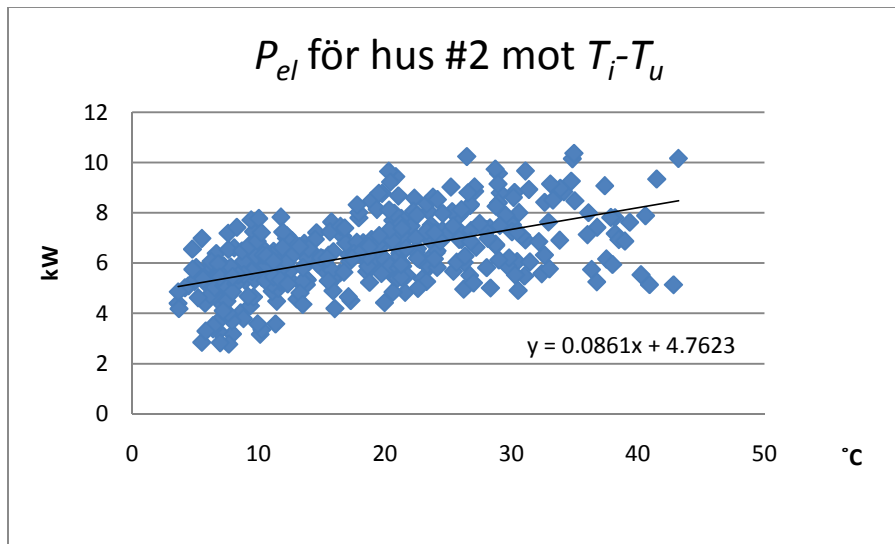
under förutsättningen att markförlusten är konstant och att inverkan från värmelagringen, P_{dyn} är försumbar och där α har ett värde mellan 0 och 1.

I figur 8a och 8b visas den uppmätta elförbrukningen för hyresfastighetens hus #1 och #2. Elanvändningen som används för motorvärmare är mätta separat och ingår ej i P_{el} .



Figur 8a. Elanvändningen i hus #1 mot $T_i - T_u$

Samt för hus #2



Figur 8b. Elanvändningen i hus #2 mot $T_i - T_u$

Från figur 8a och b framgår att hus #2 (9 lägenheter) har en betydligt högre samt större variation i elanvändning än hus #1 (12 lägenheter). Detta förklaras av den stora skillnaden i fastighetsel, då fastighetens fjärrvärmecentral och den gemensamma tvättstugan är placerad i hus #2. För hus #1 utgör på årsbasis hushållselen 70% av den totala elanvändningen att jämföra med 43% för hus #2.

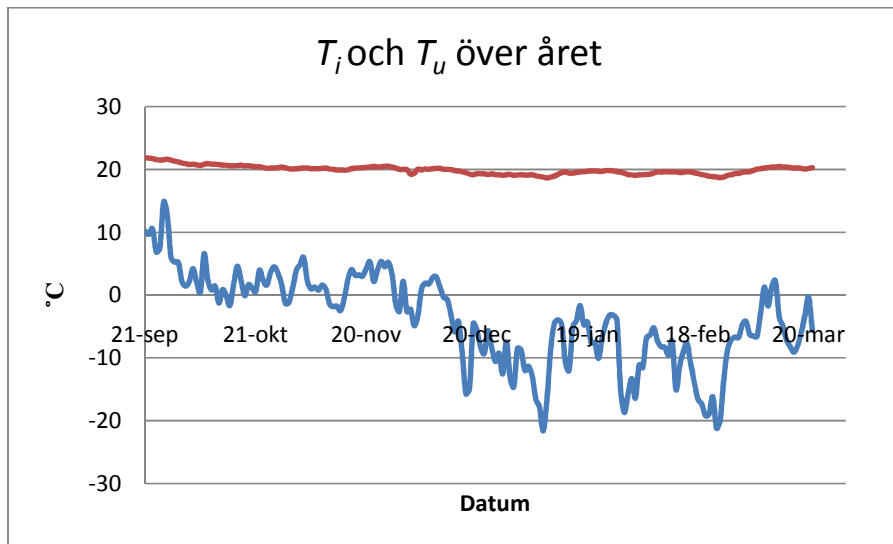
För att minimera inverkan från värmelagring har förbehandling av data skett, genom

- (i) Medelvärdesbildning över ett antal konsekutiva dagar
- (ii) Parning av data, där medelvärdet tagits för två dagar. (bilaga 1).

4.1.1 Hyresfastigheten

De data som valdes som underlag för analysen togs från perioden 21 september 2009 till 21 februari 2010.

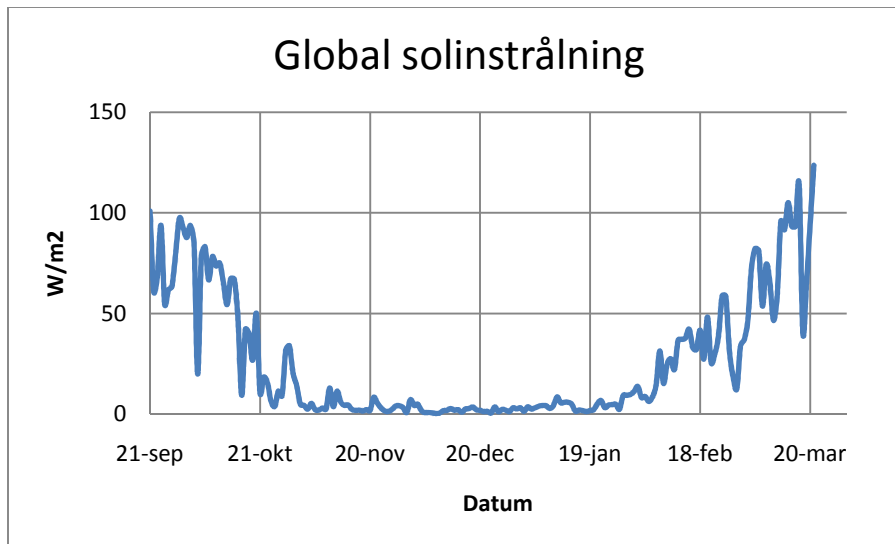
I figur 9 nedan visas variationen i inomhustemperaturen (frånluften) och utomhustemperaturen för hus #1. Inomhustemperaturen i hus #2 uppvisar ett liknande beteende och redovisas därför ej.



Figur 9. Utomhus- och inomhustemperaturen för hus #1.

Av figur 9 framgår att inomhustemperaturen är relativt konstant men följer dämpat utomhustemperaturen.

Den vid Umeå universitet mätta globala solinstrålningen under samma period visas i figur 10



Figur 10. Global solinstrålning, mätt vid Umeå universitet

Av figur 10 framgår tydligt att under en månad före och efter midvintersolståndet är den globala solinstrålningen försumbar. I intervallet två månader före och efter midvintersolstånd översteg den globala solinstrålningen 20 W/m^2 under några dagar efter den 21 oktober samt från den 7 februari.

Baserat på beräkningar av den totala termiska massan hos ytterväggar och innerväggar samt förlustfaktorn uppskattas husets totala tidskonstant till ca 4 dygn, relativt jämt fördelat mellan klimatskal och innerväggar, d.v.s. 2 dygn för klimatskalet och 2 dygn för innerväggarna.

För att reducera inverkan av värmelagringen har därför data förbehandlats genom medelvärdesbildning och parning baserat på en uppskattning av en representativ lagringstemperatur, ΔT_L

Vid förbehandling av data har alla tre modellerna används för jämförelse (se kap 4.7) enligt nedan.

P1: Baserat på det faktum att den termiska massan i stort sett är den samma för klimatskal som innerväggar så sattes ω till 1 (se 4.6), och ΔT_L sattes till förändringen av $\frac{T_i + T_u}{2} + T_i$

mellan två konsekutiva dagar

P2: Baserat på en tidskonstant om 2 dygn, användes samma uttryck som i P1, men genom en medelvärdesbildning av historiska data (4 dagar) där dessa viktades ihop med viktfaaktorn $e^{-t/2}$.

P3: ΔT_L sätts lika med förändringen av klimatskalets medeltemperatur, $\frac{T_i + T_u}{2}$ mellan två konsekutiva dagar

Data har också analyserats, baserat på förbehandling genom medelvärdesbildning enligt:

M4: Medelvärdesbildning över fyra konsekutiva dagar

M5: Medelvärdesbildning över fem konsekutiva dagar

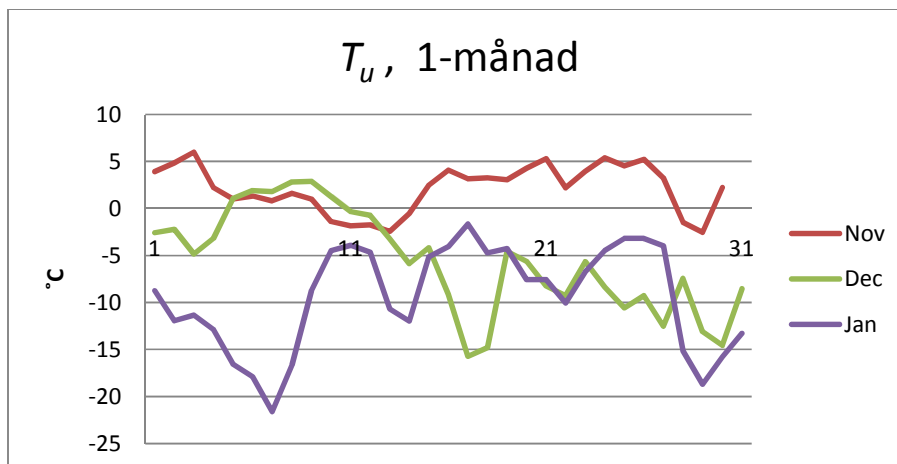
M6: Medelvärdesbildning över sex konsekutiva dagar

Analyserna har gjorts för tidsperioderna en och 2 månaders samt längre perioder och perioderna är valda enligt följande:

En månad: November, december samt januari månad.

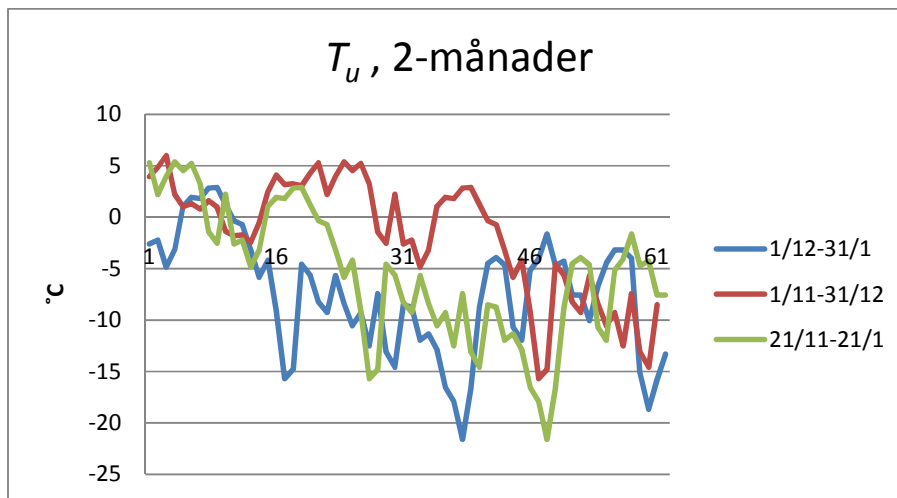
Två månader: 1/11-31/12, 1/12-31/1 samt 21/11-21/1.

I figur 11 och 12 visas utomhustemperaturens variation för respektive period.



Figur 11. Utomhustemperaturens variation under de analyserade 1-månads perioderna.

Av figur 11 framgår att de tre månaderna skiljer sig ganska markant. November uppvisar ingen tydlig trend, december en relativt svag under det att januari uppvisar kraftiga temperatursvängningar. Variationen i T_u var liten under november månad (8.6 °C) till skillnad från december och januari som hade en variation på 18.6 respektive 20.0 °C.



Figur 12. Utomhustemperaturens variation under de analyserade 2-månads perioderna.

För dessa tidsserier uppvisar alla perioderna inslag av trender. Perioden 21/11-21/1 har den tydligaste och längsta trenden under det att perioden 1/11-31/12 den kortaste.

I tabell 3 nedan presenteras resultaten från analysen av dessa perioder. För huset #1 så har inte januari analyserats pga ett stort mätbortfall, då nätbolaget ej lyckades ladda ner data från den installerade elmätare. För december månad är också de fyra första dagarna uteslutna beroende på problem mätningarna av frånlufttemperaturen i hus #1.

Tabell 3. Värden på F_t baserat på förbehandling av data genom medelvärdesbildning och parning av data. Periodlängd 1-månad och 2 månader.

F_t [kW/°C]							
	Period	Medelvärdesbildning			Parning		
		M4	M5	M6	P1	P2	P3
Hus#1	Nov	0.99	1.09	1.06	1.08	1.22	1.11
	Dec	1.19	1.21	1.20	1.21	1.26	1.18
	Jan						
Hus#2	Nov	0.78	0.88	0.80	1.02	0.94	1.03
	Dec	0.87	0.99	0.96	0.97	1.03	0.96
	Jan	0.89	0.99	0.97	0.94	1.04	0.93
Hus#1	21/11-21/1	1.29	1.31	1.34	1.23	1.24	1.29
	1/11-31/12	1.21	1.23	1.22	1.24	1.29	1.25
	1/12-31/1	1.20	1.20	1.22	1.19	1.25	1.20
Hus#2	21/11-21/1	1.00	1.07	1.04	1.01	1.13	0.99
	1/11-31/12	0.98	1.03	1.01	1.02	1.05	1.05
	1/12-31/1	0.88	0.98	0.95	0.96	0.96	0.92

Av tabell 3 framgår tydligt för bägge husen, att för data från 1-månad ger regressionen som baserats på M4-M6 resultat som är beroende av antalet dagar som ingår i medelvärdesbildningen. Den största spridningen har november och januari perioderna. November har den lägsta variationen i T_u vilket kan vara en förklaring då medelvärdesbildningen reducerar denna ytterligare. Januari månad uppvisade (figur 11) snabba och kraftiga temperaturändringar vilket gör att man kan förvänta sig en spridning i resultaten beroende på vald tid för medelvärdesbildningen. För december månad, vilket var månaden med en tydlig trend, är resultaten ganska stabila för hus #1 men ej lika stabila för hus #2.

Med tillgång till en längre tidsperiod (2-månader) minskar variationen mellan M4, M5 och M6 både inom och mellan perioderna. För hus #1 finns en genomgående trend att F_t ökar med antalet dagar som medelvärdesbildningen baseras på. För hus #2 kan resultaten eventuellt tolkas som insvängning mot ett medelvärde. Detta beteende är tydligast för de perioder som innehåller data från januari som hade snabba och kraftiga temperaturfluktuationer. För hus #1, avviker också resultatet från perioden 21/11-21/1 från de två övriga perioderna för såväl M4, M5 och M6.

För analysen av 1-månaders perioder fås för data förbehandlade genom parning, jämförbara värden för P1 och P3. För P2 som tog i beaktande temperaturförändringen längre tillbaka i tiden än ett dygn, viktat m.h.a. Newtons avsvlningslag, fås i alla fall utom ett något större värden

För 2-månaders data reduceras också spridningen mellan olika perioder för förbehandling enligt P1, P2 och P3. Tendens att P2 generellt ger högre uppskattningar av F_t än P1 och P3 kvarstår dock. För perioden som inte innehåller data från januari, perioden 1/11-31/12, ger P1 och P3 liknande resultat för bägge husen som M5 och M6 och för perioderna med data från januari ger P1 och P2 en något lägre uppskattning av F_t än M5 och M6. Generellt är spridningen mellan de olika analyserade perioderna lägre för P1 och P3 än för M5 och M6.

Slutligen analyserade de två längre perioder, 2 respektive 3 månader på var sin sida om vintersolståndet, samt baserat på tillgången till mätningar av solinstrålningen, den längsta sammanhängande perioden då solinstrålningen understeg 20 W/m^2 , d.v.s. från den 1 november t.o.m. den 6 februari. Resultaten från dessa analyser redovisas i tabell 4 nedan.

Tabell 4. Värden på F_t baserat på förbehandling av data genom medelvärdesbildning eller parning av data. Övriga perioder.

		$F_t \text{ [kW/}^\circ\text{C]}$					
	Period	Medelvärdesbildning			Parning		
		M4	M5	M6	P1	P2	P3
Hus#1	1/11-6/2	1.24	1.26	1.27	1.22	1.22	1.26
Hus#2	1/11-6/2	0.97	1.02	1.00	0.98	1.01	1.03
Hus#1	21/10-21/2	1.20	1.19	1.26	1.17	1.22	1.21
	21/9-21/3	1.30	1.31	1.34	1.20	1.26	1.24
Hus#2	21/10-21/2	0.95	0.97	0.96	0.97	1.01	0.99
	21/9-21/3	1.02	1.04	1.05	1.03	1.04	1.03

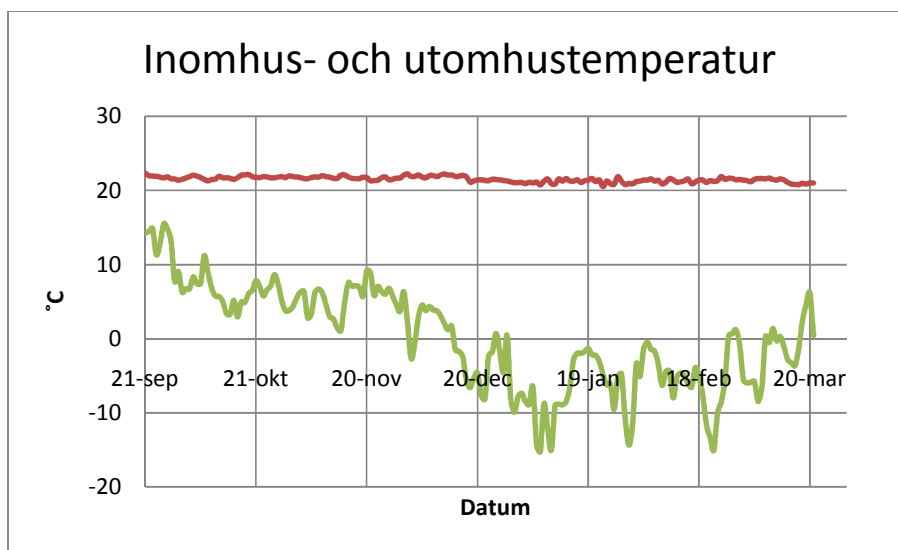
Med tillgång till hela den mörka perioden 1/11-6/2, så är spridningen i uppskattningen av F_t endast någon procent inom M4-M6 respektive P1-P3. För hus #1 kvarstår driften i bestämningen av F_t mellan M4, M5 under det att P2 som tidigare gett högre uppskattningar nu ger i stort sett samma som P1. För hus #2 ger M3-M6 och P1-P3 likvärdiga resultat.

För de två övriga perioderna där solinstrålningen har en inverkan så avviker resultaten mindre än vad som kunde förväntas. Perioden 21/10-21/2 ger en något lägre uppskattning av F_t under det att perioden 21/9-21/3 ger en högre uppskattning för M4-M6 jämfört med den solfria perioden 1/11-6/2. För hus #2 är denna avvikelse mindre, vilket är rimligt då hus #1 är orienterat i väst-östlig riktning med liten skuggning under det att hus #2 står i nord-sydlig riktning och skuggas mer. Under perioden 21/10 till 21/12 står solen relativt lågt och påverkar därmed hus #1 i större utsträckning än hus 2. För förbehandling av data genom parning, P1-P3 uppträder en avvikelse framförallt för perioden 21/9-21/3 vilken ger något högre uppskattningar av F_t än för perioden 1/11-6/2. För en mer detaljerad diskussion av inverkan från solen, se 4.1.3.

Sammanfattningsvis noteras att förbehandling av data genom parning enligt P1 generellt ger en lägre spridning i F_t mellan de olika perioderna för båda husen jämfört med övriga metoder för förbehandling av mätdata. Vid förbehandling enligt P1 beaktas värmelagringen i husets klimatskal men också i husets inre, vilket är rimligt för hyresfastigheten med sina tunga innerväggar. För P2 som på ett approximativt sätt försökte beakta långtidseffekterna av värmelagringen ($\tau = 2$ dygn) erhöles en betydligt större spridning, vilket kan tas som en indikation på att endast en mindre del av den totala termiska massan aktivt deltar i värmelagringen.

4.1.2 Villan

I figur 13, nedan visas variationen av medeltemperaturen från den 21 september till den 21 mars. För villan är den använda inomhustemperaturen från tre av de utplacerade givarna. En av givarna gav kraftigt avvikande resultat jämfört med övriga tre och har därför lämnats utanför analysen.



Figur 13. Utomhus- och inomhustemperaturen för hus #1

Som framgår av figur 13, hålls inomhustemperaturen relativt konstant, men en viss följsamhet med utomhustemperaturen kan märkas i slutet av december då inomhustemperaturen sänks.

För villan fanns inte tillgång till mätningar av solinstrålningen i nära anslutning till villan i Ekerö. Den största delen av husets termiska massa består av bottenplattan i betong samt lättbetong i suterrängväggen. Räknar man på den totala termiska massan fås en total tidskonstant på ca 2 dygn, varav betongplattan och lättbetongen står för den absoluta huvuddelen. Detta innebär att de delar av huset som direkt påverkas av utomhusklimatet har en tidskonstant mindre än ett dygn. Betongplattan och lättbetongväggen står på insidan i kontakt med inomhustemperaturen och på utsidan med marken. Hur stor del av denna termiska massa som i praktiken bidrar till värmelagringen på grund av en ändrad inomhustemperatur är ej enkel att uppskatta. Baserat på detta har medelvärdesbildning över 2-, 3- och 4-dagar och för parningen har P1 och P3 beräknade på samma sätt som för hyresfastigheten använts. Detta motsvarar fallet att den termiska massa som deltar i det yttre klimatskalet mot luften är jämförbart med det som enbart påverkas av inomhustemperaturen (P1) samt att värmelagringen i golv och att värmelagringen i klimatskalet mot uteluften är dominant (P3).

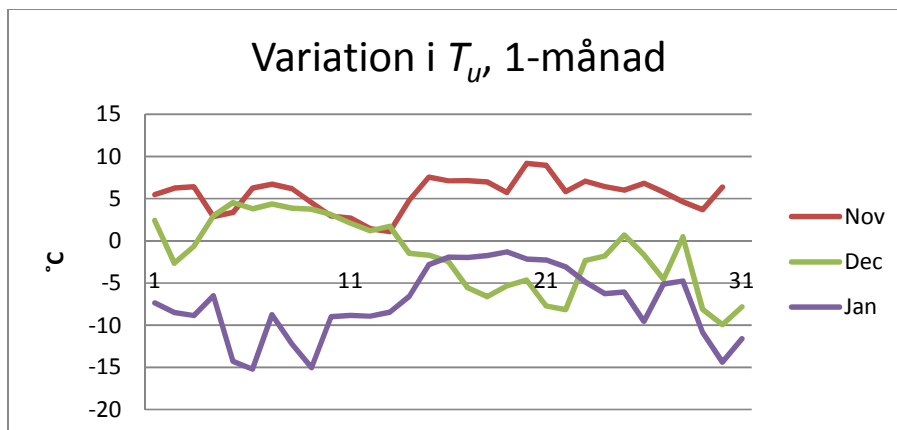
I tabell 5 nedan redovisas resultaten från alla analyserade perioder. Medelvärdesbildningen har för villan gjorts för, 2-, 3- och 4-dagar.

Tabell 5. Värden på F_t baserat på förbehandling av data genom medelvärdesbildning eller parning av data. Alla perioder.

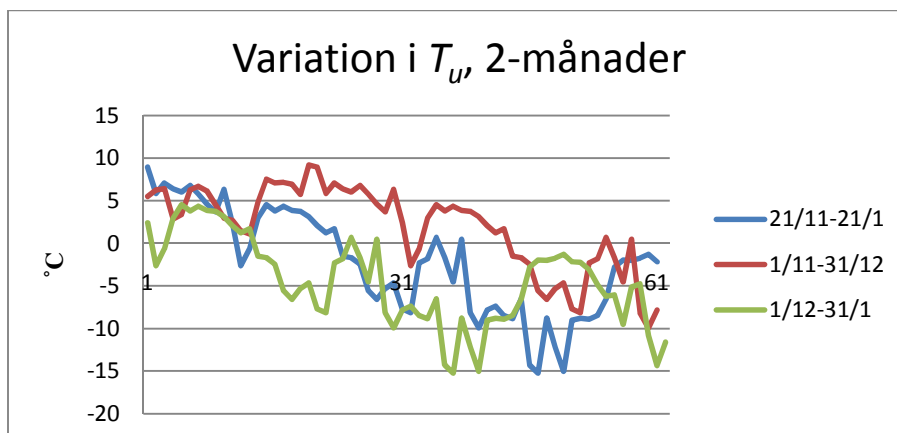
		F_t [kW/°C]				
Period		Medelvärdesbildning			Parning	
		M2	M3	M4	P1	P3
1-månad	Nov	0.172	0.164	0.150	0.165	0.161
	Dec	0.140	0.142	0.145	0.158	0.145
	Jan	0.142	0.149	0.142	0.151	0.148
2-månader	21/11-21/1	0.148	0.150	0.150	0.149	0.148
	1/11-31/12	0.146	0.146	0.146	0.146	0.150
	1/12-31/1	0.147	0.151	0.149	0.149	0.149
Längre	21/10-21/2	0.150	0.151	0.151	0.152	0.150
	21/9-21/3	0.172	0.164	0.150	0.165	0.161

För de flesta perioderna är det erhållna värdet på F_t ganska opåverkat om medelvärdesbildningen skett över 2-, 3- eller 4-dagar. Undantagna är dock perioderna november och januari. Vid förbehandling av data enligt P3 fås liknande resultat som M4 med undantag för just november och januari. För P1 erhålls i stort sett liknande resultat som för P3. För de längre perioderna då solen ger ett bidrag så ger endast perioden 21/9-21/3 resultat som avviker under det att perioden 21/10-21/2 ger liknande resultat som 2-månaders perioderna.

I figurerna 14 och 15 visas utomhustemperaturens variation för 1- och 2-månaders perioderna.



Figur 14. Utomhustemperaturens variation under de analyserade 1-månads perioderna.



Figur 15. Utomhustemperaturens variation under de analyserade 2-månaders perioderna.

Av figur 14 framgår att januari även i Ekerö uppvisade snabba temperaturförändringar även om amplituden var lägre än i Umeå. November månad uppvisar ingen tydlig trend men har däremot en mycket litet spann i utomhustemperaturen (8.1 °C) att jämföra med 14.5 och 13.9 °C för december och januari. Dessa resultat är således konsistenta med vad som erhöles för hyresfastighetens två hus.

Sammanfattningsvis noteras att för villan ger förbehandling av data genom medelvärdesbildning eller genom parning jämförbara resultat. För de två undersökta

metoderna för parning, P1 och P3 erhålls också i huvudsak jämförbara resultat.

4.1.3 Sammanställning av resultat samt sammanfattande diskussion

Metod för förbehandling.

Det mest fundamentala problemet då det gäller att fastställa en byggnads förlustfaktor, är det faktum att ingen vet det exakta svaret. Detta innebär att det är omöjligt att direkt leda i bevis vad det korrekta svaret är och därmed också vilken metod som är den mest exakta. Vad som däremot kan studeras och bedömas är metodernas robusthet. Med robusthet avses här metodens precision, dvs spridningen i de erhållna resultaten för olika analyserade perioder.

I tabellen nedan ges en sammanställning av resultaten för M6 och P1 för 1- och 2-månaders perioderna samt perioden 1/11-6/2, då mätningar visat på en mycket låg solinstrålning.

Tabell 6. Sammanställning av resultaten från de olika analyserade perioderna för M6 och P1. Den procentuella avvikelsen från medelvärdet (kursiverat) för respektive period är angiven inom parentes.

F_v [kW/°C]					
Period		Hus #1		Hus #2	
		M6	P1	M6	P1
1-månad	Nov	1.06 (-6%)	1.09 (-5%)	0.80 (-12%)	1.02 (5%)
	Dec	1.20 (6%)	1.21 (5%)	0.96 (6%)	0.97 (-1%)
	Jan			0.97 (6%)	0.94 (-4%)
$\bar{F}_t$ 1-mån		<i>1.13</i>	<i>1.15</i>	<i>0.91</i>	<i>0.98</i>
2-månader	21/11-21/1	1.34 (6%)	1.23 (1%)	1.04 (4%)	1.01 (1%)
	1/11-31/12	1.22 (-3%)	1.24 (2%)	1.01 (1%)	1.02 (2%)
	1/12-31/1	1.22 (-3%)	1.19 (-3%)	0.95 (-5%)	0.96 (-4%)
$\bar{F}_t$ 2-mån		<i>1.26</i>	<i>1.22</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>
1/11-6/2		<i>1.26</i>	<i>1.22</i>	<i>1.00</i>	<i>0.98</i>

Av sammanfattningen framgår att för hus #2 så ger P1 i stort sett samma uppskattning av

F_t för de olika periodlängderna. Inom respektive periodlängd är avvikelsen som störst (5%) för 1-månaders data för november och baserat på 2-månaders data är spridningen mindre är 4%. För M6 och hus #2, är avvikelsen i medelvärde på F_t mellan periodlängderna 1- och 2-månader större än för P1 men orsakas i huvudsak av november månad (lägsta variation i T_u av alla perioder). Men även för 2-månader (hus #2) är spridning i F_t större för M6 än för P1 även om medelvärde är detsamma och i god överensstämmelse med resultaten från den längsta tillgängliga perioden med försumbar solinstrålning, 1/11-6/2.

För hus #1, ger P1 nästa identiska resultat alla mätperioderna, november undantaget och med en lägre spridningen än M6. Förbehandling av data enligt M6, ger ett högre uppskattat värde på F_t för både 2-månaders perioderna och perioden 1/11-6/2 än vad som fås genom förbehandling enligt P1. En viktig delförklaring till avvikelsen utgörs av perioden 21/11-21/1. Men hus #1 uppvisar också för metoden med förbehandling av data genom medelvärdesbildning ett avvikande beteende från hus #2. För detta hus förekom en tydlig drift i det uppskattade värdet på F_t , se resultaten för M4-M6 i tabell 4, till skillnad från hus #2 där resultaten antydde en insvängning mot ett medelvärde.

I tabell 7 nedan redovisas motsvarande sammanställning för M4 och P3 för villan.

Tabell 7. Sammanställning av resultaten från de olika analyserade perioderna för M4 och P3. Inom parentes är den procentuella avvikelsen från medelvärdet angiven.

		F_v [kW/°C]	
Period		M4	P3
1-månad	Nov	0.150 (3%)	0.161 (6%)
	Dec	0.145 (-1%)	0.145 (-4%)
	Jan	0.142 (-2%)	0.148 (-2%)
$\bar{F}_t$ 1-mån		0.145	0.152
2-månader	21/11-21/1	0.150 (1%)	0.148 (-1%)
	1/11-31/12	0.146 (-1%)	0.150 (1%)
	1/12-31/1	0.149 (0%)	0.149 (0%)
$\bar{F}_t$ 2-mån		0.148	0.149

Från tabell 7 framgår att P3 och M4 ger i stort sett identiska resultat för 2-månaders data. För 1-månaders data ger P3 ett avvikande jämfört med alla andra perioder. Även för villan i Ekerö var november en månad med låg variation i T_u vilket utgör den troliga förklaringen till avvikelsen då förbehandling av data ytterligare reducerar denna variation.

I detta arbete har detaljerade mätningar genomförts och en linjär regressionsanalys har genomförts med två olika metoder för förbehandling av data. Den ena traditionella metoden genom att medelvärdesbilda över tiden och den andra baseras på ansatsen att genom att para ihop dygn som föregåtts av en till storleken liknande temperaturförändring av den termiska massan, men med olika riktning, kan effekterna från värmelagring minimeras.

Våra analyser visar att de båda metoderna är i huvudsak likvärdiga om data från en 2-månaders period används. Spridningen i resultaten är dock mindre för den tunga hyresfastigheten då förbehandling av data sker genom parning jämfört med medelvärdesbildning över konsekutiva dagar. För hus #1 är detta tydligast. Metoden P1 uppvisar således en större robusthet och ger konsistenta uppskattningar även för analysperioder på 1-månad (november undantaget) men med en ökad spridning.

För den lätta byggnaden, villan, uppvisar de två metoderna för förbehandling av data jämförbara resultat om data från en 2-månaders period vad avser såväl robusthet och spridning.

Sammanfattningsvis drar vi slutsatsen att analyserna bör baseras på mätperioder om 2-månader samt att för tyngre byggnader bör förbehandling ske enligt metoden som benämns parning. För villan ger bägge metoderna för förbehandling av data likvärdiga uppskattningar och därmed föreligger ingen tydlig preferens avseende metod. För 2-månaders perioderna, erhöles en maximal spridning i F_t om 3 respektive 4% (P1) för hus #1 och #2 samt 1% för villan (P3 eller M4).

I de efterföljande analyserna baseras resultaten på förbehandling av data genom P1 för den tunga hyresfastigheten och enligt M4 för den lätta villan.

Variation i utomhustemperaturen.

Betydelsen av att ha variation i utomhustemperaturen under analysperioden är också viktigt. Vad som är en acceptabel temperaturvariation är dock svårt att definiera. Genom förbehandling av data via medelvärdesbildning sker alltid en viss dämpning i variationen för utomhustemperaturen. Ändringen i dynamik blir störst för fallet av avsaknad av trend i utomhustemperaturen. För både Ekerö och Umeå var november månad 2009 ett exempel på en tämligen trendlös period, och oberoende av metod för förbehandling erhöles avvikande uppskattningar av F_t . Vi noterade också att för januari månad, en månad med kraftiga och snabba förändringar i utomhustemperaturen i Umeå, gav metoden baserat på förbehandling av data via medelvärdesbildning varierande resultat, för F_t beroende på det antal dagar medelvärdesbildningen baserades på. Från de erhållna resultaten kan därför inga entydiga slutsatser dras annat än i generella termer, dvs att vid sidan av en acceptabel variation i utomhustemperaturen så bör den valda metoden för förbehandling av data ej kraftigt reducera denna. Vidare bör viss vaksamhet tillämpas vid analyser av data från perioder med mycket kraftiga temperatursvängningar.

Perioder med ej försumbar solinstrålning.

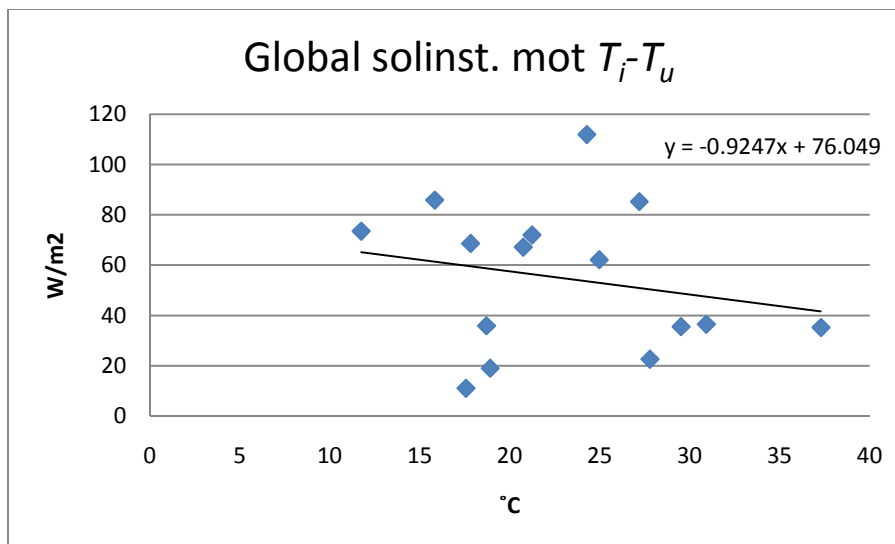
Utöver analyser från perioder med låg solinstrålning gjordes även analyser från perioder där solinstrålningen ej var försumbar. Resultaten från dessa perioder presenteras i tabell 9 nedan. Som referens för villan används resultaten för perioden 21/11-21/1 och för hus#1 och #2 från 1/11-6/2.

Tabell 8. Sammanställning av resultaten från de olika analyserade perioderna för hyresfastigheten och villan för de utökade perioderna då solinstrålningen ej är försumbar.

F_t [kW/°C]						
Period	Hus #1		Hus #2		Villan	
	M6	P1	M6	P1	M4	P3
21/10-21/2	1.24	1.17	0.96	0.97	0.152	0.153
21/9-21/3	1.33	1.20	1.05	1.03	0.149	0.163
Referens	1.26	1.22	1.02	0.98	0.151	0.151

För hus #1 och #2 ger M6 något lägre värden för 21/10-21/2 och högre värden för 21/9-21/3 för F_t jämfört med referensperioden. För förbehandling enligt P1 är skillnaden mest markant för 21/9-21/3. För villan innebär en utökning av perioden att omfatta 2 månader före och efter midvintersolståndet ingen signifikant förändring, men en utökning till 3 månader för och efter den 21/12 ger en markant förändring av F_t för P3 jämfört med referensperioden.

I figur 16 nedan, visas den globala solinstrålningen (Umeå) som funktion av T_i-T_u för perioden 21/9 till 21/3 och där data från den mörka perioden, 1/11-6/2, är utelämnade. Data har medelvärdesbildats enligt M6.



Figur 16. Globala solinstrålningen vid Umeå universitet mot $T_i - T_u$ för perioden 21/9-21/3. Data från perioden 1/11-6/2 är utelämnade.

Av figur 16 framgår att solen lyst under perioder med både höga (höst) och låga (vår) utomhustemperaturer men som förväntat mindre under de absolut kallaste dagarna. Resultatet av en linjär regression har lagts in i figur 16 för att illustrera detta. Om solen bidrar mer vid lägre värden på $T_i - T_u$ än vid högre temperaturdifferenser resulterar det i en högre uppskattning av F_T . Detta innebär att konsekvensen av val av data från tider då solen ej är försumbar kan vara svår att prediktera. Men baserat på det faktum att vid samma solinstrålning är utomhustemperaturen generellt lägre under våren än under hösten, så bör inverkan från solen på en vald period som är symmetriskt runt midvintersolståndet vara mindre, än för en period som enbart innehåller data från ”soliga dagar” från våren eller hösten.

En av hörnpelarna i det här presenterade arbetet utgörs av mätdata från perioder med en försumbar solinstrålning. För hyresfastigheten i Umeå fanns tillgång till sådana data och därmed kunde tidsperioder då detta villkor var uppfyllt identifieras. För villan i Ekerö saknas lokala data för den globala solinstrålningen, men baserat på de erhållna resultaten för olika perioder görs bedömningen att en utökning till 2-månader före och efter midvintersolståndet kan vara möjlig, men bör göras med en viss försiktighet. Med det tidigare konstaterade kravet på mätdata från 2 månader bör därför tidsperioden i första hand väljas symmetriskt runt midvintersolståndet.

Personvärme.

Känsligheten hos F_t med avseende på personvärmen P_p har uppskattats baserat på genomförda enkäter (Umeå) och samtal (villan). Inverkan från personvärme (antagen medeleffekt på 71 W) gav som förväntat försumbar inverkan på det erhållna värdet på F_t .

4.2 Val av representativ inomhustemperatur

För att undersöka inverkan från val av representativ inomhustemperatur, redovisas i tabell 9 nedan, resultaten då regressionsanalysen baseras på de olika mätta inomhustemperaturer. För hyresfastigheten utgör de olika mätpunkterna individuella lägenheter och för villan olika rum. Analysen har gjorts för de två hyreshusen samt villan för perioden 21/11-21/1. För den valda perioden så gav M6 för hus #1 avvikande resultat, men syftet med denna analys är att studera spridningen i resultaten, snarare än absolutvärdena.

Tabell 9. Erhållna värden på F_t baserat dels på inomhustemperatur från olika lägenheter (hus #1 och #2), olika rum i villan och dels på frånluftstemperatur.

	F_t [kW/°C]					
	Hus #1		Hus #2		Villa	
	M6	P1	M6	P1	M4	P3
#1	1.31	1.16	1.03	1.00	0.147	0.142
#2	1.31	1.22	1.02	1.02	0.149	0.147
#3	1.35	1.17	0.99	1.00	0.153	0.151
#4	1.35	1.35	0.98	0.93		
#5	1.31	1.13	1.01	0.99		
#6	1.35	1.24	1.07	1.00		
#7	1.28	1.18				
#8	1.35	1.21				
#9	1.42	1.16				
Medelvärde	1.33	1.20	1.02	0.99	0.150	1.47
Frånluft	1.34	1.23	1.04	1.01	1.51	0.149

Som framgår av tabell 9, sprider bestämningen av F_t baserat på vilken lägenhet eller rum (villan) där inomhustemperaturen mätts, men medelvärdet från alla mätpunkterna är i god överensstämmelse med resultaten baserad på frånluft. Naturligtvis utgör frånluften den

enklast mätbara och troligtvis också den mest korrekta uppskattningen av en byggnads medeltemperatur. Den största avvikelsen mellan resultatet baserat på frånluft och en enskild lägenhet/rum uppgår i normalfallet till någon eller några procentenheter med något undantag. Baserat på detta gör vi bedömningen att om bestämning av inomhustemperaturen ej kan ske genom tex mätning av frånluft borde 3 individuella mätpunkter ge en god bestämning av F_r . Denna bedömning är baserad på erfarenhet och bygger ej på någon statistisk analys.

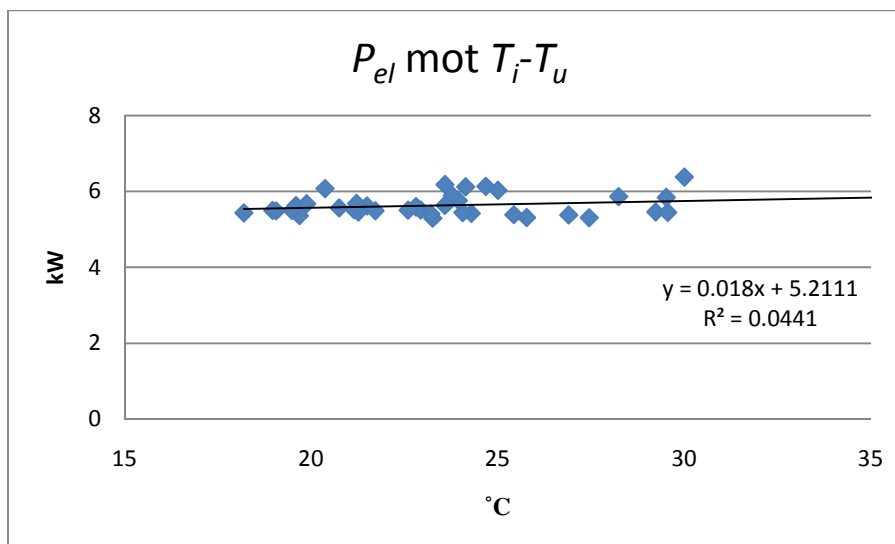
4.3 Uppskattning av nyttiggjord solinstrålning, markförlust samt nyttjandegrad av elanvändning för uppvärmning.

För härledning av de använda sambanden i detta kapitel, se bilaga 2.

4.3.1 Hyresfastigheten

För hus #1 väljer vi F_r från P1, erhållit för perioden 1/11-6/2.

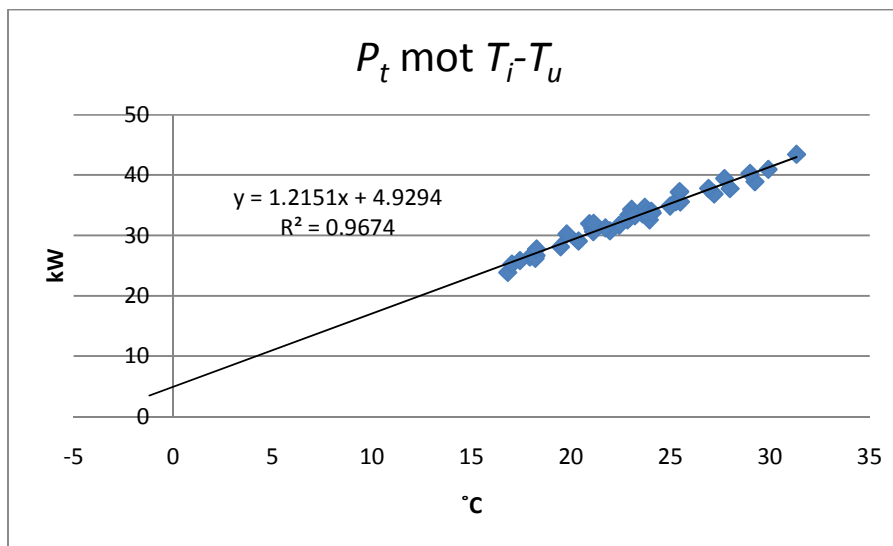
Under den studerade perioden är elanvändningen tämligen konstant vilket framgår av figur 17, samt den i figuren redovisade linjära regressionen (parade data enligt P1).



Figur 17. P_{el} som funktion av $(T_i - T_u)$ för hus #1.

Då P_{el} har ett mycket svagt beroende av $(T_i - T_u)$ så innebär detta att F_t (enligt ekvation 8) är en mycket god uppskattning av F under det övergripande antagandet att markförlusten är konstant under året.

I figur 18 redovisas data som är förbehandlade genom parning, där P_t är plottat mot $(T_i - T_u)$. I figuren är också resultatet av den linjära regressionen (heldragen linje) samt anpassningens korrelationskoefficient (R^2 -värdet).



Figur 18. P_t som funktion av $(T_i - T_u)$ för hus #1.

Enligt anpassningen är $F_t = 1.215 \text{ kW/}^\circ\text{C}$ (se även tabell 3) och konstanten, dvs vid temperaturdifferensen $T_i - T_u = 0$, är $P_{t,0} = 4.9 \text{ kW}$, vilket därmed skulle kunna motsvara markförlusten, M . Personvärmen, P_p , som inte påverkade F_t inverkar däremot direkt på $P_{t,0}$, för hus #1 (12 lägenheter). En ändring i antagandet om medeleffekten för personvärme med 10 W leder till en ändring av $P_{t,0}$ med ca 0.1 kW.

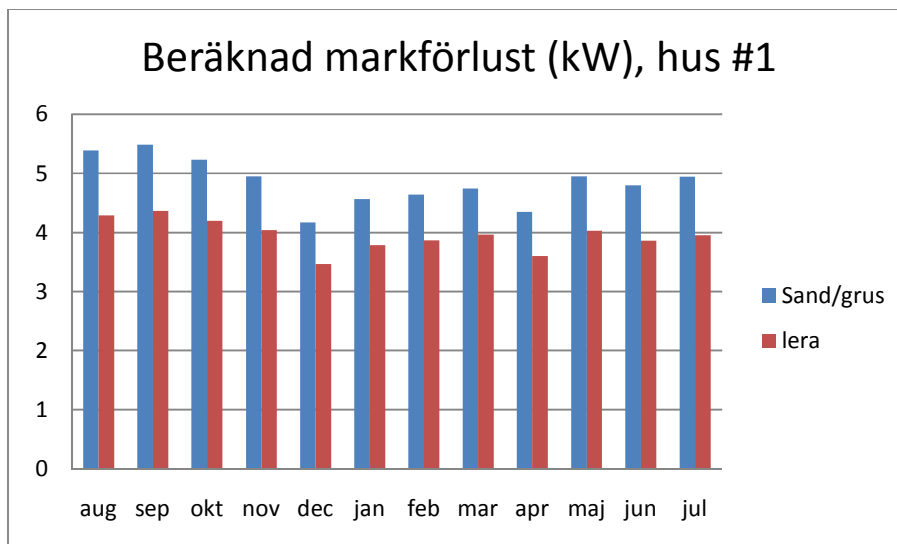
Den tillförda energin P_t är dock den totalt tillförda energin till huset, dvs summan av värmeförlusten genom värmesystemet, personvärme, varmvattenförluster samt den totala

elanvändningen. Av elanvändningen tillgodogörs endast någon andel α för uppvärmning, dvs bidraget till uppvärmningen är ej P_{el} utan αP_{el} , där α har ett värde mellan 0-1. Detta innebär att 4.9 kW som erhöles från regressionen ska reduceras med $(1-\alpha) \cdot P_{el,0}$ där $P_{el,0}$ är värdet på elförbrukningen då $T_i - T_u = 0$.

Värdet på α , är svårt att bestämma från tillgängliga data. Metoden med multivariat regressionsanalys (PLS) har undersökts, men på grund av det faktum att P_{el} uppträder väldigt "snällt" och är kraftigt korrelerad till $T_i - T_u$ blir osäkerheten i bestämningen av α mycket stor och inga entydiga uppskattningar kunde erhållas.

Av elanvändningen i hus #1, utgör hushållselen 70% och fastighetselen 30%. Fastighetselen används framförallt till belysning samt frånluftsfläkt som går på ett konstant varvtal och är placerad under yttertak och därmed utanför klimatskalet. Fläkten har ett konstant effektbehov på ca 0.55 kW. En approximativ uppskattning av α , skulle ge ett värde på α , mellan 0.6 och 0.8. Detta då i stort sett all hushållsel kan antas omvandlas till värme då förekomsten av diskmaskiner i lägenheterna är låg. Baserat på denna uppskattning skulle markförlusten uppskattas till mellan 2.9 och 3.9 kW.

Den hitintills genomförda analysen baseras antagandet att markförlusten är konstant. Baserat på den europeiska standarden EN-ISO-13370 har beräkningar gjorts för uppskattning av markförlusten för hus #1 och #2. Dessa beräkningar ger en uppskattning av månadsmedelförlusten till marken och baseras på källarens konstruktion, husets geometri, makens beskaffenhet, utomhustemperaturen samt källarens temperatur. Hus #1 och #2 ligger på gammal sjöbotten men en exakt kunskap om markförhållandena runt de specifika husen är ej kända och därför har som jämförelse även resultaten för sand/grus tagits med. I figur 19 nedan presenteras beräkningsresultaten för hus #1.

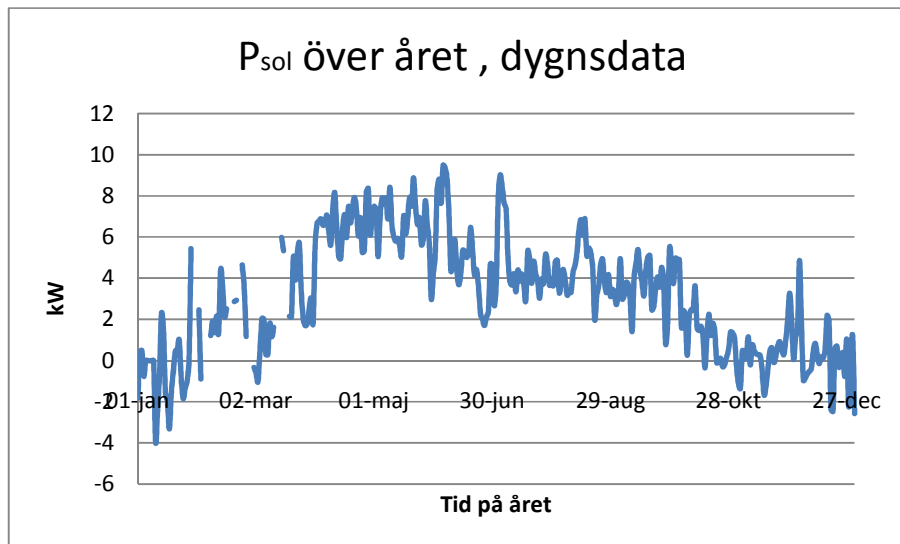


Figur 19. Beräknad månatlig markförlust baserad på EN-ISO-13370

Av figur 19 framgår att markförlusten både på årsbasis och för de analyserade perioderna är relativt konstant. Beräkningarna presenterade i figur 19 visar också att den genom analysen framtagna uppskattningen att markförlusten till 2.9-3.9 kW är i god överensstämmelse med resultaten baserade på beräkningarna enligt EN-ISO-13370. För lerjord ger beräkningarna ett årsmedelvärde på 4.0 kW och för sand/grus 5.0 kW.

Baserat på antagandet att markförlusten är konstant, kan då den för uppvärmning nyttiggjorda solinstrålningen, P_{sol} uppskattas för övriga delarna av året (se bilaga 2).

I figur 20, visas den på detta sätt beräknade P_{sol} över ett år. Detta år är inget komplett kalenderår utan består av data från 1/1-31/3 2010 samt 1/4 – 31/12 2009.

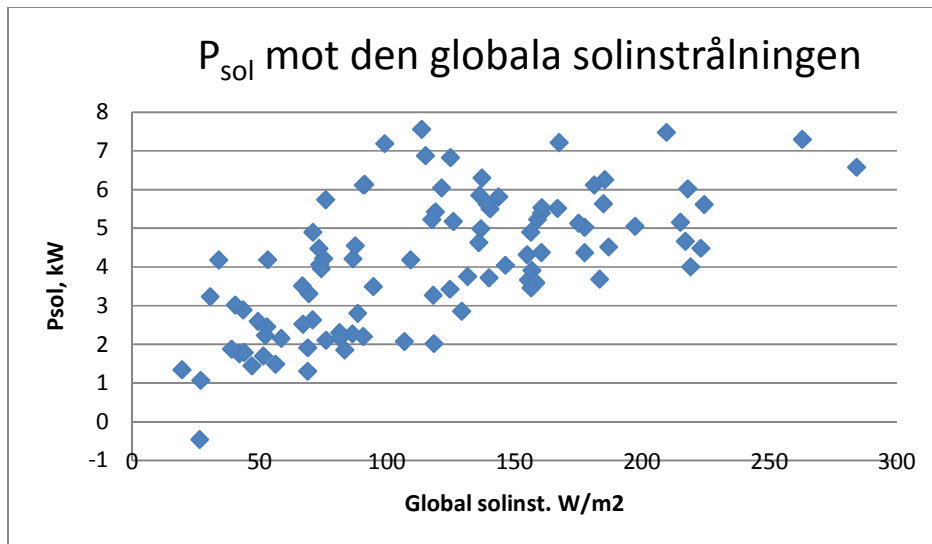


Figur 20. Beräknad nyttiggjord solinstrålning över året, dygnsdata.

I början och i slutet av året, svänger den beräknade nyttiggjorda solinstrålningen, P_{sol} , kring noll. Detta uppstår eftersom vi i detta fall använder dygnsdata och svängningarna kan därför ses som att det avspeglar den P_{sol} (positiv eller negativ) som behövs för att kompensera för värmelagringen, pga fluktuationer i utomhustemperaturen. Om en parning av data görs med avseende på värmelagringen dämpas dessa effekter kraftigt, men samtidigt går data inte att presentera på detta sätt då tiden förlorar sin mening.

Under sommaren är effekttoppen också inte så uttalad som man kan vänta sig. En trolig förklaring till detta är det faktum att sommarmånaderna utgör de öppna fönstrens eller balkongdörrarnas tid, vilket omöjliggör en noggrannare analys.

I figur 21 nedan, så plottas den uppskattade P_{sol} mot den uppmätta globala solinstrålningen för perioden den 7/2-31/5 samt 1/8 till 31/10. För att reducera inverkan från värmelagring har förbehandling genom parning genomförts och i diagrammet är den mörka perioden utelämnad samt juni och juli.



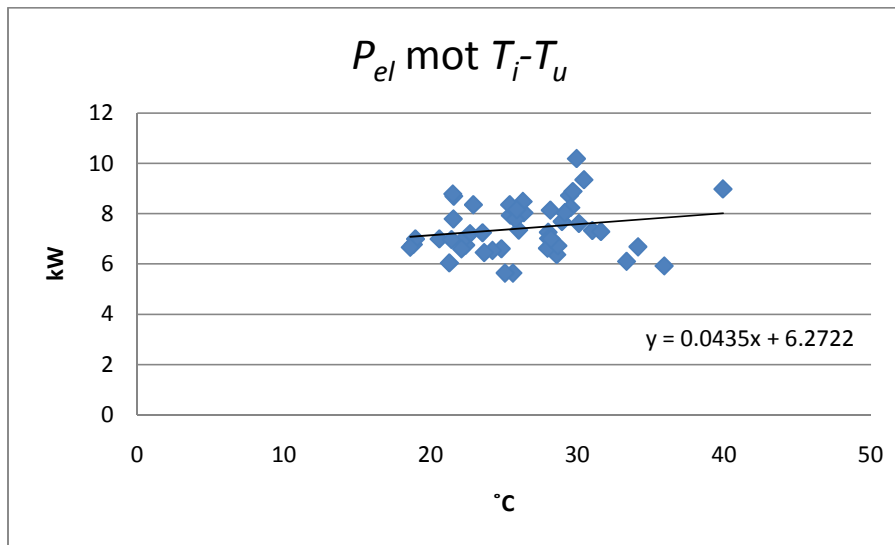
Figur 21. Det uppskattade bidraget till husets uppvärmning, P_{sol} , plottat mot den mätta globala solinstrålning vid Umeå universitets campus. Parade data.

Med tillgång till exakta data från den solinstrålning som träffar en byggnad skulle man förvänta sig ett i princip linjärt beroende av P_{sol} mot solinstrålningen. Spridningen i data i figur 21, är dock relativt stor men en tydlig linjär trend är dock noterbar. Den globala solinstrålningen som används i figuren utgör summan av den diffusa och direkta solinstrålning mot en horisontell yta, där fördelningen mellan diffus och direkt solinstrålning är okänd. Den del av den direkta solinstrålningen som belyser en byggnad är beroende på skuggningsfaktorer, byggnadens orientering och när på dagen den direkta solinstrålningen förekommer. Detta innebär att den diffusa solinstrålningen förvisso är ett trubbigt instrument för korrelation mot P_{sol} men figur 21 indikerar en uppskattningen av P_{sol} som vi bedömer som rimlig. Förbehandlingen av mätdata genom parning introducerar också en felkälla vars storlek är svår att uppskatta, då den representativa temperaturändringen hos den termiska massan inte enbart är kopplad till inomhus- och utomhustemperaturerna under soliga förhållanden.

Hus #2.

Motsvarande analys har genomförts för hus #2, baserat på det erhållna värdet från 1/11-6/2 baserat på förbehandling enligt P2.

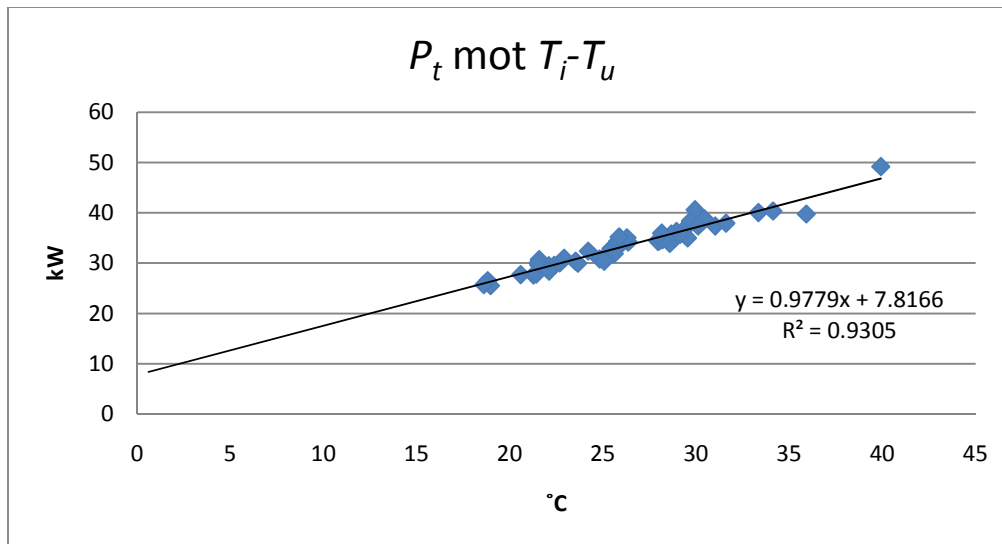
I figur 22 nedan, visas elanvändningen under perioden (parade data).



Figur 22: Den mätta elanvändningen i hus #2 plottat mot $(T_i - T_u)$ under perioden 1/11-6/2.

Även hus #2 uppvisar under denna period en elanvändning utan någon kraftig trend, men spridningen är betydligt större än för hus #1. Till skillnad från hus #1 är fastighetselen dominerande och hushållselen står bara för 43% av den totala förbrukningen till skillnad mot 70% för hus #1. Skillnaden i fastighetsel härrör som tidigare nämnts från att fjärrvärmecentralen och den gemensamma tvättstugan är placerad i detta hus. Trots spridningen, så indikerar det svaga beroendet av $T_i - T_u$ hos P_{el} att det genom regression erhållna värdet på F_i är en mycket god uppskattning av husets verkliga förlustfaktor F .

Baserat på data förbehandlade genom parning, visas i figur 23, visas regressionen av P_i mot $T_i - T_u$.

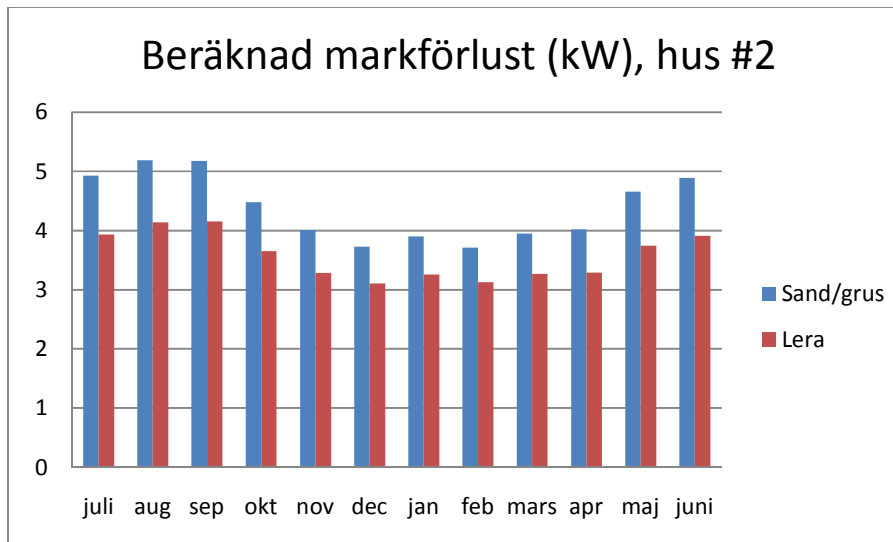


Figur 23. P_t som funktion av $(T_i - T_u)$ för hus #2.

Från anpassningen erhålls $F_t = 0.978 \text{ kW}/^{\circ}\text{C}$ (se tabell 5) och $P_{t,0} = 7.8 \text{ kW}$.

Värdet $P_{t,0} = 7.8 \text{ kW}$ motsvarar som sagts tidigare sagts markförlusten, M (ekvation 8), för $\alpha = 1$, dvs att all elanvändning tillgodogörs som uppvärmning. Men för hus #2 borde α vara lägre än för hus #1, då den gemensamma tvättstugan är i huset och vi har frånluftsfläkten (0.75 kW) placerad på kallvinden, under yttertaket.

I figur 24 redovisas beräkningarna av markförlusten enligt EN-ISO-13370 för hus #2

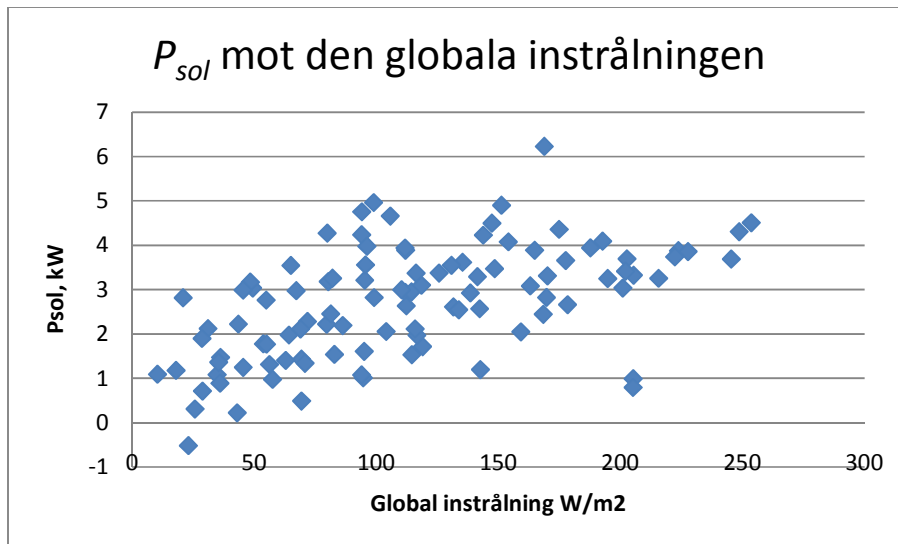


Figur 24. Beräknad månatlig markförlust baserad på EN-ISO-13370

Markförlusten för hus #2 är något lägre än för hus #1 och uppvisar en viss skillnad i profilen kopplat till olika källartemperaturer, men är som för hus #1 relativt konstant över året med ett medelvärde över året på 3.6 (lera) respektive 4.4 kW (sand/grus).

För hus #2 är värdet på α lägre än för hus #1. En uppskattning av α inom intervallet 0.3 till 0.6 skulle leda till en uppskattning av markförlusten till intervallet 3.2 – 5.3 kW, vilket är något i överkant jämfört med vad beräkningarna enligt EN-ISO-13370 ger vid handen.

Slutligen redovisas också en figur som visar uppskattade P_{sol} mot den uppmätta globala solinstrålningen för perioden den 7/2-31/5 samt 1/8 till 31/10. I diagrammet är således den mörka perioden utelämnad samt sommarmånaderna juni och juli.



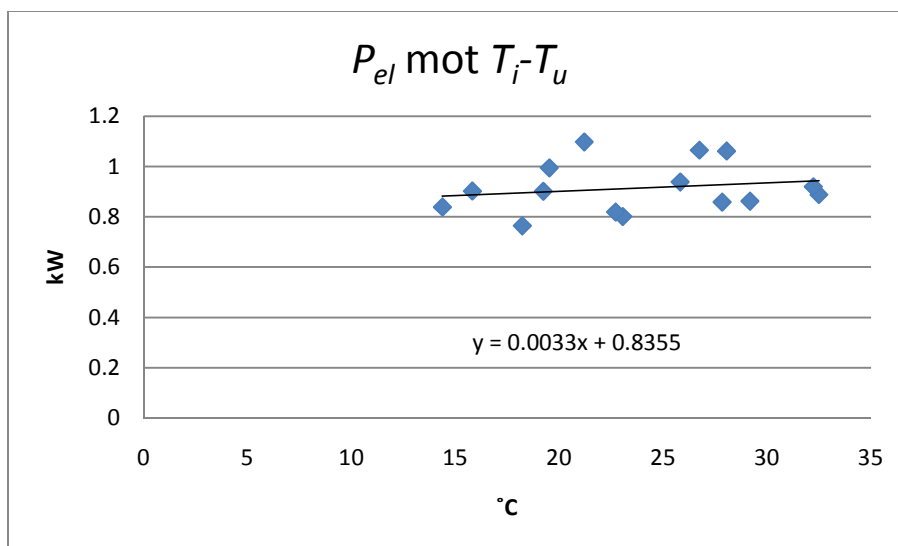
Figur 25. Det uppskattade bidraget till husets uppvärmning, P_{sol} , plottat mot den mätta globala solinstrålning vid Umeå universitets campus.

Även för hus #2 framträder samma tydliga trend i P_{sol} mot den globala solinstrålningen. Vid en jämförelse mellan figur 25 och motsvarande för hus #1 (figur 21) framgår också att solinstrålningen är lägre för hus #2, vilket är rimligt då hus #1 är orienterad i väst-östlig riktning och hus #2 står vinkelrätt mot hus #1.

4.3.2 Villan

För villan har vi valt den period som ligger närmast midvintersolståndet, 21/11-21/1 och baserar vår analys på förbehandling av data enligt M4

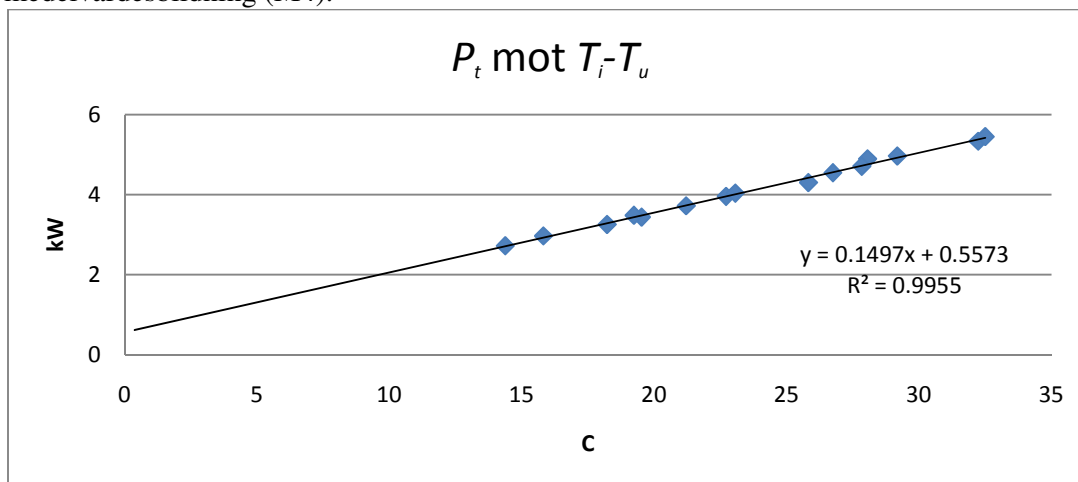
I figur 26 nedan, visas elanvändningen under perioden.



Figur 26: P_{el} för villan mot $(T_i - T_u)$ under perioden 21/11-21/1.

Elanvändningen i villan uppvisar under denna period en viss spridning med ett mycket svagt beroende av $T_i - T_u$ vilket betyder att den genom regressionen erhållna förlustfaktorn F_t , är en mycket god uppskattning av husets verkliga förlustfaktor F .

I figur 27, visas regressionen av P_t mot $T_i - T_u$, baserat på data förbehandlade genom medelvärdesbildning (M4).

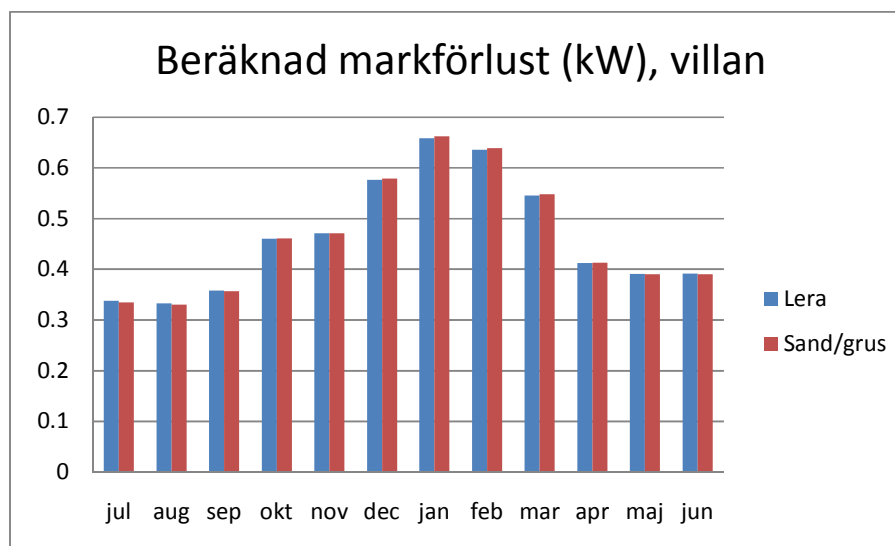


Figur 27. P_t som funktion av $(T_i - T_u)$ för villan

Från anpassningen erhålls $F_t = 0.150 \text{ kW/}^\circ\text{C}$ (se tabell 7) och $P_{t,0} = 0.56 \text{ kW}$.

För uppskattning av markförlusten ska det erhållna värdet av $P_{t,0} = 0.56 \text{ kW}$ reduceras med $(1-\alpha) \cdot P_{el,0}$ där $P_{el,0}$ är 0.84 kW . För villan sker i huvudsak all elanvändning inomhus med undantag av utomhusbelysning, så kan α uppskattas ligga mellan 0.6 och 0.8, vilket skulle resultera i en markförlust på mellan 0.22 och 0.39 kW.

I figur 28 redovisas beräkningarna av markförlusten enligt EN-ISO-13370 för villan. För perioden april-juni har utomhustemperaturen tagits från Bromma flygplats och inomhustemperaturen har beräknats genom interpolation.



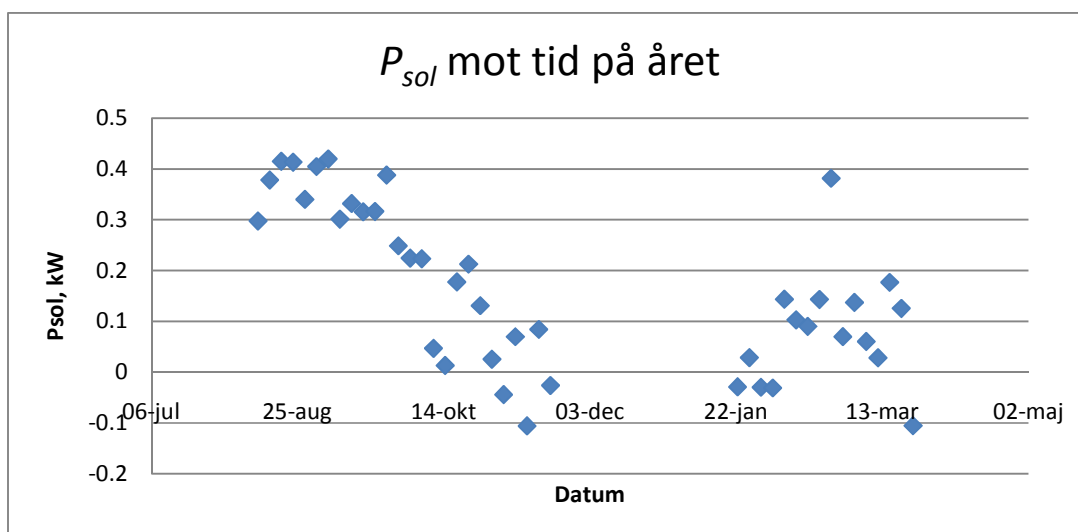
Figur 28. Beräknad markförlust för Ekerö-villan enligt EN-ISO-13370.

Beräkningarna för sutteränghuset har genomförts genom att approximera den del av villan som är suterräng, till en villa med källare och vars källarväggsarea, i kontakt med marken motsvarar sutteränghusets. För den analyserade perioden erhöles en uppskattning av markförlusten till att ligga mellan 0.22 till 0.39 kW att jämföra med EN-ISO beräkningarna som ger en uppskattad markförlust på ca 0.5 kW för motsvarande period.

Den beräknade markförlusten för villan varierar betydligt kraftigare under året än för hus #1 och #2. Orsaken till detta är att inomhustemperaturen i sutterängdelen är i stort sett

konstant över året under det att den omgivande markens temperatur ändras. Därmed varierar under året temperaturskillnaden över källar-/sutterängväggen mer i villan än i hyresfastigheten.

På motsvarande sätt som för hyresfastigheten har P_{sol} beräknats från regressionsanalysen och resultatet presenteras i figur 29 för perioden 14/8 till 31/3 där perioden 21/11 -21/1 är utelämnad. Resultatet baseras på antagandet av en konstant markförlust och har beräknats enligt bilaga 2.

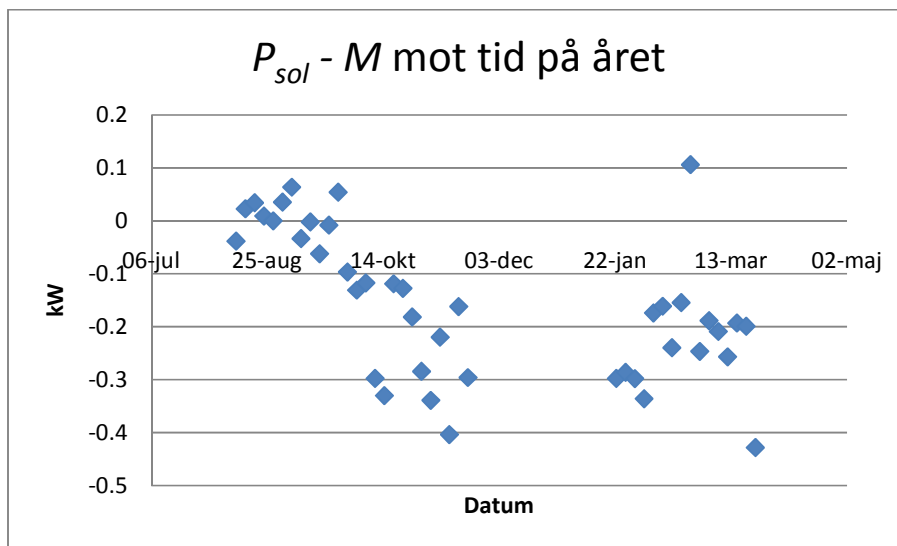


Figur 29. Uppskattad P_{sol} över året. Den mörka perioden 21/11-21/1 är utelämnad.

De i figur 29 presenterade resultaten för P_{sol} är ej symmetriska med avseende på vintersolståndet. För vårperioden sträcker sig data fram t.o.m. slutet av mars, vilket motsvarar mitten av oktober avseende avståndet till midvintersolståndet och för denna delperiod är det uppskattade P_{sol} relativt symmetriskt.

Då beräkningarna, om än approximativa, visade på en relativt starkt varierande markförlusten över året kan alternativt differensen mellan den genom solinstrålning nyttiggjorda värmen och markförlusten, $(P_{sol} - M)$ beräknas. Denna beräkning baseras endast på ett antaget konstant värde på α .

Med $\alpha = 0.7$ fås då följande



Figur 30. Beräknat $P_{sol} - M$ över året, för antagandet att $\alpha=0.7$

Av figur 30, framgår att fram till början av oktober så ger solinstrålningen ett bidrag till uppvärmningen som överstiger markförlusten och i slutet av mars börjar solinstrålningen åter nå upp till denna nivå.

4.3.3 Sammanfattande diskussion

Då nyttjandegraden, α , som anger vilken andel av elanvändningen som bidrar till uppvärmningen ej har kunnat bestämmas kan endast en uppskattning göras av markförlusten för den period som studerats. För hyresfastighetens två hus, är den uppskattade markförlusten i mycket god överensstämmelse som den beräkningsmetodik som anges i EN-ISO-13370 ger vid handen. För villan är överensstämmelsen mellan ISO-beräkningarna och vår analys ej lika god men skillnaden i absoluta tal får ändå anses vara relativt god. För villan är osäkerheten i beräkningarna större på grund av att huset är ett sutterängshus.

För hus #1 och #2 ger beräkningarna vid handen att markförlusten är relativt konstant, vilket gör att P_{sol} kan extraheras från data. De erhållna värdena på P_{sol} är oberoende av antagit värde på α och visar ett rimligt och förväntat beteende enligt figur 21 och 25, där P_{sol} har ett i grunden linjärt ökande beroende av den globala solinstrålningen.

Om markförlusten ej kan antas vara konstant, kan den för uppvärmning nyttiggjord solinstrålningen och markförlusten ej separeras, utan endast differensen dem i mellan kan beräknas ($P_{sol} - M$). Detta förutsätter dock att ett värde antas för α .

För markförlusten M är överensstämmelsen mellan de teoretiskt beräknade månadsmedelvärdena och de genom analysen av mätdata framtagna förlusterna mycket god. För den nyttiggjorda solinstrålningen P_{sol} och förlustfaktorn F finns inget korrekt värde att jämföra med, men de här presenterade analyserna uppvisar en konsistens som gör att vi bedömer våra resultat som tillförlitliga.

5. Slutsatser

Baserat på regressionsanalyser av mätdata från en hyresfastighet, bestående av två hus i Umeå och en villa på Ekerö i Stockholm, har vi visat att robusta uppskattningar av centrala parametrar som beskriver en byggnads prestanda kan erhållas. Hörnpelarna i den presenterade metodiken är att

- i. Nyttja mätdata från perioder i anslutning till midvintersolståndet för att minimera bidraget från solinstrålningen vid bestämningen av förlustfaktorn F . Analyserna bör baseras på perioder om cirka 2 månader.
- ii. Förbehandla mätdata för att reducera inverkan från värmelagring. Detta kan göras genom traditionell medelvärdesbildning över en tidsperiod som är längre än byggnadens tidskonstant. För tunga byggnader bör en alternativ metod som vi benämner parning av data användas. Metoden som utvecklats i detta arbete baseras på en uppskattning av temperaturändringen hos byggnadens termiska massa. En ny datapunkt skapas sedan genom att bilda medelvärdet av två dygn som har en jämförbar temperaturförändring, men med olika tecken, dvs ökning respektive minskning.

Med tillgång till mätdata från en 2-månaders period, förlagd i nära anslutning till midvintersolståndet erhöles robusta uppskattningar av byggnadernas förlustfaktor. För villan erhöles en spridningen i uppskattningen av förlustfaktorn om 1%. För de två tunga husen var spridningen i bestämningen av förlustfaktorn som mest 4% med ett medelvärde på 2% mellan olika analyserade perioder.

Eftersom nyttjandegraden av elanvändningen för uppvärmning ej kunde bestämmas entydigt, kunde endast intervall för markförlusten uppskattas. För de två husen i Umeå erhöles en mycket god överensstämmelse med de beräknade förlusterna enligt EN-ISO-13370. För villan erhöles en något lägre markförlust än motsvarande beräkningar gav vid handen.

För den nyttiggjorda solinstrålning för uppvärmning är en jämförelse svår att göra, då den är helt beroende av de specifika lokala förutsättningarna. För hyresfastigheten i Umeå fanns dock tillgång till mätningar av den globala solinstrålningen i närheten av hyresfastigheten och den erhållna uppskattningen av solens bidrag till uppvärmningen visade en förväntad korrelation till den globala solinstrålningen.

6. Fortsatta studier

Vi har i detta arbete visat att konsistenta resultat för många centrala prestandaparametrar kan bestämmas baserat på mätningar i verkliga, bebodda byggnader. Prestandaparametrar som beskriver byggnaden och där inverkan från de boende, som elanvändning, inomhustemperatur mm eliminerats genom den genomförda analysen.

Dessa prestandaparametrar utgör delresultat i de beräkningsarbeten som utförs av olika energiberäkningsprogram. Detta innebär att en konsult eller entreprenör på ett enkelt sätt skulle kunna ange dessa som byggnadens prestanda vid sidan av dagens vanligt förekommande prestandamått, energianvändning per kvadratmeter och år. Ett prestandamått som inkluderar brukarbeteenden.

De i detta arbete studerade byggnaderna var utan värmeåtervinning och därför är nästa viktiga steg att genomföra en liknande studie för byggnader med värmeåtervinning för att nå den övergripande målsättningen beskriven i rapportens början och där även uttalade lågenergihus är av intresse. För byggnader med värmeåtervinning kompliceras analysen då såväl ventilationsflöden samt temperaturverkningsgrad hos värmeväxlarna ofta ej är konstanta.

De erhållna resultaten kan också användas för att åstadkomma en återkoppling mot olika beräkningsprogram som i dag används i konstruktionsskedet, där variationen i predikterad energianvändning mellan olika beräkningsprogram och användare är väl känd. I ett nästa steg ingår den återkoppling som ett viktigt inslag. Som en första test lät vi två studenter [14] genomföra en energiberäkning för hyresfastigheterna i Umeå med energiprogrammet BV2. Poängteras bör att vi ej detaljgranskat deras indata och studenterna gavs tillgång till fullständiga ritningar samt tre månaders data avseende el och fjärrvärmeanvändning. I tabell 10 redovisas de av studenterna erhållna resultaten via BV2-beräkningar för de två husens förlustfaktor tillsammans med våra analysresultat.

Tabell 10. Förlustfaktorn för hus #1 och #2, baserade på den genomförda analysen samt beräkningar utförda med BV2.

	Hus #1	Hus #2
Förlustfaktor, kW/°C	1.22	0.98
BV2-beräkning, kW/°C	1.15	0.94

Den genom BV2, beräknade förlustfaktorn är marginellt (4-6%) lägre än motsvarande baserat på analys av mätdata. För markförlusten och nyttiggjord solinstrålning är dock

delresultat mer avvikande. Baserat på använda indata till BV2 erhöles en markförlust som på årsbasis var ca 50% av vad denna analys gett vid handen. Avseende den nyttiggjord solinstrålning för uppvärmning så är en jämförelse ej möjlig eftersom de soldata som BV2 använder och de verkliga under den analyserade perioden ej är identiska men BV2-beräkningarna visade en större skillnad för den nyttiggjord solinstrålning mellan hus #1 och #2 än vad analysen påvisar.

7. Referenser

1. Energimyndigheten. SCB 2009: 07
<http://webbshop.cm.se/System/TemplateView.aspx?p=Energimyndigheten&view=default&cat=/Rapporter&id=60373ee0cdc743898284fec420067527>
2. Energimyndigheten. ER 2009:26
<http://webbshop.cm.se/System/TemplateView.aspx?p=Energimyndigheten&view=default&cat=/Rapporter&id=b9a064ece4d747868b5c20d1a03ab0a2>
3. SVEBY, www.fastighetsagarna.se/web/Sveby.aspx
4. SCB 2009:08
<http://webbshop.cm.se/System/TemplateNavigate.aspx?p=Energimyndigheten&nc=Default&view=default&q=2009%3A08>
5. R. Zmeureanu and P. Fazio 1991, Analysis of the energy performance of office buildings in Montreal in 1988, Energy and Buildings, Vol. 17, pp 63-74.
6. A Rabl and R Rialhe 1992, Energy signature models for commercial buildings: test with measured data and interpretation, Energy and buildings, Vol. 10, pp.143-154.
7. K.-E. Westergren, H. Högberg, U. Norlen. 1999, Monitoring energy consumption in single-family houses, Energy and Buildings, Vol. 29 (3) pp. 247–257
8. A.R. Day, I. Knight., G. Dunn and R. Gaddas 2003, Improved methods for evaluating base temperature for use in building energy performance lines, Building Serv. Eng Res. Technol., Vol. 24.4 pp. 211-228.
9. F.W. Yu and K.T. Chan 2005, Energy signatures for assessing the energy performance of chillers, Energy and Buildings, Volume 37, Issue 7, pp. 739-746.
10. C. Ghiaus 2006, Experimental estimation of building energy performance by robust regression. Energy and Buildings, Vol. 38 pp. 582–587
11. S. Hammarsten 1987, A Critical Appraisal of Energy-Signature Models, Applied Energy, 26, pp. 97-110.

- 12 J-U Sjögren, S Andersson, T Olofsson 2009, Sensitivity of the total heat loss coefficient determined by the energy signature approach to different time periods and gained energy, Vol 41, 801-808
- 13 ASHRAE handbook: fundamentals, 2001
- 14 J Bonthron, J Söderström, Kvarteret Höken 13-BV²-simulering. Intern studentrapport, TFE, Umeå universitet

8. Bilagor

Bilaga 1: Exempel på förbehandling av data baserat på parning av dygnsdata.

Tabell 1: Originaldata

Datum	ΔT_L
01-nov	-1.4385
02-nov	-0.492
03-nov	-0.5882
04-nov	1.89757
05-nov	0.64844
06-nov	-0.1602
07-nov	0.2625
08-nov	-0.4158
09-nov	0.26406
10-nov	1.26701
11-nov	0.24722
12-nov	0.0151
13-nov	0.34635
14-nov	-0.9335
15-nov	-1.5361
16-nov	-0.8913
17-nov	0.41406
18-nov	-0.0582
19-nov	0.07674
20-nov	-0.6326
21-nov	-0.5424
22-nov	1.49809
23-nov	-0.8356
24-nov	-0.7231
25-nov	0.38715
26-nov	-0.353
27-nov	1.04965
28-nov	2.44028
29-nov	0.64861
30-nov	-2.3806

Tabell 2. Sorterade originaldata

Datum	ΔT_L
30-nov	-2.3806
15-nov	-1.5361
01-nov	-1.4385
14-nov	-0.9335
16-nov	-0.8913
23-nov	-0.8356
24-nov	-0.7231
20-nov	-0.6326
03-nov	-0.5882
21-nov	-0.5424
02-nov	-0.492
08-nov	-0.4158
26-nov	-0.353
06-nov	-0.1602
18-nov	-0.0582
12-nov	0.0151
19-nov	0.07674
11-nov	0.24722
07-nov	0.2625
09-nov	0.26406
13-nov	0.34635
25-nov	0.38715
17-nov	0.41406
05-nov	0.64844
29-nov	0.64861
27-nov	1.04965
10-nov	1.26701
22-nov	1.49809
04-nov	1.89757
28-nov	2.44028

I tabell 1 visas beräknat värde på ΔT_L enligt P1 för november månad och hus #1

I tabell 2, har data från tabell 1 sorterats med avseende på ΔT_L

Tabellen med sorterade data, delas sedan på mitten och den undre halvan av tabell 2 klistras in vid sidan av den övre halvan med omvänd sorteringordning.
Se tabell 3, nästa sida.

Efter att denna parning har gjorts, görs en medelvärdesbildning (radvis) för de olika data från de parade dagarna. Genom detta förfarande förloras kopplingen till en entydig tid och nomenklaturen datapunkt används i stället.

Av tabell 3 framgår tydligt den reduktion som sker i ΔT_L . Variationen i ΔT_L -parat är mer än 10 gånger lägre än i originaldata.

Tabell 3: I denna tabell har den rad 16-30 klipps ut från kolumn 1 & 2 och klistrats in som kolumn 3&4.

Datum	ΔT_L	Datum	ΔT_L	Datapunkt	ΔT_L -parat
30-nov	-2.381	28-nov	2.4403	#1	0.0298611
15-nov	-1.536	04-nov	1.8976	#2	0.1807292
01-nov	-1.439	22-nov	1.4981	#3	0.0297743
14-nov	-0.934	10-nov	1.267	#4	0.1667535
16-nov	-0.891	27-nov	1.0497	#5	0.0791667
23-nov	-0.836	29-nov	0.6486	#6	-0.09349
24-nov	-0.723	05-nov	0.6484	#7	-0.037326
20-nov	-0.633	17-nov	0.4141	#8	-0.109288
03-nov	-0.588	25-nov	0.3872	#9	-0.100521
21-nov	-0.542	13-nov	0.3464	#10	-0.098003
02-nov	-0.492	09-nov	0.2641	#11	-0.113976
08-nov	-0.416	07-nov	0.2625	#12	-0.076649
26-nov	-0.353	11-nov	0.2472	#13	-0.052865
06-nov	-0.16	19-nov	0.0767	#14	-0.041753
18-nov	-0.058	12-nov	0.0151	#15	-0.021528
12-nov	0.0151				
19-nov	0.0767				
11-nov	0.2472				
07-nov	0.2625				
09-nov	0.2641				
13-nov	0.3464				
25-nov	0.3872				
17-nov	0.4141				
05-nov	0.6484				
29-nov	0.6486				
27-nov	1.0497				
10-nov	1.267				
22-nov	1.4981				
04-nov	1.8976				
28-nov	2.4403				

Bilaga 2: Bestämning av markförlusten M och nyttiggjord solinstrålning, P_{sol}

Markförlusten, M

För den del av året då P_{sol} är försumbar och P_{dyn} reducerats genom förbehandling av data, förenklas ekvation 1 till

$$P_v + \alpha P_{el} + P_p + P_{vv} = F(T_i - T_u) + M \quad (B1)$$

Genom att nyttja sambandet

$$P_t = P_v + P_{el} + P_p + P_{vv} \quad (B2)$$

fås då

$$P_t = F(T_i - T_u) + M + (1 - \alpha)P_{el} \quad (B3)$$

Med antagandet att α är konstant samt att P_{el} kan skrivas på formen

$$P_{el} = P_{el,0} + k(T_i - T_u) \quad (B4)$$

fås då uttrycket

$$P_t = (F + k(1 - \alpha))(T_i - T_u) + M + (1 - \alpha) P_{el,0} \quad (B5)$$

Genom regressionsanalys av P_t mot $(T_i - T_u)$ erhålls

$$P_t = F_t(T_i - T_u) + P_{t,0} \quad (B6)$$

Under antagandet att markförlusten, M , kan betraktas som konstant för den analyserade perioden fås då genom identifiering mellan ekvation B5 och B6

$$F = F_t - k(1 - \alpha) \quad (B7)$$

respektive

$$M = P_{t,0} - (1 - \alpha)P_{el,0} \quad (B8)$$

Av ekvation B7 framgår att $F = F_t$ om P_{el} -beroendet av $(T_i - T_u)$ är försumbart ($k \approx 0$) eller om $\alpha = 1$. För det senare fallet blir då också markförlusten den samma som regressionskonstanten, $P_{t,0}$ enligt ekvation B8.

Nyttiggjord solinstrålning, P_{sol}

För de perioder då solinstrålningen bidrar till uppvärmningen, fås ekvation B5 som

$$P_{sol} + P_t = (F + k(1 - \alpha))(T_i - T_u) + M + (1 - \alpha)P_{el,0} \quad (B9)$$

För dessa perioder då P_{sol} ej är försumbar inträder två fall

Fall I. Markförlusten, M , är konstant över året.

Med nyttjande av ekvation B7 och B8 kan ekvation B9 skrivas som

$$P_{sol} = F_t(T_i - T_u) - P_t + P_{t,0} \quad (B10)$$

Detta innebär att uppskattningen av den nyttiggjorda solinstrålningen P_{sol} ej är beroende av kunskap om α .

Fall II. Markförlusten, M , är ej konstant under övriga delen av året.

För detta fall kan endast $P_{sol}-M$ beräknas och från ekvation B9 och B7 fås då

$$P_{sol} - M = F_t(T_i - T_u) + (1 - \alpha)P_{el,0} - P_t \quad (B11)$$