

Normalisering av
byggnadens
energianvändning
- sammanfattad version

Svebyprogrammet

Projektrapport
2013-12-20

Förord

Detta är en sammanfattad version av rapporten *Normalisering av byggnadens energianvändning*, Isakson P och Carling P, Sveby 12-01-30. Ursprungsrapporten tillhandahålls av Sveby vid förfrågan, samt finns nedladdningsbar via SBUF:s hemsida.

Sammanfattningen är sammanställd av Johanna Snygg, Projektengagemang, december 2013.

Projektet som redovisas i rapporten är finansierat av Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF), Skanska Sverige och SMHI. Det ingår som ett delprojekt i ett större sammanhang, Sveby-programmet, vilket har syftet att säkerställa branschanpassat underlag för energianvändning, från beräkningar i tidiga skeden till verifierade uppmätta värden efter två års användning.

Arbetet har utförts av Per Isakson, Installationsteknik KTH och Pär Carling, EQUA Solutions. En referensgrupp har lämnat synpunkter på utförande och innehåll:

Torbjörn Grönbergs, SMHI Företag&Media
Roland Jonsson, HSB Riksförbund
Joel Kronheffer, NCC Construction Sverige
Tomas Kyhlström, Skanska Sverige
Per Levin, Projektengagemang Energi och klimatanalys
Magnus Rödin, SMHI Företag&Media

Författarna vill tacka Margitta Nord, SMHI Miljö&Säkerhet, och Pavel Grozman, EQUA Simulation AB, som medverkat som tekniska experter samt Björn Lundberg, Kabona AB, och Per Kempe, Skanska Installation AB, som läst rapporten och givit goda synpunkter.

Anslagsmottagare var Skanska Sverige genom projektledaren Sonny Myrefelt.

Solna i januari 2012.

Per Isakson
Installationsteknik, KTH

Pär Carling
EQUA Solutions AB

Sveby

Sveby betyder "Standardisera och verifiera energiprestanda för byggnader". Sveby är ett utvecklingsprogram som drivs av bygg- och fastighetsbranschen och finansieras av Energimyndigheten och SBUF samt av följande branschrepresentanter: NCC/Hannes Schmied, Skanska/Jonas Gräslund, JM/Kjell-Åke Henriksson, SABO/ Petter Jurdell, Veidekke/Johnny Kellner, HSB/Roland Jonsson, Sveriges Byggindustrier/Maria Brogren, Diligentia/Lars Pellmark, Byggherrarna/Tommy Lenberg, Svenska Bostäder/Yngve Green, Vasakronan/Lennart Lifvenhielm, Fastighetsägarna/ Yogesh Kumar och Peab/ Sören Andersson. Projektledare är Projektengagemang/ Per Levin. Ordförande i styrgruppen är Byggherrarna/Tommy Lenberg.

Sammanfattning

Samhället kräver att nya byggnader är energieffektiva. Boverkets byggregler, BBR, innehåller tvingande krav och den färdiga byggnadens prestanda ska verifieras med utgångspunkt från mätningar. Byggherren ansvarar gentemot samhället för att den nya byggnaden uppfyller samhällets krav. Bestämning av energiprestanda fordras i projekteringskedet och sedan under garantiperioden. Osäkerheter i beräkningen från projekteringen tillsammans med osäkerheter i verifieringen medför att det finns en risk att godkänna en byggnad med otillräckliga energiprestanda och tvärt om att underkänna en byggnad med tillräckliga energiprestanda. En tillräckligt stor säkerhetsmarginal ska användas i projekteringen så att byggnaden säkert uppfyller BBR:s krav.

Syftet med detta projekt är att kvantifiera de bidrag till osäkerheten i beräkning och verifiering av nya byggnaders energiprestanda, som beror av osäkerheten i valet av representativ väderfil och av normalårskorrigeringen. Ett bra mått på normalårskorrigerings träffsäkerhet är spridningen hos byggnadens korrigerade energianvändning – förutsatt att bara vädret skiljer mellan åren. Energistatistik, som uppfyller detta krav, är svårt att hitta. Som substitut för mätdata från verkliga byggnader har vi använt syntetiska mätdata, som vi skapat med simuleringsprogrammet IDA ICE och väderfiler från SMHI. Vi har använt 23+10 väderfiler från vardera fyra orter i kombination med tre olika byggnadsmodeller.

Vår första slutsats är att mycket återstår att göra. Vi har arbetat med några få idealiserade byggnadsmodeller och kan inte dra säkra slutsatser beträffande träffsäkerheten hos normalårskorrigering för verkliga byggnader. Resultaten sätter en nedre gräns; bättre träffsäkerhet kan knappast uppnås i verkliga byggnader. Först måste en kravspecifikation för behandlingen av energiprestanda i nybyggnadsprocessen formuleras och förankras. Den bör baseras på BBR:s "lämpliga säkerhetsmarginaler". Dessa krav är nödvändiga för att styra inriktningen av det fortsatta arbetet.

Bristen på väderfiler är ett problem och osäkerheten i valet av representativ väderfil ger ett stort bidrag till den totala osäkerheten i behandlingen av energiprestanda i nybyggnadsprocessen. En komplett produkt med samhörande väderdata bör utvecklas.

SMHI:s Graddagar har bättre träffsäkerhet än SMHI:s Energi-Index för samtliga våra byggnadsmodeller. Normalårskorrigering av energianvändningen för vår kontorsmodell ger väsentligt bättre träffsäkerhet än för vår modell av ett punkthus. Energisignatur i vår tappning uppvisar genomgående sämre resultat än Graddagar.

Dagens metoder för normalårskorrigering räcker inte till för lågenergibyggnader och ännu mindre för morgondagens "nära-noll-energi-byggnader". Det finns behov av en ny metod, som korrigerar för avvikelser från "normalåret" avseende väder, brukande och drift. Korrigering av lågenergibyggnaders energianvändning fordrar god dokumentationen av brukande och styrningen av installationerna.

Inledning

Samhället kräver att nya byggnader är energieffektiva. Boverkets byggregler, BBR, innehåller tvingande krav och den färdiga byggnadens prestanda ska verifieras med utgångspunkt från mätningar. Byggherren ansvarar gentemot samhället för att den nya byggnaden uppfyller samhällets krav. Byggherren i sin tur ställer krav under upphandlingen av byggnaden och avtalet mellan byggherre och entreprenör måste innehålla krav avseende energiprestanda. Dessa krav ska tillförsäkra byggherren att den nya byggnaden kommer att uppfylla samhällskraven och avtalade krav. De ska vidare främja att goda energiprestanda uppnås till låg kostnad och att samarbetet mellan parterna fungerar väl.

Bestämning av energiprestanda fordras i projekteringsskedet och sedan under garantiperioden. Oräkneliga och ibland motstridiga krav ställs på den nya byggnaden. För att projekteringen ska resultera i en bra kompromiss fordras många och säkra beräkningar av energiprestanda för alternativa lösningar. När den färdiga byggnaden väl tagits i drift ska det alltså verifieras med utgångspunkt från mätningar att den uppfyller energiprestandakravet. Osäkerheter i beräkningen från projekteringen tillsammans med osäkerheter i verifieringen medför att det finns en risk att godkänna en byggnad med otillräckliga energiprestanda och tvärt om att underkänna en byggnad med tillräckliga energiprestanda. Hur stora är dessa risker och kan parterna gardera sig mot dem? Hur stora risker är parterna beredda att acceptera?

Det är inte alls självklart hur en byggnads energiprestanda ska definieras för att fungera väl i byggnadsprocessen. Idealet vore att energiprestanda är en egenskap hos själva byggnaden, som är lätt att beräkna och lätt att mäta med god noggrannhet. Samtidigt måste det naturligtvis finnas ett starkt samband mellan denna prestanda och energianvändningen i verklig drift. I praktiken är det svårt att hitta en bra definition av energiprestanda, eftersom energianvändningen förutom av själva byggnadens egenskaper beror av vädret, brukarbeteendet och driften av byggnaden.

Boverket utgår i sin definition av energiprestanda från den mängd energi, som behöver tillföras byggnaden för att upprätthålla god inomhusmiljö och bereda varmvatten. Kraven i BBR (2008) avser byggnadens energianvändning fördelat på uppvärmd yta (A_{temp}) och uttryckt i kWh/m².a, där energianvändning är

Den energi som, vid normalt brukande, under ett normalår behöver levereras till en byggnad (oftast benämnd köpt energi) för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och byggnadens fastighetsenergi.

och där normalår definieras såsom

Medelvärde av utomhusklimatet (t.ex. temperatur) under en längre tidsperiod (t.ex. 30 år).

Beträffande osäkerheten i bestämningen av energiprestanda säger BBR i ett allmänt råd

Vid beräkning av byggnadens förväntade specifika energianvändning bör lämpliga säkerhetsmarginaler tillämpas så att kravet på byggnadens specifika energianvändning uppfylls när byggnaden tagits i bruk. ...

Normalårskorrigering och eventuell korrigering för avvikelser från projekterat brukande av byggnaden (innetemperatur, tappvarmvattenanvändning, vädring och dyligt) bör redovisas i en särskild utredning.

Denna skrivning innebär att säkerhetsmarginalen ska vara tillräckligt stor för att energiprestanda baserad på mätning och korrigering med säkerhet uppfyller BBR:s krav. En större säkerhetsmarginal medför högre kostnad för byggnaden. Skrivningen ger "särskild utredning" och den expert som utreder en avgörande roll.

Sveby-programmet (Sveby, 2011) drivs av byggbranschen med syftet att stödja tillämpningen av BBR:s regler för energihushållning. Följande text¹ inleder Förord/ Inledning av Sveby-programmets olika handledningar

Sveby står för "Standardisera och verifiera energiprestanda för byggnader" och i programmet fastställer bygg- och fastighetsbranschen en branschstandard för standardiserat brukande för beräkning och hur verifiering av energiprestanda skall gå till. Sveby-programmet har skapat en branschstandard för tolkning av de funktionskrav på energihushållning som finns i Boverkets Byggregler, BBR. Genom en gemensam syn på dessa, till synes enkla men i avtalssammanhang mycket komplicerade, föreskrifter skapar vi överenskommelser och praxis för att klara funktionskraven och undvika tvister mellan olika aktörer i byggprocessen.

Syftet med detta projekt, som är anknutet till Sveby-programmet, är att kvantifiera de bidrag till osäkerheten i beräkning och verifiering av nya byggnaders energiprestanda, som uppkommer på grund av osäkerhet i valet av representativ väderfil och normalårskorrigeringen. Byggnadens energiprestanda är aktuell i flera skeden av byggprocessen. I denna studie behandlar vi i första hand beräkningen av energiprestanda före uppförandet av byggnaden, samt av bestämningen av energiprestanda hos den färdiga byggnaden. Den första beräkningen ger underlag för det värde hos energiprestanda, som används i offert och avtal. Den andra används för att avgöra om avtalad energiprestanda är uppnådd.

Historiskt är de viktigaste användningsområdena för normalårskorrigering den statistik, som fastighetsägare använder för att följa energianvändningen i sina byggnader, och den nationella energistatistiken. Dessa områden behandlas inte i denna studie.

¹ Med mindre variationer.

1. Test med syntetiska mätdata

En byggnads normalårskorrigerade energianvändning vore lika stor år efter år om korrigeringsmetoden är perfekt, byggnadens egenskaper är konstanta och om brukandet och driften av byggnaden inte förändras mellan åren. Energistatistik från verkliga byggnader, vars egenskaper, brukande och drift varit konstanta, vore idealiskt för att testa precisionen hos olika korrigeringsmetoder. Det vore enkelt att tillämpa korrigeringsmetoderna på de uppmätta årsvärdena och spridningen hos de korrigerade värdena vore ett bra mått på precisionen hos metoderna.

I praktiken är det svårt att hitta energistatistik från verkliga byggnader där allt varit oförändrat år efter år. Om inget annat är det ju bara fastighetsägare med ambitioner att sänka energianvändningen, som kostar på sig en bra energistatistik.

I detta projekt har vi som substitut för energistatistik från verkligheten använt energistatistik, som vi skapat med simuleringsprogrammet IDA ICE och väderfiler från SMHI. Dessa simuleringsresultat kallar vi syntetiska mätdata.

1.1. Simulering med IDA ICE

IDA ICE är ett modulärt datorprogram för simulering av byggnader och deras klimatstyrande installationer med inriktning mot energianvändning och inomhusklimat. Det består av ett grafiskt användarinterface, en ekvationslösare, och ett stort bibliotek av modeller för byggnads-, vvs- och styrkomponenter.

1.2. Modeller av testcell av byggnader

De valda modellerna representerar byggnadstyper, som är vanliga i nyproduktionen, två flerbostadshus och ett kontorshus. Dessutom används en testcell för att testa hur olika byggnadsegenskaper påverkar normalårskorrigeringen.

Varken fastighetsenergi eller beredning av varmvatten ingår i simuleringsmodellerna för byggnaderna. Därigenom antas dessa ha konstant effekt och inte ge någon gratisvärme. För testcellen TC06, och för flerbostadshusen, PH11 och PH82, dumpas värme så att rumstemperaturen icke överskrider börvärdet för rumskyla. För flerbostadshusen sker dessutom temperaturstyrd vädring i två längenheter så att förlusterna totalt uppgår till 4 kW/m².a.

Testcellen och kontorshuset är relativt lätta konstruktioner med liten kapacitet att lagra överskottsvärme. Flerbostadshusen är väsentligt tyngre och har större förmåga att lagra överskottsvärme.

1.3. TC06 - Testcell för parameterstudie

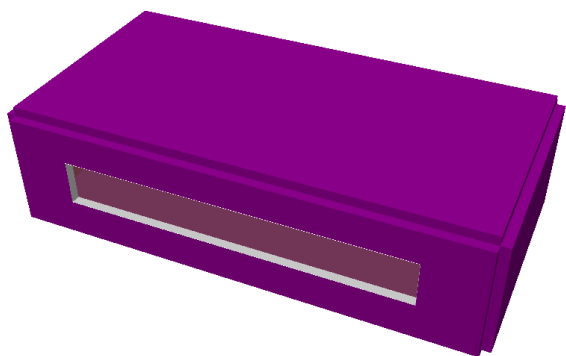
Hur påverkas korrigeringsmetodernas prestanda av

- ✓ storleken av solinstrålning genom fönster
- ✓ byggnadens specifika värmeförlustfaktor (transmission+ventilation)
- ✓ hur mycket värme, som avges intern från personer och apparater

Denna parameterstudies syfte är att ge svar på dessa frågor. Vi har valt att variera tre parametrar i stora steg. Totalt ger detta 3x3x3=27 olika modeller.

Kod	Namn	Beskrivning	1	2	3
wf	Window fraction	kvoten, fönster / golvarea, (%)	1	15	45
tr	Thermal resistance	total förlustfaktor (W/m ² .K)	1.62	0.83	0.38
ig	Internal gain	internt avgiven gratisvärme (W/m ²)	1.25	2.5	5.0

Fönstret storlek påverkar endast solinstrålningen eftersom fönstret har samma U-värde som väggarna det ersätter. De tre nivåerna hos värmeförlusterna representerar äldre, nyare och passiv+ hus. Mittvärdet för Internal gain, $ig = 2$ (2.5 W/m^2), ligger nära värdet, 2.4 W/m^2 , som Sveby rekommenderar för bostäder².



Figur 1.1. TC06 är en testcell, det vill säga en enkel modell med fyra väggar, ett plant tak, ett golv i kontakt med jord, och ett fönster mot söder. Fönstret har samma U-värde som väggarna och saknar solskydd.

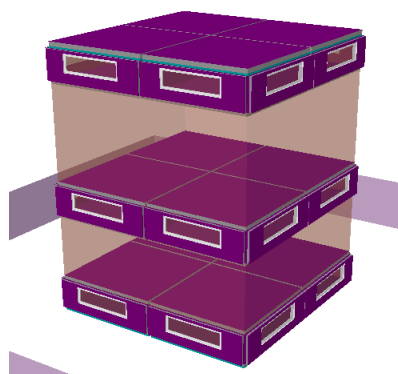
1.4. PH11 - Flerbostadshus med fjärrvärme

PH11 är projekterad för att uppfylla kravnivå för icke elvärmda hus i klimatzon 3 enligt BBR18 2008, Supplement februari 2009. PH11 har F-ventilation och fjärrvärme.

Projekterade värden (klimatzon 3)	$\text{kWh/m}^2 \cdot \text{a}$
Energianvändning, värme*	70
Varmvatten, exkl VVC-förluster, 0 %	25
Fastighetsel, 0 % till gratisvärme	15
Hyregästel, 100 % till gratisvärme konstant effekt (ca 3.4 W/m^2)	30
Total förlustfaktor ** ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)	0.92
Börvärde värme, PI-reglering	$21 \text{ }^\circ\text{C}$
Börvärde rumskyla, PI-reglering	$24 \text{ }^\circ\text{C}$
Fönsterarea/golvarea	20 %

* $110 = 70 + 25 + 15$

** inkl. transmission, ventilation och vädring



Figur 1.2 Punkthus med åtta våningar och fyra lägenheter per plan.

1.5. PH82 - Flerbostadshus med bergvärme

PH82 är projekterad för att uppfylla kravnivå för elvärmda hus i klimatzon 3 enligt BBR18 2008, Supplement februari 2009. PH82 har F-ventilation och varvtalsstyrd bergvärmepump.

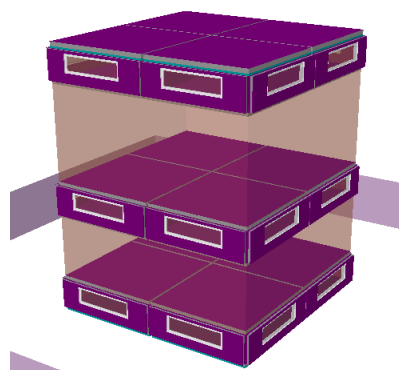
² $30 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a} \times 70 \% / 8760 \text{ h/a} = 2.4 \text{ W/m}^2$

Projekterade värden (klimatzon 3)	kWh/m ² .a
Energianvändning, värme*	32
Varmvatten, exkl. VVC-förluster** 0% till gratisvärme	25/3
Fastighetsel, 0 % till gratisvärme	15
Hyregästel, 100 % till gratisvärme konstant effekt (ca 3.4 W/m ²)	30
Total förlustfaktor*** (W/m ² .K)	0.92
Börvärde värme, PI-reglering	21 °C
Börvärde rumskyla, PI-reglering	24 °C
Fönsterarea/golvarea	20 %

* 32 + 25/3 + 15 = 55

** varmvatten produceras med COP=3.

*** inkl. transmission, ventilation och vädring



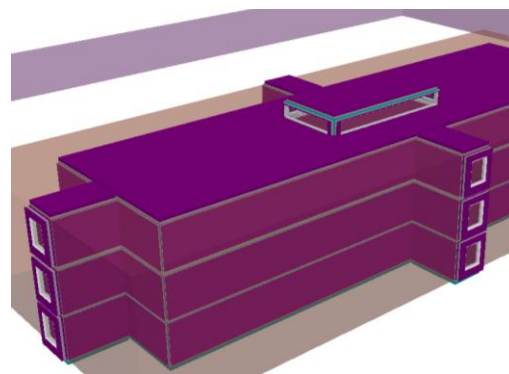
Figur 1.3 Punkthus med åtta våningar och fyra lägenheter per plan.

1.6. KH02 – Kontorshus

KH02 är projekterad för att uppfylla kravnivå för icke eluppvärmda hus i klimatzon 3 enligt BBR18 2008, Supplement februari 2009. KH02 har FTX-ventilation och försörjs med fjärrvärme och fjärrkyla.

Projekterade värden (klimatzon 3)	kWh/m ² .a
Energianvändning, värme + kyla*	86
Varmvatten, exkl. VVC-förluster	2
Fastighetsel, 0 % till gratisvärme	25
Verksamhetsel och personer, 100 % till gratisvärme	30
Total förlustfaktor, värme (W/m ² .K)	---
Börvärde värme, PI-reglering	21 °C
Börvärde rumskyla, PI-reglering	23 °C
Drifttid ventilation vardagar	07:00-19:00
Fönsterarea/golvarea	25 %

* 113 = 86 + 2 + 25



Figur 1.4 Trevånings kontorshus.

1.7. Väderfiler från SMHI

Vi använder två typer av väderfiler för simuleringarna i detta arbete.

1.7.1. Solmätstationer

I början av 1980-talet byggde SMHI upp ett nät av automatiska solmätstationer med främsta syftet att stödja forskning och utveckling av inom solenergiområdet. Kvaliteten hos mätdata från dessa stationer är hög speciellt beträffande solstrålning.

I denna studie använder vi väderfiler för åren 1983 t.o.m. 2005 från de fyra solmätstationerna, som är listade i Tabell 1.1. Dessa filer hade enstaka luckor speciellt för vindens hastighet och riktning. Vi har ersatt saknade data med data från närliggande perioder. Vi bedömer att detta inte påverkar resultatet av denna studie.

Tabell 1.1. SMHI solmätstationer

Kod	Station	Ort	Latitud	Longitud	Altitud
LUL	2183	Luleå	65.55 °N	22.13 °E	17
STH	2483	Stockholm	59.35 °N	18.07 °E	30
GBG	2513	Göteborg	57.70 °N	12.00 °E	5
LND	2627	Lund	55.72 °N	13.22 °E	73

1.7.2. Mesan-väderfiler

MESAN är ett centralt system hos SMHI för att hantera väderinformation. I princip används all tillgänglig information från manuella och automatiska väderstationer, från vädersatelliter och väderradar. MESAN arbetar i realtid och ger indata till modeller för väderprognoser. I Klimat-MESAN lagras i efterhand kvalitetsgranskad väderinformation, som täcker hela Sverige med 11 km upplösning.

SMHI:s produkter för normalårskorrigerig är numera baserade på Klimat-MESAN. Vi använder koderna, LNM, GBM, STM, och LUM för dessa mesan-väderfiler. Tredje bokstaven i koden för solmätstationen är ersatt av "M".

2. Normalårskorrigerig

I denna rapport använder vi SMHI: s graddagsmetod, SMHI:s Energi-Index och Energisignatur. För projektet har SMHI tillhandahållit värden för Graddagar och Energi-Index för de tio åren 1999 – 2008. Dessa värden är kompatibla med mesan-väderfilerna. Vi kallar dem SmhiGD respektive SmhiEI.

Graddagar enligt SMHI:s recept har vi beräknat för väderfilerna från solmätstationerna. För att skilja dessa från de graddagar SMHI har tillhandahållit kallar vi dem CalcGD.

2.1. SMHI:s Graddagar

På SMHI:s web-plats definieras graddagar³:

[...]Beräkningen av SMHI Graddagar utgår från att byggnadens värmesystem ska värma upp byggnaden till +17°C. Resterande energibehov antas täckas⁴ av solinstrålning samt av värme som alstras av personer och elektrisk utrustning i byggnaden. [...]

Normalårskorrigerig av uppmätt energianvändning kan göras antingen av årsvärden eller av månadsvärden, som i följande steg summeras till ett årsvärde. Dessa alternativ ger praktiskt taget samma resultat – i de flesta fall. Varna höst- eller vårmånader kan antalet graddagar vara betydligt lägre än det normala vilket resulterar i hög normalårskorrigerad energianvändning.

³ Vi känner inte till bakgrunden till värdena för ingående temperaturgränserna, men metoden baserades säkert ursprungligen på en lägre inomhustemperatur än den vi använder idag.

⁴ Vi har bytt ordet ut "tillkomma" mot "täcka".

2.1.1. Normalårskorrigeringen av årssummor

Vi har därför valt att basera normalårskorrigeringen på årsvärden. Normalårskorrigerad specifik energianvändning, QK, ges av

$$QK = (\sum GDNm / \sum GDm) \times Qa$$

och godhetstalet ges av

$$(QK - QN) / QN$$

Därmed blir problemen med GDm=0 och GDNm=0 under sommarmånaderna försumbara. Alla normalårskorrigeringar med graddagar som redovisas i denna rapport, är baserade på årssummor.

2.1.2. Normalår

"Normalåret" består av tolv normalvärden – ett för varje månad. Dessa normalvärden är medelvärden för respektive månad över en tillräckligt lång tidsperiod för att representera klimatet.

"[...] en typisk klimatlängd som används i meteorologin är 30 år"⁵.

En konsekvens av detta är att normalåret inte innehåller några extrema månadsvärden. Serierna av väderfiler från solmätstationerna innehåller både kalla och varma år. I rollen som normalår använder vi medelvärden av hela serien av väderfiler från respektive ort.

Serien av mesan-väderfiler omfattar en exceptionellt varm period om tio år. Serien är helt utan kalla år. Även för mesan-filerna använder vi medelvärden för serien i rollen som normalår.

2.2. SMHI:s Energi-Index

På SMHI:s web-plats definieras Energi-Index:

[...]Metoden tar hänsyn till temperaturens, solens och vindens sammantagna betydelse för energibehovet samt energitillskott från belysning, elutrustning och personer.

Metoden bygger på en värmebalansmodell som utvecklats vid SMHI. Modellen tar hänsyn till husets byggnadsstandard, användningssätt och läge. SMHI Energi-Index kan fås för olika klasser och orter i Sverige.

SMHI levererar Energi-Index i form av ekvivalenta graddagar, som praktiskt används på samma sätt som vanliga graddagar. De är numera baserade på Klimat-MESAN. I denna studie ges normalårskorrigerad specifik energianvändning, Qn, av

$$Qn = (\sum Eln / \sum Eli) * \sum Qi$$

Normalårskorrigeringen med energi-index, som redovisas i denna rapport, är alltså baserade på årssummor.

2.2.1. Normalår

I denna studie använder vi medelvärden för samma period, som vi har mesan-väderfiler, 1999 – 2008. Data för normalåren har tillhandahållits från SMHI.

⁵ <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat>

2.3. Energisignaturer

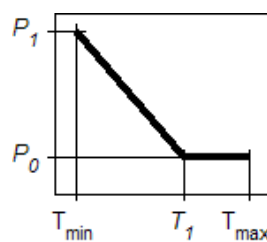
Energisignatur är ett samlingsnamn för att antal snarlika metoder, som är baserade på enkla samband mellan energianvändningen och utomhustemperaturen (samt eventuellt ytterligare någon förklarande variabel).

Där finns enkla linjära regressionsmodeller med en, två eller i undantagsfall tre förklarande variabler, varav utomhustemperaturen är en (Hammarsten, 1987).

2.3.1. Energisignaturerna ESh och ESc

Vi har gjort en egen implementation för att experimentera med energisignaturer för normalårskorrigerad av värme, ESh, och komfortkyla, ESc. Denna är baserad på SS-EN 15603:2008. Vi har koncentrerat oss på situationen med nya byggnader och antagit att

- ✓ det finns en väderfil, som representerar normalåret för den aktuella orten, och att denna användes för att bestämma byggnadens energianvändning i projekteringsskedet
- ✓ energianvändningen loggas automatiskt
- ✓ användaren inte ska kunna påverka utfallet genom att t.ex. välja brytpunktens värde
- ✓ väderdata är tillgängliga från samma mätstation, som väderfilen, som användes i projekteringsskedet
- ✓ det inte finns någon tidigare energisignatur för byggnaden



Figur 2.1 Energisignatur för normalårskorrigerad av energianvändningen för uppvärmning, ESh.

2.4. Prediktering av normalårets energianvändning

Vi använder verkliga år såsom substitut för normalår i alla de normalårskorrigeringar med energisignatur, som redovisas i denna rapport.

Normalårskorrigerad med energisignatur är känslig för fördelningen av datapunkter nära brytpunkterna. Medelvärden, som är bildade av data på ömse sidor av en brytpunkt tenderar till att ge punkter ovanför energisignaturen, vilket påverkar anpassningen negativt.

3. Redovisning av resultat

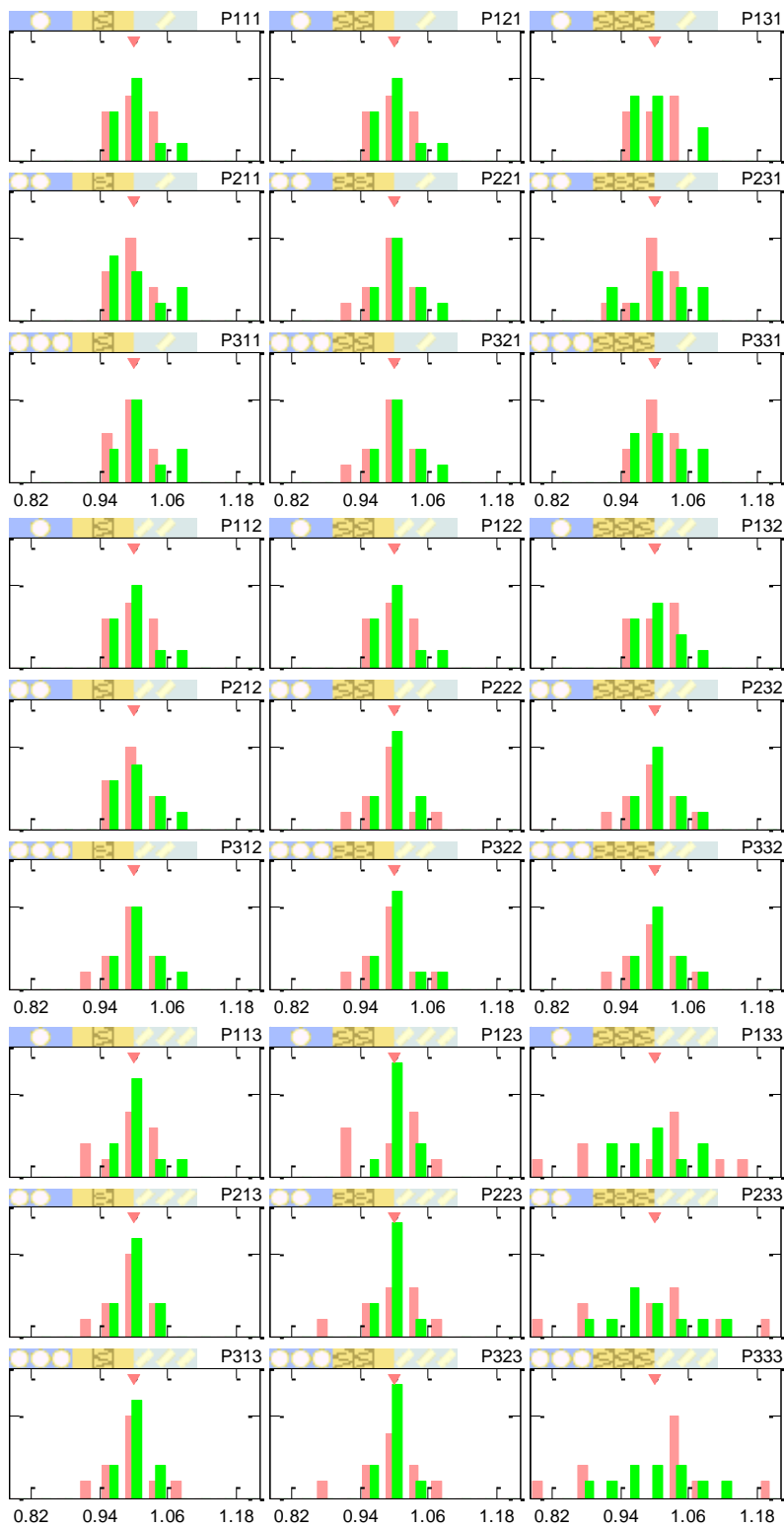
Denna studie har genererat tidsserier för energianvändningen för åtta serier av väderfiler och flera byggnadsmodeller. Dessa tidsserier har vi normalårskorrigerat med tre olika metoder: SMHI:s metoder Graddagar och Energi-Index samt energisignatur.

3.1. Resultat från parameterstudie

I redovisningen presenteras de olika kombinationerna med symboler för window fraction (vita cirklar på blå botten), thermal resistance (isoleringssymboler på gul botten) och internal gain (vita rektanglar på ljusblå botten) och ökat antal symboler med de olika nivåerna. Dessutom sammanfattas de i en sifferkombination där t.ex. P121 står för window fraction nivå 1, thermal resistance nivå 2 och internal gain nivå 1.

Figur 3.1, Figur 3.2, Figur 3.3 tillsammans med figur 3.4, visar resultat från normalårskorrigerad med SMHI:s Graddagar av simuleringsresultat för modellen TC06 och mesanväderfiler från de fyra orterna Lund, Göteborg, Stockholm och Luleå. Därefter följer en grupp om fyra figurer med korrigerad med SMHI:s Energi-Index.

Röda staplar anger uppmätta värden och gröna staplar anger korrigerade värden. Ett grovt mått, N22, på hur väl korrigeringen fungerar är antalet diagram med endast en grön stapel i mitten, d.v.s antalet fall av totalt 27 där alla korrigerade värden ligger i intervallet [-2 %, +2 %]. Varje figur innehåller 27 diagram.



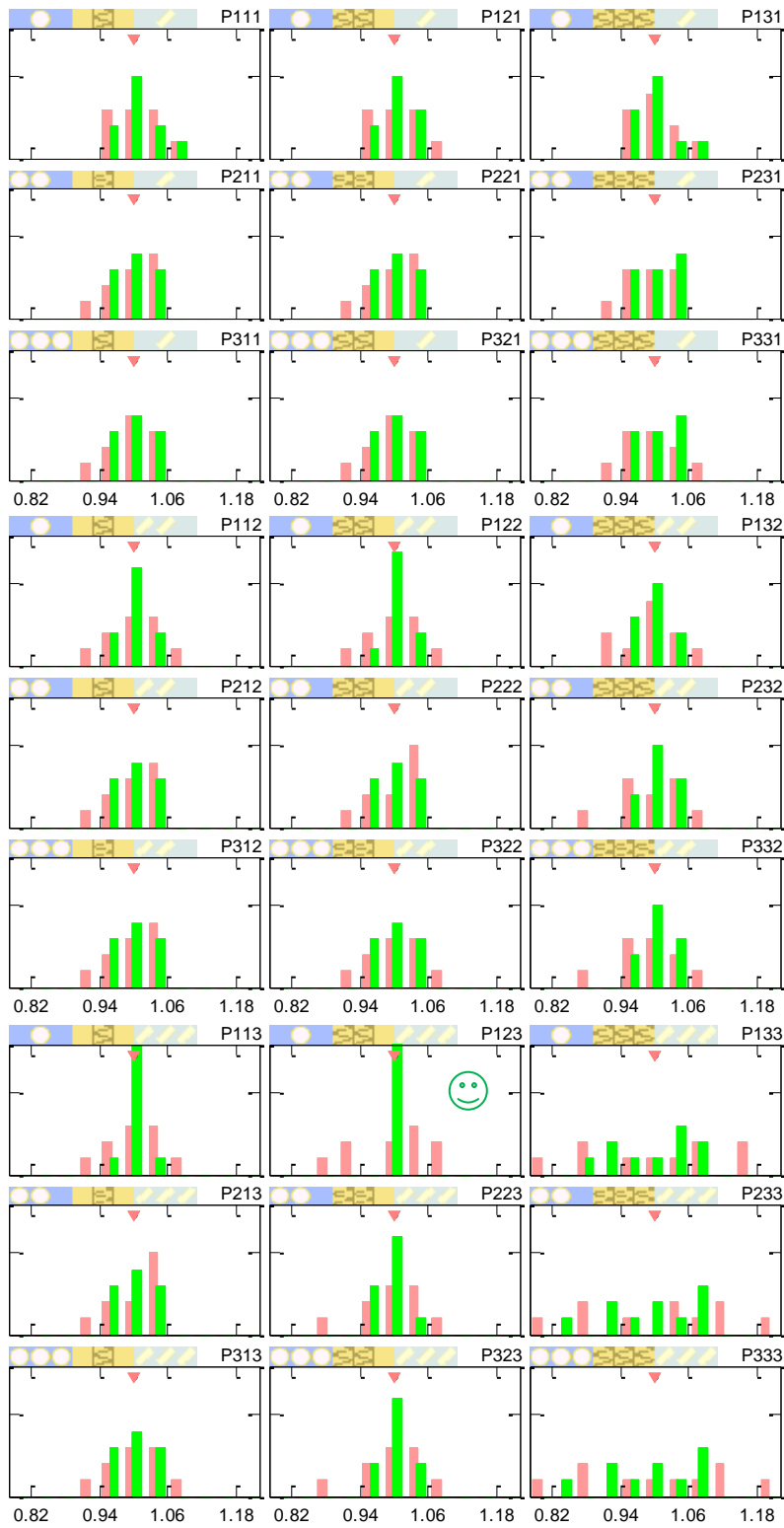
Figur 3.1

Modell: TC06

Väderfiler: LNM

Metod: SmhiGD

$N22 = 0$



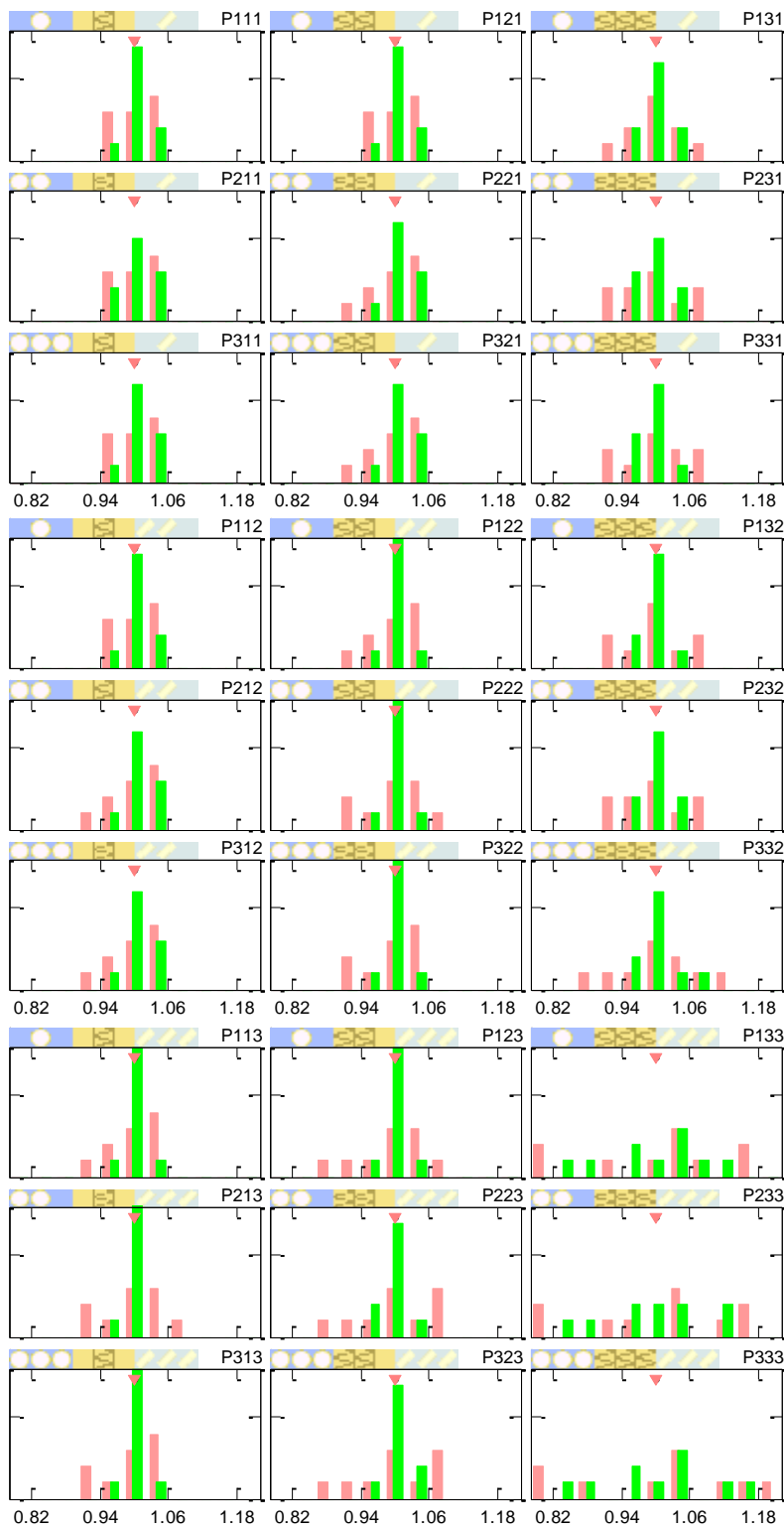
Figur 3.2

Modell: **TC06**

Väderfiler: **GBM**

Metod: **SmhiGD**

$N22 = 1$



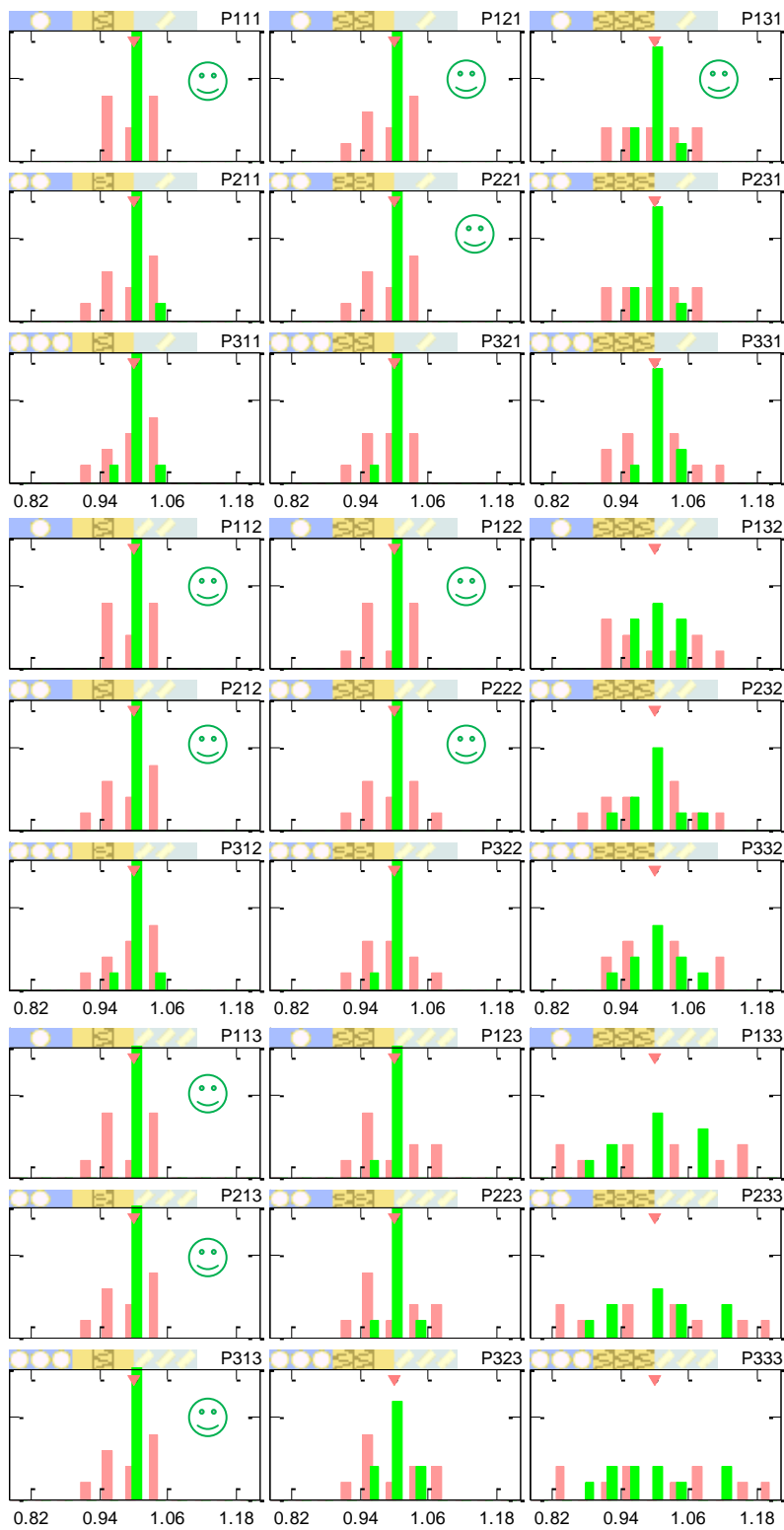
Figur 3.3

Modell: TC06

Väderfilar: STM

Metod: SmhiGD

$N_{22} = 0$



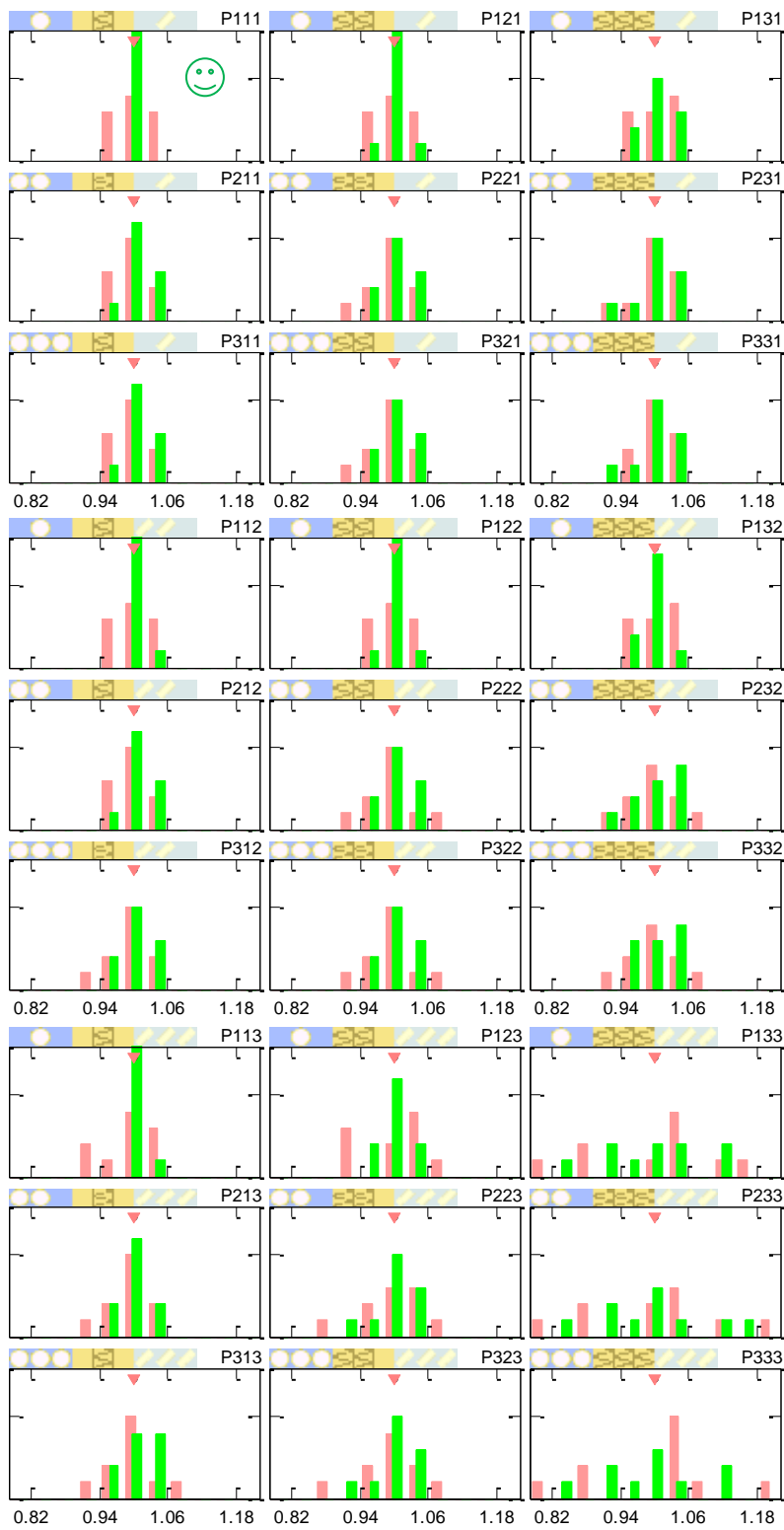
Figur 3.4

Modell: TC06

Väderfiler: LUM

Metod: SmhiGD

N22 = 11



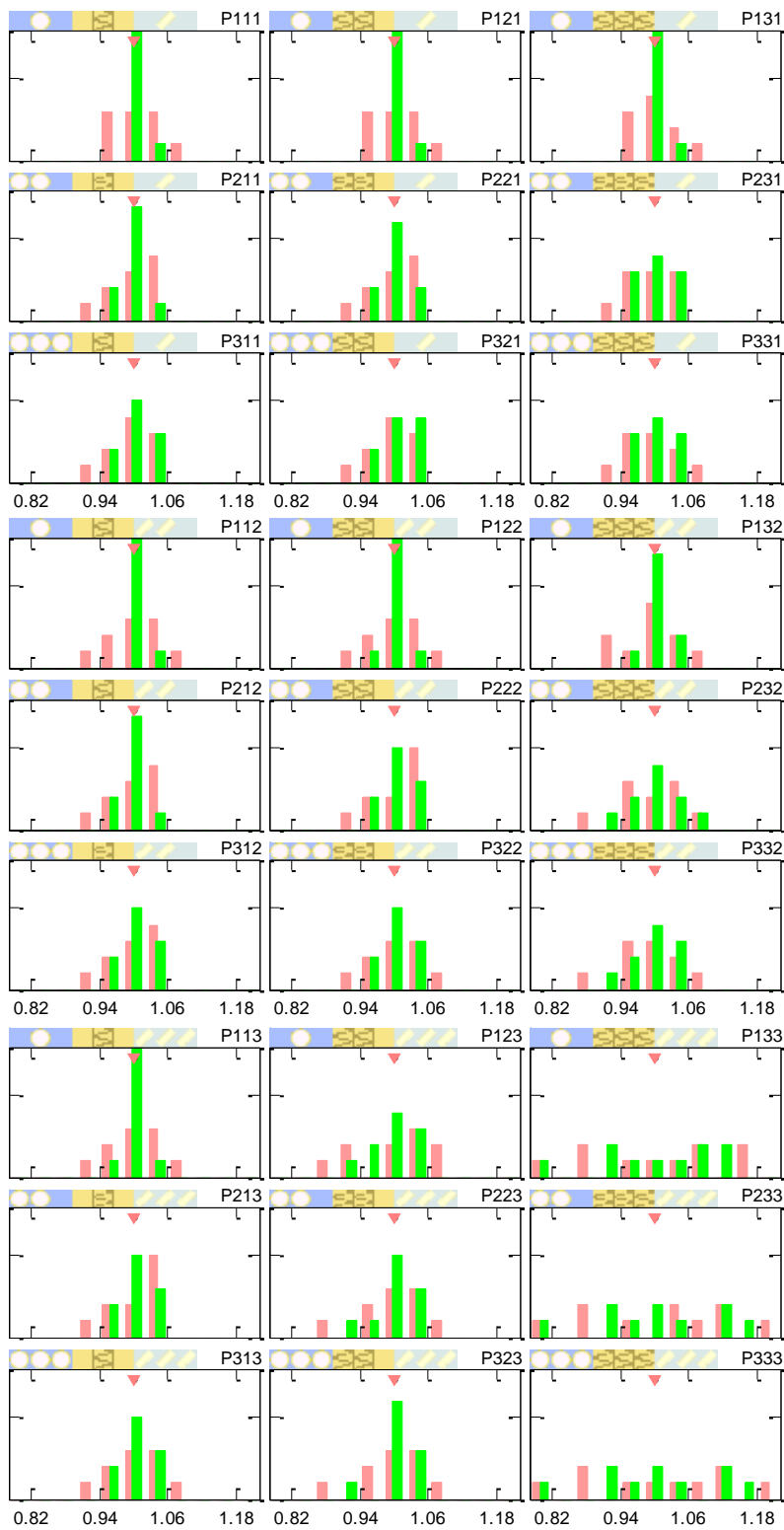
Figur 3.5

Modell: TC06

Väderfiler: LNM

Metod: SmhiEI

$N22 = 1$



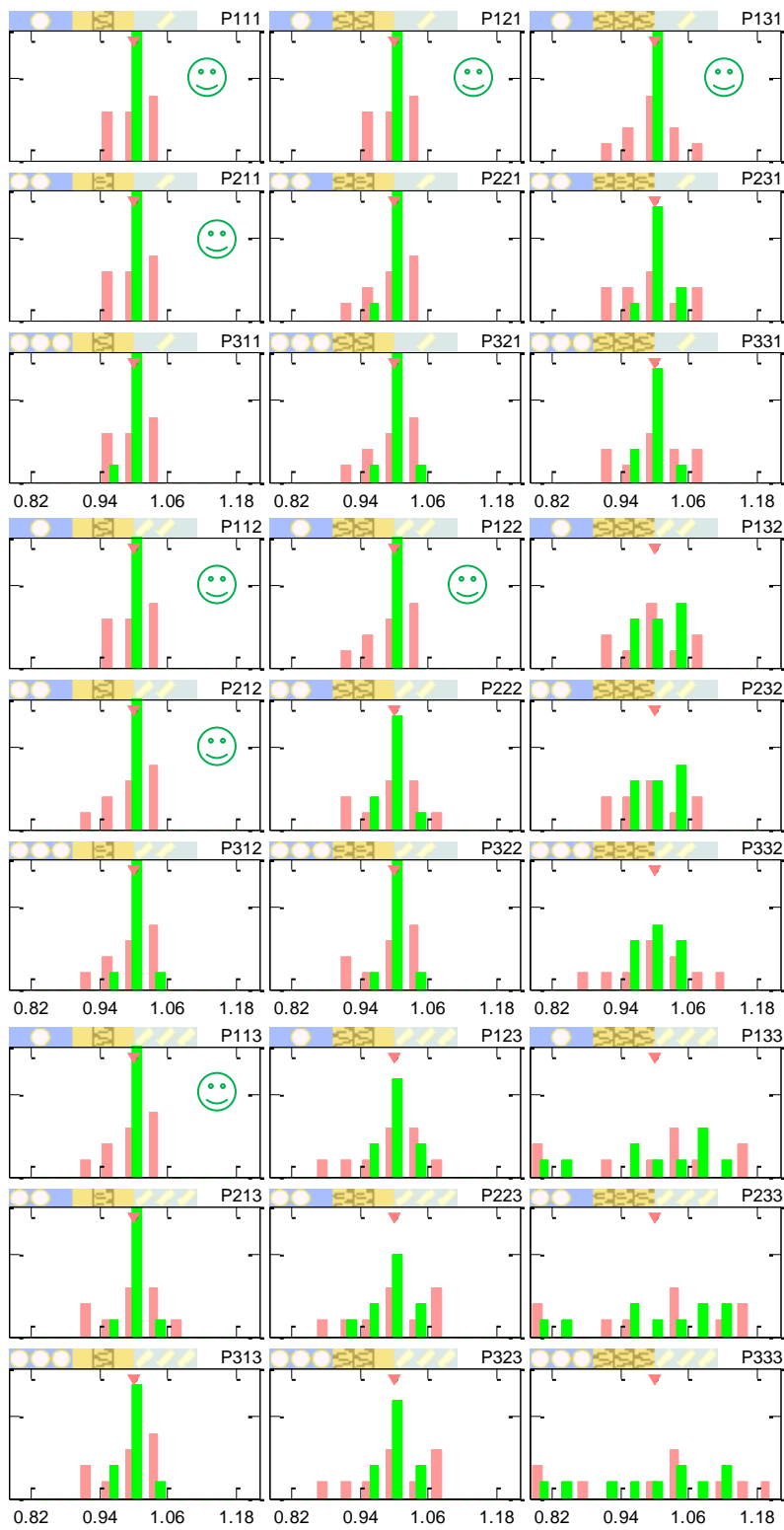
Figur 3.6

Modell: TC06

Väderfiler: GBM

Metod: SmhiEI

$N22 = 0$



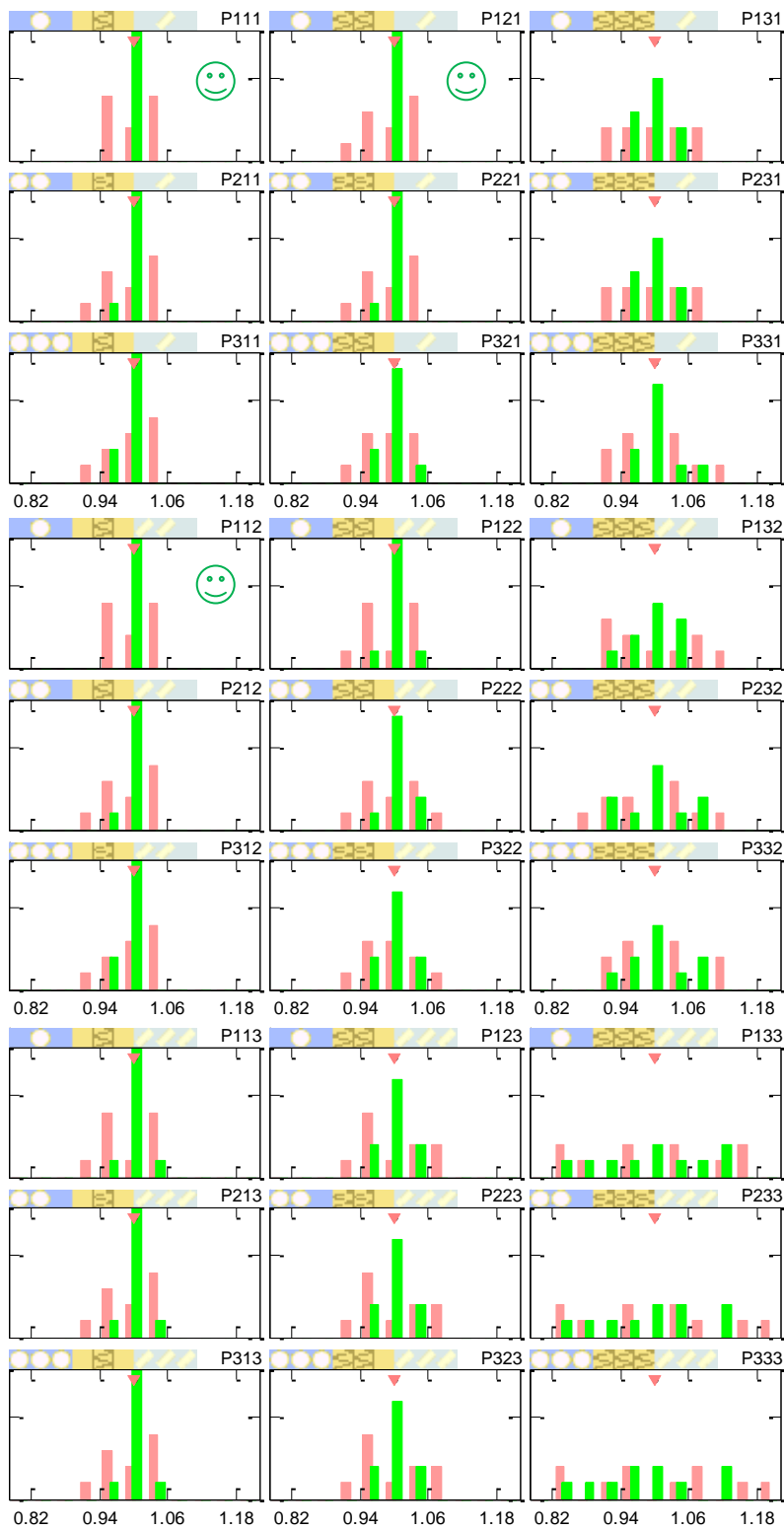
Figur 3.7

Modell: TC06

Väderfiler: STM

Metod: SmhiEI

$N_{22} = 8$



Figur 3.8

Modell: **TC06**

Väderfiler: **LUM**

Metod: **SmhiEI**

$N_{22} = 3$

Bäst fungerar korrigeringen för byggnader med stora värmeförluster (vänstra kolumnen av diagram) och lite intern gratisvärme (de övre tre raderna). Alla korrigerade värden samlade i en grön stapel betyder att alla korrigerade värden ligger i intervallet $[-2\%, +2\%]$ relativt medelvärdet för alla simulerade värden.

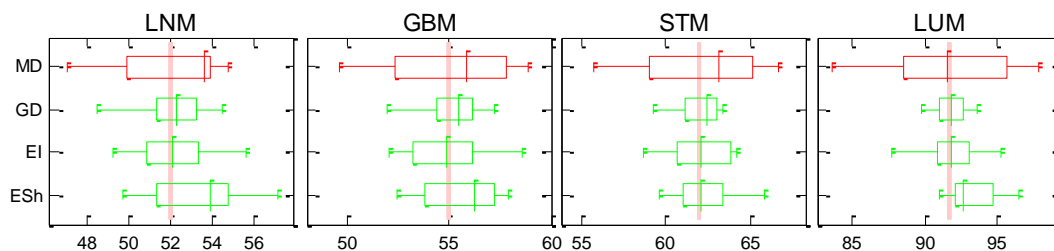
3.2. Resultat från byggnadsmodeller

Resultat från byggnadsmodellerna använder lådagram för att ge översikter av korrigeringsmetodernas prestanda för de olika orterna. Det röda lådagrammet är okorrigerade värden, det rosa strecket visar medelvärdet av simulerade värden och x-axeln visar energianvändningen i kWh/m².a.

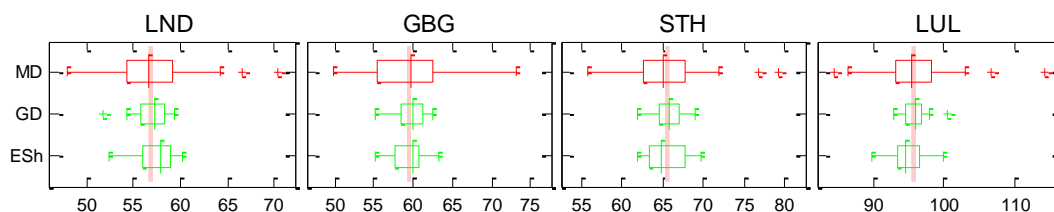
3.2.1. PH11 – Flerbostadshus med fjärrvärme

Figur 3.9, Figur 3.10 och Figur 3.11 visar jämförelser för PH11. De korrigerade värdena har mindre spridning än de okorrigerade värdena i alla fall utom ett, LNM/Esh. Korrigeringsarna är genomgående bättre för Luleå, LUM och LUL, än för Lund. De är också bättre för väderfilerna från solmätstationerna än för mesan-väderfilerna – relativt spridningen hos serierna av väderfiler.

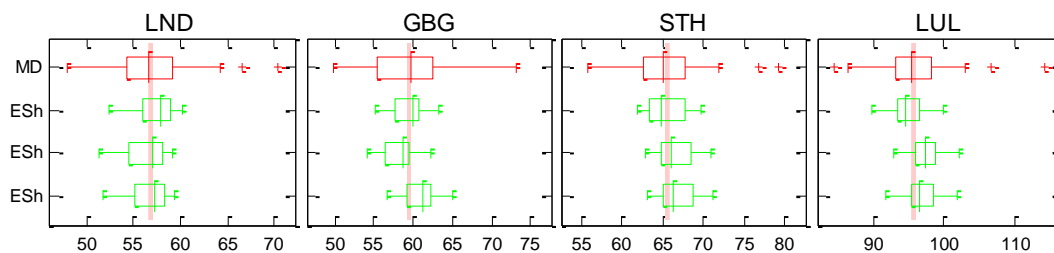
Normalårskorrigerig med energisignaturen, Esh, fordrar dygnsmedelvärden för utomhustemperaturen under ett "normalår".



Figur 3.9. Jämförelse av SmhiEI, SmhiGD, samt energisignaturen, Esh.



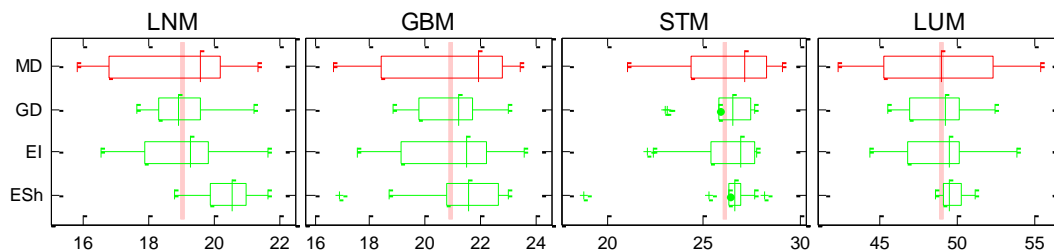
Figur 3.10. Jämförelse av graddagar, CalcGD, och energisignaturen, Esh.



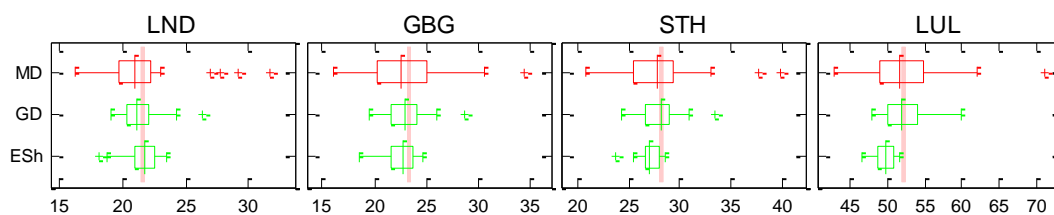
Figur 3.11. Betydelsen av "normalår" för energisignaturen, Esh. I diagrammet redovisas värden med olika år som normalår.

3.2.2. PH82 - Flerbostadshus med bergvärme

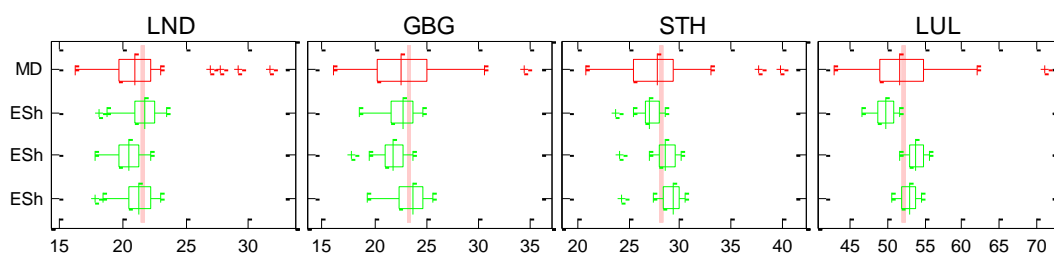
Figur 3.12, Figur 3.13 och Figur 3.14 visar jämförelser för PH82. De korrigerade värdena har mindre spridning än de okorrigerade värdena i samtliga fall. Korrigeringarna är genomgående lite bättre för Luleå än för Lund. De är också bättre för väderfilerna från solmätstationerna än för mesan-väderfilerna.



Figur 3.12. SMHI:s graddagar, SmhiGD, ger här aningen bättre korrigeringar än Energi-Index, SmhiEI. Energisignaturen, Esh, visar bra korrigeringar för Stockholm och Luleå, men klart sämre för Lund och Göteborg.



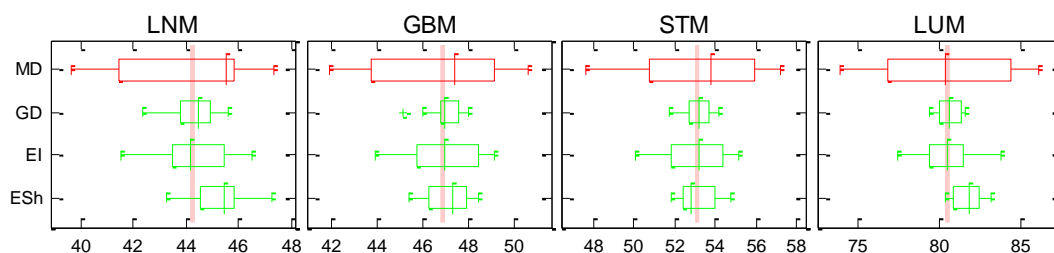
Figur 3.13. Jämförelse av graddagar, CalcGD, och energisignaturen, Esh.



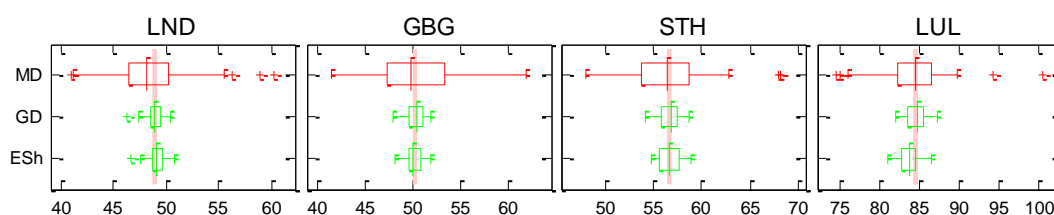
Figur 3.14. Betydelsen av ”normalår” för energisignaturen, Esh. I diagrammet redovisas värden med olika år som normalår.

3.2.3. KH02 - Kontorshus med fjärrvärme

Figur 3.15, Figur 3.16 och Figur 3.17 visar jämförelser för KH02. De korrigerade värdena har mindre spridning än de okorrigerade värdena i samtliga fall. Korrigeringarna är genomgående bättre för väderfilerna från solmätstationerna än för mesan-väderfilerna.

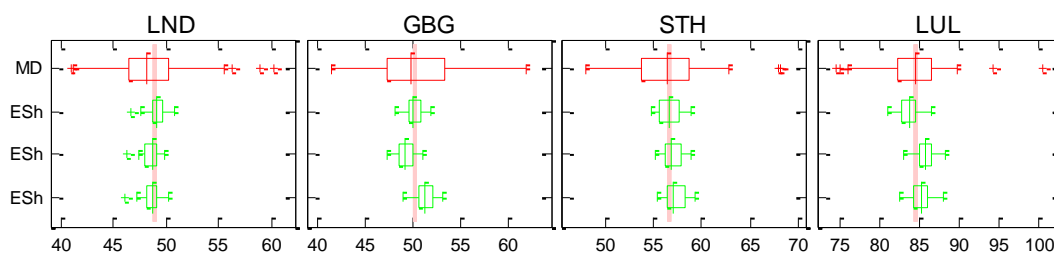


Figur 3.15. SMHI:s graddagar ger här bättre korrigeringar än Energi-Index.



Figur 3.16. Jämförelse av graddagarna, CalcGD, och energisignaturen, Esh.

Korrigeringarna med både CalcGD och Esh är anmärkningsvärt bra för alla fyra orterna. Graddagar är aningen bättre.



Figur 3.17. Normalårskorrigering med energisignaturen, Esh, med olika år som normalår.

Dessa värden är för bra för att vara sanna men vi hittar inte något fel i våra beräkningar.

4. Ett försök till statistisk analys

Statistik är verktyget för att skilja systematiska samband från slumpmässiga variationer; skilja signalen från bruset. Problemet är bara att statistik är ett så svårt ämne. Vi har här gjort ett preliminärt försök att analysera våra syntetiska data med hjälp av en metod, som heter bootstrap. Den erbjuder oss flera fördelar:

- ✓ Den är relativt lätt att förstå.
- ✓ Den ställer måttliga krav på de statistiska egenskaperna hos serierna av väderfiler.
- ✓ Datorprogrammet, Matlab, har bra verktyg för att tillämpa bootstrap.

Träffsäkerheten för den normalårskorrigerade energianvändningen beror på vädrets variationer i serien av filer, på byggnadsmodellen och på metoden för normalårskorrigering. Vi har inte separerat bidragen till osäkerheten från dessa tre källor.

Serierna av väderfiler från solmätstationerna representerar klimatet avsevärt mycket bättre än serierna av mesan-väderfiler. Vi visar resultat från bägge typerna av väderfiler. Väderfilerna från solmätstationerna ger en uppfattning träffsäkerheten hos normalårskorrigering med SMHI:s graddagsmetod. Mesan-väderfilerna ger en möjlighet att jämföra SMHI:s två metoder.

4.1. Konfidensintervall och median

För att bestämma hur väl normalårskorrigerad energianvändning fungerar skattar vi median och ett 80%-igt⁶ konfidensintervall för kvoten mellan den normalårskorrigerade energianvändningens och det "sanna" värdet,

$$K_a = Q_{K_a} / Q_N$$

Där

Q_{K_a} är normalårskorrigerad energianvändning för år a och
 Q_N är den "sanna" energianvändningen under normalåret

det ger serien

$$K_a = \{K_{83}, K_{84}, \dots, K_{05}\}.$$

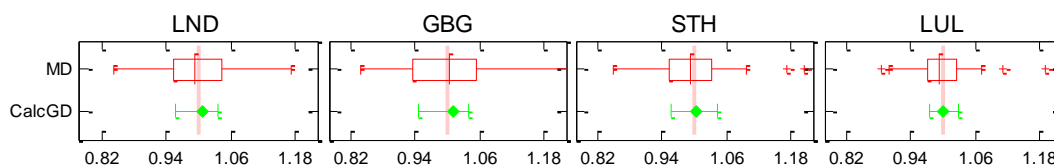
Diagrammen i detta avsnitt innehåller två olika sorters grafer, dels ett rött lådagram, dels en fylld grön romb med felstaplar. Lådagrammet är detsamma, som förekommer tidigare i rapporten. Den gröna romben anger medianen för serien, K_a . Felstaplarna anger ett 80 % -igt konfidensintervall. 20 % av värdena ligger utanför intervallet: 10 % under och 10 % över. Den vertikala bleka röda linjen markerar $K=1$.

Alla diagram av detta slag har samma omfång på x-axeln. Uteliggare, som normalt visas med ett kors i lådagrammet, faller i några fall utanför skalan.

Dessa diagram ger ett positivare intryck beträffande normalårskorrigerings tröfsäkerhet än lådagrammen och andra diagram, som vi redovisat i föregående avsnitt. En orsak är att de gröna graferna här visar 80 % -iga konfidensintervall, vilket innebär att i ett av fem fall faller det korrigerade värdet utanför grafen.

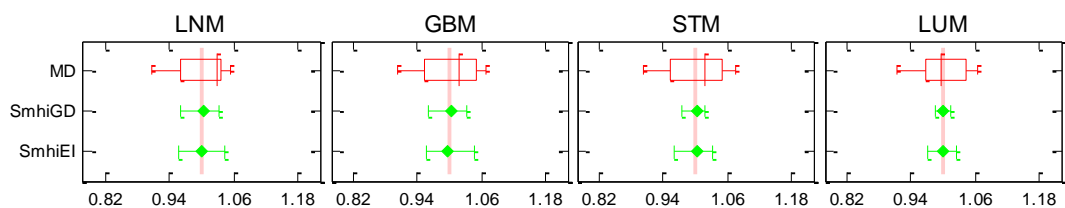
4.2. Byggnadsmodellerna, PH11, PH82 och KH02

Figur 4.1 – Figur 4.6 visar median och konfidensintervall för den relativa normalårskorrigerade energianvändningen för byggnaderna, PH11, PH82 och KH02, i kombination med samtliga väderfiler. Graddagsmetoden visar genomgående bättre resultat än Energi-Index. Resultaten för PH82, som har en bergvärmepump med elektrisk spetsvärme är betydligt sämre än för de två andra byggnaderna. Resultaten för Luleå är märkbart bättre än för orterna i klimatzon 3.

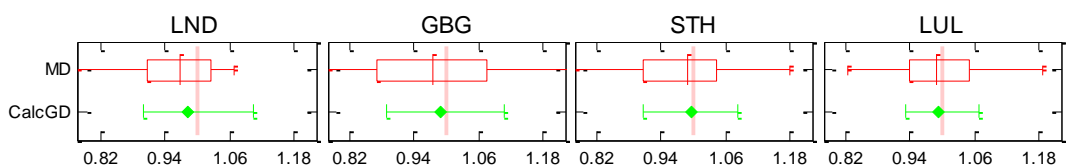


Figur 4.1. Byggnadsmodell: PH11, normaliseringsmetod: CalcGD. Medianen för samtliga orter ligger nära det "sanna" värdet. Konfidensintervallets totala bredd är 10% för orterna i klimatzon 3 och klart mindre för Luleå.

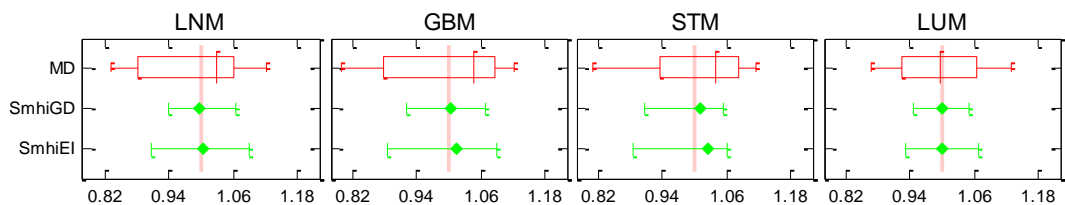
⁶ Valet av 80% beror av de korta serierna av väderfiler; 1 av 23 är drygt 4% och 1 av 10 är 10%



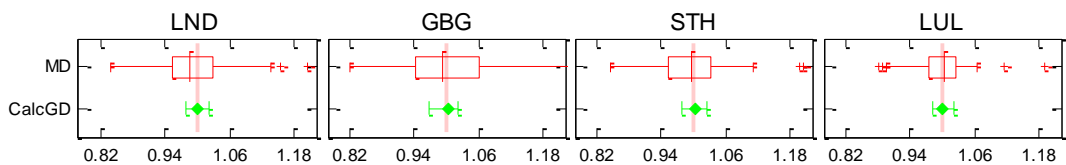
Figur 4.2. Byggnadsmodell: **PH11**, normaliseringsmetod: **SmhiGD** och **SmhiEI**. Väderfiler: **Mesan**. SmhiGD ger för samtliga orter bättre normalårskorrigerig än SmhiEI. För Stockholm och Luleå är skillnaden stor. Mot norr och därmed större antal graddagar avtar konfidensintervallets bredd.



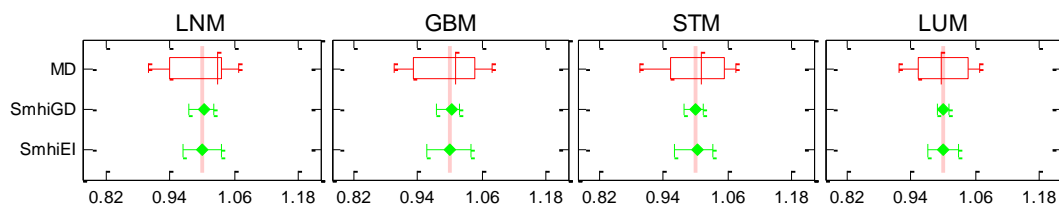
Figur 4.3. Byggnadsmodell: **PH82**, normaliseringsmetod: **CalcGD**. Normalårskorrigerigen för PH82, som har värmepump, är avsevärt mycket sämre än för PH11, som försörjs av fjärrvärme. Konfidensintervallets bredd avtar mot norr.



Figur 4.4. Byggnadsmodell: **PH82**, normaliseringsmetod: **SmhiGD** och **SmhiEI**. Väderfiler: **Mesan**. SmhiGD ger för samtliga orter bättre normalårskorrigerig än SmhiEI.



Figur 4.5. Byggnadsmodell: **KH02**, normaliseringsmetod **CalcGD**. Konfidensintervallets totala bredd är ca 5 % för orterna i klimatzon 3 och aningen mindre för Luleå.

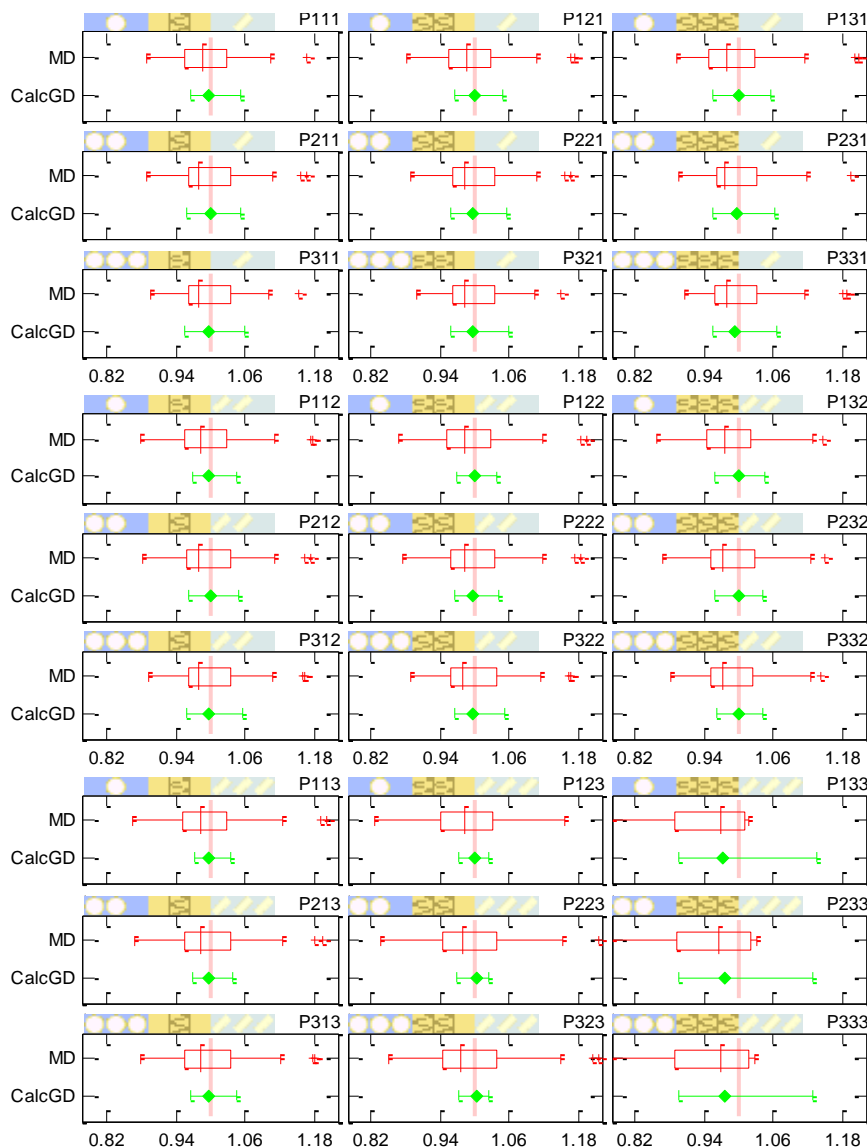


Figur 4.6. Byggnadsmodell: **KH02**, normaliseringsmetod: **SmhiGD** och **SmhiEI**. Väderfiler: **Mesan**. **SmhiGD** ger för samtliga orter bättre normalårskorrigerade än **SmhiEI**.

4.3. Testcellen, TC06

Figur 4.7 – Figur 4.10 visar median och 80 %-igt konfidensintervall för den relativa normalårskorrigerade energianvändningen, $K_a = \{K83, K84, \dots, K05\}$, för testcellen, TC06, och med väderfiler från Lund och Luleå. Motsvarande diagram för Göteborg och Stockholm skiljer inte tillräckligt för att motivera visning.

För Lund ger graddagsmetoden utmärkta värden för medianen (Figur 4.7). Med undantag för de extrema fallen, P133, P233 och P333, ligger medianen mindre än 1 % från det "sanna" värdet. Konfidensintervallets bredd är 10 % eller mindre utom för modellerna P133, P233 och P333. Bäst resultat ger modellerna P123, P223 och P323, d.v.s. modeller med god energistandard och mycket "gratis" internvärme.



Figur 4.7

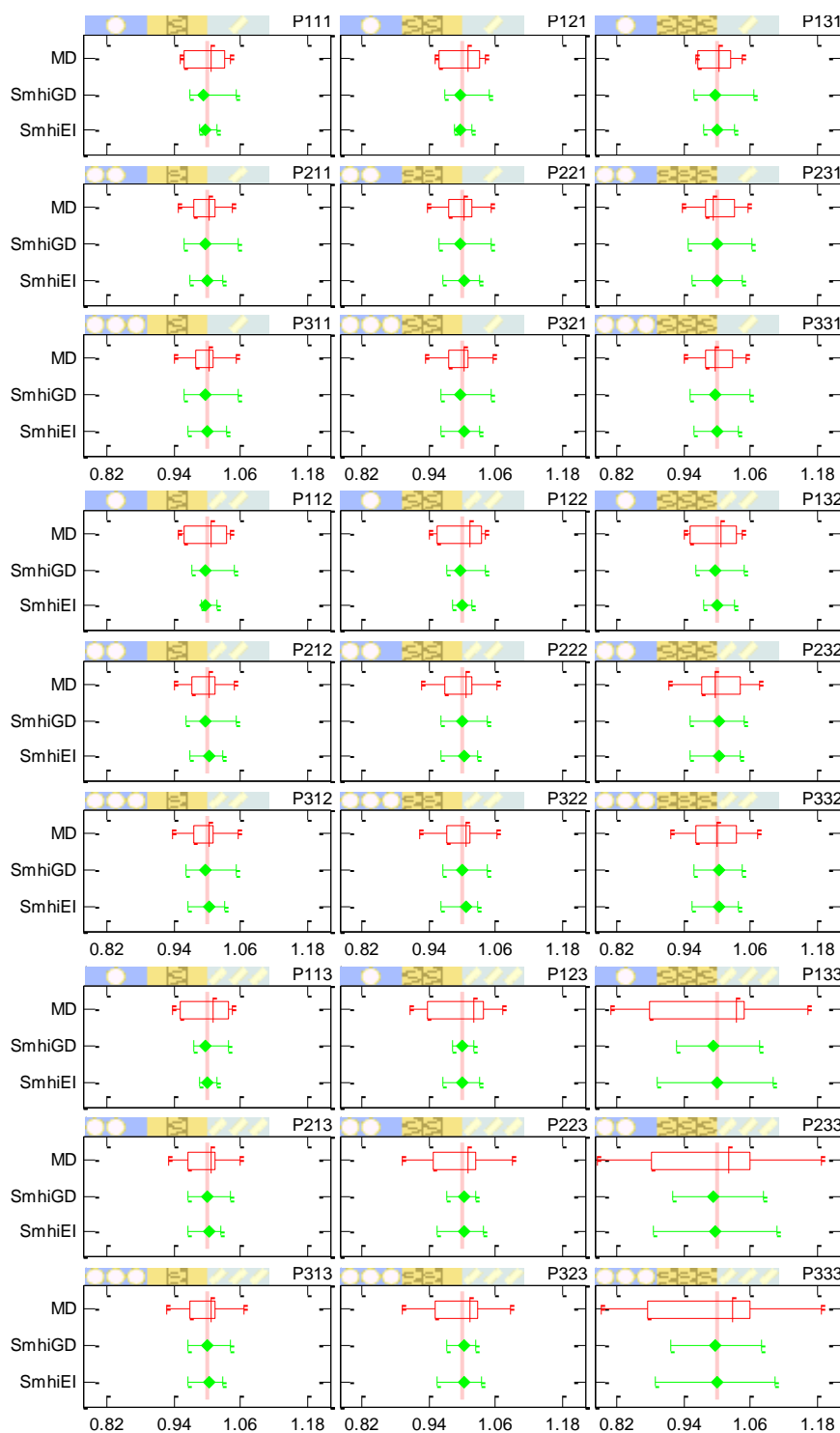
Median och
konfidens-
intervall.

Modell: **TC06**

Väderfiler: **LND**

Metod: **CalcGD**

Lådagrammen
för modellerna
P133, P233 och
P333 saknar ett
antal höga
värden (ute-
liggare), som
faller utanför
skalan.



Figur 4.8
Median och
konfidensinter-
vall för mesan-
väderfiler.

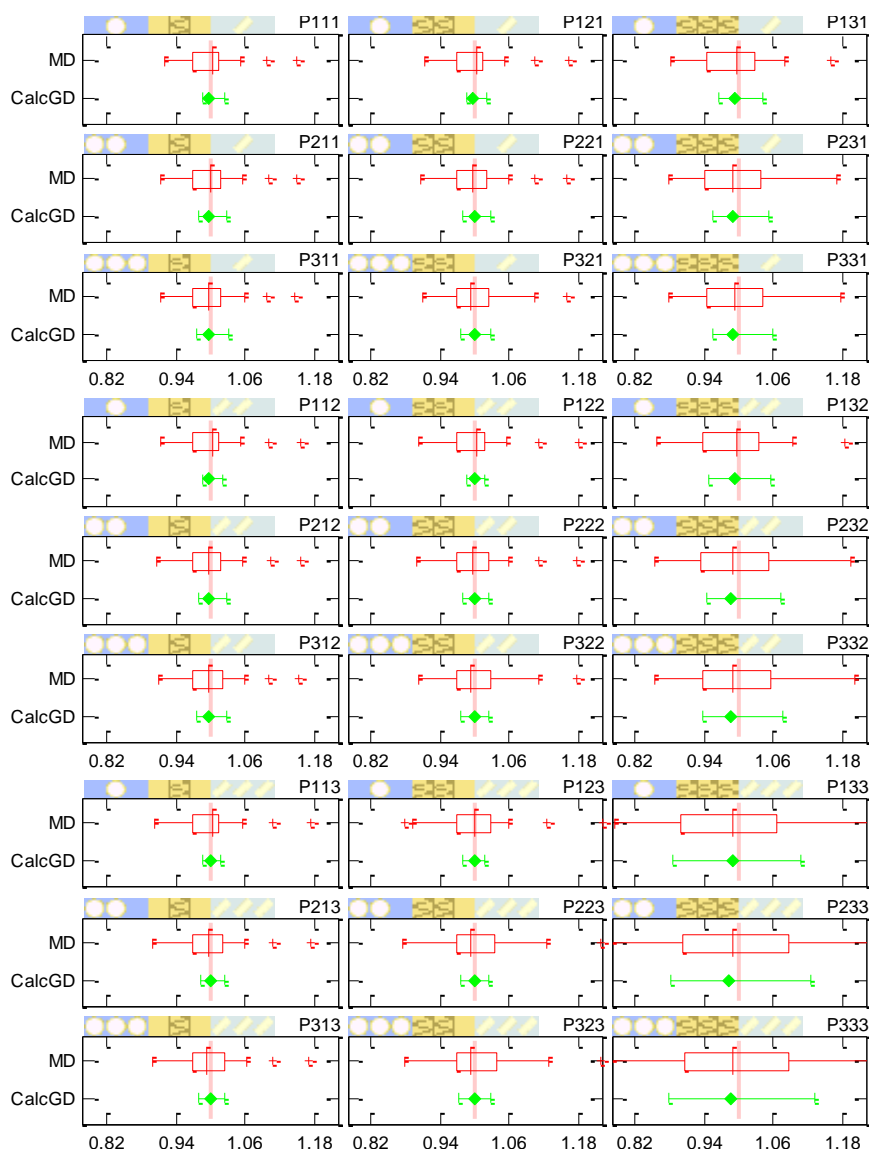
Modell: **TC06**

Väderfiler: **LNM**

Metod:

**SmhiGD &
SmhiEI**

Figur 4.8 ger möjlighet att jämföra träffsäkerheten hos Graddagar och Energi-Index. För två tredjedelar av modellerna ger Energi-Index ett snävare konfidensintervall än Graddagar. För de tre modellerna, P123, P23 och P323, ger Graddagar ett snävare konfidensintervall. För de tre extrema modellerna, P133, P233 och P333 är en jämförelse inte meningsfull.

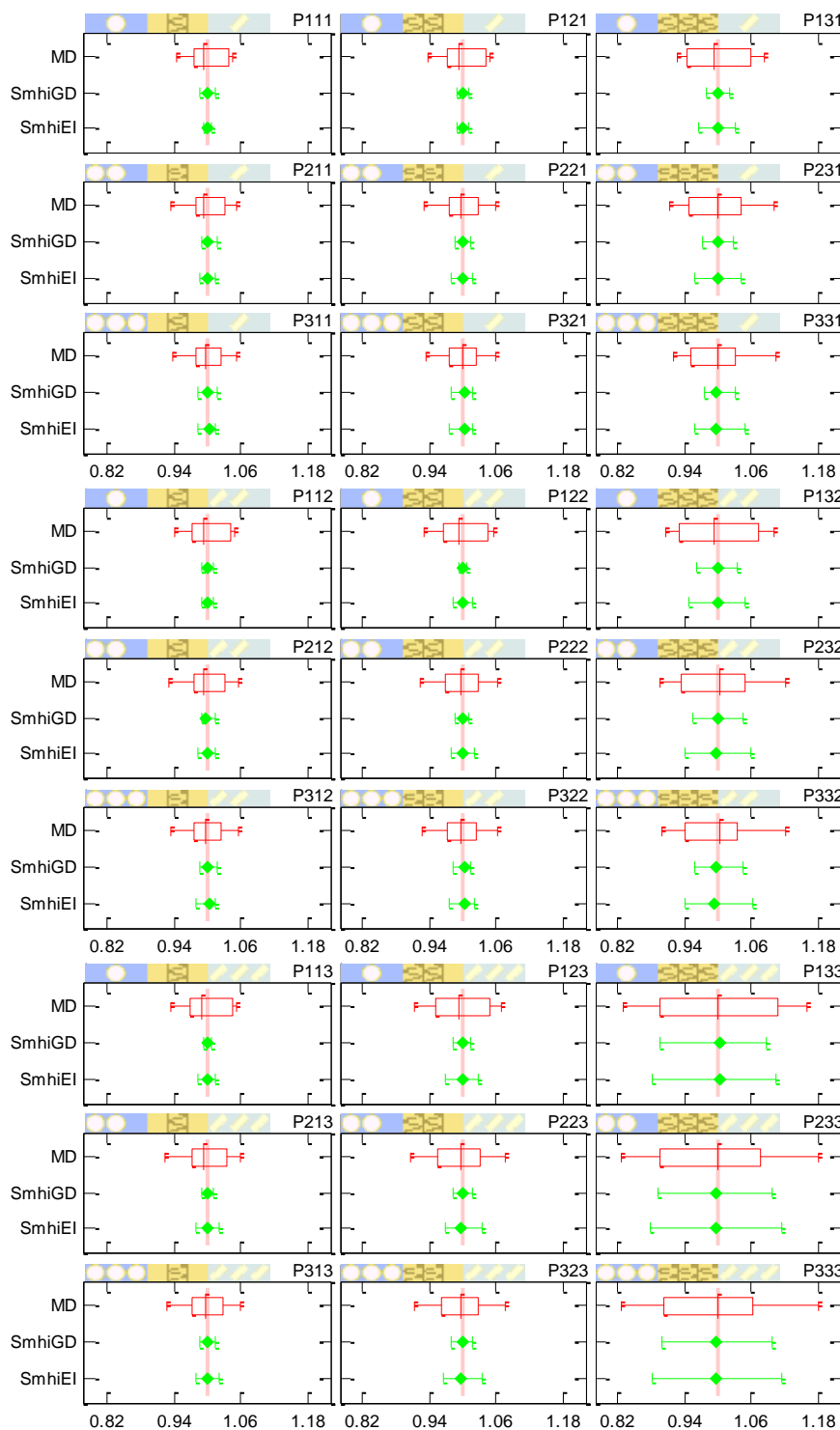


Figur 4.9
Median och
konfidens-
intervall.

Modell: TC06
Väderfiler: LUL
Metod: CalcGD

Även för Luleå ger graddagsmetoden utmärkta värden för medianen (Figur 4.9). Med undantag för de extrema fallen, P133, P233 och P333, och ytterligare någon modell ligger medianen mindre än 1 % från det "sanna" värdet. För knappt två tredjedelar av modellerna är konfidensintervallets bredd 5 % eller mindre. För modellerna med det lägsta värdet för den totala värmeförlustfaktorn är konfidensintervallets bredd större.

Resultatet med mesan-väderfiler för Luleå (Figur 4.10) är genomgående lite bättre än för Lund. Värdena för medianen är utmärkt för samtliga modeller och bägge korrigeringsmetoderna. Skillnaderna beträffande konfidensintervallen är inte stora, men med något undantag är de snävare för Graddagar än för Energi-Index. Detta är tvärtom jämfört med Lund.



Figur 4.10
Median och
konfidensintervall
för mesan-väderfiler.

Modell: **TC06**
Väderfiler: **LUM**
Metod:
SmhiGD & SmhiEI

5. Diskussion

Vi har kört tusentals simuleringar och vi har vänt och vridit på resultaten. Vi har konstruerat och producerat diagram. Vi har testat och granskat våra datorprogram. Men allt finns inte tid och plats för - vi har valt. Det är alldeles för lätt att upptäcka mönster, välja stödjande diagram⁷, och formulera slutsatser. Följande citat har oroat oss konstant:

"The first principle is that you must not fool yourself - and you are the easiest person to fool. ...", Richard Feynman⁸

Vi har verkligen försökt att inte att lura oss själva.

Hur god träffsäkerhet fordras av normalårskorrigerig? Vi inte funnit någon representant för parterna i upphandling av nya fastigheter, som vill formulera krav eller önskemål på metodiken att behandla energiprestanda inom ramen för Boverkets regler. Detta är ett problem för oss i detta projekt. Vi har efterlyst uttalande beträffande

- ✓ Acceptabel storlek på den säkerhetsmarginal, som fordras för att kravet på byggnadens specifika energianvändning säkert ska uppfyllas. (Om inte kostnaden för marginalen är ganska hög så är BBR-kraven för låga.)
- ✓ Acceptabel storlek på risken att underkänna en byggnad med tillräckliga energiprestanda och tvärtom att godkänna en byggnad med otillräckliga prestanda.
- ✓ Betydelsen av att metodiken ger förutsägbarhet, "rättsäkerhet", "robust-mot-manipulering och transparens.
- ✓ Kostnaden för att använda metodiken

Utomhustemperaturen är den enda förklarande variabeln i energisignatur- och graddagsmetoder. Vi får därför inte förvänta oss speciellt bra träffsäkerhet och ju mer energianvändningen beror av andra variabler desto sämre blir träffsäkerheten.

Det är en öppen fråga huruvida det överhuvudtaget är möjligt att konstruera en tillräckligt träffsäker metodik baserad på

- ✓ bestämning av energiprestanda för offert och avtal genom simulering med indata från bygghandlingen och en representativ väderfil
- ✓ normalårskorrigerig med metod, som utnyttjar utomhustemperaturen som den enda förklarande variabeln

Det går inte ge ett svar på denna fråga utan en kravspecifikation.

Vår främsta uppgift är att uttala oss om träffsäkerheten hos SMHI:s metoder för att normalårskorrigera energianvändningen i verkliga byggnader. Våra resultat sätter en nedre gräns; bättre träffsäkerhet kan knappast uppnås i verkliga byggnader. Vi har arbetat med några få idealiserade byggnadsmodeller och befarar att träffsäkerheten är sämre i verkligheten.

5.1. Diskussion av rapportens kapitel

5.1.1. Test med syntetiska mätdata

Det är säkert mer slumpmässiga variationer i mätdata från verkliga byggnader än i våra syntetiska mäta. Vi har använt byggnadsmodeller, som är kraftiga förenklingar av verkligheten och de

⁷ "Cherry picking"

⁸ http://en.wikipedia.org/wiki/Richard_Feynman (läst 2011-09-06)

innehåller ingen form av slump. Modellerna är relativt enkla jämfört med vad, som är möjligt med IDA ICE⁹. Inomhustemperaturen styrs perfekt. Detta bidrar till att våra resultat överskattar träffsäkerheten hos normaliseringsmetoderna.

Obetydliga detaljer kan påverka resultatet. I byggnadsmodellerna bokförs förlusterna från VVC-slingan som uppvärmning. Det var ett rimligt val när modellerna konstruerades, men det medför att under sommarmånaderna – i våra simuleringar – finns ett minsta uppvärmnings behov på en halv W/m², vilket ger 0.4 kWh/ m² under en månad. Detta bidrog till våra problem med att normalårskorrigera månadsvis och att vi övergick till att använda årsvärden av graddagar och energi-index för normalårskorrigeringen. Ett alternativ är att hänföra VVC-förluster till uppvärmning endast då det finns behov för uppvärmning.

5.1.2. Resultat från parameterstudie

Parameterstudiens roll i denna rapport är att främst att jämföra SMHI:s två metoder för normalårskorrigerig. (Träffsäkerheten hos metoderna behandlas bättre i kapitel 4. Ett försök till statistisk analys.) Följande punkter är viktiga att hålla i minnet när vi tolkar resultatet:

- ✓ Serierna av mesan-väderfiler kommer från en serie av milda år med begränsad spridning i antalet graddagar. Serierna är inte representativa för Sveriges klimat.
- ✓ Det är stora steg i parametervärdena och energianvändningen spänner över mer än en storleksordning – från 5 till 200 kWh/m².a.
- ✓ En stor relativ avvikelse för en låg energianvändning är bara någon enstaka kWh/m².a.
- ✓ Testcellen är en enkel idealiserad (parameteriserad) modell, som inte är avsedd att representera någon speciell typ av byggnad.

Vårt första intryck av Figur 3.1 – Figur 3.4, som är baserade på mesan-väderfiler och SMHI:s graddagsmetod, är att det knappt är lönt att normalårskorrigera – speciellt inte för Lund och Göteborg. Sedan ser vi att graddagsmetoden fungerar riktigt dåligt för testcellerna med de lägsta värmeförlusterna. Vi stämplar sedan diagrammen med de bästa resultaten med ☺☺☺☺ och ser att korrigeringarna för Luleå är bra, utom för passiv+ varianterna. Vi tycker oss se att för klimatzon 3 är korrigeringarna aningen bättre för modeller med mycket gratisvärme.

Figur 3.5 – Figur 3.8, som är baserade på mesan-väderfiler och SMHI:s Energi-Index, pekar på att energiindex ger lite bättre korrigeringar än graddagar. Bäst är energiindex för modeller med stora värmeförluster och lite gratisvärme. Till sist upptäcker vi att det totala antalet gubbar, ☺, inte särskiljer de två metoderna. Däremot verkar en skillnad vara att graddagar i klimatzon 3 ger bästa korrigeringarna för modeller med god isolering och mycket gratisvärme, och att energiindex är bäst för modeller med dålig isolering och lite gratisvärme.

5.1.3. Resultat från byggnadsmodeller

Figur 3.9 visar aningen bättre korrigeringar för SmhiGD än för SmhiEI på orterna i klimatzon 3 och för Luleå väsentligt bättre. Figur 3.12 visar att detta i stort gäller även för PH82. Figur 3.10 visar att för PH11 korrigerar CalcGD aningen bättre än energisignaturen, ESh. Figur 3.13 visar att för PH82 gäller snarare motsatsen.

5.1.4. Graddagar

Normalårets antal graddagar, som ingår i SMHI:s produkter, är baserade på en trettioårsperiod, som för närvarande (2011) är 1971-2000. Graddagsmetoden bygger på att en byggnads väderberoende energianvändning, QN, under normalåret och är proportionell mot normalårets antal graddagar.

⁹ Men självklart ska man börja med enkla modeller.

$$QN = UA \times GDN$$

där UA är byggnadens totala väderberoende förlustfaktor. Energianvändningen, QN och UA är okända. Antalet graddagar, GDN, har SMHI fastlagt genom mätningar. Normalårskorrigerings syfte är att uppskatta energianvändningens, QN, värde. För ett enstaka år har vi

$$Qa = UA \times GDa + \epsilon$$

där Qa och GDa är energianvändning och antal graddagar för året ifråga och där ϵ är ett fel. Vi normalårskorrigerar

$$QKa = GDN / GDa \times Qa$$

Dessa tre ekvationer ger

$$QN = QKa + \epsilon_1$$

där

$$\epsilon_1 = - GDN / GDa \times \epsilon$$

Vår främsta uppgift i detta projekt är att beskriva egenskaperna hos detta fel. När vi inledde arbetet förutsatte vi att dessa egenskaper inte beror av valet av normalår och därför kan försummas. Vi antog att ett normalår baserat på perioden 1983-2005 och ett annat baserat på perioden 1999-2008 skulle ge samstämmiga beskrivningar av felets egenskaper. Det var ett misstag. Vi valde att låta varje år i serien av tjugotre år spela rollen som normalår. Vi medger att det är extremt, men effekten är också dramatisk. Det återstår därför att göra om övningen med mer rimliga normalår. Vi behöver en uppsättning normalår, som är baserade på långa serier av år. Ett sätt att använda de tjugotre år långa serierna från solmätstationerna är att successivt utesluta tre år långa delserier och bilda normalår av de övriga år. Det ger tjugo olika normalår. Kanske ska delserierna vara längre än tre år. Det bör dock vara på varandra följande år eftersom man därmed tar hänsyn till att olika "slags" år tenderar att komma i grupp.

5.1.5. Resultat

Konfidensintervallens bredd i figurerna är lite optimistiska. Av praktiska skäl har vi antagit att energianvändningen under de enstaka åren är oberoende av varandra. Eftersom det finns ett minne i klimatet är detta är en förenkling. Kalla år tenderar att följas av kalla och varma år av varma. Hänsyn till denna korrelation skulle något öka intervallens bredd.

Inför starten av detta projekt antog vi att Energi-Index skulle ge bättre korrigeringar än Graddagar. Tvärtemot visar SMHI:s Graddagar smalare konfidensintervall än Energi-Index för samtliga byggnader på samtliga orter. Skillnaden ökar mot norr och är mest uttalad för Luleå. Skillnaden är störst för kontorsbyggnaden, KH02. Testcellen, TC06, ger en ledtråd till orsaken (se Figur 4.8 och Figur 4.10). Jämfört med Graddagar har Energi-Index här snävare konfidensintervall för fall med större värmeförlustfaktor, mindre gratisvärme och färre antal graddagar. Förklaringen ska sökas i modellen, som genererar data för Energi-Index. En annan orsak till det lite oväntade resultatet är möjligtvis att graddags-metoden anpassats till energisnålare byggnader efter oljeembargot på 1970-talet.

I rapporten, Degree-days: theory and application (CIBSE, 2006), ekv. 3.17 och 3.18, ges ett generellt samband mellan relativa onoggrannheten hos en graddagsmetod och antalet graddagar; onoggrannheten avtar med ökande antal graddagar. Detta samband är härlett ur resultat från simuleringar med byggnadsmodeller och serier av väderfiler i en studie som liknar vår (Day and Karayiannis, 1999). Det eleganta sambandet i CIBSE-rapporten bidrog till vårt försök till statistisk analys. Vi lyckades inte hitta ett liknande samband i våra simuleringar, men det faktum att

SMHI:s Graddagar ger bästa resultatet för Luleå är i kvalitativt överensstämmelse med CIBSE-rapportens samband.

5.2. Hur träffsäker är normalårskorrigeringen?

Det bästa underlaget för att besvara den frågan finns i kapitel 4. SMHI:s Graddagar ger bättre resultat än Energi-Index och vår energisignatur-metod, ESh, för samtliga tre byggnader och för samtliga orter. Vi har valt att ange onoggrannheten med ett 80%-igt konfidensintervall. Det betyder att i genomsnitt kommer normalårskorrigeringen för 20 % av åren ge värden utanför intervallet: 10 % under och 10 % över. För klimatzon 3 är vår uppskattning av detta konfidensintervall för SMHI:s Graddagar

Bostadshus med fjärrvärme	PH11	± 6 %
Bostadshus med värmepump	PH82	± 10 %
Kontorshus med fjärrvärme	KH02	± 3 %

För Luleå, klimatzon 1, är konfidensintervallen snävare. Parameterstudien med testcellen, TC06, visar att för passivhus där gratisvärmens spelar en större roll är konfidensintervallen väsentligt större – i procent räknat.

Hur översätter man dessa konfidensintervall till verkligheten? Konfidensintervallen för verkliga byggnader har säkert större bredd, men hur mycket större? Vi har inga definitiva svar, men några synpunkter ska vi ge. Variationen mellan åren i serierna av väderfiler från solmätstationerna avspeglar sig direkt i konfidensintervallens bredd. Vi har inte utrett hur väl dessa serier fångar in hela variationen i klimatet. Våra tio år långa serier av mesan-väderfiler gör det definitivt inte.

Skillnaden mellan konfidensintervallen för de olika byggnaderna är stor. För de två bostadshusen är de väderberoende värmeförlusterna lika stora och den normalårskorrigerade energianvändningens spridningen är ungefär lika stor. Skillnaden mellan deras konfidensintervall beror främst på att värmepumpen levererar samma värmemängd till själva byggnaden, men använder mindre köpt energi. Kontorshuset, KH02, uppvisar ett hälften så stort konfidensintervall som bostadshuset, PH11. Bägge har fjärrvärme och energianvändningen är ungefär lika stor i bägge byggnaderna. Bostadshuset är en tyngre konstruktion med större kapacitet att lagra värme. Det är dessutom större skillnad mellan dess börvärden för värme och kyla, (21, 24 °C), än i kontorshuset, (21, 23 °C). I bostadshuset sker vädring, som är styrd av utomhustemperaturen så att vädringsförlusterna har en topp vid 10 °C ute. Detta introducerar en liten olinjäritet. I kontorshuset sammanfaller en stor del gratisvärmens med stora ventilationsförluster under arbetstid.

Mycket av vad som sker i byggnader i verkligheten finns det ingen motsvarighet till i våra modeller. Somligt av detta måste vi räkna med att det stör normalårskorrigeringen. Den stora skillnaden mellan byggnaderna, PH11 och KH02, är en varning. I bostadshusen, PH11 och PH82, ger hyresgästelen en konstant gratis värmeeffekt, medan varken varmvatten eller fastighetsel ger gratisvärme. PI-regleringen i modellerna fungerar mycket väl; inomhustemperaturen är praktiskt taget lika med börvärdet när värme tillförs aktivt. Skulle normalårskorrigeringen påverkas av en mer realistisk fördelning av gratisvärme och inomhustemperatur? Verkliga bostads- och kontorsbyggnader har sannolikt påtagligt större konfidensintervall än de vi redovisar här för respektive byggnadsmodeller. Vi behöver komplettera de enkla modeller, som vi använt, med mer realistiska modeller. Vi har gjort ett försök att uppskatta hur stor säkerhetsmarginal, som fordras vid projekteringen av bostadshuset, PH11 (se avsnitt 10.4 i originalrapporten¹⁰). Vi har ansatt måttliga bidrag (underskattningar?) till säkerhetsmarginalen för simulering och byggande är och

¹⁰ Att välja säkerhetsmarginal diskuteras utförligare i kapitel 10 i originalrapporten. Isakson P och Carling P, 2012, *Normalisering av byggnadens energianvändning*, Sveby 12-01-30.

likväl gav "räkneexemplet" hela 11 kWh/m².a. Vi har resonerat om det rimliga i denna siffra och kan bara konstatera att vi är mycket osäkra. Fordras verkligen så stora säkerhetsmarginaler?

Vår uppskattning av säkerhetsmarginalens storlek förutsätter att det finns en väderfil, som representerar normalåret för orten där byggnaden uppförs.

5.2.1. Jämförelse med Schulz (2003)

Schulz (2003) redovisar en jämförelse mellan träffsäkerheten hos normalårskorrigerad SMHI:s Graddagar och en speciell energi-signatur-metod (Kroon, 1983). Studien baseras på uppmätta månadsvärden av energianvändning för sammanlagt 36 byggnader och sex år. Schulz skriver:

Två metoder för normalårskorrigerad har utvärderats; korrigerad med hjälp av graddagar (GD) samt med hjälp av energisignatur eller effektsignatur (ES). Metoderna har tillämpats på ett antal flerbostadshus och lokalbyggnader i olika delar av landet. Husen är belägna i Göteborg, Stockholm och Luleå. Husen är fjärrvärmeanslutna och den registrerade, månatliga och okorrigerade fjärrvärmeanvändningen under åren 1996-2001 har normalårskorrigerats med hjälp av de två metoderna. För vissa av byggnaderna fanns dock energistatistik först från och med 1997 eller 1998.

Husen har valts i möjligaste mån så att inga åtgärder, utbyggnader eller ombyggnader har utförts i någon enskild byggnad under den aktuella perioden. En viss spridning med avseende på följande byggnadsfaktorer var önskvärd men ej ett krav i urvalet, se även [...]

Sex år är en ganska kort period för att bedöma träffsäkerheten hos en metod för normalårskorrigerad. Byggnaderna är jämförbara med våra modeller, PH11 och KH02. Vi har inte gjort en separat analys med våra syntetiska mätvärden för dessa sex år. Schulz summerar sitt resultat beträffande årsvärden med:

Under den aktuella tidsperioden är skillnaden i de korrigerade årsvärdena jämfört med 1996 som mest av storleksordningen $\pm 10-15\%$ för såväl bostäder som lokaler i Göteborg, Stockholm och Luleå. I vissa fall är avvikelserna större men de båda metoderna följer dock varandra, om energianvändningen av någon anledning förändras korrigerar de båda metoderna lika mycket eller lite.

Detta resultat är rimligt i jämförelse med vårt. Spridningen hos den normalårskorrigerade energianvändningen är större, men inte dramatiskt mycket större. Det vore intressant att göra en noggrannare jämförelse. Schultz summerar till sist med bland andra följande slutsatser:

Det går ej att säga att den ena metoden generellt är bättre än den andra. På årsbasis tycks det inte spela någon roll överhuvudtaget vilken metod som används vid normalårskorrigerad. På månadsbasis kan det relativt sett skilja mycket mellan metoderna samt från år till år. Graddagsmetoden kan dock ibland ge mycket högre värden på den korrigerade energianvändningen än E-signaturmetoden när det är varmare än normalt under vår, sommar och höst. [...]

Schultz första slutsats är att de bägge metoderna, SMHI:s Graddagar och energisignatur (Kroon, 1983), är likvärdiga beträffande träffsäkerheten för normalårskorrigerad. Vi fann att träffsäkerheten hos SMHI:s Graddagar är bättre än energisignatur, ESh, baserad på timvärden, som i sin tur är bättre än ESh baserad på månadsvärden. De rör sig om två olika energi-signatur-metoder och det vore möjligt att jämföra dem i ett experiment med syntetiska mätdata.

Risken att SMHI:s Graddagar ger orimliga korrigeringar av månadsvärden under vår och höst anger Schultz som ett skäl att använda energi-signaturmetoden. Det var den risken som gjorde att

vi först lade in en spärr mot stora korrigeringar och därefter övergick till att använda årsvärden (se avsnitt 2.1).

5.3. Syntetiska mätdata och verkligheten

För att bedöma träffsäkerheten hos normalårskorrigerad av energianvändningen i verkliga byggnader har vi använt syntetiska mätdata, som vi skapat genom simulering. Hur bra gick det? Vi har tydliga resultat för några olika byggnadsmodeller, men vi förmår inte att extrapolera resultaten till verkliga byggnader. Våra resultat får nog uppfattas som nedre gränser; för verkliga byggnader är träffsäkerheten säkert sämre. Den ganska stora skillnaden mellan resultaten för punkthuset, PH11, och kontorshuset, KH02, reser frågan vilka egenskaper hos modellerna, som påverkar träffsäkerheten. Vi är osäkra och frågar oss vilka kritiska egenskaper hos verkliga byggnader, som inte är representerade i modellerna.

5.4. Väderfil för ortens normalår

Boverkets regler för energihushållning i nya byggnader kräver väderfiler, som representerar normalåret på ett urval av orter. Energiprestanda i tidiga skeden av byggprocessen bestäms bäst med en simuleringsberäkning och denna kan inte utföras utan en representativ väderfil. Ett säkert värde för energiprestanda är nödvändigt för offert och avtal. Bristen på lämpliga väderfiler ett stort problem. Ett extra påslag till säkerhetsmarginalen blir i praktiken nödvändigt för att kompensera för osäkerheten beträffande hur väl väderfilen representerar normalåret.

Det finns representativa väderfiler att tillgå för många orter i många länder, men inte för svenska orter. Test Reference Year, TRY, och Typical Meteorological Year, TMY, är två olika typer av sådana väderfiler. En väderfil, som representerar klimatet väl ur alla synvinklar, är en omöjlighet; det går inte att i en enda väderfil få med värmeböljor och köldknäppar samt extremer och medelvärden av solinstrålning, utomhustemperatur och vind på ett verklighetstroget sätt. Detta är nog skälet till att representativa väderfiler aldrig tagits fram för svenska orter. Med de nya byggreglerna är detta skäl inte längre tillräckligt. Vi anser att det ska utvecklas representativa väderfiler, *weather_ref*, och att dessa ska föreskrivas¹¹ i Boverkets regler. Det är inte rimligt att belasta enskilda byggprojekt med att söka och välja representativ väderfil, samt bedöma erforderligt extra påslag till säkerhetsmarginalen. Samhället ska göra det enkelt att följa reglerna. Väderfilen, *weather_ref*, ska inte bakvägen skärpa kravet på byggnadens energiprestanda; den ska inte driva byggnadens utformning mot bättre prestanda än byggreglerna kräver. Det är viktigt att väderfilen, och de indata¹², som används för normalårskorrigeringen, är konsistenta. Däremot är det inte lika viktigt att de verkligen representerar ett normalår baserat på en trettioårs-period. Samhället ställer kravet på energiprestanda och kan ange att detta ska gälla för ett speciellt normalår.

För att skapa representativa väderfiler för Klimat-MESAN (se avsnitt 1.7.2), som har 11 km upplösning för hela Sverige, fordras ett stort mått av automatik. Motsvarigheten till Klimat-MESAN, används den i något annat land för att skapa väderfiler för byggnadssimulering? Det finns en litteratur på området. Algoritmerna för att skapa representativa väderfiler borde inte skilja. Det är antalet "orter" som är utmaningen. Nu finns Klimat-MESAN för ett dussin år med ett par kalla vintrar på slutet. Det borde vara tillräckligt för att pussla ihop representativa väderfiler.

5.5. Energiprestanda i nybyggnadsprocessen

Träffsäkerheten eller snarare bristen på träffsäkerhet i bestämning av BBR:s "lämplig säkerhetsmarginal" är den intressanta storheten. Normalårskorrigerad av den väderberoende energianvändningen är bara en bland flera källor till att en stor säkerhetsmarginal är nödvändig för att inte riskera att byggnaden ska underkännas. Avtalet mellan byggherre och entreprenör ska så

¹¹ EU hittar nog en formulering som möjliggör både energieffektivisering och fri handel med väderdata.

¹² Graddagar eller energi-index

långt möjligt ange hur byggnadens energiprestanda ska fastställas. Idealt ska personen, som utför analysen, inte påverka resultatet genom egna bedömningar. Analysen bör vara enkel att utföra och inte kräva synnerliga expertkunskaper.

6. Slutsatser

6.1. Fortsatt arbete

Det första slutsatsen vi drar av detta arbete är att mycket återstår att göra. Nedan följer ett antal förslag på fortsatt arbete.

6.1.1. Paket av väderdata för energiprestanda

SMHI kan idag tillhandahålla väderfiler och energi-index från Klimat-MESAN. För att hantera kraven på energiprestanda i upphandlingen av en ny byggnad fordras ett paket med väderdata. Formulera ett mål och bedöm möjligheterna att utveckla ett paket av väderdata innehållande

- ✓ Väderfil som representerar normalåret på orten.
- ✓ Väderfil(er) som representerar ortens väder under utvärderingsperioden.
- ✓ Indata för normalårskorrigeringsmetod som representerar normalåret på orten, t.ex. graddagar eller energi-index.
- ✓ Indata för normalårskorrigeringsmetod som representerar ortens väder under utvärderingsperioden, t.ex. graddagar eller energi-index.

Ta fram ett förslag och förankra hos Boverket. Utveckla en komplett väderprodukt för hanteringen av energiprestanda i nybyggnadsprocessen. Den kan vara baserad på SMHI:s Klimat-MESAN.

6.1.2. Specificera Graddagsmetoden

SMHI:s graddags-produkt saknar en exakt specifikation av hur data ska användas för normalårskorrigeringsmetod av den väderberoende energianvändningen. Komplettera graddags-produkten med en specifikation av hur data ska användas.

6.1.3. Normalårskorrigeringsmetod av komfortkyla¹³

Det saknas en metod för normalårskorrigeringsmetod av komfortkyla. En metod som är baserad på energisignatur och väderfiler med timvärden kan fungera. Formulera en kravspecifikation. Utveckla en metod samt implementera en prototyp, som kan hantera energianvändning för både kyla och värme. Värva intresserade att testa prototypen.

6.1.4. Verktyg för att välja säkerhetsmarginal

Boverkets "lämplig säkerhetsmarginal" spelar en central roll för hanteringen av energiprestanda i nybyggnadsprocessen. Hur stor marginal bör väljas? Hur stora kostnader i form dyrare byggnad medför en större marginal? Formulera en kravspecifikation. Utveckla sedan en metod samt implementera en enkel prototyp. Värva intresserade att testa prototypen.

¹³ Originalrapporten omfattar även ett avsnitt om normalårskorrigeringsmetod av komfortkyla, som inte är medtaget i den här sammanfattade versionen. För mer information, se avsnitt 8 i originalrapporten. Isakson P och Carling P, 2012, *Normalisering av byggnadens energianvändning*, Sveby 12-01-30.

6.1.5. Anknyta syntetiska mätdata till verkligheten

Vi har inte förmått att extrapolera våra resultat till verkliga byggnader. Första steget är att formulera ett tydligt mål. Det andra är att söka byggnader med god dokumentation av brukande, drift och energianvändning för de senaste åren. Först därefter kommer att utveckla och experimentera med en serie successivt förfinade byggnadsmodeller för att förstå vilka detaljer som är viktiga för normalårskorrigeringen.

6.1.6. Simulering av energiprestanda i nybyggnadsprocessen

Det är svårt att uppskatta och addera olika bidrag¹⁴ till säkerhetsmarginalen och det är svårt att förstå resultatet och bedöma dess rimlighet. En trolig följd av detta är att beräkningsingenjören inte effektivt förmår kommunicera och försvara säkerhetsmarginalens storlek. En verklighetstrogen simulering av hela processen med möjlighet att inspektera alla delresultat skulle ge mer övertygande resultat.

Ett första steg är att formulera ett tydligt mål och därefter genomföra en kravanalys. Konstruera en prototyp och experimentera med SMHI:s metoder och byggnadsmodellerna, PH11 och KH02.

6.1.7. SMHI:s Graddagar och Energi-index

Denna rapport ger inget tillfredsställande svar beträffande träffsäkerheten hos SMHI:s graddagsprodukter för verkliga byggnader. Ett förslag är att först formulera ett tydligt mål och sedan utforma ett experiment baserat på modeller från förslag 6.1.5. Genomföra studie enligt förslag 6.1.6.

6.1.8. Modellbaserad normalårskorrigerig

Metoder för normalårskorrigerig, vars enda förklarande variabel är utomhustemperaturen¹⁵, kommer inte att räcka till för morgondagens byggnader. Vi bedömer att det finns goda förutsättningar att utveckla en kraftfull metod, som är baserad på modellbaserad normalårskorrigerig.

6.1.9. Normalårskorrigerig för morgondagens byggander

Samhället skärper successivt kraven på nya byggnaders energiprestanda och siktar mot "nära-noll-energi-byggnader". Dagens metoder för normalårskorrigerig kommer inte att räcka till.

Ett förslag på fortsatt arbete är att först formulera ett tydligt mål och därefter genomföra en kravanalys. Konstruera en serie av successivt förfinade simuleringsmodeller av en hypotetisk "nära-noll-energi-byggnad". Använda en av de enklare modellerna i rollen som byggnadsmodell och den mest detaljerade i rollen som byggnad.

6.1.10. Analysera databas från verkliga byggnader

Träffsäkerheten för olika metoder för normalårskorrigeringen borde gå att vaska fram med ur en lämplig energi-databas för ett fastighetsbestånd. Det skulle ge en bättre förankring i verkligheten än vårt arbete med syntetiska mätdata. Det är dock inte alldeles lätt att hitta en lämplig databas. Vi sökte förgäves i början av detta projekt, men fortsatt och målinriktat arbete med stöd av expert på statistik kan ge resultat.

6.1.11. Väderfiler för forskning

För närvarande används typiskt endast några få väderfiler i numeriska experiment med byggnaders energianvändning. Detta beror på kostnaden för licenser och för anpassningen av

¹⁴ Bidragen är stokastiska variabler med dåligt kända fördelningsfunktioner och inbördes beroenden.

¹⁵ T.ex. graddagar och energi-signatur.

filerna till simuleringsprogrammet ifråga. Tillgång till en stor databas av väderfiler skulle ge möjlighet till värdefullare studier.

Förslag är att utreda och formulera ett mål, skapa en användarvänlig databas av samtliga väderfiler från solmätstationerna och ställa den till förfogade för rena vetenskapliga, icke-kommersiella studier.

6.2. Lämpliga säkerhetsmarginaler

En kravspecifikation är nödvändig för att styra det fortsatta arbetet. BBR:s "lämpliga säkerhetsmarginaler" ska vara en central storhet i kravspecifikationen beträffande behandlingen av energiprestanda i nybyggnadsprocessen.

6.3. Väderfiler som representerar normalåret

Osäkerheten i valet av representativ väderfil ger ett stort bidrag till den totala osäkerheten i behandlingen av energiprestanda i nybyggnadsprocessen.

6.4. Byggnadsmodeller och syntetiska mätdata

Vi har arbetat med några få idealiserade byggnadsmodeller och kan inte dra säkra slutsatser beträffande träffsäkerheten hos normalårskorrigerig för verkliga byggnader. Resultaten sätter en nedre gräns; bättre träffsäkerhet kan knappast uppnås i verkliga byggnader.

6.5. Träffsäkerheten hos SMHI:s Graddagar och Energi-Index

Något överraskande uppvisar Graddagar bättre träffsäkerhet än Energi-Index för samtliga tre byggnadsmodeller. Bägge produkterna behöver kompletteras med noggranna föreskrifter för hur de ska användas.

6.6. Energisignatur för uppvärmning och komfortkyla

Det finns några varianter av energisignatur för normalårskorrigerig. Vi har provat en för uppvärmning samt en för komfortkyla¹⁶. Bäst resultat uppnådde vi i bägge fallen med timvärden. För uppvärmning fann vi något sämre träffsäkerhet än den för Graddagar. För komfortkyla bedömer vi att en metod med träffsäkerhet i paritet med den för uppvärmning eller bättre kan utvecklas.

6.7. Lågenergibygnader

Dagens metoder för normalårskorrigerig räcker inte till för lågenergibygnader och ännu mindre för morgondagens "nära-noll-energi-byggnader". Utveckling av en bättre metod bör övervägas.

¹⁶ Originalrapporten omfattar även ett avsnitt om normalårskorrigerig av komfortkyla, som inte är medtaget i den här sammanfattade versionen. För mer information, se avsnitt 8 i originalrapporten. Isakson P och Carling P, 2012, *Normalisering av byggnadens energianvändning*, Sveby 12-01-30.

Referenser

- CIBSE, 2006, *Deegree-days: theory and application*, Report TM41,
<http://www.cibse.org/index.cfm?go=publications.view&item=356> (2012-10-20)
- Day A R and Karayiannis T G, 1999, *Identification of the uncertainties in degreeday based energy estimates*, Building Services Engineering Research and Technology, 20(4) 165–172
- Kroon, S.Å., 1983, *Undersökning av energiförbrukningens utveckling i byggnadsbeståndet, Delrapport 3: Energisignaturen för en byggnad*, Statens institut för byggnadsforskning, Gävle. M83:4. 1983
- Schulz, Linda, 2003, *Normalårskorrigerig av energianvändningen i byggnader – en jämförelse mellan två metoder*. Rapport Effektiv 2003:01. Centrum för Effektiv Energianvändning, c/o SP, Borås, <http://www.aktiv.org/> (2012-01-20)