

Energiprestandaanalys

– avvikelse som kan härledas
till brukare, verksamhet
eller ökat kylbehov

Svebyprogrammet

Version 1.0
2012-10-10

Förord

Energiprestandaanalys är en vägledning för att verifiera om energikrav är uppfyllda. Vägledningen syftar till att vara ett praktiskt verktyg för att analysera om orsak till avvikelse mellan kontrakterad och uppmätt energiprestanda kan härledas till brukare, verksamhet eller ökat kylbehov för ett år med mycket varmt väder.

Vägledningen har tagits fram som ett delprojekt inom Sveby-programmet och har utarbetats med Åsa Wahlström, CIT Energy Management som projektledare tillsammans med Per Levin, Projektengagemang och Bengt Bergsten, CIT Energy Management, och en arbetsgrupp bestående av:

Ingvar Andréasson, Familjebostäder

Kjell Berndtsson, Riksbyggen

Jonas Gräslund, Skanska

Kenneth Haukås, STENA Fastigheter

Kjell-Åke Henriksson, JM

Johnny Kellner, Veidekke

Gunnar Thorén, HSB

Bengt Wånggren, Fastighetsägarna Sverige

Sveby

Sveby betyder "Standardisera och verifiera energiprestanda för byggnader". Sveby är ett utvecklingsprogram som drivs av bygg- och fastighetsbranschen och finansieras av SBUF och CERBOF samt av följande branschrepresentanter: NCC/Bengt Bergqvist, Riksbyggen/Kjell Berndtsson, Stena Fastigheter/ Charlotte Danielsson, Skanska/Jonas Gräslund, JM/Kjell-Åke Henriksson, SABO/ Ulrika Jardfelt, Veidekke/ Johnny Kellner, BKK/Lennart Kjellin, HSB/Mia Torpe, Diligentia/Lars Pellmark, Byggherrarna/Stefan Sandesten, Vasakronan/Anna Denell, Fastighetsägarna/Bengt Wånggren och Stockholm Stad/ Egil Öfverholm. Projektledare är Projektengagemang/ Per Levin. Ordförande i styrgruppen är Fastighetsägarna/Bengt Wånggren.

Projektet har förankrats i branschen genom en referensgrupp med representanter från bland annat fastighetsägare, byggherrar, entreprenörer, konsulter, myndigheter, m.m. Vägledningen har därefter behandlats och fastställts av Sveby styrgrupp.

Projektet har finansierats av CERBOF, SBUF och deltagarna i styr- och arbetsgrupp.

Ett stort tack till alla som har bidragit till arbetet.

Göteborg i oktober 2010

Åsa Wahlström, Bengt Bergsten och Per Levin

Rapporten är uppdaterad med avseende på BBR 19 och harmoniserad med övriga Sveby-rapporter.

Augusti 2012

Åsa Wahlström och Per Levin

Sammanfattning

En ny version av Boverkets Byggregler (BBR) med ett nytt sätt att ställa energikrav på byggnader trädde i kraft i juli 2006. Byggreglerna ställer funktionskrav på energiprestanda och att energiprestanda verifieras med mätning inom 24 månader efter att byggnaden tagits i bruk. Vidare ger BBR möjlighet att korrigera energiprestanda för vissa avvikelser som varken byggherre eller entreprenör råder över och att redovisa dessa korrigeringar i en särskild utredning.

Syfte

Föreliggande vägledning beskriver hur energikrav kan verifieras genom att stegvis undersöka om en byggnad uppfyller ställda krav på energiprestanda. I undersökningen tas hänsyn till om orsak till avvikelser kan härledas till brukare, verksamhet eller ökat kylbehov för ett år med mycket varmt väder.

Syfte är att undvika framtida konfliktsituationer mellan byggherre och entreprenör vid verifiering av energiprestanda. Syftet är också att ta fram underlag till den särskilda utredningen som enligt Boverkets byggregler ska redovisas vid korrigering av energiprestanda.

Verifiering av energikrav

Vägledningen beskriver hur samstämmighet mellan kontrakterad och uppmätt energiprestanda systematiskt skall analyseras i tre steg:

- Steg 1** Här beräknas korrigerad uppmätt energiprestanda för uppvärmning, tappvarmvattenanvändning, komfortkyla och driftel. Korrigering görs för normalår för uppvärmning, tappvattenanvändning utöver Svebys standardiserade användning och utökat luftflöde i lokaler. Energitrav verifieras eller en avvikelse noteras.
- Steg 2** Här görs en översiktlig analys för att indikera orsak till avvikelse.
- Steg 3** Här beskrivs hur en mer noggrann avvikelseanalys genomförs för att härleda avvikelse till brukare, verksamhet eller ökat kylbehov under ett år med mycket varmt väder.

Som en hjälp i steg 2 presenteras beräkningsexempel för ett flerbostadshus och för ett vanligt kontor för att indikera hur stora avvikelser som kan orsakas av brukare, verksamhet eller ökat kylbehov under ett år med mycket varmt väder. Observera att det endast är exempel som inte bör generaliseras för andra kategorier av byggnader eller för lågenergibygnader.

Exemplet flerbostadshus

Exemplet visar att byggnadens nyttjandegrad har liten påverkan på energiprestanda. Förklaringen är att en minskad energianvändning för tappvarmvatten i stort kompenseras av en ökad värmeenergi på grund av mindre internvärmestillskott. Verifiering av energiprestanda är därmed relativt okänslig för om byggnaden har boende i alla lägenheter.

Vidare visar brukarnas beteende en begränsad påverkan på byggnadens energiprestanda. Främst är det en högre tappvarmvattenanvändning, inomhustemperatur, hushållselsanvändning och vädring som kan påverka. Tappvarmvattenanvändning är relativt enkelt att påvisa genom mätningar medan vädring är mycket svår att påvisa.

Kontinuerlig loggning av inomhustemperatur i ett antal representativa lägenheter eller av frånluftens temperatur kan anses vara en kostnadseffektiv information vid verifiering av energiprestanda.

Exemplet kontor

På samma sätt som för flerbostadshuset visar kontorsexemplet att byggnadens nyttjandegrad har liten påverkan på energiprestanda. Förklaringen är att en ökning av värmeenergi i stort sett kompenseras av minskning i kylenergi, varmvattenenergi och driftel (fastighetsel). Verifiering av energiprestanda är därmed relativt okänslig för om byggnaden har brukare i alla kontorsrum.

Vidare visar kontorsexemplet att förändring av verksamheten har mycket begränsad inverkan på energiprestanda. Ökning av värmeenergi kompenseras i stort sett av minskning i kylenergi, varmvattenenergi och driftel och vice versa. Den totala energianvändningen påverkas dock (dvs inklusive verksamhetsel).

Den största orsaken till ökad energianvändning i exemplet är om mätningar vid verifiering sker under ett år med mycket varmt väder. Här skulle en bra korrigeringsmetod för normalår avseende kylbehov liknande normalårskorrigeringsmetod som finns på värmesidan vara till stor hjälp.

Lågenergibyggnader

För en lågenergibyggnad (energiprestanda som är 50 % bättre än krav i BBR) blir marginalerna betydligt mindre och det blir än mer viktigt att verifiera påverkan på energiprestanda som kan härledas till brukare, verksamhet eller ökat kylbehov vid mycket varmt väder.

Innehåll

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Inledning | 5 |
| 1.1 | Boverkets byggregler | 5 |
| 1.2 | Problemställning | 5 |
| 1.3 | Syfte | 7 |
| 1.4 | Avgränsningar | 7 |
| 1.5 | Läsanvisning | 7 |
| 1.6 | Nomenklatur och förkortningar | 8 |
| 2 | Orsaker till avvikelser som det är möjligt att råda över | 9 |
| 2.1 | Beräkning | 9 |
| 2.2 | Byggprocessen | 10 |
| 2.3 | Mätning | 10 |
| 3 | Verifiering av energikrav | 11 |
| 3.1 | Metod och förutsättningar | 11 |
| 3.2 | Steg 1: Korrigerad uppmätt energiprestanda | 11 |
| 3.3 | Steg 2: Indikering av orsak till avvikelse | 14 |
| 3.4 | Steg 3: Verifiering av orsak till avvikelse | 17 |
| 4 | Känslighetsanalys | 19 |
| 4.1 | Beräkningar för bostäder | 19 |
| 4.2 | Beräkningar för lokaler | 21 |
| 5 | Diskussion | 26 |
| | Bilaga 1: Beskrivning av exempelbyggnad flerbostadshus | 28 |
| | Bilaga 2: Beskrivning av exempelbyggnad kontorshus | 29 |

1 Inledning

1.1 Boverkets byggregler

En ny reviderad upplaga av Boverkets Byggregler (BBR) med ett nytt sätt att ställa energikrav på byggnader trädde i kraft 2006-07-01. De innebär att nya byggnader bör energiberäknas för att visa att byggnadens energiprestanda (specifik energianvändning) möter kraven i BBR. Energiprestanda verifieras med mätning inom 24 månader efter att byggnaden tagits i bruk. Detta är en stor förändring jämfört med tidigare byggregler eftersom kraven nu är ett funktionskrav på energianvändning. Ytterligare reviderade upplagor av Boverkets Byggregler har trätt i kraft sedan dess, bl.a. med skärpta krav på energiprestanda för eluppvärmda byggnader, förtydligande av begrepp samt skärpning av kravnivåer. Föreliggande vägledning hänvisar till kap 9 i BBR 19.

1.1.1 Korrigering för avvikelser från normalt brukande

Boverkets byggregler beskriver i ett allmänt råd att energiprestanda bör verifieras dels genom beräkning av byggnadens förväntade energiprestanda vid projektering, dels genom mätning i den färdiga byggnaden. *"Byggnadens energianvändning bör mätas under en sammanhängande 12-månadersperiod, avslutad senast 24 månader efter det att byggnaden tagits i bruk"*.

Boverkets byggregler beskriver i ett allmänt råd för bostäder att beräkningar vid projektering bör utgå från normalt brukande enligt: *"Beräkningar bör utföras med utgångspunkt i ortens klimat, avsedd innetemperatur, normalt brukande av tappvarmvatten och vädring"*. Vidare beskrivs att korrigeringar från projekterat (normalt) brukande kan redovisas i en särskild utredning: *"Normalårskorrigering och eventuell korrigering för avvikelse från projekterat brukande av byggnaden (innetemperatur, tappvarmvattenanvändning, vädring och dylikt) bör redovisas i en särskild utredning"*.

På motsvarande sätt beskrivs för lokaler att: *"Beräkningar bör utföras med utgångspunkt i ortens klimat, avsedd innetemperatur, normalt brukande av tappvarmvatten, vädring och värmestillskott från processer i lokalen"* och att *"Normalårskorrigering och eventuell korrigering för avvikelse från projekterat brukande av byggnaden (innetemperatur, tappvarmvattenanvändning, vädring, värmestillskott från processer i lokalen och dylikt) bör redovisas i en särskild utredning"*. Dessutom tar kravet på energiprestanda för lokaler hänsyn till om ett uteluftsflöde är utökat på grund av hygieniska skäl.

Föreliggande vägledning utgår ifrån att *projekterat brukande* som beskrivs i Boverkets byggregler motsvarar ett standardiserat brukande som ska motsvara ett normalt brukande. Om inte annat avtalats i kontrakt mellan byggherre och entreprenör gäller standardiserat brukande som beskrivs i Sveby Brukarindata bostäder och Sveby Brukarindata kontor.

1.1.2 Framtida byggregler

I det nyligen reviderade direktivet om byggnaders energiprestanda (2010/31/EU) finns krav på att "nära nollenergibyggnader" skall vara nybyggnadskrav för alla offentliga byggnader från 1 januari 2019 och för alla byggnader från 1 januari 2021. Definitionen på "nära nollenergibyggnader" bestäms nationellt för varje medlemsstat. I och med revideringen av direktivet kan vi förvänta oss att energikrav i Boverkets byggregler kommer att skäras framöver. Därmed blir det allt viktigare att projektera och bygga rätt, vilket i sin tur innebär att brukarnas påverkan på energiprestanda blir större i relativ bemärkelse.

1.2 Problemställning

En jämförelse mellan uppmätt och kontrakterad energiprestanda kommer i de allra flesta fall inte att stämma överens. Oavsett om uppmätt energiprestanda stämmer överens, är lägre eller högre än kontrakterad energiprestanda, så behöver en analys göras för att indikera vad skillnaden beror på.

En uppmätt energianvändning som är högre än kontrakterad kan orsakas av att brukaren använder byggnaden på ett sätt som inte förutsågs vid beställning och projektering. Till exempel när det gäller byggnadens boendegrad/användningsgrad, användning av

hushållsel/verksamhetsel, brukarens styrning av inomhustemperatur, antalet brukare, brukarnas vädringsvanor eller ett utomhusklimat som normalårskorrigerat inte tillräckligt kompenserar för. Dessa orsaker är entreprenör eller byggherre inte rådig över.

En uppmätt energianvändning som är högre än kontrakterad kan också bero på att utförda energiberäkningar inte efterliknar verkligheten i tillräcklig omfattning, eller att mätnoggrannheten på uppmätt energiprestanda inte är tillräcklig. Vidare kan hög energianvändning bero på att byggnadens klimatskärm eller installationer inte har den prestanda som behövs för att klara kravet. Dessa orsaker kan entreprenör eller byggherre råda över. För att säkerställa att krav på energiprestanda uppnås behövs en tydlig vägledning för att undvika avvikelser som entreprenör och byggherre är rådig över. En del av denna vägledning behandlas huvudsakligen i Sveby Energiverifikat – uppföljning av energikrav under byggprocessen.

En uppmätt energianvändning som stämmer överens eller är lägre än kontrakterad kan även den orsakas av att brukaren använder byggnaden på ett sätt som inte förutsågs vid beställning och projektering. Till exempel när det gäller byggnadens boendegrad/användningsgrad, användning av hushållsel/verksamhetsel, brukarens styrning av inomhustemperatur, antalet brukare, brukarnas vädringsvanor eller ett utomhusklimat som normalårskorrigerat inte tillräckligt kompenserar för. Här behöver en analys genomföras för att verifiera att krav på:

- kontrakterad energiprestanda även kommer att uppfyllas om brukaranvändning ändras till den som specificerats vid kontraktering,
- energiprestanda enligt Boverkets byggregler även kommer att uppfyllas om brukaranvändning ändras till standardiserat brukande.

Därutöver behövs en vägledning för att verifiera om energikrav är uppfyllda innehållande en analys av om i vilken mån det finns en avvikelse som varken entreprenör eller byggherre är rådig över, dvs om orsak till avvikelse kan härledas till brukare, verksamhet eller ökat kylbehov vid mycket varmt väder. Vägledningen behövs för att beskriva hur avvikelse mellan kontrakterad och uppmätt energiprestanda systematiskt skall analyseras, dels för att på ett relativt enkelt sätt indikera vad skillnaden beror på, dels för att översiktligt beskriva hur en mer noggrann analys kan genomföras. Målsättningen är att undvika onödiga tvister mellan byggherre och entreprenör.

I figur 1.1 visas en problemkarta över möjliga orsaker till avvikelser mellan kontrakterad och uppmätt energiprestanda, där de orsaker som tas upp i denna vägledning rödmärkats.

| Projektering/Beräkning | Uppförande/besiktning | Drift/mätning (12-24 mån) |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Osäkra indata • Handhavandefel <ol style="list-style-type: none"> Inmatning Fel värde Kunskapsbrist • Klimatfil <ol style="list-style-type: none"> Det finns idag ingen standard för klimatfiler • Brister i beräkningsprogram <ol style="list-style-type: none"> Själva programmen som helhet Saknar ev. funktioner • Dokumentation/Energiverifikat <ol style="list-style-type: none"> Indata/förutsättningar och resultat inkl. delresultat för reviderade energiberäkningar. Behandlas huvudsakligen i Sveby Energiverifikat | <ul style="list-style-type: none"> • Tekniskt utförande avviker som är svårt att mäta/kvantifiera T.ex isolering i fasad eller bottenplatta • Tekniskt utförande avviker som kan mätas men är svårt att härleda till energianvändning T.ex täthet/infiltration; går att mäta men beräkning av infiltration osäker • Mätning och kontroll vid besiktning. Behandlas huvudsakligen i Sveby Energiverifikat mäthandledning • Dokumentation/Energiverifikat Resultat från besiktning, kontroll och reviderade energiberäkningar. Behandlas huvudsakligen i Sveby Energiverifikat | <ul style="list-style-type: none"> • Identifiering av delavvikelsers storlek. <ol style="list-style-type: none"> Mätning Beräkning Bedömning • Korrigerat av avvikelser Behandlas delvis i Sveby Måtföreskrifter • Typ av avvikelse (orsak) (Rådighet/Ej Rådighet) <ol style="list-style-type: none"> Teknisk lösning ändrad (R) Tekniskt utförande (R) Måtfel Verksamhetsrelaterat (Ej R) Klimatfil≠aktuellt år≠normalår (Ej R) • Dokumentation/Energiverifikat <ol style="list-style-type: none"> Hur helt arbetet som genomförts, från "ax till limpa", bör dokumenteras. Behandlas huvudsakligen i Sveby Energiverifikat och Energiavtal. |

Figur 1.1 Problemkarta där rödmärkade orsaker till avvikelse är de som studeras i denna vägledning vid verifiering av energiprestanda.

1.3 Syfte

Projektets syfte är att undvika framtida konfliktsituationer mellan byggherre och entreprenör genom att ta fram en vägledning för verifiering av energikrav. En vägledning som så långt som möjligt länkar samman resultat från faktisk uppmätt till kontrakterad energiprestanda. Kontrakterad energiprestanda behandlas på samma sätt oavsett om kravet är gränsvärde enligt BBR eller ett lägre värde som avtalats till exempel enligt Sveby Energiavtal.

För att undvika avvikelser som byggherre och entreprenör kan råda över ska vägledningen ta höjd för kända brister vid beräkning och mätning och för kvalitetssäkring i byggprocessen.

Vägledningen ska därefter indikera om avvikelsen beror på orsaker som entreprenör och byggherre inte kan råda över, dvs. om orsak till avvikelse kan härledas till brukare, verksamhet eller ökat kylbehov under ett år med mycket varmt väder. Syftet är att beskriva hur en avvikelse mellan kontrakterad och uppmätt energiprestanda systematiskt skall analyseras. Vägledningen bör här vara ett praktiskt verktyg för att relativt snabbt indikera orsak. Därefter ska vägledningen översiktligt beskriva hur en mer noggrann analys genomförs.

En målsättning med verifiering av energikrav är att ta fram underlag till den särskilda utredningen som enligt Boverkets byggregler ska redovisas vid korrigerings av energiprestanda för avvikelser som kan härledas till brukare, verksamhet eller ökat kylbehov för ett år med mycket varmt väder.

1.4 Avgränsningar

Vid framtagande av vägledningen förutsätts att andra riktlinjer inom Sveby-programmet följs. I vägledningen finns beräkningsexempel för ett flerbostadshus och för ett vanligt kontor för att indikera hur stora avvikelser som kan orsakas av brukare, verksamhet eller ökat kylbehov under ett år med mycket varmt väder. Exempelen gäller enbart för de analyserade byggnadskategorierna och ska inte generaliseras för andra kategorier av byggnader eller för lågenergibyggnader.

Hur stor avvikelse som kan accepteras mellan uppmätt och kontrakterad energiprestanda behandlas däremot inte i föreliggande vägledning. Här går det inte att ge något generellt råd utan det måste diskuteras från fall till fall.

Hur fel ska åtgärdas, eller på annat sätt kompenseras, då krav på energiprestanda inte uppnås regleras genom avtal och behandlas inte här. Delvis regleras det i Sveby Energiavtal. Här beskrivs endast hur orsaker till avvikelser identifieras och om möjligt kvantifieras.

Vägledningen förutsätter att bostäder i svenskt klimat normalt inte behöver ha ett aktivt kylsystem. Inomhusklimat i bostäder går att säkerställa med hjälp av andra åtgärder t.ex. solavskärmning.

1.5 Läsanvisning

I kapitel 1 beskrivs Boverkets byggregler, problemställning och målsättning med föreliggande vägledning.

I kapitel 2 beskrivs hur byggherre och entreprenör kan ta höjd för kända brister vid beräkning och mätning och för kvalitetssäkring i byggprocessen.

I kapitel 3 beskrivs en vägledning för verifiering av energikrav innehållande en analys om avvikelse kan härledas till brukare, verksamhet eller ökat kylbehov för ett år med mycket varmt väder. Denna vägledning avser att på ett praktiskt och relativt enkelt sätt avgöra om ställda energikrav har uppnåtts och om så inte är fallet indikera orsak till avvikelse.

För att få en uppfattning av hur stora avvikelser kan vara ges i kapitel 4 några exempel på avvikelser orsakade av brukare för bostäder och för verksamhet eller ökat kylbehov i kontor under ett år med mycket varmt väder.

I kapitel 5 diskuteras resultatet.

1.6 Nomenklatur och förkortningar

Tabell 1.1 Använda förkortningar.

| Förkortning | Beskrivning |
|-------------------------------|---|
| EP _{kontrakt} | Kontrakterad energiprestanda antingen enligt avtal (Sveby Energiavtal) eller maxvärde enligt Boverkets byggregler med hänsyn taget till det s.k. ventilationstillägget. |
| EP _{BBR} | Maxvärde på energiprestanda tillåten enligt Boverkets byggregler. |
| EP _{uppmätt,korr} | Korrigerad uppmätt normalårskorrigerad energiprestanda för uppvärmning, tappvattenvärmning, komfortkyla och driftel. |
| EP _{värme, normalår} | Normalårskorrigerad energiprestanda för uppvärmning och tappvattenvärmning |
| EP _{vatten} | Energiprestanda för uppvärmning av tappvarmvatten skilt från standardiserat brukande |
| EP _{komfortkyla} | Energiprestanda för komfortkyla |
| EP _{driftel} | Energiprestanda för driftel |
| EU | Uppmätt energianvändning |
| EB | Beräknad energianvändning |

2 Orsaker till avvikelser som det är möjligt att råda över

Under vägen från beställning till projektering, uppförande och drift av en byggnad finns ett antal kända osäkerheter. Genom att redan från början beakta dessa kan marginaler skapas för att uppmätt energiprestanda i slutänden ska stämma överens med kontrakterad energiprestanda.

2.1 Beräkning

När en beräkning görs för att bestämma energianvändningen i en byggnad, t.ex. under projekteringsskedet, är det samtidigt en förutsägelse om byggnadens energiprestanda när den är färdig och ska tas i bruk. Förutsägelseerna är osäkra för att ingen kan ha full kontroll över alla ingående parametrar som påverkar en byggnads energiprestanda.

Vid beräkning av energianvändningen i en byggnad kan följande parametrar/faktorer identifieras som osäkra:

- 1. Samtliga indata**, innan de matas in i programmet har en osäkerhet, naturligtvis i olika grad. Vissa indata är dock i de flesta fall att betrakta som kvalificerade gissningar, t.ex. klimatskärmens luftläckning, vädring, styrning av solavskärmningar, etc.
- 2. Inmatning av indata** kan bli felaktig genom att fel värde skrivs in, revidering av värden glöms bort etc.
- 3. Kunskapsbrist**, vilket till exempel kan leda till att bedömning av osäkerheter och energipåverkan för parametrar blir felaktig. Antaganden och anpassning av den verkliga byggnadens utformning och tekniska system till möjligheter och begränsningar i det aktuella beräkningsprogrammet görs på ett sätt som kan öka felet i beräkningen.
- 4. Klimatdata för orten**, där det än så länge inte finns någon standard för hur en klimatdatafil för ett normalår skall skapas och vilket statistiskt underlag klimatdatafilen skall baseras på. Problemet är inte klimatdatafilen i sig utan att det beräknade resultatet jämförs med ett normalårskorrigerat uppmätt värde. Klimatfilen och det normalårskorrigerade värdet bygger i de allra flesta fall inte på samma underlag, d v s här finns en inbyggd osäkerhet.
- 5. Beräkningsprogrammet i sig** räknar inte "rätt". Samtliga beräkningsprogram bygger på olika grad av förenkling av fysiska förhållanden i en verklig byggnad. Graden av förenkling leder till att resultat från varje beräkningsprogram skiljer sig mer eller mindre från uppmätt energianvändning i den verkliga byggnaden.
- 6. Beräkningsprogrammets möjligheter och begränsningar**, kan medföra att en verklig byggnad med dess tekniska system inte fullt ut kan beskrivas i det beräkningsprogram som används. Många brister i olika beräkningsprogram, d v s att de inte tar hänsyn till olika tekniska detaljer, är kända och det går att beakta dem genom att ta till säkerhetsmarginaler från beräknat resultat.

De första tre källorna till osäkerheter går att påverka genom kvalitetssäkring, osäkerhetsanalys och utbildning. De tre sista källorna är däremot svårare att påverka. Det finns olika sätt att hantera dessa osäkerhetskällor. Ett är att försöka bedöma storleken på respektive osäkerhet för att kunna beräkna den totala osäkerheten. Detta sätt kräver oftast en hel del arbete och tid. Ett annat sätt är att, genom erfarenhet och kunskap, försöka bedöma den totala osäkerheten som beräkningsresultatet har för olika typer av byggnader och program. Båda sätten har sina för- och nackdelar. Ju noggrannare en beräkning kan genomföras desto mer arbete krävs men å andra sidan kan säkerhetsmarginalen minskas.

Det väsentliga är att beräkningsresultatet har en relevant bedömning av hur stor osäkerhet som varje beräkning har och att beräkningen på lämpligt sätt förses med en säkerhetsmarginal för att inkludera osäkerheter. Beräkningsresultatet bör anges med ett osäkerhetsintervall.

2.2 Byggprocessen

Bakom kravet på byggnadens energiprestanda finns en rad underliggande energitekniska funktionskrav (d v s indataparametrar på installationer och klimatskärm). Under byggprocessen kan dessa komma att ändras antingen genom medvetna ändringar under byggprocessens gång eller genom utförandefel.

För att säkerställa att krav på byggnadens energiprestanda kommer att uppfyllas krävs en kvalitetssäkring. Dels behövs reviderade energiberäkningar som kan verifiera hur ändringar av energitekniska funktionskrav kommer att påverka byggnadens energiprestanda och dels behövs kontroller och provningar av funktionskrav under byggprocessens gång (se Sveby Energiverifikat).

En sammanställning av energitekniska funktionskrav tillsammans med uppgifter om verksamhet och användning dokumenteras som indata till energiberäkningar. Indata och resultat från använt beräkningsprogram dokumenteras i ett s.k. Energiverifikat som följer med i hela byggprocessen. I Sveby Energiverifikat rekommenderas en tydlig dokumentation av reviderade energiberäkningar vid tre tillfällen:

Energiberäkning - systemhandling

Byggnaden har tagit form med utformning, användning, drifttider m.m. Energikrav för hela systemet kan beskrivas med delsystem och hur dessa ska samverka. Funktionskrav som lufttätethet och U-värden fastställs. Energiberäkning genomförs med preliminära energitekniska indata tillsammans med indata för standardiserat brukande (Sveby brukarindata).

Energiberäkning -bygghandling

När upphandlingar av tekniska system och utrustningar utförts görs en energiberäkning baserad på uppdaterade och detaljerade energitekniska indata tillsammans med indata för standardiserat brukande (Sveby brukarindata).

Energiberäkning – verkligt utförande (relationshandling)

Baserat på resultat från egenkontroller, besiktning, vinter- och sommarfallsprovningar görs en uppdaterad energiberäkning baserad på indata för verifierade energitekniska funktioner och standardiserade brukarindata.

Hela denna kvalitetssäkring under byggprocessen beskrivs i Sveby Energiverifikat och i föreliggande vägledning för verifiering av energikrav förutsätts att dessa riktlinjer följs. Energiberäkningen och sammanställningen av energitekniska funktionskrav tillsammans med uppgifter om verksamhet och användning vid verkligt utförande utgör därmed underlag vid en verifiering av energikrav och analys av avvikelser.

I föreliggande vägledning kan en fjärde energiberäkning underlätta verifiering av energikrav.

Energiberäkning – verklig drift

När uppgifter finns om verkligt brukande, dvs när byggnaden varit i drift i minst 12 månader eller mer, görs en energiberäkning baserad på indata för verifierade energitekniska funktioner tillsammans med indata för verkligt brukande. Skillnad mellan energiberäkning "verkligt utförande" och "verklig drift" jämförs för verifiering av energiprestanda.

2.3 Mätning

Enligt Boverkets byggregler bör mätmetodens osäkerhet beaktas. Om osäkerheten i mätmetoder är stor bör hänsyn tas till detta. Mätosäkerheten beror dels på antalet mätare och dels på mätarnas individuella osäkerhet. Mätosäkerhet är roten ur summan av varje mätares fel i kvadrat. För att minimera osäkerheter vid mätning rekommenderas att använda totalmätare med hög mätnoggrannhet. I Sveby Mätföreskrifter rekommenderas att värmemängdsmätare skall ha en osäkerhet på maximalt 3 % vid nominellt flöde och elmätare skall ha en osäkerhet på maximalt 5 %. Rekommendationen baseras på att det ska gå bra att använda ordinarie debiteringsmätare enligt krav på dessa. I praktiken är oftast elmätare bättre med en osäkerhet på maximalt 1 %. Alla mätare skall vara kalibrerade vid mätperiodens början.

Att installera flera undermätare är dock alltid en fördel eftersom det underlättar felsökning vid avvikelser.

3 Verifiering av energikrav

3.1 Metod och förutsättningar

Kontrakterad energiprestanda

Vägledning för verifiering av energikrav utgår från att kontrakterad energiprestanda ($EP_{kontrakt}$) behandlas på samma sätt oavsett om kravet är gränsvärde enligt BBR eller ett lägre värde som avtalats till exempel enligt Sveby Energiavtal.

Uppmätta värden

Vägledning för verifiering av energikrav utgår från att uppmätta månadsvärden finns att tillgå för:

- uppvärmning,
- tappvarmvattenanvändning,
- komfortkyla
- driftel (dvs byggnadens fastighetsenergi, se Sveby Ordlista).

Dessutom ska uppskattning av genomsnittligt specifikt luftflöde under uppvärmningssäsongen finnas. För mätning av byggnadens energiprestanda hänvisas till Sveby Mätföreskrifter där följande gäller:

- Om processvärme går att mäta skiljt från uppvärmning så ska det göras.
- Om kylanvändning för att kyla bort processvärme (d v s processkyla) går att mäta skiljt från kylanvändning för komfortkyla så ska det göras.
- Om elinstallation som tillhör kategorin hushållsel/verksamhetsel mäts med mätare för driftel (till exempel gemensam tvättstuga) eller om elinstallation som tillhör kategorin driftel mäts med mätare för hushållsel/verksamhetsel (till exempel golvvärme) ska månadsvärden från undermätare finnas. (I särskilda fall kan schablonvärden användas om elinstallationen förväntas ha en årlig elanvändning som bidrar till byggnadens totala energiprestanda med mindre än 3 kWh per m² A_{temp}.) I Sveby Brukarindata finns olika former av energianvändning definierade mellan driftel, hushållsel och verksamhetsel.

Metod för verifiering av energikrav

Verifiering av energikrav kan indelas i tre steg:

- Steg 1** Beräkning av korrigerad uppmätt energiprestanda och energikrav verifieras eller en avvikelse noteras.
- Steg 2** En översiktlig analys för att indikera orsak till avvikelse.
- Steg 3** En mer noggrann avvikelseanalys för att härleda avvikelse till brukare, verksamhet eller ökat kylbehov för ett år med mycket varmt väder.

3.2 Steg 1: Korrigerad uppmätt energiprestanda

Analysen börjar med steg 1 genom att korrigera uppmätt energiprestanda:

- om byggnaden har gemensam installation för uppvärmning och processvärme med annan byggnad på ett sådant sätt att det inte går att skilja dem åt (gemensam energimätare)
- normalår för värmeanvändning
- om byggnaden har tappvarmvattenanvändning som avviker från Svebys standardiserade användning
- om installation för process- och komfortkyla är gemensam på ett sådant sätt att det inte går att skilja dem åt (gemensam energimätare)
- om elinstallation som tillhör kategorin hushållsel/verksamhetsel mäts med mätare för driftel, till exempel gemensam tvättstuga. (Elinstallation som har en elanvändning högre än 3 kWh per m² A_{temp} bör ha egen undermätare. För elinstallation med elanvändning som är lägre än 3 kWh per m² A_{temp} kan schablon användas.)

- om elinstallation som tillhör kategorin driftel mäts med mätare för hushållsel/verksamhetsel, till exempel golvvärme. (Elinstallation som har en elanvändning högre än 3 kWh per m² A_{temp} bör ha egen undermätare. För elinstallation med elanvändning som är lägre än 3 kWh per m² A_{temp} kan schablon användas.)

För lokal beräknas maxvärde på energiprestanda enligt BBR från uppmätt uteluftsflöde som av hygieniska skäl har ett högre flöde än 0,35 l/s,m².

Därefter jämförs korrigerad uppmätt energiprestanda ($EP_{uppmätt,korr}$) med kontrakterad energiprestanda ($EP_{kontrakt}$) och kontroll görs om krav är uppfyllda enligt BBR.

Arbetsförfarandet med delsteg för korrigerad uppmätt energiprestanda illustreras i tabell 3.1 och i figur 3.1 visas en schematisk presentation för korrigeringen. Nedan följer en mer noggrann beskrivning för varje delsteg.

Delsteg 1.1

Från uppmätt energi för uppvärmning subtraheras eventuell inkluderad energi för processvärme. Exempel på processvärme kan vara markvärme utanför byggnad som används för att ta bort isbildning i garageinfart, vilken bestäms med undermätare eller uppskattas med schablon (för definitioner av processvärme se Sveby Brukarindata). Därefter normalårskorrigeras energi för uppvärmning (exklusive energi till tappvarmvatten) enligt metod specificerad i Sveby Mätföreskrifter eller särskilt specificerat i Energiavtal. Normalårskorrigerad energiprestanda för uppvärmning och tappvattenvärmning betecknas $EP_{värme, normalår}$.

Delsteg 1.2

Varmvattenkorrektion.

Energiprestanda för tappvarmvattenanvändning skilt från standardiserad användning beräknas enligt:

$$EP_{vatten} = \left(\sum_{månad=1}^{12} volym_{vv,månad} \cdot 55 / A_{temp} - SA \right) / \eta_{vv} \quad (\text{kWh/m}^2, \text{år})$$

där:

$volym_{vv}$ är volym levererat varmvatten per månad (m³)

A_{temp} är byggnadens tempererade area (m²)

SA är värdet för standardiserad användning i kWh/m²,år och anges för bostäder i Sveby Brukarindata bostäder och för lokaler i Sveby Brukarindata kontor.

η_{vv} är verkningsgrad för beredning av tappvarmvatten i byggnaden (COP för värmepump). Kan sättas till 1 för byggnad som annat uppvärmningssätt än elvärme då inget annat är känt.

Delsteg 1.3

Om kylanvändning för att kyla bort processvärme har uppmätts separat så ska den inte räknas in i byggnadens energiprestanda för komfortkyla ($EP_{komfortkyla}$). Om mätare för process- och komfortkyla är gemensam ska energi till processkyla uppskattas enligt särskild beräkning och sedan subtraheras från byggnadens energiprestanda.

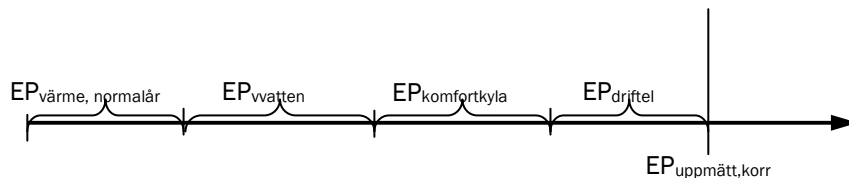
Delsteg 1.4

Från uppmätt driftel subtraheras eventuell inkluderad elanvändning för elinstallation som tillhör kategorin hushållsel/verksamhetsel. Driftel för driftelinstallation som inte ingår i uppmätt värde adderas. Elanvändning som ska subtraheras eller adderas bestäms med undermätare eller uppskattas med schablon. Elinstallation som har en elanvändning högre än 3 kWh per m² A_{temp} bör ha egen undermätare. Energiprestanda för driftel betecknas $EP_{driftel}$.

Delsteg 1.5

Korrigerad uppmätt energiprestanda beräknas enligt:

$$EP_{\text{uppmätt,korr}} = EP_{\text{värme, normalår}} + EP_{\text{vatten}} + EP_{\text{komfortkyla}} + EP_{\text{driftel}}$$



Figur 3.1 Schematisk presentation för korrigering av uppmätt energiprestanda.

Delsteg 1.6

Ventilationstillägg.

För lokal beräknas maxvärde på energiprestanda enligt BBR, EP_{BBR} , från uppmätt uteluftsflöde som av hygieniska skäl har ett högre flöde än $0,35 \text{ l/s,m}^2$ under uppvärmningssäsongen.

Delsteg 1.7

Korrigerad uppmätt energiprestanda jämförs med kontrakterad energiprestanda och maxvärde på energiprestanda enligt BBR ($EP_{\text{uppmätt,korr}}$ jämförs med EP_{kontrakt} och EP_{BBR}).

- Om $EP_{\text{uppmätt,korr}}$ är större än EP_{BBR} behövs fortsatt analys för att verifiera att byggnaden uppfyller krav enligt lagen. Fortsätt verifiering av energikrav i steg 2.
- Om $EP_{\text{uppmätt,korr}}$ är mindre eller lika med EP_{kontrakt} och byggnaden används till mer än 70 % (nyttjandegrad > 70 %) så uppfyller byggnaden krav på energiprestanda. Verifiering av energiprestanda är genomförd.
- Om $EP_{\text{uppmätt,korr}}$ är mindre eller lika med EP_{kontrakt} men byggnaden används bara till en del (nyttjandegrad < 70 %) så uppfyller byggnaden krav på energiprestanda för den lägre nyttjandegraden. Fortsätt verifiering rekommenderas för att verifiera att krav på energiprestanda uppfylls även när byggnaden används till mer än 70 %. Fortsätt verifiering i steg 2.
- Om $EP_{\text{uppmätt,korr}}$ är större än EP_{kontrakt} uppfyller inte byggnaden krav på energiprestanda. Fortsätt verifiering av energikrav i steg 2.

Tabell 3.1 Sammanfattande tabell över korrigeringar av uppmätt energiprestanda och verifiering av energikrav.

| Delsteg | Energiprestanda | Korrigering | Hur/Metod |
|---------|--|---|---|
| 1.1 | Uppvärmning och tappvattenvärmning (EP _{värme, normalår}) | Avdrag för processvärme Normalår: Värme till normalår, exklusive tappvarmvatten | Sveby Mätföreskrifter, Energiindex (energidekl) Graddagar (Sveby) |
| 1.2 | Tappvarmvattenanvändning skilt från standardiserad anv. (EP _{vatten}) | Avdrag/tillägg utöver standardiserat brukande. | Sveby Mätföreskrifter Sveby Brukarindata bostäder Sveby Brukarindata kontor |
| 1.3 | Komfortkyla i lokaler (EP _{komfortkyla}) | Avdrag för processkyla som används för att kyla bort processvärme | Sveby Mätföreskrifter |
| 1.4 | Driftel (EP _{driftel}) | Avdrag för elinstallation som tillhör kategorin hushållsel/verksamhetsel Tillägg för driftelinstallation som mäts på annan mätare | Sveby Mätföreskrifter Sveby Brukarindata bostäder Sveby Brukarindata kontor |
| 1.5 | Beräkna EP _{uppmätt,korr} | EP _{uppmätt,korr} = EP _{värme, normalår} + EP _{vatten} + EP _{komfortkyla} + EP _{driftel} | Sveby Mätföreskrifter |
| 1.6 | Beräkna EP _{BBR} | Uppmätt genomsnittligt uteluftsflöde under uppvärmningssäsong som är större än 0,35 l/s,m ² pga hygieniska skäl | Sveby Mätföreskrifter Maxvärde energiprestanda enligt BBR |
| 1.7 | Jämför EP _{uppmätt,korr} med EP _{kontrakt} och EP _{BBR} | | |
| a | EP _{uppmätt,korr} > EP _{BBR} | Krav enligt Boverkets byggregler är ej verifierat | Gå till steg 2 |
| b | EP _{uppmätt,korr} ≤ EP _{kontrakt} och nyttjandegrad > 70 % | Krav enligt Energiavtal är uppfyllt | Verifieringen är slutförd |
| c | EP _{uppmätt,korr} ≤ EP _{kontrakt} och nyttjandegrad < 70 % | Fortsatt verifiering rekommenderas | Gå till steg 2 |
| d | EP _{uppmätt,korr} > EP _{kontrakt} | Kontrakterat krav inte verifierat | Gå till steg 2 |

3.3 Steg 2: Indikering av orsak till avvikelse

I steg 2 görs en översiktlig analys för att indikera trolig orsak till avvikelse. Detta görs genom att bedöma om storleken på avvikelsen ($|EP_{uppmätt,korr} - EP_{kontrakt}|$) för värme, kyla och driftel kan hänföras till annat brukande av byggnaden, en annan verksamhet eller ett ökat kylbehov för ett år med mycket varmt väder.

Först analyseras om avvikelsen finns på värme, kyla eller driftel-sidan. Detta görs genom att jämföra uppmätta värden (EU) med beräknade värden (EB). Jämför beloppen:

$$\text{Avvikelse för värme} = (EU_{\text{värme, normalårskorr}} - EB_{\text{värme}}) * 100 / EB_{\text{värme}} \quad (\%)$$

$$\text{Avvikelse för kyla} = (EU_{\text{komfortkyla}} - EB_{\text{komfortkyla}}) * 100 / EB_{\text{komfortkyla}} \quad (\%)$$

$$\text{Avvikelse för driftel} = (EU_{\text{driftel}} - EB_{\text{driftel}}) * 100 / EB_{\text{driftel}} \quad (\%)$$

Dessa mätvärden är det minsta antalet uppmätta värden som bör finnas i en byggnad (se Sveby Måtföreskrifter). Finns ytterligare undermätare, t.ex. att driftel har separata elmätare för el till allmän belysning och el till hissar, så görs analysen för samtliga undermätare. Fler undermätare underlättar analysen.

Avvikelse för driftel

För hög driftelanvändning kan ha många olika orsaker. Om installationerna är rätt installerade och har någon form av automatisk reglering till exempel med timer på trappbelysning, fläktar eller motorvärmare ska normalt sett inte driftelen vara för hög. Om för hög driftel kan härledas till brukaren så används byggnaden på något sätt annorlunda än vad som har kunnat gå att förutsäga vid projekteringen. Här finns inga generella regler utan byggnaden måste besiktigas på plats, eventuellt med kompletterade intervjuer med brukarna, för att analysera det höga värdets orsak. Fler undermätare kan underlätta analysen.

Avvikelse för värme i bostäder

Om avvikelse för värme kan förklara övervägande andelen av skillnad mellan $EP_{\text{uppmätt, korr}}$ och EP_{kontrakt} kan möjliga orsaker för annat brukande vara:

- att byggnaden inte nyttjas i den utsträckning som den var projekterad för
- att innetemperaturen är högre än projekterat
- att de boende har en högre tappvattenanvändning än projekterat
- att de boende vädrar i större utsträckning än projekterat
- att de boende har en mindre hushållselanvändning och därmed alstrar mindre internvärme

I tabell 3.2 ges exempel på hur energiprestanda kan påverkas för annat brukande i ett flerbostadshus.

Tabell 3.2 Schematisk beskrivning för indikering om värmeavvikelse i bostäder kan härledas till byggnadens brukare.

| Delsteg | Brukande | Effekt | Exempel flerbostadshus ¹ |
|---------|----------------|---|--|
| 2.1 | Boendegrad | Annan internvärme från hushållsel och personlast än projekterat | Boendegrad har liten påverkan på flerbostadshusets energiprestanda. Minskad energianvändning för tappvarmvatten kompenseras av ökad värmeenergi pga av mindre internvärmestillskott. |
| 2.2 | Innetemperatur | Ökad innetemperatur innebär ökat energibehov av uppvärmning | För flerbostadshus med FTX kan varje grads ökning av innetemperatur ge en ökad värmeenergianvändning med cirka 5 kWh/m ² . |
| 2.3 | Vädring | De boende vädrar mer vilket ger ökat energibehov av uppvärmning | Vädring kan öka värmeenergianvändning med 2-7 kWh/m ² . |
| 2.4 | Internvärme | De boende har annan hushållselanvändning | För flerbostadshus med FTX ger varje kWh/m ² ökat internvärmestillskott en minskning av byggnadens värmeenergianvändning med cirka 0,5 kWh/m ² . |

Avvikelse för värme och kyla i lokaler

Om avvikelse för värme och kyla kan förklara övervägande andelen av skillnad mellan $EP_{uppmätt, korr}$ och $EP_{kontrakt}$ kan möjliga orsaker relaterad till verksamhet vara:

- att byggnaden har andra drifttider än vad den projekterats för
- att byggnaden inte nyttjas i den utsträckning som den var projekterad för
- att brukarna använder annan verksamhetsel och därmed alstrar annan internvärme
- I tabell 3.3 ges exempel på hur energiprestanda kan påverkas för annan verksamhet i ett kontor.

¹ Observera att detta enbart är ett exempel. I det enskilda fallet kan påverkan på energiprestanda vara ett helt annat.

Tabell 3.3 Schematisk beskrivning för indikering om värme- och kylavvikelse i lokaler kan härledas till byggnadens verksamhet.

| Delsteg | Verksamhet | Effekt | Exempel kontor ² |
|---------|----------------------------|---|---|
| 2.1 | Drifttid/närvarotid | Ökning av verksamhetens drifttider ger ökad internvärme från verksamhetsel och personlast än projekterat, vilket i sin tur minskar värmebehov och ökar kylbehov. Samtidigt som driftel till fläktar ökar och användning av tappvarmvatten. | Förändrade drifttider har liten påverkan på byggnadens energiprestanda. Ökning av kylenergi, driftel till fläktar och varmvattenenergi kompenseras i stort sett av minskning i värmeenergi. |
| 2.2 | Uthyrningsgrad/närvarograd | Lägre internvärme från verksamhetsel och personlast på grund av att byggnaden bara delvis är uthyrd eller har en lägre närvarograd av brukare än projekterat. Detta ökar värmebehov och minskar kylbehov. Samtidigt som driftel till hissar och användning av tappvarmvatten minskar. | Förändrade uthyrningsgrader/närvarograd har liten påverkan på energiprestanda. Ökning av värmeenergi kompenseras i stort sett av minskning i kylenergi, varmvattenenergi och driftel. Först på uthyrningsgrader/närvarograder under 40 % påverkas energiprestanda. Vid 30 % uthyrning ökar energianvändningen med cirka 10 kWh/m ² år. |
| 2.3 | Internvärme | Tätare personlast och ökad användning av verksamhetsel på samma drifttid minskar behovet av uppvärmning. Tätare personlast ger också ökat energibehov för komfortkyla, el till hissar och varmvatten. | Förändrad (ökande) internvärme har begränsad påverkan på byggnadens energiprestanda. En ökning av internvärme med 50 % ökar energianvändningen med cirka 5 kWh/m ² år. |

Avvikelse för kyla

Om avvikelse för kyla kan förklara övervägande andelen av skillnad mellan $EP_{uppmätt, korr}$ och $EP_{kontrakt}$ kan en möjlig orsak vara ett år med mycket varmt väder. I tabell 3.4 ges exempel på hur energiprestanda kan påverkas i ett kontor för ett år med mycket varmt väder.

Tabell 3.4 Schematisk beskrivning för analys om avvikelse kan härledas till brukare, verksamhet eller ökat kylbehov för ett år med mycket varmt väder i lokaler.

| Delsteg | Klimat | Effekt | Exempel kontor ² |
|---------|------------------------------------|--|--|
| 2.4 | Aktuellt år har mycket varmt väder | Fler varma dagar än vad som förutsetts ger ett ökat kylbehov | En ökning med 10 -20 kylgraddagar kan ge en ökad kylenergianvändning på 2-4 kWh/m ² . |

3.4 Steg 3: Verifiering av orsak till avvikelse

I steg 2 indikeras trolig orsak till avvikelse genom att jämföra avvikelse för värme, kyla respektive driftel. För att verifiera att det verkligen är orsaken görs en fördjupad analys enligt följande steg:

² Observera att detta enbart är ett exempel. I det enskilda fallet kan påverkan på energiprestanda vara ett helt annat.

Delsteg 3.1 Kontroll sker genom besiktning på plats i byggnaden främst med avseende på den parameter som antas orsaka avvikelser. Besiktning på plats kan behöva kompletteras med intervjuer med brukarna och/eller tillfälliga mätningar (se Sveby Handledning för mätföreskrifter).

Delsteg 3.2 När nytt värde fastställts för en avvikande parameter, till exempel högre inomhustemperatur, görs en ny energiberäkning för "verklig drift" som sedan jämförs med energiberäkning för "verkligt utförande".

Energiberäkning för "verkligt utförande" använder indataparametrar för installationer och klimatskärm som fastställts vid slutbesiktning och för verksamhet och brukande av byggnaden används de indataparametrar som fastställts vid kontraktering. Energiberäkning för "verklig drift" använder samma indata som för "verkligt utförande" förutom den avvikande parametern vars nya fastställda värde används.

Delsteg 3.3 Storlek på avvikelse mellan energiprestanda för "verklig drift" och "verkligt utförande" ($EP_{\text{verklig, drift}} - EP_{\text{verkligt utförande}}$) jämförs med storlek på avvikelse mellan uppmätt och korrigerad energiprestanda och kontrakterad energiprestanda ($EP_{\text{uppmätt, korr}} - EP_{\text{kontrakt}}$).

Delsteg 3.4a Om ($EP_{\text{verklig, drift}} - EP_{\text{verkligt utförande}}$) är större eller i samma storleksordning som ($EP_{\text{uppmätt, korr}} - EP_{\text{kontrakt}}$) kan avvikelserna härledas till den undersökta parametern.

Delsteg 3.4b Om ($EP_{\text{verklig, drift}} - EP_{\text{verkligt utförande}}$) är mindre än ($EP_{\text{uppmätt, korr}} - EP_{\text{kontrakt}}$) kan den undersökta parametern inte förklara skillnad och en ny parameter som kan antas orsaka avvikelserna analyseras. Detta fortsätter sedan i ett iterativt förfarande tills den eller de parametrar som orsakar avvikelserna kan verifieras.

Delsteg 3.5 Om den parameter som orsakar avvikelserna kan härledas till brukare, verksamhet eller ökat kylbehov för ett år med mycket varmt väder, dvs. till orsaker som varken byggherre eller entreprenör kan råda över, har energikrav för byggnaden verifierats.

Verifieringen är slutförd och dokumenteras som underlag till den särskilda utredningen som enligt Boverkets byggregler ska redovisas vid korrigering av energiprestanda för avvikelser som kan härledas till brukare, verksamhet eller ökat kylbehov för ett år med mycket varmt väder.

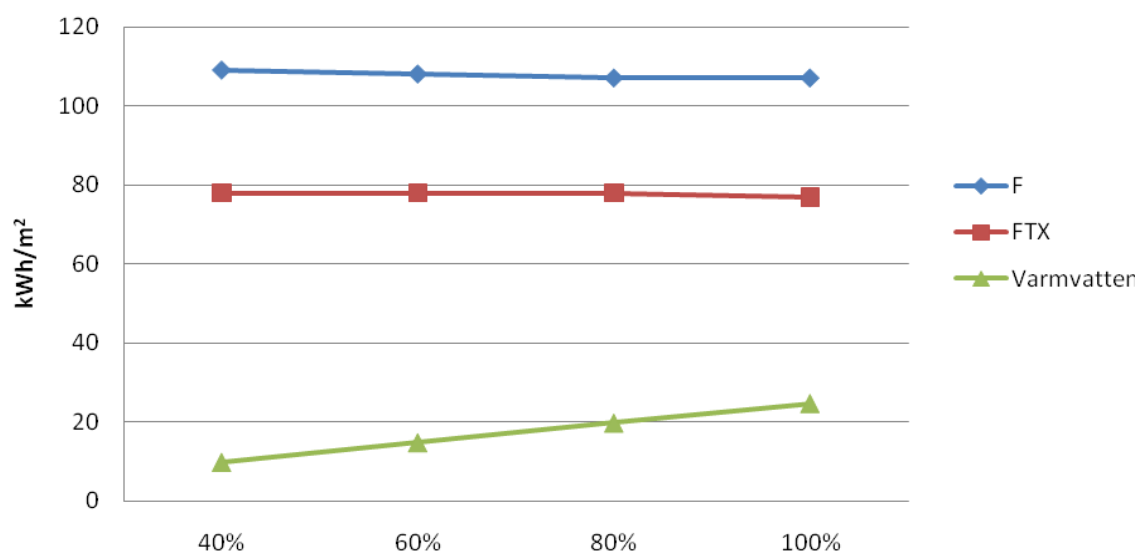
4 Känslighetsanalys

4.1 Beräkningar för bostäder

Känslighetsanalyser för hur bostäders energiprestanda påverkas har utförts för brukarparametrarna boendegrad, hushållsel, inomhustemperatur och vädring. Analyserna har genomförts på ett flerbostadshus med 15 lägenheter i Stockholm med byggår 2004. Byggnaden klarar precis nybyggnadskraven i BBR för icke elvärmda byggnader. Energiberäkningarna har genomförts med datorprogrammet Enorm 2004, där beräkningarna kalibrerats mot uppmätta värden.

4.1.1 Boendegrad

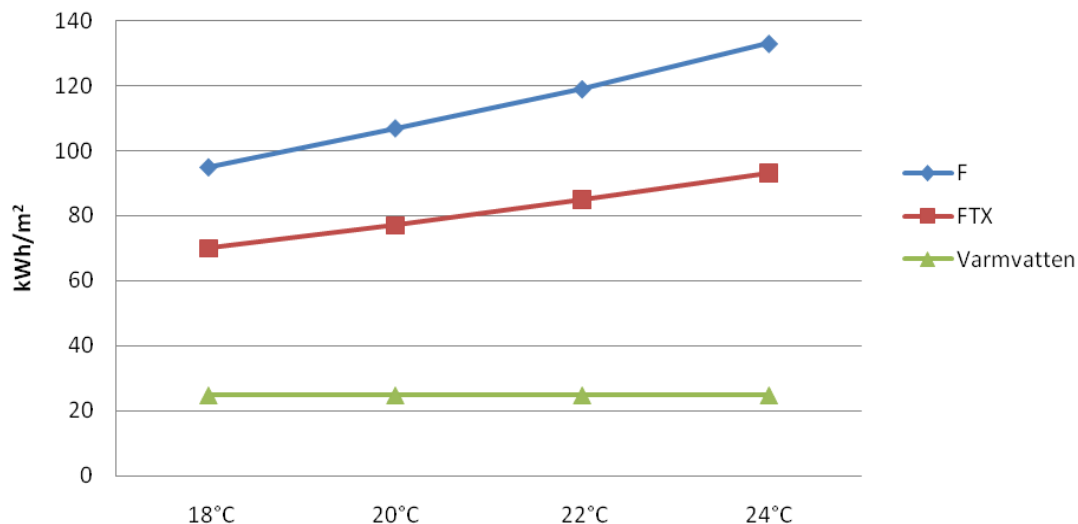
Energianvändningen i en byggnad borde påverkas om den inte varit fullt bebodd under mätperioden. I figur 4.1 visas hur energiprestanda påverkas av varierande boendegrad för flerbostadshuset. Man kan se att de minskade tillskotten från användning av hushållsel och personvärme till stor del kompenseras av det minskande tappvarmvattenbehovet, vilket är 25 kWh/m² vid 100 procents boendegrad.



Figur 4.1 Varierande boendegrads (40-100 %) påverkan på energiprestanda i ett flerbostadshus med och utan återvinning på ventilationen. Energiprestandalinjerna (blå och röd) innehåller energi för uppvärmning, tappvarmvatten och driftel (BBR-värdet).

4.1.2 Innetemperatur

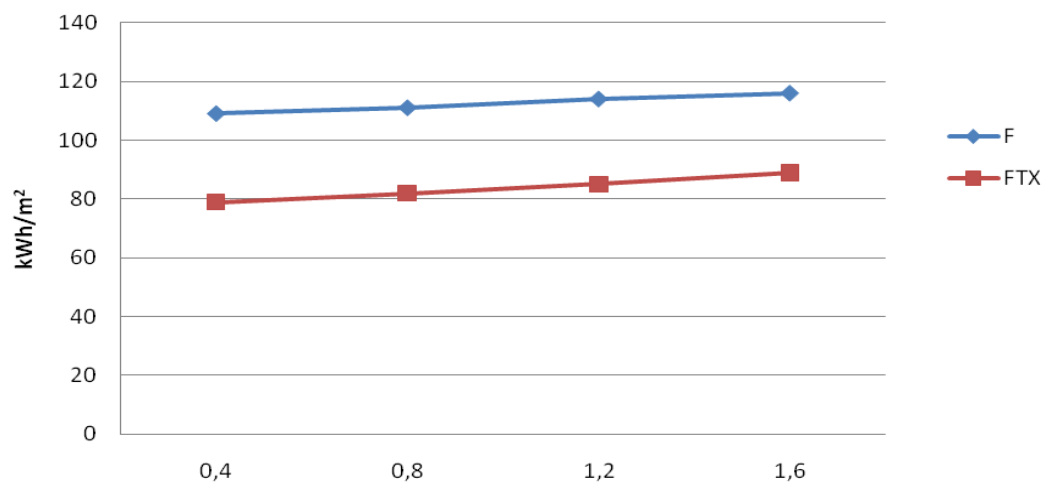
Ändringar i inomhustemperaturen i förhållande till den avsedda, påverkar energiprestanda linjärt, men olika mycket beroende på om värmeåtervinning finns på ventilationsluften eller inte, se figur 4.2 nedan.



Figur 4.2 Varierande inomhustemperaturns påverkan på energiprestanda för ett flerbostadshus (exklusive hushållsel).

4.1.3 Vädring

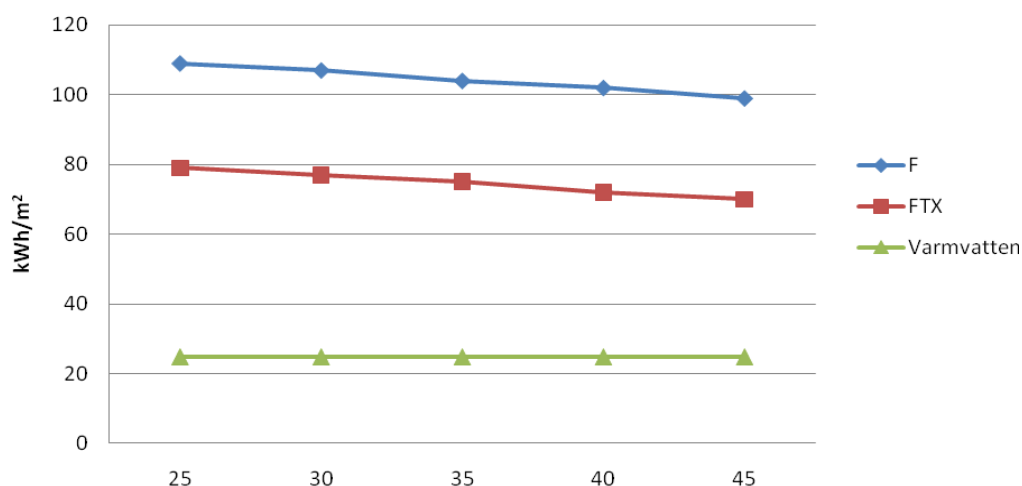
Vädringens påverkan på byggnadens energiprestanda är svårbedömd, eftersom den i verkligheten kommer att variera med fönsteröppningens storlek och varaktighet, lägenhetens exponering mot vind, byggnadens ventilationssystem med mera. Dessutom beräknas vädring inte fysikaliskt i de flesta energiberäkningsprogram, utan hänsyn till vädringen måste tas genom någon form av "handpåläggning". I figur 4.3 nedan visas inverkan av vädring, baserat på antaganden om ökande luftflöden baserat på vädringstider och öppningsarea. Vädringspåslaget som rekommenderas i Sveby brukarindata, 4 kWh/m², motsvaras i figuren av värdet 0,5.



Figur 4.3 Varierande vädrings påverkan på energiprestanda (exklusive hushållsel). Värdena på x-axeln motsvarar en ökning av den ofrivilliga luftomsättningen på grund av vädring från 0,03 till 0,12 oms/h för F-ventilation och mellan 0,04 – 0,17 oms/h för FTX-ventilation.

4.1.4 Internvärme

Internvärmen påverkas av aktiviteterna i byggnaden och viss del av internvärmen tillgodogörs för uppvärmning. Vid varierande hushållselanvändning, beroende på brukares beteende, påverkas byggnadens energiprestanda beräkningsmässigt enligt figur 4.4. Energiprestanda förbättras med ökande hushållselanvändning, men inte lika mycket som ökningen.



Figur 4.4 Energiprestanda för ett flerbostadshus vid varierande hushållsel, kWh/m².

4.2 Beräkningar för lokaler

När det gäller en byggnadskategori som lokaler så är den betydligt mer heterogen än vad kategorin bostäder är. Inom lokalsektorn ryms egentligen alla byggnader som inte är bostäder, t.ex. simhallar, kontor, hotell, bibliotek, tågstationer, skolor, konsertsalar, laboratorier etc. Den stora variationen av byggnadstyper, med tillhörande verksamheter, gör det i stort sett omöjligt att säga någonting bestämt om hur energianvändningen påverkas vid olika typer av avvikelser. För att kunna säga någonting inom ramen för denna skrift så har en kontorsbyggnad valts som exempelbyggnad. Det är alltså viktigt att hålla i minnet att resultaten som presenteras nedan **inte** är representativa för hela lokalbyggnadsbeståndet utan snarare representerar en relativt normal kontorsbyggnad.

Energianvändningen i en lokalbyggnad påverkas av en mängd faktorer. För att reda ut i hur stor grad olika avvikelser påverkar en byggnads energianvändning har ett antal simuleringar av en tänkt kontorsbyggnad genomförts. Den tänkta byggnaden benämns exempelbyggnad och finns beskriven i bilaga 2. Exempelbyggnaden är en kontorsbyggnad på 7 våningar med en A_{temp} på 9800 m² och har beräknats i energiberäkningsprogrammet BV² version 2010.

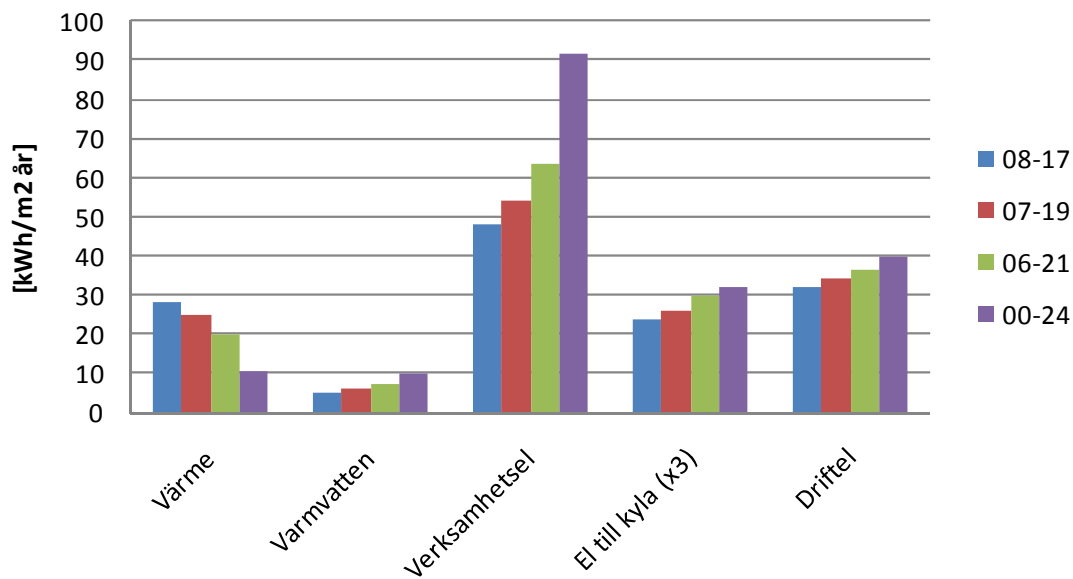
De avvikelser som studerats är avvikelser i form av

- ökade/minskade drift- och/eller närvarotider
- ökande/minskande uthyrningsgrad alt. närvarograd
- ett år med mycket varmt väder.

4.2.1 Drift- och närvarotider

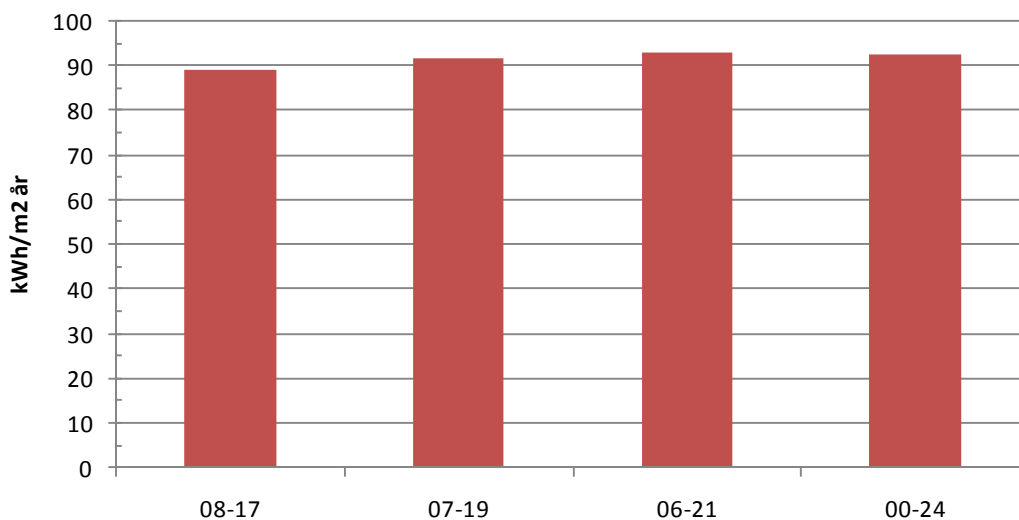
Närvarotiden varierar från 9 h i basfallet till 12 h, 15 h och 24h. Driftstiden för fläktar är en timme före och en timme efter närvarotiden.

I figur 4.5 redovisas energianvändningen vid olika närvarotider fördelat på posterna Värme, Varmvatten, Verksamhetsel och Fastighetsel. Som framgår av diagrammet i figur 4.1 så minskar värmebehovet med ökande närvarotid. Varmvattenbehovet antas öka något och verksamhetsel och fastighetsel ökar också. Verksamhetselen på grund av längre närvarotid och fastighetselen på grund av ökande driftstider och större kylbehov (eldriven kyla).



Figur 4.5 Energianvändning vid olika driftstider fördelat på posterna Värme, Varmvatten, Verksamhetsel, El till kyla och Driftel. Elanvändning för komfortkyla har multiplicerats med en faktor 3 enligt BBR. De olika tiderna till höger i diagrammet avser närvarotid, driftstiden för ventilation är 1+1h extra.

I figur 4.6 redovisas energianvändningen enligt BBR. Energianvändning enligt BBR inbegriper inte verksamhetsel. Det innebär att minskningen i värmeenergi i stort sett tar ut ökningen i varmvattenenergi och fastighetsel. Resultatet blir att BBR-energin är i stort sett lika stor oberoende av närvarotid och tillhörande driftstid. Skillnaderna är endast några enstaka kWh/m² år.



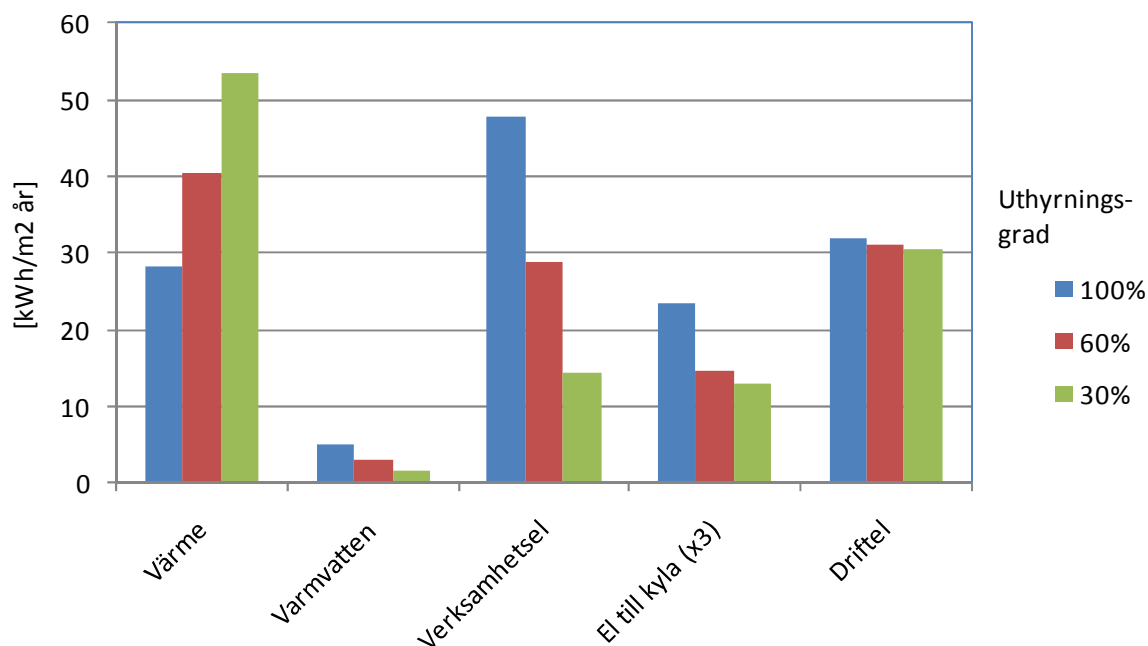
Figur 4.6 Energianvändning enl. BBR vid olika driftstider och närvarotid. De olika tidsintervallen i diagrammet avser närvarotid, driftstiden för ventilation är 1+1h extra.

4.2.2 Uthyrningsgrad

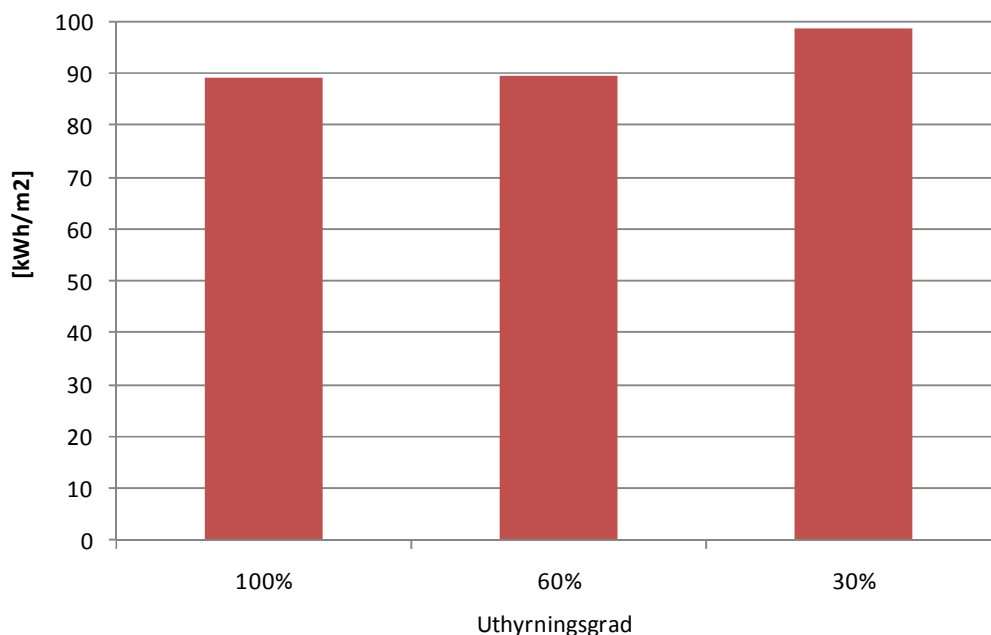
Uthyrningsgraden varierar från 100 % i basfallet till 60 % respektive 30 %. I dessa fall antas att ventilation, värme och kyla inte kan sektioneras utan hela byggnaden värms och ventileras lika på alla plan.

I figur 4.7 redovisas energianvändningen vid olika uthyrningsgrad fördelat på posterna Värme, Varmvatten, Verksamhetsel och Driftel. Som framgår av diagrammet i figur 4.7 så ökar värmebehovet med minskande uthyrningsgrad. Varmvattenbehovet antas minska något och verksamhetsel och driftel minskar också. Verksamhetselen på grund av lägre uthyrningsgrad, d.v.s. färre personer och datorer och mindre belysning, driftelen på grund av minskande kylbehov (eldriven kyla) och el till hissar.

I figur 4.8 redovisas energianvändningen enligt BBR vid olika uthyrningsgrad. Energianvändning enligt BBR inbegriper inte verksamhetsel. Det innebär att ökningen i värmeenergi i stort sett tar ut minskningen i varmvattenenergi och fastighetsel. Resultatet blir att BBR-energin är i stort sett lika stor vid 100 % resp. 60 % uthyrningsgrad och ökar något vid 30 %. Skillnaderna vid 30 % uthyrning är att BBR energin ökar med ca 10 kWh/m² år.



Figur 4.7 Energianvändning vid olika uthyrningsgrad fördelat på posterna Värme, Varmvatten, Verksamhetsel, El till kyla och Driftel. Elanvändning för komfortkyla har multiplicerats med en faktor 3 enligt BBR.

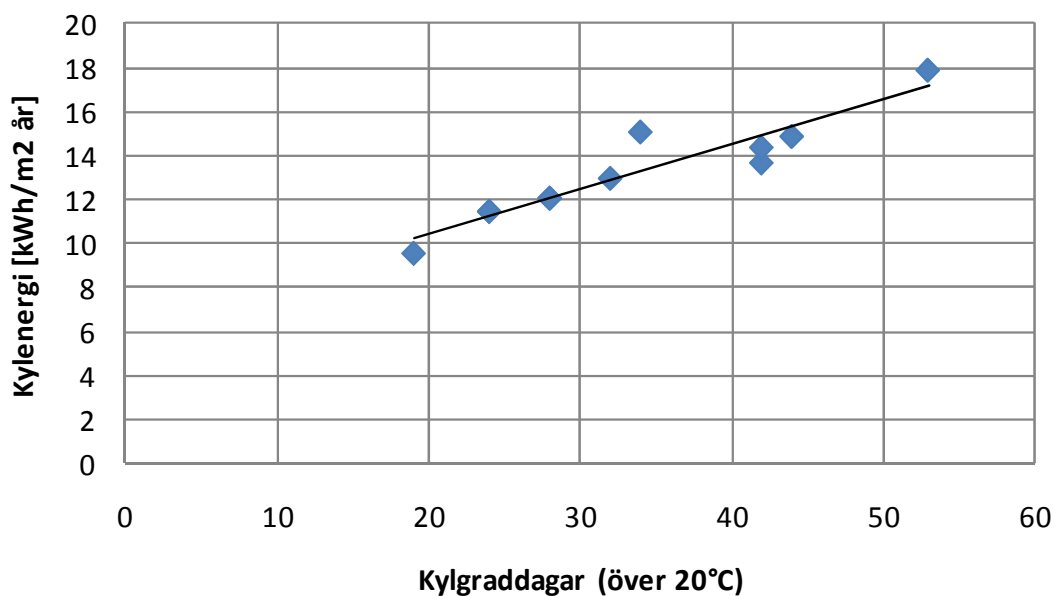


Figur 4.8 Energianvändning enl. BBR vid olika uthyrningsgrad.

4.2.3 Mycket varmt väder

Ett år med mycket varmt väder. Sommarperioden (juni, juli och augusti) har en medeltemperatur som ligger cirka en grad över normaltemperaturen för perioden. Ligger den mycket över det normala ligger medeltemperaturen 1,5 – 2 grader över. Detta kan översättas i kylgraddagar, d.v.s. en temperaturdifferens över ett referensvärde, t.ex. 20 °C, gånger tiden i dagar. Om en ort har t.ex. 25 kylgraddagar som normalvärde, kan det värdet gå upp till 35 – 45 graddagar under varm sommar.

Vid simulering med BV² för olika kylgraddagar men med samma byggnad och övriga förutsättningar lika, erhålls en ökning i kylenergiebehovet enligt figur 4.9.



Figur 4.9 Kylenergiebehov vs Kylgraddagar.

Med förutsättningen 25 kylgraddagar vid normal sommar och ca 35 - 45 kylgraddagar vid en varm sommar ökar kylenergibehovet med ca 2 - 4 kWh/m² år för den använda standardbyggnaden. Den totala energianvändningen definierad enligt BBR kommer då att öka med lika mycket givet att klimatet under övriga året inte ändrats.

5 Diskussion

Vägen från kontrakterad till faktiskt uppmätt energiprestanda efter två års drift är en lång och komplicerad process med många inblandade aktörer. Det är mycket som kan gå fel under vägen och det är därför viktigt att ständigt arbeta med kvalitetssäkring i processen. Trots ett noggrant och väl utfört arbete finns det felkällor som varken byggherre eller entreprenör kan råda över och som i slutändan resulterar i en avvikelse mellan kontrakterad och faktiskt uppmätt energiprestanda. För att verifiera energikrav behöver orsak till avvikelsen härledas. Även detta är en ny och komplicerad process och även om framtagen vägledning ger en hjälp i analysarbetet så behövs fortsatt utveckling när mer erfarenheter har samlats.

Indikation och slutlig verifiering

I steg 2 ger vägledningen exempel på hur stora avvikelser kan vara genom påverkan från brukare, verksamhet eller för ett år med mycket varmt väder. Syftet är att ge en indikation på vilken orsaken kan vara men ger inget definitivt svar på att felet är funnet. För att verifiera energikrav och härleda avvikelsen måste även steg 3 genomföras. För exemplen har ett flerbostadshus och ett vanligt kontor valts eftersom det här är möjligt att till viss del göra några generella slutsatser. För mer komplicerade byggnader som t.ex. sjukhus eller badhus är det i stort sett omöjligt att ge sådana indikationer. För dessa blir analysen i steg 3 troligtvis mer omfattande.

Nyttjandegrad

Båda exempel, på flerbostadshus och kontor, visar att byggnadens nyttjandegrad har liten påverkan på energiprestanda. I flerbostadshuset kompenseras en minskad energianvändning för tappvarmvatten av en ökad värmeenergi på grund av mindre internvärmestillskott. I kontoret kompenseras en ökning av värmeenergi i stort sett av minskning i kylenergi, varmvattenenergi och driftel. Verifiering av energiprestanda kommer därför inte att vara avgörande för om byggnaden har boende i alla lägenheter eller brukare i alla kontorsrum, dvs. om byggnaden fylls på med brukare efter hand.

Exemplet flerbostadshus

För flerbostadshus exemplet har brukarnas beteende en begränsad påverkan på byggnadens energiprestanda. Främst är det en högre inomhustemperatur som har betydelse där varje grad ökad inomhustemperatur ger en ökning av energianvändning med 5 % för exempelbyggnaden.

Det är å andra sidan relativt enkelt att genom mätning verifiera vilken inomhustemperatur som byggnaden har. Här kan kontinuerlig loggning av inomhustemperatur i ett antal representativa lägenheter eller av frånluftens temperatur vara en kostnadseffektiv information vid verifiering av energikrav.

En ökad vädring jämfört med projekterade/standardiserade värden kan ha betydelse om än inte lika stor som flera graders ökning av inomhustemperatur. Att fastställa att en byggnad vädras eller har vädrats utöver standardiserad vädring är dock mycket svårt. I Sveby rekommenderas därför ett påslag på 4 kWh/m² för vädring vid beräkning av energiprestanda.

Innan analys av ökad inomhustemperatur eller vädring genomförs bör kontroll göras att värme- och ventilationssystem är injusterade.

Exemplet kontor

För kontorexemplet har förändring av verksamheten mycket begränsad inverkan på energiprestanda. Ökning av värmeenergi kompenseras i stort sett av minskning i kylenergi, varmvattenenergi och driftel och vice versa.

För exemplet på kontor är ett år med mycket varmt väder den största orsaken till ökad energianvändning. En varm sommar, d.v.s. perioden juni, juli och augusti, har en medeltemperatur som ligger ca. en grad över normaltemperaturen för perioden. Ligger den mycket över det normala, ligger medeltemperaturen 1,5 – 2 grader över. En ökning med 10 - 20 kylgraddagar, vilket kan motsvara en ökning av normaltemperaturen för perioden på mellan 1 - 2 °C, kan ge en ökad energiprestanda på 2-4 kWh/m². Här skulle en bra korrigeringsmetod för normalår avseende kylbehov liknande normalårskorrigering som finns på värmesidan vara till stor hjälp.

Hur stor avvikelse som kan accepteras mellan uppmätt och kontrakterad energiprestanda har inte behandlats i föreliggande vägledning. Här går det inte att ge något generellt råd utan det

måste diskuteras från fall till fall. Vägledningen visar dock på svagheter som finns när det gäller att härleda en ökad energianvändning till vädring eller ökat kylbehov för ett år med mycket varmt väder. Här är det viktigt att beakta detta vid projektering och ta till lagom stora säkerhetsmarginaler.

Lågenergibygnader

För en lågenergibygnad blir marginalerna betydligt mindre och det blir än mer viktigt att verifiera påverkan på energiprestanda som kan härledas till brukare, verksamhet eller ökat kylbehov för ett år med mycket varmt väder.

Bilaga 1: Beskrivning av exempelbyggnad flerbostadshus

Byggnaden är ett befintligt flerbostadshus med 15 lägenheter i Stockholm med byggår 2004. Analyserna genomfördes med energiberäkningsprogrammet Enorm 2004, där beräkningarna kalibrerats mot uppmätta värden. Byggnaden är väl dokumenterad med uppmätta värden. Byggnaden har en tempererad area på $1370 \text{ m}^2 A_{\text{temp}}$ och är byggd med cellstomme i fyra våningar med bjälklag och lägenhetsskiljande väggar i betong och lätta utfackningsväggar. Grundläggningen består av platta på mark och fasaden är putsad.

| | |
|--------------------------------|--|
| U-värde yttervägg: | 0,21 W/m ² °C |
| U-värde vindsbjälklag: | 0,11 W/m ² °C |
| U-värde bottenplatta: | 0,21 W/m ² °C |
| U-värde fönster: | 1,2 W/m ² °C (inkl. karm) |
| Förlustfaktor för köldbryggor: | 95 W/°C |
| U _m : | 0,46 W/m ² °C (inkl. köldbryggor) |
| Solfaktor fönster: | 0,23 (inkl skuggning) |
| Andel fönster | 26 % av fasadarea, 16 % av A _{temp} |
| Luftläckning: | 0,03-0,17 oms/h |

Uppvärmning: Radiatorsystem och VVB
Ventilation: F- eller FTX-system med konstant luftflöde (CAV Luftflöde: 1890 m³/h, forcering 0,5 h 3510 m³/h SFP: 0,9 kW/(m³/s) för F, 1,9 kW/(m³/s) för FTX Verkningsgrad återvinnare: 70 %

| | |
|------------------------|---|
| Tappvarmvatten: | 25 kWh/m ² (vid 100 % boendegrad) |
| Personvärme: | 10 kWh/m ² (vid 100 % boendegrad) |
| El som ger värme: | 28 kWh/m ² (uppmätt hushållsel och driftel vid 100 % boendegrad) |
| El som inte ger värme: | 12 kWh/m ² (uppmätt hushållsel och driftel vid 100 % boendegrad) |
| Värmeförsörjning: | Fjärrvärme |

Bilaga 2: Beskrivning av exempelbyggnad kontorshus

Exempelbyggnaden är en fiktiv kontorsbyggnad belägen i Göteborg. Byggnaden är 7 våningar hög med en A_{temp} på 9800 m² och har beräknats i energiberäkningsprogrammet BV2 ver.2010. Konstruktionsmässigt är byggnaden tämligen normalt utförd med betongbjälklag och utfackningsväggar i fasad. De flesta innerväggar är lättväggar. Byggnaden kan betraktas som termiskt "medeltung" med en del av bjälklagen helt eller delvis exponerade.

| | |
|--|--|
| U-värde fasad: | 0,32 W/m ² °C (inklusive köldbryggor) |
| U-värde tak: | 0,17 W/m ² °C (inklusive köldbryggor) |
| U-värde bottenplatta: | 0,12 W/m ² °C (inklusive köldbryggor) |
| U-värde fönster: | 1,2 W/m ² °C (inkl. ytterkarm) |
| Solfaktor fönster: | 0,67 (ingen yttre solavskärmning) |
| Andel fönster | 20 % av fasadarea, 8 % av A_{temp} |
| U_m : | 0,39 W/m ² °C |
| Luftläckage 1: | 0,2 oms/h vid utetemperatur 20 °C |
| Luftläckage 2: | 0,25 oms/h vid utetemperatur 0 °C |
| Riktning S-fasad: | Syd |
| Belysning dag: | 5 W/m ² (genomsnitt hela byggnaden) |
| Belysning natt: | 1 W/m ² (genomsnitt hela byggnaden) |
| Personer dag: | 3,5 W/m ² (genomsnitt hela byggnaden) |
| Personer natt: | 0,1 W/m ² (genomsnitt hela byggnaden) |
| Apparater dag: | 6 W/m ² (genomsnitt hela byggnaden) |
| Apparater natt: | 1 W/m ² (genomsnitt hela byggnaden) |
| Tid Dag: | kl 08-18 |
| Tid Natt: | kl 18-08 |
| Klimathållningssystem: | Radiatorsystem för värme, min temp. 21 °C |
| FTX system med kontant luftflöde (CAV) | |
| Vattenburet kylsystem med t.ex. kylbafflar, max temp 25 °C | |

FTX-system: Drifttid: kl 07-19

Luftflöde:

- dag 1,5 l/s m²
- natt 0,9 l/s m²

Tilluftstemp:

- 15 °C vid utetemp >20 °C
- 19 °C vid utetemp <10 °C
- SFP: 2,5 kW/(m³/s)

Verkningsgrad återvinnare: 75 %

SPF kylmaskin: 2,5 (ingen frikylfunktion)

| | |
|-------------------------------------|-------------------------|
| Tappvarmvatten: | 5,00 kWh/m ² |
| Extra elanvändare: Yttre belysning: | 0,19 kWh/m ² |
| Hissar: | 2,25 kWh/m ² |
| Elvärme smältning: | 0,71 kWh/m ² |
| Ridåvärmare: | 1,22 kWh/m ² |
| Värmeförsörjning: | Fjärrvärme |